

ENCAPSULADO Y VIABILIDAD DE LA SEMILLA ARTIFICIAL DE CAÑA DE AZUCAR

ENCAPSULATION AND VIABILITY OF THE ARTIFICIAL SEED OF SUGAR CANE

Geiner Francisco Alvarez Sánchez¹, Sergio Salgado García¹, David Jesús Palma López¹, Luz del Carmen Lagunes Espinoza¹ y Hipólito Ortiz Laurel²

¹Estudiante de la Maestría en Ciencias Producción Agroalimentaria Tropical-Grupo MASCAÑA Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, ²Colegio de Postgraduados Campus Córdoba-Grupo MASCAÑA: salgados@colpos.mx.

Resumen

Al desarrollar la semilla artificial CP-54 de caña de azúcar, utilizando alginato de sodio y almidón, se logró darles resistencia y protección a las yemas, además presentaron una germinación de 100 % usando alginato de sodio y 84 % usando almidón. Con la finalidad de reducir los costos de elaboración y mejorar la cubierta del encapsulado en cuanto a resistencia y protección, sin afectar la germinación, se llevaron a cabo dos experimentos; El primero tuvo como objetivo, evaluar diferentes concentraciones de polímeros (Alginato de sodio y Almidón) y determinar el más adecuado, en cuanto a resistencia y viabilidad de germinación, para ello, se utilizó un diseño completamente al azar con nueve tratamientos de semilla artificial y 20 repeticiones cada una. Las variables de estudio fueron: estado físico a los tres días de secado, prueba reológica, prueba mecánica y germinación (%) en sustrato de arena a los 30 días; El objetivo del segundo experimento fue determinar el tiempo máximo de almacenamiento de la semilla artificial, para ello, se utilizó un diseño completamente al azar con seis tratamientos de semilla artificial y 40 repeticiones cada una. Las variables de estudio fueron, el estado físico a los 5, 8, 11, 14 y 17 días y su germinación (%) a los 30 días de siembra. Los resultados obtenidos permiten concluir que las yemas encapsuladas con alginato de sodio al 2 y 4 % (p/v) y almidón al 10 y 15 % (p/v), presentaron buen estado físico, ofrecen resistencia y protección de la yema de caña de azúcar, corroborando que el encapsulado inicialmente propuesto es confiable para elaborar la semilla artificial de caña de azúcar. La viabilidad de la semilla a los 5 días de elaborada fue la mejor obteniendo una germinación de 100% a los 30 días de la siembra y la viabilidad de la semilla a los 8 días de elaborada reduce la germinación al 80%. Por lo tanto, la semilla artificial solo puede almacenarse 5 días para asegurar una germinación del 100%.

Palabras clave: Semilla artificial, Caña de azúcar, Encapsulados, Germinación

Abstract

When developing the artificial cane CP-54 seed, using sodium alginate and starch, they were able to give resistance and protection to the buds, also presented a germination of 100% using sodium alginate and 84% using starch. In order to reduce processing costs and improve the encapsulation cover in terms of strength and protection, without affecting germination, two experiments were carried out; The first one had the objective of evaluating different concentrations of polymers (sodium alginate and starch) and

determining the most adequate in terms of resistance and viability of germination. A completely randomized design with nine treatments of artificial seed and 20 repetitions each. The study variables were: physical state at three days of drying, rheological test, mechanical test and germination (%) in sand substrate at 30 days; The objective of the second experiment was to determine the maximum storage time of the artificial seed. A completely randomized design with six artificial seed treatments and 40 replicates each was used. The study variables were, the physical state at 5, 8, 11, 14 and 17 days and its germination (%) at 30 days of planting. The results obtained allow us to conclude that 2 and 4% (w / v) and 10% and 15% (w / v) sodium alginate encapsulated buds showed good physical condition, resistance and protection of cane bud of sugar, corroborating that the initially proposed encapsulation is reliable for the elaboration of artificial sugarcane seed. The viability of the seed at 5 days of elaboration was the best one obtaining a germination of 100% at the 30 days of the sowing and the viability of the seed to the 8 days of elaborated reduces the germination to 80%. Therefore, artificial seed can only be stored for 5 days to ensure 100% germination.

Keys words: Artificial seed, Sugar cane, Encapsulated, Germination

Introducción

En México la industria azucarera es históricamente una de las más importantes, debido a su relevancia económica y social en el campo (SAGARPA, 2013). La siembra de la caña de azúcar, es una actividad semi-mecánica al combinar operaciones manuales y mecanizadas (Viveros *et al.*, 1995; Salgado *et al.*, 2013), sin embargo, la mano de obra utilizada en el sistema semi-mecánico es cada vez más costosa y difícil de conseguir, lo cual indicó la necesidad de una operación totalmente mecánica cuya ventaja principal es la reducción de mano de obra y costos de operación (Rípoli y Rípoli, 2010).

Aun cuando se utiliza la tecnología de máquinas sembradoras que usan tallos enteros o trozos de caña, no se ha logrado la eficiencia de una siembra mecanizada de precisión. Durante el proceso de obtención de los trozos de caña con cosechadoras integrales y en el transbordo a las sembradoras, las yemas de caña de azúcar son dañadas mecánicamente, esta situación reduce el porcentaje de germinación (Viveros y Calderón, 1995), y tras casi tres décadas de experiencia, aún no se ha logrado asegurar la germinación de yemas de caña de azúcar en su totalidad. Debido al movimiento mecánico al que son sometidas las yemas en la tolva de la sembradora, estas sufren daños mecánicos que afectan su sistema reproductivo, inhibiendo su germinación. Se ha estimado que solo el 70 % de las yemas sembradas comercialmente logran germinar (Viveros y Calderón, 1995; Salgado *et al.*, 2009).

Debido a esta problemática, surge la tecnología de las semillas artificiales, la cual describe generalmente a un embrión somático, encapsulado con una cubierta sintética que lo protege del ambiente y de los daños mecánicos, además de ser lo suficientemente blando para permitir la germinación, aportar nutrientes y permitir el intercambio gaseoso para la respiración del embrión (Morales y Cano, 2012).

En base a esto, se desarrolló la semilla artificial de caña de azúcar CP-54, la cual consiste en un trozo de tallo de caña de azúcar de 35 mm de longitud con una sola yema, desinfectada y encapsulada con una mezcla de paja seca molida y un polímero biodegradable. Al utilizar alginato de sodio y almidón, se logró darles resistencia y protección a las yemas (Álvarez, 2015), además presentaron una germinación de 100 % usando alginato de sodio y 84 % usando almidón (Arias, 2015). Por ello, El objetivo del presente estudio fue evaluar diferentes concentraciones de polímeros para mejorar el encapsulado de la semilla artificial y determinar el tiempo máximo de almacenamiento.

Materiales y métodos

Los experimentos se llevaron a cabo en el laboratorio de fisiología vegetal del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Las muestras de caña se tomaron en plantaciones de caña de azúcar de ocho meses de edad, de la variedad Mex 69-290, localizadas en el poblado C-34 (Pdte. Benito Juárez García) del municipio de Huimanguillo Tabasco, ubicado a 21 kilómetros al suroeste de la ciudad de Cárdenas, Tabasco, cuyas coordenadas geográficas son: 17° 58' 16" N, -93° 37' 30" W.

Obtención de las yemas de caña de azúcar. Con el uso de un machete se cortaron los tallos de caña de azúcar. Con el uso de una segueta se cortaron trozos de tallos con yemas de 35 mm de longitud, que debían contar con 20 mm de reserva a partir de la cicatriz hacia arriba y de 15 mm en la parte inferior, para que la banda de raíces y la yema, no se dañaran.

Desinfección de trozos de tallos con yemas. Las yemas fueron desinfectadas en una solución de Malathion 50 EC (Agroquímica Tridente) al 0.1% (2 mL/L de agua) y Carbendazim (Prozycar® 500) al 0.1% (1 mL/L de agua). Se sumergieron las yemas en la solución durante 10 minutos y posteriormente se dejaron secar por 10 minutos.

Mejora del encapsulado de la semilla artificial CP-54 de caña de azúcar

El experimento se llevó a cabo en octubre de 2016. Se utilizó un diseño completamente al azar con 9 tratamiento y 20 repeticiones de cada una.

Los Tratamientos (T) utilizados fueron: T1: Alginato de sodio al 2 % + CaCl₂ al 10 %, T2: Alginato de sodio al 4 % + CaCl₂ al 10 %, T3: Alginato de sodio al 6 % + CaCl₂ al 10 %, T4: Alginato de sodio al 4 % + CaCl₂ al 12 %, T5: Alginato de sodio al 4 % + Ca(OH)₂ al 10 %, T6: Almidón al 10 %, T7: Almidón al 12.5 %, T8: Almidón al 15 % y T9: Almidón al 17.5 %.

Encapsulado de las yemas de caña de azúcar utilizando Almidón:

Se utilizaron 100, 125, 150 y 175 g de fécula de maíz (Maizena®) y 4 L de agua. En una parrilla eléctrica (modelo Cimarec, Thermo scientific, USA) se colocó un vaso de precipitado (KIMAX®, USA) con 750 mL de agua para calentarla. La fécula de maíz se disolvió con 250 mL de agua en un vaso de precipitado, a esta mezcla se le agregaron los 750 mL de agua caliente, y se agitó hasta homogeneizarla. Se pesaron 300 g de paja molida seca por cada litro de almidón, utilizando una balanza granataria (modelo TJ611, OHAUS®, México). A la mezcla de Almidón se le agregó la paja molida para formar una pasta, con la cual se cubrieron las yemas manualmente y se colocaron en una bandeja de plástico para dejarlos secar durante 72 horas a la sombra. El grosor del encapsulado fue de aproximadamente 5 mm.

Encapsulado de las yemas de caña de azúcar utilizando Alginato de sodio + CaCl₂:

Se utilizaron 20, 40 y 60 g de alginato de sodio (MEYER®), y, 100 y 120 g de cloruro de calcio (J.T. Baker®). Se mezclaron los gramos 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 gramos de CaCl₂ en 1 L de agua en un vaso de precipitado. En el vaso de precipitado que contenía la mezcla de alginato de sodio se agregaron 300 g de paja molida seca para formar una pasta, con la cual se cubrieron las yemas manualmente. Las cápsulas se sumergieron en la solución de CaCl₂ por 5 minutos, para la solidificación del polímero y posteriormente se colocaron en una bandeja de plástico para dejarlos secar durante 72 horas a la sombra. El grosor del encapsulado fue de aproximadamente 5 mm.

Encapsulado de las yemas de caña de azúcar utilizando Alginato de sodio + Ca(OH)₂:

Se utilizaron 40 g de alginato de sodio (MEYER®), y 100 g de Ca(OH)₂. Se mezclaron los 40 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 100 g de Ca(OH)_2 en 1 L de agua en un vaso de precipitado. A la mezcla de alginato de sodio se le agregaron 300 g de paja molida seca para formar una pasta, con la cual se cubrieron las yemas manualmente. Las cápsulas se sumergieron en la solución de Ca(OH)_2 por 5 minutos, para la solidificación del polímero y se colocaron en una bandeja de plástico para secarlos durante 72 horas a la sombra. El grosor del encapsulado fue de aproximadamente 5 mm.

Variables de estudio

Estado físico de la semilla artificial. Para su evaluación se realizó un análisis visual del encapsulado después de 72 horas de reposo, utilizando la siguiente escala; 1: Encapsulado sin desprendimiento de la cubierta, 0: Encapsulado con desprendimiento de la cubierta o germinación. Solo los encapsulados en buen estado fueron aptos para realizarles la prueba mecánica y la prueba reológica.

Prueba de resistencia mecánica. Los encapsulados se colocaron en una charola de plástico, la cual se movió de un lugar a otro en 10 ocasiones, simulando el movimiento que se lleva a cabo durante el proceso de siembra. Se realizó la evaluación con la siguiente escala; 1: Encapsulados en buen estado, 0: Encapsulados que sufrieron pérdida parcial o total de su recubrimiento.

Prueba reológica. Con un penetrómetro de bolsillo (modelo E-280, AMS[®], USA) se ejerció fuerza sobre el centro de los encapsulados hasta romperlos o deformarlos y se registró el dato del esfuerzo necesario (kg/cm^2) para romper o deformar cada encapsulado.

Germinación (%). Se seleccionaron 10 repeticiones de cada tratamiento y se sembraron completamente al azar en charolas de plástico que contenían arena de río. El riego se aplicó cada segundo día. 30 días después de la siembra, se realizó un conteo de yemas germinadas por tratamiento.

Vigor de plántula. 30 días después de la siembra, se extrajeron todas las yemas germinadas, con la finalidad de medir la longitud de las raíces y la altura del tallo.

Análisis estadístico. Se realizó un análisis de varianza con el diseño completamente al azar, y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, usando el paquete SAS versión 9.3.

Tiempo de almacenamiento de la semilla artificial CP-54 de caña de azúcar

El experimento se llevó a cabo en noviembre de 2016. Se utilizó un diseño completamente al azar con 6 tratamientos y 25 repeticiones de cada una.

Los Tratamientos (T) utilizados fueron: T1: Alginato de sodio al 2 % + CaCl_2 al 7 %, T2: Alginato de sodio al 2 % + CaCl_2 al 10 %, T3: Alginato de sodio al 2 % + CaCl_2 al 13 %, T4: Alginato de sodio al 2 % + Cal al 10 %, T5: Almidón al 10 % y T6: Almidón al 15 %.

Encapsulado de yemas de caña de azúcar utilizando Almidón y Aginato de sodio + CaCl_2 o Ca(OH)_2 :

Para el proceso de encapsulado de las yemas de caña de azúcar, se llevó a cabo el mismo procedimiento descrito en el experimento anterior para cada polímero correspondiente.

Variables de estudio

Estado físico de la semilla artificial. Para su evaluación se realizó un análisis visual del encapsulado después de 5, 8, 11, 14 y 17 días de reposo, utilizando la siguiente escala; 1: Encapsulado sin desprendimiento de la cubierta, 0: Encapsulado con desprendimiento de la cubierta o germinación.

Germinación (%). En cada fecha de evaluación del Estado físico, se sembraron completamente al azar 5 repeticiones por tratamiento en charolas de plástico que contenían arena de río. El riego se aplicó cada segundo día. 30 días después de la siembra, se realizó un conteo de las yemas germinadas por tratamiento.

Vigor de plántula. 30 días después de la siembra, se extrajeron todas las yemas germinadas, con la finalidad de medir la longitud de las raíces y la altura del tallo.

Análisis estadístico. Se realizó el análisis de varianza con el diseño completamente al azar, y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, usando el paquete SAS versión 9.3.

Resultados y discusión

Mejora del encapsulado de la semilla artificial CP-54 de caña de azúcar

Estado físico de la semilla artificial

El análisis de varianza indica efectos significativos entre tratamientos, con un coeficiente de variación (CV) y una diferencia mínima significativa (DMS) elevada (38.9 y 38, respectivamente), atribuido al desempeño del T7. La prueba de medias de Tukey, indica que el mejor Estado Físico (100 %) lo obtuvo el T8, seguido del T1 y T4, ambos con un 95 % de sus repeticiones en buen Estado físico (Tabla 1).

Tabla 1. Estado físico de los encapsulados, germinación y vigor de plántulas a los 30 días de siembra.

No.	Tratamientos (T) Descripción	Estado	Prueba	Prueba	Germinación	Longitud	Altura de
		Físico (%)	Mecánica (%)	Reológica (kg/cm ²)	(%)	de raíz (cm)	tallo (cm)
1	Alginato de sodio al 2 % + CaCl ₂ al 10 %	95 ab	100 a	4.5 a	90 a	11.4 ab	33.4 a
2	Alginato de sodio al 4 % + CaCl ₂ al 10 %	80 ab	80 a	4.5 a	90 a	14.9 ab	30 a
3	Alginato de sodio al 6 % + CaCl ₂ al 10 %	70 ab	40 a	4.5 a	80 a	14.3 ab	32.5 a
4	Alginato de sodio al 4 % + CaCl ₂ al 13 %	95 ab	80 a	4.5 a	90 a	19.6 a	39.9 a
5	Alginato de sodio al 4 % + Ca(OH) ₂ al 10 %	85 ab	80 a	3.6 b	90 a	16.8 ab	39 a
6	Almidón al 10 %	93.3 ab	80 a	4.5 a	71.4 a	13.8 ab	31.9 a
7	Almidón al 12.5%	60 b	66.6 a	4.5 a	75 a	14.3 ab	57.5 a
8	Almidón al 15 %	100 a	100 a	4.5 a	100 a	7.7 b	64.6 a
9	Almidón al 17.5 %	90 ab	100 a	4.5 a	75 a	14.6 ab	51.6 a
	Media (%)	86.2	79.4	4.4	84.2	14.6	38
	CV (%)	38.9	51.7	1.9	44.8	39.6	60.6
	Prob F	0.03*	0.4 NS	0.001**	0.86 NS	0.03*	0.14 NS
	DMS	38	95.9	0.2	65.6	10.1	40.09

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

Medias con la misma literal en la columna son iguales estadísticamente según Tukey ($P \leq 0.05$).

Prueba de resistencia mecánica

Los resultados del análisis de varianza indica que no existen efectos significativos entre tratamientos, con un CV y una DMS elevada (51.7 y 95.9 respectivamente), atribuido al bajo desempeño de los Tratamientos. La prueba de medias de Tukey, indica que los tratamientos son estadísticamente iguales, sin embargo, los tratamientos que presentaron el 100 % de sus repeticiones en buen estado después de realizar la prueba fueron, el T1, T8 y T9 (Tabla 1).

Prueba reológica

En la Prueba reológica, el análisis de varianza indica efectos altamente significativos entre tratamientos, con un CV y una DMS muy baja (1.9 y 0.2 respectivamente) causado por los resultados similares en la

mayoría de los tratamientos. La prueba de medias de Tukey, indica que la menor resistencia la obtuvo el T5 (3.6 kg/cm²) siendo estadísticamente diferente al resto de los tratamientos los cuales son estadísticamente iguales entre sí, con una resistencia de 4.5 kg/cm² (Tabla 1).

Germinación (%)

El análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas entre tratamientos, con un CV elevado (44.8) y una DMS de 65.6. La prueba de medias de Tukey, indica que todos los tratamientos son estadísticamente iguales, sin embargo, el mejor tratamiento resultó ser el T8 con una Germinación del 100 %, seguido del T1, T2, T4 y T5, todos con un 90 % de Germinación (Tabla 1).

Vigor de plántula

Para la Longitud de raíz, el análisis de varianza indica efectos significativos entre tratamientos, con un CV elevado (39.6) atribuido al desempeño del T8, y una DMS de 10.6. La prueba de medias de Tukey, indica que el T4, obtuvo la mayor Longitud de raíz (19.6 cm). En lo que respecta a la Altura de tallo, el análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas entre tratamientos, con un CV elevado (60.6) y una DMS de 40.09. La prueba de medias de TUKEY, indica que todos los tratamientos son estadísticamente iguales, sin embargo, el T8 obtuvo la mayor Altura de tallo (64.6 cm) (Tabla 1).

Tiempo de almacenamiento de la semilla artificial CP-54 de caña de azúcar

Estado físico de la semilla artificial

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza, se observó efectos altamente significativos para Tratamiento (T), Días de evaluación (De) y su interacción T*De. El coeficiente de variación fue alto (28.7), causado por el desempeño del T4 (Tabla 2).

Los resultados de la prueba de medias de Tukey, para el factor Tratamiento, indica que, todos los tratamientos son estadísticamente iguales (excepto el T4). Sin embargo, los mejores tratamientos fueron, T2, T3 y T6, con repeticiones en buen Estado físico de 100, 100 y 94.6 % respectivamente (Tabla 2).

Para el factor Días de evaluación, se observó que, en las primeras dos evaluaciones se obtuvieron el mayor porcentaje de repeticiones en buen Estado físico (91.3 y 84.1 % respectivamente), siendo estos estadísticamente iguales entre sí (Tabla 2).

En cuanto a la interacción T*De, se observa que los tres mejores tratamientos (T2, T3 y T6) tienen una mejor interacción a los 5 días, donde se conserva el 100% de las repeticiones en buen Estado físico, seguido de la interacción a los 8 días con un 100, 100 y 95 % de repeticiones en buen Estado físico, respectivamente (Tabla 2).

Germinación (%)

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza, se observó efectos altamente significativos para Tratamiento (T), Días de reposo (Dr) y su interacción T*Dr. El coeficiente de variación fue alto (60), causado por el desempeño del T3 (Tabla 3).

Los resultados de la prueba de medias de Tukey, para el factor Tratamiento, indica que todos los tratamientos son estadísticamente iguales, excepto el T3, el cual obtuvo una germinación de 0 %, en contraste, el T5 obtuvo el mayor porcentaje de Germinación con una media de 52 % (Tabla 3).

Tabla 2. Estado físico (%) de los encapsulados a diferentes Días de evaluación (De).

No.	Tratamientos (T) Descripción	Días de evaluación (De)					Media de tratamientos
		5	8	11	14	17	
1	Alginato de sodio al 2 % + CaCl ₂ al 7 %	96 a	95 a	93.3 a	90 a	80 a	93.3 a
2	Alginato de sodio al 2 % + CaCl ₂ al 10 %	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
3	Alginato de sodio al 2 % + CaCl ₂ al 13 %	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
4	Alginato de sodio al 2 % + Ca(OH) ₂ al 10 %	56 a	25 b	0 c	0 c	0 c	25.3 b
5	Almidón al 10 %	96 a	90 ab	86.6 ab	80 ab	60 b	88 a
6	Almidón al 15 %	100 a	95 a	93.3 a	90 a	80 a	94.6 a
Media de días		91.3 a	84.1 ab	78.8 bc	76.6 bc	70 c	
CV (%)		29.3					
Prob F							
Tratamiento (T)		0.001**					
Días de evaluación (De)		0.001**					
Interacción (T*De)		0.001**					
DMS (T)		11.4					
DMS (De)		11.7					

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

Medias con la misma literal en la columna son iguales estadísticamente según Tukey ($P \leq 0.05$).

Para el factor Días de reposo, se observó que, con las semillas artificiales con 5 y 8 días de reposo antes de la siembra se obtienen los mayores porcentajes de Germinación (80 y 66.6 % respectivamente), siendo estos estadísticamente iguales (Tabla 3).

En cuanto a la interacción T*Dr, se observa que el mayor porcentaje de Germinación (100 %), se obtuvo con el T2, T4, T5 y T6 a los 5 Dr, e incluso a los 8 Dr para el T6. Sin embargo, la Germinación (%) es estadísticamente igual a los 5 y 8 Dr en todos los tratamientos (Tabla 3).

Tabla 3. Germinación de semillas artificiales sembradas después de 5, 8 y 11 Días de reposo (Dr).

No.	Tratamientos (T) Descripción	Germinación (%)					Media de tratamientos
		5 Dr	8 Dr	11 Dr	14 Dr	17 Dr	
1	Alginato de sodio al 2 % + CaCl ₂ al 7 %	80 a	60 a	60 a	0 b	0 b	40 a
2	Alginato de sodio al 2 % + CaCl ₂ al 10 %	100 a	80 a	0 b	0 b	0 b	36 a
3	Alginato de sodio al 2 % + CaCl ₂ al 13 %	0 a	0 a	0 a	0 a	0 a	0 b
4	Alginato de sodio al 2 % + Ca(OH) ₂ al 10 %	100 a	80 a	0 b	0 b	0 b	36 a
5	Almidón al 10 %	100 a	80 a	80 a	0 b	0 b	52 a
6	Almidón al 15 %	100 a	100 a	40 b	0 b	0 b	48 a
Media de Dr		80 a	66.6 a	30 b	0 c	0 c	
CV (%)		71.2					
Prob F							
Tratamiento (T)		0.001**					
Días de reposo Dr		0.001**					
Interacción (T*Dr)		0.001**					
DMS (T)		20.6					
DMS (Dr)		17					

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

Medias con la misma literal en la columna son iguales estadísticamente según Tukey ($P \leq 0.05$).

Vigor de plántula, definida por la longitud de raíces y altura de planta

Longitud de raíz

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza, se observó un efecto altamente significativo para Tratamiento (T) y Días de reposo (Dr) y un efecto significativo para la interacción T*Dr. El coeficiente de variación fue alto (60), causado por el desempeño del T3 (Tabla 4). Los resultados de la prueba de medias de Tukey, para el factor Tratamiento, indica que todos los tratamientos son estadísticamente iguales a excepción del T3, el cual no tuvo crecimiento de raíz, en contraste, el T5 obtuvo la mayor Longitud de raíz con una media de 10.7 cm (Tabla 4).

Para el factor Días de reposo, se observó que, con las semillas artificiales con 5 y 8 días de reposo antes de la siembra se obtuvieron la mayor Longitud de raíz (9.5 y 7 cm respectivamente), siendo estos estadísticamente iguales (Tabla 4). En cuanto a la interacción T*Dr, se observa que la mayor Longitud de raíz, se obtuvo con el T1, T4, T5 y T6 a los 5 Dr. Sin embargo, de acuerdo a la prueba de medias de Tukey, la Longitud de raíz es estadísticamente igual a los 5 y 8 Dr, en todos los tratamientos (Tabla 4).

Tabla 4. Longitud de raíz de semillas artificiales sembradas después de 5, 8 y 11 Días de reposo (Dr).

No.	Tratamientos (T) Descripción	Longitud de raíz (cm)			Media de tratamientos
		5 Dr	8 Dr	11 Dr	
1	Alginato de sodio al 2 % + CaCl ₂ al 7 %	11.3 a	9 a	2.4 b	7.5 a
2	Alginato de sodio al 2 % + CaCl ₂ al 10 %	10 a	7.8 ab	2 b	6.6 a
3	Alginato de sodio al 2 % + CaCl ₂ al 13 %	0 a	0 a	0 a	0 b
4	Alginato de sodio al 2 % + Ca(OH) ₂ al 10 %	11.9 a	9 a	0 b	6.9 a
5	Almidón al 10 %	12.4 a	8.4 a	11.3 a	10.7 a
6	Almidón al 15 %	11.4 a	8 a	5.4 a	8.2 a
Media de Dr		9.5 a	7 a	3.5 b	
CV (%)		60			
Prob F					
Tratamiento (T)		0.001**			
Días de reposo (Dr)		0.001**			
Interacción (T*Dr)		0.02*			
DMS (T)		4.2			
DMS (D)		2.4			

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

Medias con la misma literal en la columna son iguales estadísticamente según Tukey ($P \leq 0.05$).

Altura de tallo

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza, se observó un efecto altamente significativo para Tratamiento (T), Días de reposo (Dr) y la interacción T*Dr. El coeficiente de variación fue alto (52.9), causado por el desempeño del T3 (Tabla 5).

Los resultados de la prueba de medias de Tukey, para el factor Tratamiento, indica que todos los tratamientos son estadísticamente iguales a excepción del T3, el cual no tuvo desarrollo del tallo, en contraste, el T6 obtuvo la mayor Altura de tallo con una media de 41.9 cm (Tabla 5).

Para el factor Días de reposo, se observó que, con las semillas artificiales con 5 y 8 días de reposo antes de la siembra se obtuvieron la mayor Altura de tallo (39 y 32.4 cm respectivamente), siendo estos estadísticamente iguales (Tabla 5).

En cuanto a la interacción T*Dr, se observa que, la mayor Altura de tallo, se obtuvo con el T4, T5 y T6 a los 5 Dr. Sin embargo, de acuerdo a la prueba de medias de Tukey, la Altura de tallo es estadísticamente igual a los 5 y 8 Dr, en todos los tratamientos, excepto el T5, el cual es estadísticamente diferente a los 8 Dr (Tabla 5).

Tabla 5. Altura de tallo de plántulas sembradas después de 5, 8 y 11 Días de reposo (Dr).

No.	Tratamientos (T)	Altura de tallo (cm)			Media de tratamientos
		5 Dr	8 Dr	11 Dr	
1	Alginato de sodio al 2 % + CaCl ₂ al 7 %	35 a	41 a	32.7 a	36.2 a
2	Alginato de sodio al 2 % + CaCl ₂ al 10 %	30.5 a	37.6 a	17.6 a	28.5 a
3	Alginato de sodio al 2 % + CaCl ₂ al 13 %	0 a	0 a	0 a	0 b
4	Alginato de sodio al 2 % + Ca(OH) ₂ al 10 %	55.5 a	38 a	0 b	31.1 a
5	Almidón al 10 %	63 a	34.8 b	28.1 b	41.9 a
6	Almidón al 15 %	50.1 a	43.3 a	18.2 b	37.2 a
Media de Días		39 a	32.4 a	16.1 b	
CV (%)		52.9			
Prob F					
Tratamiento (T)		0.001**			
Días de reposo (Dr)		0.001**			
Interacción (T*Dr)		0.003**			
DMS (T)		16.5			
DMS (D)		9.5			

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

Medias con la misma literal en la columna son iguales estadísticamente según Tukey (P≤ 0.05).

En la Figura 1 se observan el detalle de los encapsulados en buen estado físico, la realización de la prueba reológica y una plántula aun con una porción del encapsulado, demostrando que el encapsulado no impide la germinación y desarrollo de la plántula.

Conclusiones

Respecto al experimento enfocado a la mejora del encapsulado de la semilla artificial, los mejores tratamientos en el Estado físico, Prueba mecánica, Prueba reológica, Germinación y Altura de tallo, son el Alginato de sodio al 2 % + CaCl₂ al 10 % y el Almidón al 15 %, por lo cual se concluye, que a estas concentraciones de polímeros se obtiene la mejor dureza del encapsulado para la protección de las yemas, sin afectar el proceso de germinación y desarrollo de la plántula. En cuanto al experimento referente al tiempo de almacenamiento de la semilla artificial, el Alginato de sodio al 2 % + CaCl₂ al 10 % mantiene el 100 % de sus repeticiones en buen estado físico hasta los 17 días, sin embargo, la germinación optima (100 %) se obtuvo con las semillas sembradas a los 5 días de reposo. Para el Almidón al 15 %, el mejor estado físico (100 %) se obtuvo a los 5 días de reposo, reduciéndose al 95 % a los 8 días de reposo, mientras que, la germinación optima (100 %) se obtuvo con las semillas sembradas a los 5 y 8 días de reposo. Por lo tanto, la viabilidad de la semilla de elaborada con Alginato de sodio al 2 % + CaCl₂ al 10 % y Almidón al 15 %, fue mejor a los 5 días de reposo obteniendo una germinación de 100 % a los 30 días de la siembra. Por lo cual se concluye que, la semilla artificial solo puede almacenarse 5 días para asegurar un Estado físico y Germinación del 100 %.



Figura 1. Detalle de encapsulados después de 72 horas de reposo, prueba reológica y germinación.

Referencias

- Morales M, E de J. y J del S, Cano S. 2012. Semillas sintéticas. El campo del futuro. Revista Ciencia y Desarrollo. Edición Marzo-Abril 2012. México. 16-21 pp.
- Quijala E., E Jimenez., M De Feria., M Chavez., N Perez., A Capote., y R Barbón. 2001. Influencia de diferentes factores sobre la germinación de Embriones somáticos encapsulados de *Saccharum spp* híbrido var Cuba 87-51. Biotecnología vegetal 1(2): 83- 88 pp.
- Rípoli C, M L., and Rípoli C, T C. 2010. Evaluation of five sugarcane planters. Eng. Agríc. Jaboticabal, 30(6): 1110-1022 pp.
- SAGARPA. 2013. Estudio de gran visión para la identificación de necesidades de riego y drenaje en las zonas de abasto cañeras y propuestas de tecnificación en zonas potenciales como base para el desarrollo de proyectos de inversión. Etapa I. Veracruz, México. 90 p.
- Salgado G.S., L Bucio., D Riestra., y L C, Lagunes 2003. Caña de azúcar: Hacia un Manejo sustentable. Campus Tabasco-CP-ISPROTAB. Tabasco. 394 p.
- Salgado, G.S., M Pons., J Salaya., M Villegas., E Ramos., y E Alejo. 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 pp.
- SIAP. 2014. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola a nivel nacional en el año 2013. SAGARPA. México.
- Viveros, C.A. y H Calderón. 1995. Siembra. En Cenicaña. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cali. Cenicaña. 131-139 pp.