

Evaluación de cuatro tipos de material de propagación y dos reguladores de crecimiento en el desarrollo del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.)

Felipe José Montalván Balladares

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras
Noviembre, 2020

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Evaluación de cuatro tipos de material de propagación y dos reguladores de crecimiento en el desarrollo del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.)

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Felipe José Montalván Balladares

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2020

Evaluación de cuatro tipos de material de propagación y dos reguladores de crecimiento en el desarrollo del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.)

Presentado por:

Felipe José Montalván Balladares

Aprobado por:



[Renan pineda \(Nov 16, 2020 14:39 CST\)](#)

Renan Pineda, Ph.D.
Asesor principal



Rogel Castillo, M.Sc.
Director
Departamento de Ciencia y Producción
Agropecuaria



María Alexandra Bravo, M.Sc.
Asesora



Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Vicepresidente y Decano Académico

Luis Fernando Osorio

Evaluación de cuatro tipos de material de propagación y dos reguladores de crecimiento en el desarrollo del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.)

Felipe José Montalván Balladares

Resumen. El alto precio y la mala calidad del material de propagación es una gran preocupación para los productores de caña de azúcar. La semilla representa el 20% del costo total de producción. Se requiere una gran cantidad de biomasa (8-10 t/ha) para la siembra con esquejes convencionales, lo que se vuelve un problema para su manipulación, tratamiento, viabilidad de las yemas y su brotación. El ensayo constó de 12 tratamientos y cuatro repeticiones, para un total de 48 unidades experimentales. Se evaluó el efecto de dos reguladores de crecimiento en la brotación, crecimiento y desarrollo de diferentes tipos de material de propagación. Los tipos de material utilizados fueron: yema, miniesqueje, astilla y esqueje tradicional. Los reguladores de crecimiento que se utilizaron fueron: auxinas, ácido indol-3-acético (AIA) y citoquininas, 6-Bencilaminopurina (BAP). La dosis utilizada fue de 0.026 mg/L BAP (5.2 mg/200 L) y 0.015 mg/L AIA (3 mg/200 L). La astilla presentó un mejor efecto en la brotación (42.04%) con respecto a los miniesquejes (33.76%), esquejes de uso tradicional (29.72%) y yemas (6.1%). En cuanto al uso de reguladores, las citoquininas influyeron directamente en la germinación de la caña, siendo estadísticamente diferente con respecto a la auxina y la siembra libre de reguladores. Respecto a la interacción del material de propagación y los reguladores; para las variables de peso, número de entrenudos, altura, diámetro del tallo, tallos por macolla y plantas por metro lineal, no se obtuvieron diferencias significativas.

Palabras claves: Astilla, esqueje, germinación, yema.

Abstract. The high price and poor quality of propagation material is a big concern for sugarcane growers. The seed represents 20% of the total cost of production. A large amount of biomass (8-10 t / ha) is required for sowing with conventional cuttings, which becomes a problem for their handling, treatment, viability of the buds and their sprouting. The trial consisted of 12 treatments and four repetitions, for a total of 48 experimental units. The effect of two growth regulators on sprouting, growth, and development of different types of propagating material was evaluated. The types of material used were bud, minicutting, splinter and traditional cutting. The growth regulators that were used were: auxins, indole-3-acetic acid (IAA) and cytokinins, 6-Benzylaminopurine (BAP). The dose used was 0.026 mg / L BAP (5.2 mg / 200 L) and 0.015 mg / L IAA (3 mg / 200 L). The splinter presented a better effect on sprouting (42.04%) with respect to mini-cuttings (33.76%), cuttings of traditional use (29.72%) and buds (6.1%). Regarding the use of hormones, cytokinins directly influenced the germination of sugarcane, being statistically different with respect to auxin and hormone-free sowing. Regarding the interaction of propagation material and hormones. For the variables of weight, number of internodes, height, diameter of the stem, stems per cluster and plants per linear meter, no significant differences were obtained.

Key words: Bud, cutting, germination, splinter.

ÍNDICE GENERAL

Portadilla.....	i
Página de firmas	ii
Resumen.....	iii
Índice General.....	iv
Índice de Cuadros y Figuras.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
4. CONCLUSIONES.....	17
5. RECOMENDACIONES.....	18
6. LITERATURA CITADA.....	19

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Tratamientos evaluados para determinar el mejor material de propagación.....	5
2. Comportamiento de cuatro tipos de material de propagación de caña de azúcar en presencia de reguladores de crecimiento en el porcentaje de brotación a los 20, 30 y 50 días después de la siembra.....	12
3. Rendimiento de la caña de azúcar en kilogramos por metro lineal y toneladas por hectárea para cada uno de los tratamientos.....	15

Figuras	Página
1. Tipos de material de propagación de la caña de azúcar. A: Yema, B: mini esqueje, C: astilla y D: esqueje.....	3
2. Mapa de campo con la distribución randomizada de las parcelas y tratamientos por unidad experimental.....	4
3. Distribución de las parcelas en el lote experimental A, siembra de micro esquejes B y astillas C.....	6
4. Medición de diámetro de tallos de caña de azúcar con un pie de rey.....	7
5. Peso de tallos por tratamiento.....	7
6. Efecto de cuatro tipos de material de propagación de caña de azúcar en la brotación.....	9
7. Porcentaje de brotación del material de propagación de caña de azúcar expuesta a BAP (citoquininas), AIA (auxinas) y sin reguladores.....	11
8. Efecto de cuatro tipos de material de propagación de caña de azúcar en la cantidad de plantas por metro lineal a los 130 días después de la siembra.....	13
9. Efecto de cuatro tipos de material de propagación de caña de azúcar en la altura de planta a los 130 días después de siembra.....	14
10. Efecto de cuatro tipos de material de propagación de caña de azúcar en la cantidad de entrenudos por planta a los 180 días después de siembra.....	15

1. INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es una planta perenne, de la familia Poaceae. Según la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural en México (2018), la caña de azúcar es un cultivo con gran potencial de diversificación. La caña contiene un jugo rico en azúcar (sacarosa) siendo una gran fuente energética. Así mismo, se pueden obtener variados productos y subproductos como el azúcar, melaza, bagazo, cachaza, vinaza, ceniza y energía eléctrica que terminan siendo muy bien aprovechados por la industria cañera. A nivel mundial, la producción anual de azúcar es de alrededor de 1,900 millones de toneladas y abarca un área de 26 millones de hectáreas (FAOSTAT 2018).

La propagación del cultivo de caña se realiza a través de porciones de tallos llamados esquejes. El tallo es el órgano más importante de la planta de caña, ya que allí se almacena la sacarosa; el número, el diámetro, el color y el hábito de crecimiento dependen de la variedad. La longitud de los tallos, en gran parte depende de las condiciones ambientales de la zona y del manejo agronómico (Osorio 2007). Se debe tener en cuenta la calidad sanitaria de la semilla de caña al usar semillas, libres de patógenos y de plagas que afecten el cultivo (Cenicaña 2015).

El alto precio y la calidad del material de propagación es una gran preocupación para los agricultores. La semilla (vegetativa) de caña de azúcar representa el 20% del costo total de producción. Para la siembra de esquejes convencionales se requieren de 8-10 t/ha (Khaliq *et al.* 2020), esta cantidad de esquejes se vuelve un problema para su manipulación, transporte, tratamiento, almacenamiento, viabilidad de las yemas y su brotación. Sin embargo, el uso de porciones de esquejes con yemas individuales es menos voluminoso, además, se maneja fácilmente para su tratamiento, almacenamiento y transporte.

Actualmente la densidad de siembra para el cultivo de caña de azúcar está ligada al número de yemas por metro lineal, en conjunto con el porcentaje de brotación y calidad del material de propagación (Reyes 2014). Los métodos de siembra de la caña de azúcar son la tendencia de desarrollo de la industria cañera. Por tal razón, la producción y disponibilidad del material de siembra es un proceso que debe planearse y ajustarse adecuadamente. Tanto la sección del tallo como la edad de corte de la semilla están relacionados con la germinación de los esquejes de caña de azúcar, ya que para obtener un porcentaje de germinación deseable se debe procurar sembrar yemas lo más jóvenes posible, esto se puede inferir porque al usar la sección superior de los tallos siempre se obtiene una brotación deseable (Núñez y Cruz 2010).

Los fitoreguladores actúan en la planta desencadenando respuestas fisiológicas y morfológicas (Khan 1971). Es por eso que todos los procesos conectados con el crecimiento, desarrollo y metabolismo de las plantas están relacionados de alguna manera con los reguladores. Las auxinas son por excelencia reguladores del crecimiento que inducen división y alargamiento celular y también la formación de raíces. Las auxinas se sintetizan en los meristemas apicales, siendo el ácido indolacético (AIA) la auxina más relevante en cuanto a cantidad y actividad en la planta. Las citoquininas son principalmente sintetizadas en la raíz, aunque también se sintetizan en cualquier tejido, sobre todo en sitios de intensa división celular. Las citoquininas activan el crecimiento de las yemas laterales, estimulan el crecimiento de frutos, retardan la senescencia en hojas y estimulan

la movilización de nutrientes (Diaz 2017). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de dos reguladores de crecimiento en la brotación y desarrollo de cuatro tipos de material de propagación de caña de azúcar.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

El estudio se realizó durante los meses febrero y agosto de 2020 en “Zona II” de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, a 30 km de Tegucigalpa, ubicado a 14°0'9.29" latitud norte y 89°59'49.69" latitud oeste a 800 msnm. La precipitación durante el período del estudio, febrero – agosto 2020, fue de 221.59 mm y la temperatura de 23 ± 0.5 °C.

Material de propagación

Para este estudio se utilizó la variedad CP-722086, ampliamente utilizada por sus bondades agronómicas (Rea *et al.* 1994).

Preparación del material de propagación

Para la preparación del material de propagación, se usaron porciones de tallo provenientes de la parte apical de la planta. Se realizaron cuatro cortes para ser usados como material de siembra (Figura1). Estos cortes, aunque provinieron de la parte apical del tallo, se prepararon según la descripción de cada uno, a continuación:

- Yemas: extracción de la yema del tallo, con un sacabocados, en un pedazo de caña de aproximadamente, uno o dos centímetros.
- Miniesqueje: Consta de una porción pequeña del tallo a ambos lados del nudo de 3 - 4 cm. Este mini esqueje contiene una yema
- Astilla: También consta de una sola yema, pero con una porción del tallo 10 - 20 cm
- Esqueje: Es una porción del tallo compuesta de tres a cuatro yemas con un tamaño de 30 - 50 cm.

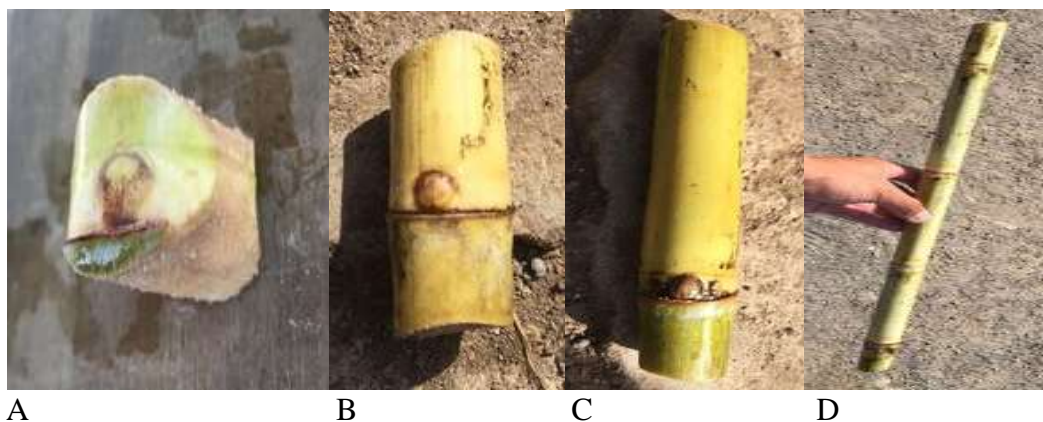


Figura 1. Tipos de material de propagación de la caña de azúcar. A:Yema, B: mini esqueje, C: astilla y D: esqueje.

Reguladores de crecimiento

Para este estudio se utilizaron ácido indol-3-acético (AIA), es una auxina utilizada para promover la formación de raíces adventicias y 6-Bencilaminopurina (BAP), citoquinina que estimula la división celular y ayuda al crecimiento y desarrollo de la planta.

Preparación de los tratamientos

La dosis utilizada fue de 0.026 mg BAP / L (5.2 mg / 200 L) y 0.015 mg AIA / L (3 mg / 200 L). Previo a la siembra, el material de propagación fue sumergido en barriles con reguladores por cinco minutos.

Diseño de campo

Se destinó un área de 561.6 m² (21.6 m × 26 m). donde estaban distribuidos cuatro bloques, cada uno con 12 parcelas. Los bloques estaban separados entre sí por calles de dos metros. Cada parcela tenía dos surcos de caña de 5 m de largo, separados entre sí a 40 cm. La distancia entre las diferentes parcelas fue de 1.8 m, de centro a centro de las parcelas (Figura 2).

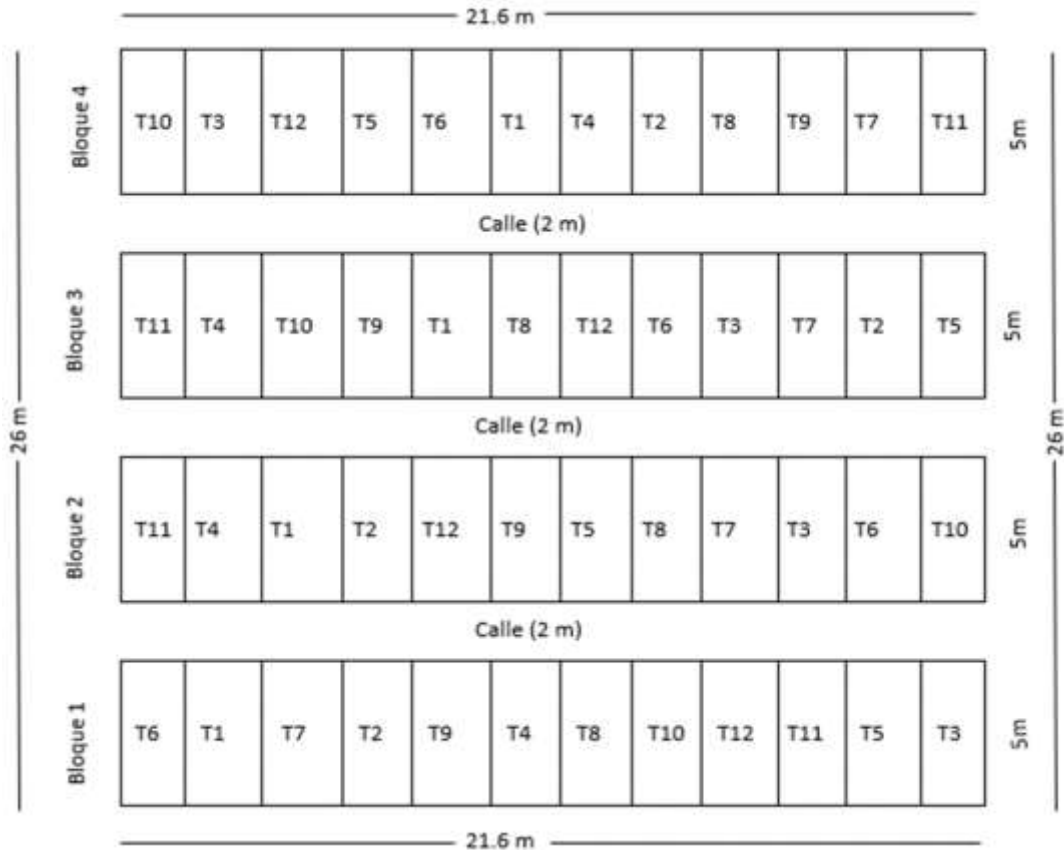


Figura 2. Mapa de campo con la distribución randomizada de las parcelas y tratamientos por unidad experimental.

Diseño experimental y tratamientos evaluados

Se estableció un diseño de bloques completamente aleatorizados (BCA) con dos factores (material de propagación y regulador de crecimiento). Cuatro tipos de materiales de propagación y dos reguladores de crecimiento, con cuatro repeticiones (Cuadro1). Se establecieron 12 tratamientos por bloque, para un total de 48 unidades experimentales (Figura 3).

Cuadro 1. Tratamientos evaluados para determinar el mejor material de propagación

Tratamiento	Descripción
YeAu	Yema + Auxinas
YeCi	Yema + Citoquininas
Ye	Yema sin hormona
AsAu	Astillas + Auxinas
AsCi	Astillas + Citoquininas
As	Astillas sin hormona
MiAu	Micro esqueje + Auxinas
MiCi	Micro esqueje + Citoquininas
Mi	Micro esqueje sin hormona
EsAu	Esqueje + Auxinas
EsCi	Esqueje + Citoquininas
Es	Esqueje sin hormona

Manejo agronómico

La preparación del terreno se realizó de forma mecanizada. La siembra directa fue realizada dejando surcos dobles por unidad experimental, a una profundidad de 20 cm y una densidad poblacional de 12 yemas por metro lineal. La densidad de los esquejes se logró, colocando tres esquejes de cuatro yemas cada uno por metro lineal, a hileras dobles o triples (Figura 3). El manejo de maleza se realizó de forma manual, cada 60 días. El riego se realizó por medio del sistema de goteo, tres veces a la semana, o según requerimiento. La fertilización constó de aplicaciones al momento de la siembra. No se realizó manejo fitosanitario durante el ensayo.

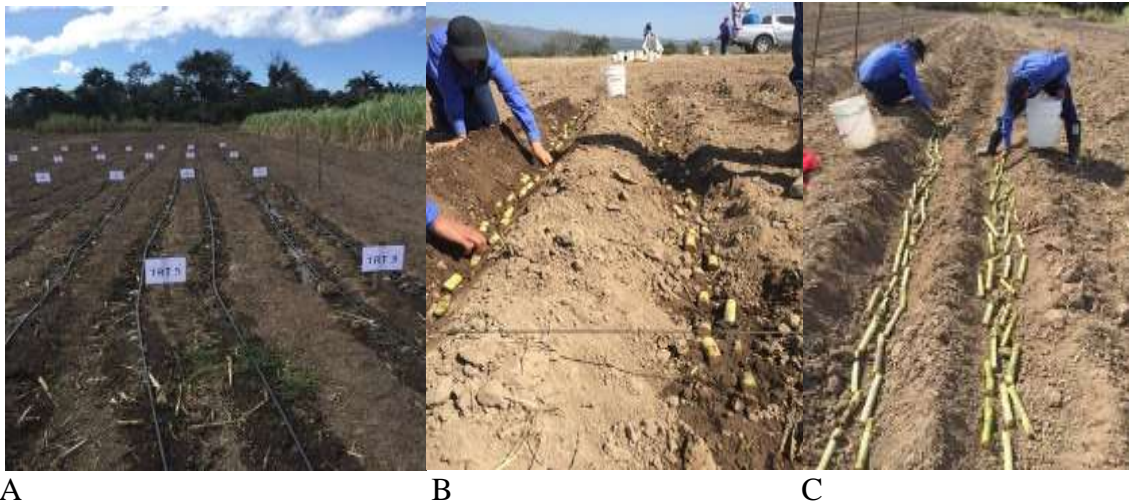


Figura 3. Distribución de las parcelas en el lote experimental A, siembra de micro esquejes B y astillas C.

Variables evaluadas

Porcentaje de brotación (%). Se contabilizó el número de plantas germinadas a los 20, 30 y 50 días después de la siembra y se determinó el porcentaje de brotación mediante ecuación 1. Se debe hacer notar que tres de los cuatro tipos de material de propagación portaban una sola yema. En el caso de los esquejes, estos portaban tres o cuatro yemas por cada esqueje, por lo cual, el porcentaje de brotación se calcula en base al número de yemas brotadas.

$$\text{Porcentaje de brotación (\%)} = \frac{\text{Número de yemas germinadas}}{\text{Número de yemas sembradas}} \times 100 \quad [1]$$

Altura de planta (cm). La altura de planta se midió a los 130 días después de la siembra en cinco plantas por unidad experimental, aproximadamente el 10% de muestreo. La altura de la planta se tomó considerando la distancia entre la base del tallo y la última lígula visible.

Número de tallos por macolla. Se tomó a los 130 días y se extrajeron del suelo los tallos que provenían de una sola estaca inicial, para ello se cortaron y contaron los tallos del 10% de las unidades de producción o estacas iniciales

Número de plantas por metro lineal. Se contabilizó el número de plantas presentes en un metro lineal a los 130 días después de la siembra. Se designó un metro central en cada una de las dos líneas de cada parcela (10% de las plantas) y se contaron las plantas de cada metro por línea, se reportó el promedio de las dos líneas.

Diámetro del tallo (mm). El diámetro de planta se midió con un pie de rey a los 180 días después de la siembra en cinco plantas por unidad experimental, considerando el grosor del tallo a la altura del tercio medio de la planta (Figura 4).



Figura 4. Medición de diámetro de tallos de caña de azúcar con un pie de rey.

Número de entrenudos por planta. Se contabilizó la cantidad de entrenudos presentes en cinco plantas por unidad experimental a los 180 días después de la siembra.

Peso de los tallos (kg). Se tomaron la cantidad de tallos presentes en un metro lineal, para cada unidad experimental y luego se pesaron en una balanza analítica a los 180 días después de la siembra (Figura 5).



Figura 5. Peso de tallos por tratamiento.

Análisis estadístico. El porcentaje de brotación fue analizado mediante un análisis de medidas repetidas en el tiempo. Las variables de altura de planta, peso, número de tallos por macolla, diámetro de planta, plantas por metro lineal y número de entrenudos fueron analizadas mediante un análisis de varianza (ANDEVA), utilizando el programa “Statistical Analysis Systems” (SAS)

versión 9.4[®]). La separación de medias se realizó por el método de Duncan ($P = 0.05$) y las interacciones por medias de mínimos cuadrados (LS Means).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La selección del material de propagación y su germinación es una de las etapas más importante a tomar en cuenta en la producción de caña, ya que es clave para garantizar el éxito. Según el análisis estadístico se encontró diferencias significativas ($P = 0.0001$) en el tipo de material de propagación, donde el uso de astilla presentó un mejor efecto en la germinación (42.04%) con respecto a los miniesquejes (33.76%), esqueje de uso tradicional (29.72%) y yemas (6.10%) (Figura 6).

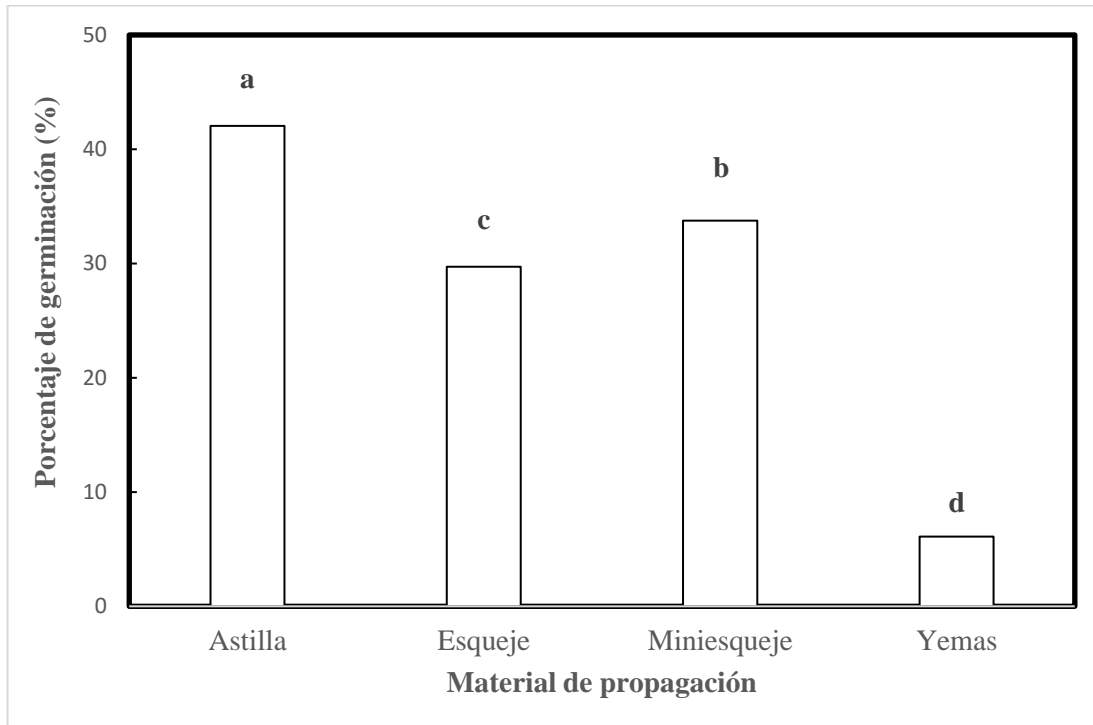


Figura 6. Efecto de cuatro tipos de material de propagación de caña de azúcar en la brotación.

Las astillas representan únicamente un tercio o un cuarto del tamaño del esqueje tradicional usado para siembra de lotes de producción de caña, por lo que el uso de astillas para siembra, además de obtenerse un mejor porcentaje de brotación, reduce el volumen o cantidad de material destinado a la siembra. Los dos o tres cuartos de material que no se usó, al compararlo con esquejes, se podrían usar para incrementar el volumen enviado a fábrica y, por consiguiente, aumentar la producción de azúcar por hectárea. Montes Chinchilla (2018) encontró que la brotación de astillas de 8 y 9 meses de edad, procedentes de la parte apical del tallo y evaluadas a los 14, 18, 22, 26 y 30 días después de siembra obtuvieron porcentajes de brotación de 61% en comparación con esquejes tradicionales (52%). Patnaik *et al.* (2017) reportaron que el uso de astillas incrementó su rendimiento en un 13.86%, 106.8 toneladas por hectárea, con un costo de USD. 1361.25 / ha, en comparación con esquejes, 92 toneladas por hectárea, con un costo de \$ 1618.79 / ha. A su vez, Patnaik *et al.* (2017) reportó que el uso de astillas disminuye considerablemente el volumen y peso de material de siembra.

Según Galal (2016) para la propagación de una hectárea de caña de azúcar, se requiere de ocho a diez toneladas de esquejes de caña de azúcar. Sin embargo, el uso de semillas de yemas individuales disminuye ese volumen hasta en un 97% el peso del material de siembra, cuando se usaron solamente las yemas, sin tallo. Unos de los principales problemas relacionados al uso astillas, mini esquejes o yemas, es la preparación de estas en cuanto a la precisión del corte. Ante esta problemática Xu y Xiao (2019), desarrollaron un sistema práctico e inteligente para extraer la yema de la caña de azúcar en el proceso de siembra y corte, reduciendo la tasa de yemas dañadas y mejorando la calidad del corte con una tasa de reconocimiento del 99%. Así mismo Zhou *et al.* (2020) diseñaron un sistema de corte de semilla de caña de azúcar basado en visión artificial, donde los resultados de la identificación de las yemas obtuvieron una tasa de reconocimiento del 93% con un tiempo promedio de 0.54 segundos y un rendimiento de 2400 yemas / hora, lo que nos presenta un estimado de la disponibilidad de yemas para la siembra. El desarrollo de estas tecnologías contribuye incrementar la eficiencia en los procesos de producción de la industria cañera.

Es importante notar que el porcentaje de brotación de todos los tipos de material de propagación fue generalmente bajo, menor a un 50%: Esta condición de la semilla de tallos de diez meses de edad de la caña, provoca que para lograr una densidad adecuada del cultivo se tengan que usar grandes cantidades de caña por hectárea. Si consideramos que la mayor cantidad de área en el mundo se siembra con esquejes y estos, según nuestros resultados, apenas alcanzaron un 30% de brotación, es menester evaluar el tipo de material de propagación a sembrar. Esto explica por qué la siembra de una hectárea de caña requiere una alta densidad de semillas, de 8 a 12 yemas por metro lineal (Viveros y Calderón 1995).

Las yemas individuales resultaron en un 6.1% de brotación (Figura 6). Este resultado se puede deber a que las yemas individuales no tienen el suficiente sustento nutricional o el perfil hormonal adecuado para sustentarse en las etapas iniciales de su germinación (Marasca *et al.* 2015). Además, del posible efecto que tiene este material cuando está expuesto a condiciones de campo, donde es más susceptible a los problemas agroclimáticos. Esto concuerda con lo establecido por Galal (2016), quien comparó la germinación de yemas en bandeja y campo abierto, obteniendo porcentaje de 95% en bandejas en comparación a las 82.5% obtenidas en campo abierto.

El regulador de crecimiento BAP (citocinina) influyó directamente en la brotación de la caña siendo estadísticamente diferente ($P = 0.0001$) con respecto a la auxina y la siembra libre de reguladores (Figura 7). Este tratamiento resultó en un mayor porcentaje de brotación (32.99%) en comparación con los demás tratamientos. Los tratamientos con auxinas no mostraron diferencias significativas (25.00%) con el tratamiento si reguladores (25.72%). Se ha establecido que las auxinas contribuyen al alargamiento de los órganos de las plantas en crecimiento. También, se conoce que las auxinas contribuyen en la formación de raíces de los esquejes en germinación, sin embargo, las citoquininas han sido asociadas a incrementar la división celular en órganos durante su crecimiento y particularmente, durante su germinación. Esto podría explicar el comportamiento de los materiales de propagación tratados con citoquininas, las cuales, facilitaron el proceso de brotación de todos los tipos de material de propagación. Según Carranza *et al.* (2017), las citoquininas son reguladores de crecimiento que regulan un amplio rango de comportamientos en la planta, incluyendo la germinación de las semillas y brotación de yemas.

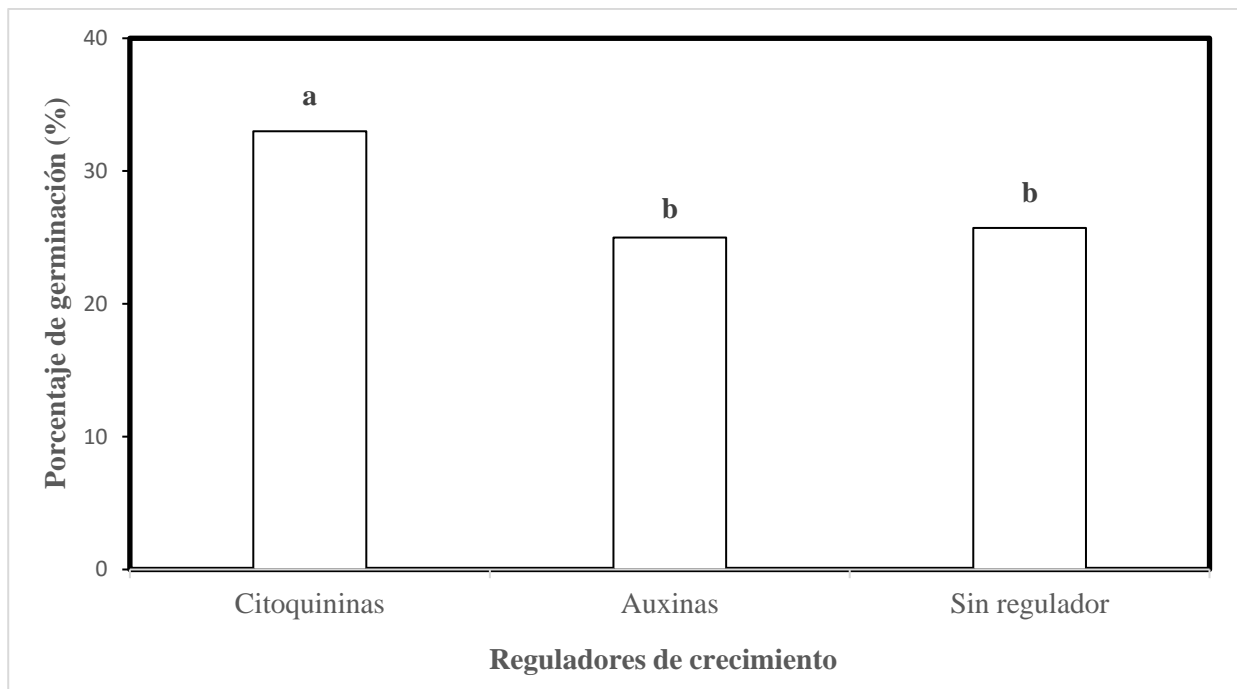


Figura 7. Porcentaje de brotación del material de propagación de caña de azúcar expuesta a BAP (citoquininas), AIA (auxinas) y sin reguladores de crecimiento.

Cuando la brotación fue evaluada a través de tres periodos de tiempo, esta dependió del efecto interactivo de los factores de tipo de material de propagación y tipo de regulador de crecimiento. Se encontró que los mini esquejes + citoquininas presentaron un mejor porcentaje de brotación a los 20, 30 DDS, sin embargo, su porcentaje de brotación a los 50 días fue superior únicamente, a los mini esquejes sin tratamiento y a las yemas individuales tratadas y no tratadas. A partir de los 30 días las astillas sin regulador y astillas + citoquininas presentaron la mejor brotación, siendo estadísticamente diferentes, con respecto a los demás tratamientos, con excepción a los mini esquejes más citoquininas. Los esquejes, con o sin tratamiento hormonal mantuvieron bajos niveles de brotación a los 20 días, incrementaron su brotación gradualmente a los 30 días y alcanzaron un nivel medio de brotación a los 50 DDS. Este comportamiento fue similar a la brotación de las yemas individuales con la diferencia que, las yemas individuales incrementaron su brotación gradualmente, pero mantuvieron menores niveles de brotación con respecto a todos los demás tratamientos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comportamiento de cuatro tipos de material de propagación de caña de azúcar en presencia de reguladores de crecimiento en el porcentaje de brotación a los 20, 30 y 50 días después de la siembra.

Tratamientos	Porcentaje de brotación		
	20 días	30 días	50 días
Astilla	10.42 bc	51.67 a	69.79 a
Astilla + Citoquininas	13.54 bc	47.29 ab	65.63 a
Astilla + Auxinas	11.04 bc	41.88 b	55.00 b
Esqueje	3.54 c	29.79 bc	51.05 b
Esqueje + Citoquininas	4.38 c	38.75 bc	53.54 b
Esqueje + Auxinas	2.71 c	32.71 bc	51.46 b
Miniesqueje	7.92 bc	23.13 c	37.50 c
Miniesqueje + Citoquininas	23.96 a	53.13 a	62.29 ab
Miniesqueje + Auxinas	14.17 b	28.96 bc	47.71 b
Yemas	3.13 c	4.17 d	8.96 de
Yemas + Citoquininas	2.50 c	7.50 d	16.87 d
Yemas + Auxinas	0.83 c	2.71 d	6.46 e
Valor P	<.0001		
R ²	0.9257		
Coefficiente de variación	24.4825		

Los resultados aquí descritos muestran que el uso de BAP en los materiales de propagación de caña logró un incremento en la brotación de los miniesquejes, cuando estas fueron tratadas con citoquininas, causando una mejor brotación a los 20, 30 y 50 DDS, en relación a los tipos de material de propagación tratados con auxinas o sin tratamiento hormonal. Sin embargo, desde el punto de vista económico, el tratamiento de astillas libre de reguladores es el más efectivo ya que no se incurre en costo por reguladores de crecimiento.

En cuanto a la cantidad de planta por metro lineal se encontró que las astillas, esquejes y mini esquejes tuvieron un comportamiento similar, con siete plantas por metro lineal, y fueron estadísticamente mayores con respecto a las yemas, las cuales tuvieron, en promedio, cuatro plantas por metro (Figura 8). Es rentable invertir en el control y monitoreo del número de yemas por metro lineal y garantizar las densidades necesarias para tener una producción exitosa ya que, es un indicador del potencial de rendimiento que se puede alcanzar por unidad de superficie (Reyes 2014). Respecto al uso de reguladores de crecimiento, ninguna tuvo un efecto significativo sobre otra en cuanto a la cantidad de plantas por metro lineal ($P = 0.2299$).

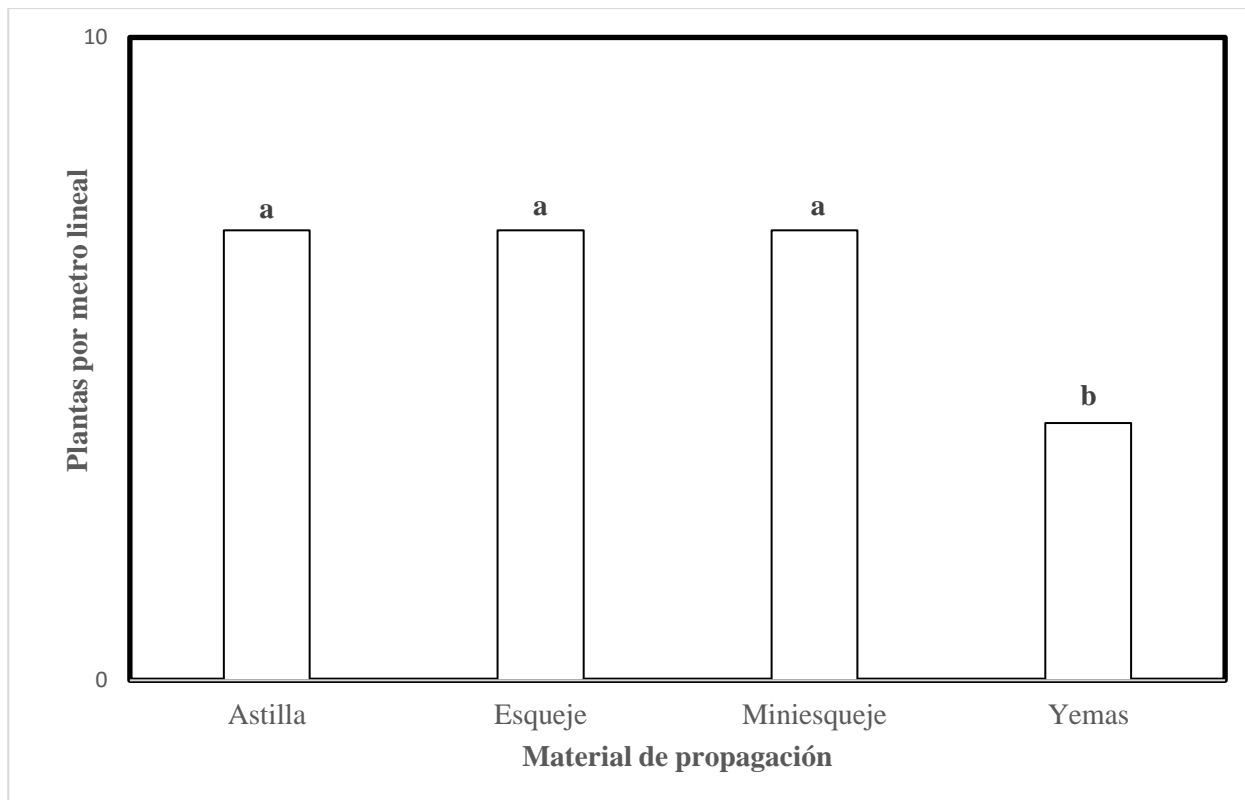


Figura 8. Efecto de cuatro tipos de material de propagación de caña de azúcar en la cantidad de plantas por metro lineal a los 130 días después de la siembra.

La altura es una característica fisiológica de gran importancia en el crecimiento y desarrollo de la planta (Somarriba 1998). Para la caña de azúcar, la altura está determinada por la elongación del tallo al acumular en su interior la sacarosa que será aprovechada por la industria. En cuanto a la altura de planta se encontraron diferencias significativas ($P = 0.0001$), donde las astillas (1.48 m), esquejes (1.55 m) y mini esquejes (1.43 m) tuvieron un comportamiento similar entre ellos, pero diferente con respecto a las yemas (0.96 m) (Figura 9). Respecto al uso de reguladores de crecimiento, ninguna tuvo un efecto significativo sobre otra en cuanto a la altura de plantas ($P = 0.1674$).

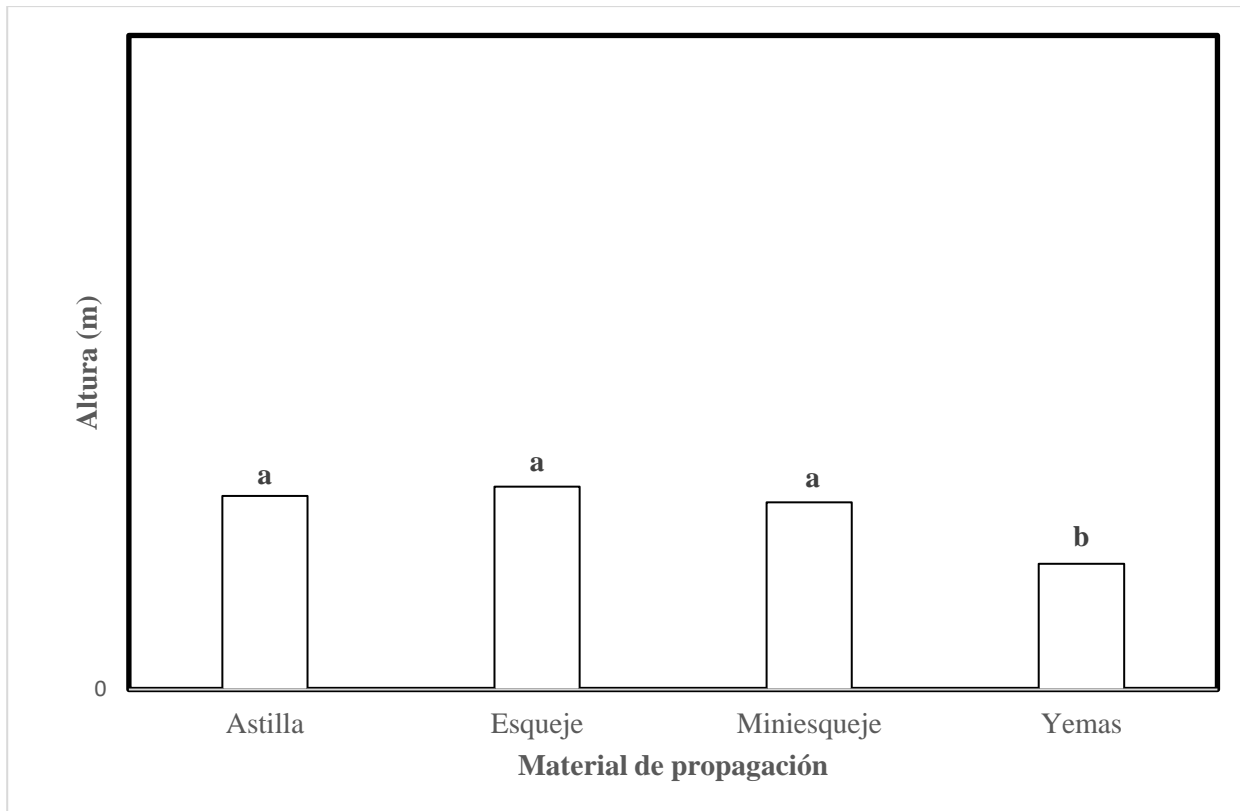


Figura 9. Efecto de cuatro tipos de material de propagación de caña de azúcar en la altura de planta a los 130 días después de siembra.

Los entrenudos comprenden el espacio entre un nudo y otro en el tallo de la caña de azúcar, estos entrenudos contienen estructuras celulares especializadas en la transferencia y el almacenamiento de la sacarosa lo que vendría siendo las reservas energéticas que necesitan las yemas de los nudos para poder garantizar una buena brotación (Marasca *et al.* 2015). Respecto al número de entrenudos se encontró diferencias significativas ($P = 0.0012$), en el que los esquejes presentaron los mejores valores sin ser diferente de las astillas (Figura 10).

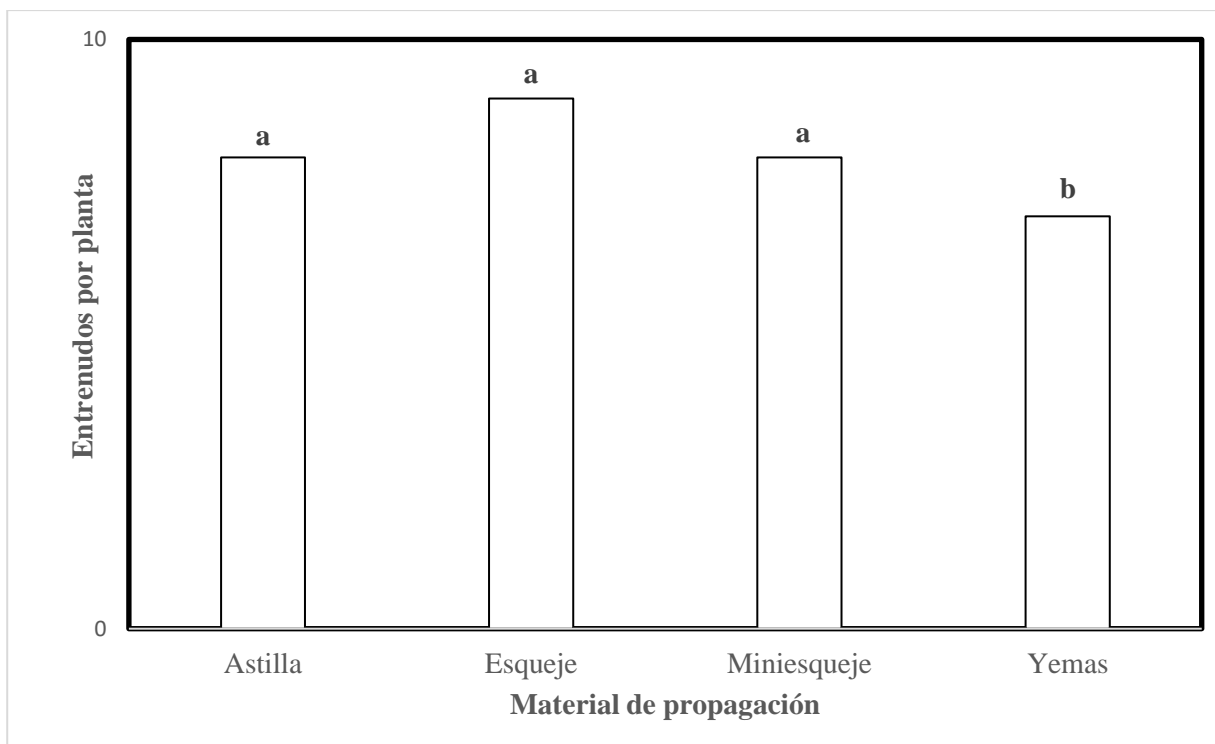


Figura 10. Efecto de cuatro tipos de material de propagación de caña de azúcar en la cantidad de entrenudos por planta a los 180 días después de siembra.

El rendimiento de los tallos de cada parcela no fue estadísticamente diferente entre los tratamientos ($P = 0.9312$). Sin embargo, se pueden observar valores absolutos de rendimiento por hectárea en el rango de 15.7 para las yemas tratadas, hasta 44.3 toneladas para los esquejes tratados (Cuadro 3). Aunque estadísticamente, la diferencia de aproximadamente, 28.6 toneladas métricas por hectárea no sea significativa, económicamente, esta diferencia tiene un impacto alto en la mejora del ingreso por hectárea para el productor de caña.

Cuadro 3. Rendimiento de la caña de azúcar en kilogramos por metro lineal y toneladas por hectárea para cada uno de los tratamientos.

Variable	YeAu	YeCi	Ye	AsAu	AsCi	As	MiAu	MiCi	Mi	EsAu	EsCi	Es	Valor P
Peso (kg/m)	2.77	2.31	3.00	4.45	5.95	5.22	4.09	6.36	5.95	6.59	6.45	6.54	0.9312
t / ha	18.7	15.7	20.3	29.8	39.9	35.2	27.4	42.8	40.0	44.3	43.2	44.0	

Normalmente, la tonelada por hectárea se vende a un precio de Dólares 24 / tonelada. La diferencia de aproximadamente 24 toneladas entre el rendimiento de esquejes sin reguladores con respecto a yemas sin reguladores, representaría un ingreso adicional de Dólares 576 / hectárea.

Para lograr una alta producción de caña, se requieren materiales de mayores poblaciones de tallos y una mayor altura de planta asociada con tallos intermedios a gruesos; lo que resalta la importancia de la toma de datos para las características de interés agronómico como altura, diámetro, población de tallos por metro y rendimientos (Viveros *et al.* 2015).

En cuanto a la interacción tipo de material de propagación y uso de reguladores de crecimiento para las variables de peso, diámetro central y tallos por macolla, no se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

4. CONCLUSIÓN

Las astillas tuvieron la mejor brotación en comparación con los miniesquejes, esquejes y yemas. Las citoquininas causaron una mayor brotación del material de propagación, en comparación con las auxinas y material sin reguladores de crecimiento.

5. RECOMENDACIONES

- Fomentar el uso de astillas para la siembra de caña de azúcar en vez de esquejes tradicionales.
- Evaluar diferentes dosis de citoquininas como tratamiento del material de propagación para mejorar los porcentajes de brotación en astillas de caña.
- Realizar un estudio económico comparando el costo por hectárea de los materiales de siembra utilizados en este estudio, para el cultivo de caña de azúcar.

6. LITERATURA CITADA

- Carranza C, Castellanos G, Deaza D, Miranda D. 2017. Efecto de la aplicación de reguladores de crecimiento sobre la germinación de semillas de badea (*Passiflora quadrangularis L.*) en condiciones de invernadero. Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas. 10(2):284-291. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.5791>
- Cenicaña. 2015. La calidad de la semilla de caña de azúcar hace la diferencia. Colombia: cenicaña; [consultado el 09 de julio de 2020]. <https://www.cenicana.org/la-calidad-de-la-semilla-de-cana-de-azucar-hace-la-diferencia/>
- Diaz D. 2017. Las hormonas vegetales en las plantas. México: Intagri s.c; [consultado el 16 de julio de 2020]. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/las-hormonas-vegetales-en-las-plantas>
- FAOSTAT. 2018. Datos de producción mundial de caña de azúcar. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Galal MO. 2016. A new technique for planting sugarcane in Egypt. Omics applied biotechnology Journal. 7(4):15-21.
- Khaliq A, Mahmood A, Ahmad HB, Nadeem MA, Ahmad N, Sher R, Khursheed MR. 2020. Benefit cost ratio of buds chips planting and its effects on yield and quality of sugarcane. International Quarterly Journal of Biological Sciences; [consultado el 08 de agosto de 2020]. 7(3):151-156. file:///C:/Users/Dell/Downloads/914-3875-1-PB.pdf
- Khan AA. 1971. Cytokinins: permissive role in seed germination. Science ; [consultado el 15 de agosto de 2020]. 171(3974):853–859. <http://www.jstor.org/stable/1731340>.
- Marasca I, Da Silva R, Sartori M, Goncalvez A, Lancas K. 2015. Morfología de la caña de azúcar en la preparación profunda del suelo en canteros. Chile-Idesia. 33(4):23-29. 8p. doi: 10.4067/S0718-34292015000400004
- Montes RE. 2018. Efecto de la edad, origen basal o apical en la brotación y macollamiento de tres tipos de semilla vegetativa de caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*) [Tesis de pregrado]. Honduras: Zamorano.
- Núñez O, Cruz R. 2010. Germinación y desarrollo de la caña de azúcar sembrada con esquejes de diferentes secciones del tallo y edades de corte. [Tesis]. Guayaquil, Ecuador: Ingenio San Carlos.
- Osorio G. 2007. buenas prácticas agrícolas -bpa- y buenas prácticas de manufactura-bpm en la producción de caña y panela. Colombia: CTP Print Ltda; [consultado el 07 de jul. de 2020]. <http://www.fao.org/3/a1525s/a1525s00.pdf>
- Patnaik JR, Singh SN, Sarangi D. 2017. Assessing potentiality of bud chip technology on sugarcane productivity, profitability and sustainability in real farming situations under south east coastal plain zone of Odisha, India. Sugar Tech. 19, 373–377. [://doi.org/10.1007/s12355-016-0481-7](https://doi.org/10.1007/s12355-016-0481-7)
- Rea R, De Souza O, González V. 1994. Caracterización de catorce variedades promisorias de caña de azúcar en Venezuela. Caña de Azúcar. 12(1):3-45.
- Reyes JM. 2014. Influencia del número de yemas por metro lineal sobre el rendimiento de caña de azúcar. Ingenio Trinidad (2008-2013). [Tesis de pregrado]. Guatemala-Universidad Rafael Landívar.

- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 2018. Caña de azúcar, más allá de su dulce sabor. México: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. [Consultado el 12 de jul. de 2020]. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cana-de-azucar-mas-alla-de-su-dulce-sabor>
- Somarriba CR. 1998. Texto granos básicos. Managua, Nicaragua: [sin editorial]; [consultado el 12 de septiembre]. <https://repositorio.una.edu.ni/2704/1/NF01S693g.pdf>
- Viveros C, Baena D, Salazar F, López L, Victoria J. 2015. Características de la caña de azúcar asociadas con toneladas de caña por hectárea y sacarosa (% caña). *Acta agronómica*. 64(3):268-272. DOI: <https://doi.org/10.15446/acag.v64n3.44494>
- Viveros CA, Calderón H. 1995. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali. Cali, Colombia: Cenicaña; [Consultado el 27 de septiembre]. https://www.cenicana.org/pdf_privado/documentos_no_seriadados/libro_el_cultivo_cana/libro_p131-139.pdf
- Xu J, Xiao Y. 2019. Application of pattern recognition in sugarcane seed cutting operation. Atlantis Press. 258–261p. <https://doi.org/10.2991/smонт-19.2019.57>
- Zhou D, Fan Y, Deng G, He F, Wang M. 2020. A new design of sugarcane seed cutting systems based on machine vision. *elsevier* 175p. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105611>