

MÉTODO PARA LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE CAÑA DE AZÚCAR

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La invención se refiere a métodos para la producción de
5 plántulas de caña de azúcar que comprenden el tratamiento con
reguladores de crecimiento, una única etapa de poda y el
tratamiento con fitohormonas.

Los cultivos de caña de azúcar (*Saccharum* sp.) son de
gran importancia en el escenario socioeconómico mundial,
10 tanto en lo que respecta a la generación de ingresos como a
la producción de divisas. En los últimos años, debido a la
mayor demanda de bioenergía, las áreas cultivadas con caña de
azúcar están aumentando en todo el mundo, así como las
inversiones en fábricas para producir principalmente alcohol
15 y electricidad.

La caña de azúcar es un cultivo alimentario y
bioenergético importante y un componente importante de la
economía de muchos países en los trópicos y subtrópicos. El
valor de la caña de azúcar se basa principalmente en su alta
20 productividad, uso eficiente de insumos agrícolas como agua,
fertilizantes, mano de obra y es convertible localmente a
productos de alto valor, como azúcar, melaza, etanol y
energía. La caña de azúcar se produce en casi 100 países.
Aunque el área del cultivo de la caña de azúcar se lleva a

cabo en el 1.5 % del total mundial de tierras de cultivo, la producción mundial de biomasa total cosechada de caña de azúcar en términos de peso húmedo es la más alta de todas las plantas de cultivo.

5 La caña de azúcar es una planta alógama (exógama), perenne, probablemente originaria de las regiones de Indonesia y Nueva Guinea, perteneciente a la familia Poaceae, subtribu *Saccharinae*, tribu *Andropogoneae*, género *Saccharum*. Sus cultivares actuales son híbridos interespecíficos, con
10 las especies *Saccharum officinarum*, *Saccharum spontaneum*, *Saccharum sinense*, *Saccharum barberi*, *Saccharum robustum* y *Saccharum edule*, todas ellas participantes en el establecimiento de los genotipos de las especies/variedades cultivadas. La semilla verdadera de la caña de azúcar es una
15 fruta tipo cariósida. La cariósida se describe como una fruta simple, seca, indehiscente y uniseminada, cuya cubierta de semilla crece junto con el pericarpio en toda su longitud (2009, Regras para análise de sementes, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília). Las
20 semillas son ovaladas, marrones o amarillentas y de aproximadamente 1.5 mm de largo.

La caña de azúcar se reproduce sexualmente. Sin embargo, la producción de semillas depende de características ambientales específicas, por ejemplo, la necesidad de

condiciones constantes de temperatura y humedad elevadas para la germinación. Además, las especies cultivadas de caña de azúcar exhiben una gran complejidad en la estructura de su genoma. Las especies cultivadas de caña de azúcar se derivan
5 de la hibridación interespecífica que da como resultado genomas altamente poliploides y aneuploides. Los genomas de las especies cultivadas de caña de azúcar exhiben un alto nivel de heterocigosidad. (Moore et al. and Zhang et al. in Sugarcane: Physiology, Biochemistry and Functional Biology,
10 Ed.: Moore and Botha, Wiley 2014, Chapter 1 and 23, respectivamente)

El genoma altamente heterocigótico y complejo y el comportamiento exógamo de la caña de azúcar evitan la generación de semillas de caña de azúcar genética y
15 fenotípicamente uniformes. Las condiciones ambientales influyen incluso en la germinación completa de la semilla. Para el mantenimiento de variedades, amplificación y cultivo, la caña de azúcar siempre fue y aún se propaga vegetativamente. En sistemas convencionales de producción de
20 caña de azúcar, los cultivos se establecen mediante el brote de yemas vegetativas. Los cultivos de caña de azúcar se establecen convencionalmente a partir de piezas de tallo (esquejes). Los cultivos establecidos a partir de los esquejes se llaman caña de planta para diferenciarla de la

caña de retoño. Los cultivos de retoño se cultivan a partir de la parte de la planta que queda en el suelo después de la cosecha (cepa) (Bonnett in Sugarcane: Physiology, Biochemistry and Functional Biology, Ed.: Moore and Botha, 5 Wiley 2014, Capítulo 3).

El etefón (ácido (2-cloroetil)fosfónico) se utiliza en los cultivos de caña de azúcar como madurador, el cual induce la maduración de los tallos y la desecación de las hojas. Silva et al. (2007, Bragantia 66, 545-552) divulgan un efecto 10 estimulante del etefón aplicado como madurador en el macollamiento del cultivo de retoño de caña de azúcar subsiguiente de hasta seis meses después de la aplicación. Pero, de todos modos, los cultivos de retoños cultivados sucesivamente muestran acumulaciones anuales de pérdidas de 15 rendimiento que comienzan ya en el primer año. En consecuencia, los cultivos de retoño de recrecimiento sucesivos en un campo sólo pueden obtenerse durante unas pocas generaciones. Un uso más prolongado de los cultivos de retoño provocaría una depreciación del rendimiento 20 económicamente inaceptable. De tanto en tanto, las nuevas generaciones de cultivos deben establecerse en un campo dado al reemplazar los cultivos de retoño con cultivos de plantas.

El método convencional para el restablecimiento de nuevos cultivos de caña de azúcar de los esquejes tiene algunas desventajas conocidas desde hace mucho tiempo.

Para establecer cultivos de caña de azúcar en los
5 campos, los esquejes se colocan en surcos de un extremo a otro y se cubren con tierra. Las piezas de tallo utilizadas como esquejes comúnmente comprenden más de una, a menudo tres, algunas veces más yemas axilares latentes. Cada yema de un solo esqueje tiene el potencial de producir una nueva
10 planta de caña de azúcar. Sin embargo, la germinación de las yemas no es consistente en términos de número de germinación y tiempo de germinación. Por lo tanto, las plantas de caña de azúcar cultivadas en un campo establecido a partir de los esquejes no se distribuyen por igual. El campo muestra áreas
15 con densidades más altas y aquellas con densidades más bajas de plantas. Esto conduce a la competencia de las plantas por luz solar y nutrientes en áreas de campo de alta densidad vegetal y un desperdicio de luz solar disponible y nutrientes en áreas con baja densidad de plantas con la consecuencia de
20 que el potencial total de rendimiento de las plantas de caña de azúcar en un campo dado no se explota completamente.

Stolf et al. (1981, En: CONGRESSONACIONAL DA STAB, 2, Río de Janeiro. Anais ... 3/4, 443-456) y Serafim et al. (2013, STAB, Piracicaba 31, 22-25) han demostrado que la tasa

de germinación promedio fue del 50 % para la siembra manual y del 35 % para la siembra mecánica cuando se usan esquejes convencionales. Esta baja tasa de germinación resulta en la formación de una base de cultivo no uniforme con baja densidad de vástagos primarios (vástagos madre), causando un decremento en la productividad de los campos de caña de azúcar, incluso en el primer ciclo de cultivo, si no hay una operación de replantación. La replantación, sin embargo, incurre en costos adicionales para el material de trabajo y siembra.

Los esquejes de caña de azúcar se producen convencionalmente a partir de cultivos cultivados comercialmente. Sin embargo, el material de siembra debe producirse en viveros o campos separados de cultivos de caña de azúcar para permitir la producción de material de siembra libre de enfermedades. El transporte de grandes volúmenes de material de siembra de caña de azúcar desde su sitio de producción hasta los campos genera costos significativos en las plantaciones de caña de azúcar. Además, los viveros de caña de azúcar requieren una cantidad considerable de tierra, cuidado, mano de obra e inversión en productos de protección de cultivos.

Alrededor de 9 a 12 toneladas de tallos de caña de azúcar por hectárea se utilizan en la siembra manual,

mientras que la siembra mecanizada requiere de 18 a 24 toneladas por hectárea. El material plantado está enterrado en el suelo y no puede utilizarse para la producción de recursos de valor como el alcohol, el azúcar o la electricidad (Stolf y Lee, 1990, Álcool y Açúcar, São Paulo, 10(53), 20-25). En otro experimento, se necesitaron de 6 a 8 toneladas por hectárea de tallos con semilla, que contenían tres yemas, para establecer cultivos comerciales. Los costos del material de siembra para la caña de azúcar oscilan entre el 22 y el 25 % del costo total de producción, y constituyen una parte importante del gasto en el cultivo de la caña de azúcar (Srivastava et al., 1981, en: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 2, Rio de Janeiro... 3/4, 443-456).

Por lo tanto, con el tiempo se han seguido diferentes enfoques para mejorar la producción de material de siembra de caña de azúcar.

La tecnología de micropropagación de cultivo tisular se ha desarrollado para la propagación a gran escala de material de siembra de caña de azúcar (Snyman et al., 2011, Plant Cell Rep. 47, 324-249). Mishra et al. (2014, Sugar Tech 16(3), 255-263) divulgan métodos para la multiplicación *in vitro* (micropropagación) de plantas de caña de azúcar que comprenden extirpar de la yema más joven de la parte superior de una planta de caña de azúcar como explante, transferir la

yema al cultivo tisular, aplicar reguladores de crecimiento para la elongación de yemas, la aplicar hormonas para la proliferación (macollaje) de yemas alargadas, la transferencia de vástagos a medios de enraizamiento que
5 contienen hormonas y el endurecimiento de vástagos enraizados en un invernadero. Se demuestra la promoción de la formación de brotes laterales (macollaje) mediante la inducción de etileno a través de etefón (ácido 2-cloroetil fosfónico) a concentraciones más bajas, pero no a altas concentraciones,
10 en cultivos *in vitro* de caña de azúcar.

Sin embargo, las tecnologías de micropropagación son aún demasiado costosas en la producción de material de siembra para el establecimiento de cultivos comerciales (Bonnett en Sugarcane: Physiology, Biochemistry and Functional Biology,
15 Ed.: Moore y Botha, Wiley 2014, Capítulo 3).

También se han seguido enfoques para la producción de material de siembra de caña de azúcar sin el uso de cultivos *in vitro* o tejidos.

Un enfoque utiliza vástagos y se llama método de seblang
20 o brotación. El macollamiento y la ramificación del área en la caña dependen y pueden ser inducidos por factores externos, en particular condiciones de crecimiento como la fertilización y el riego. En el método de brotación, las plantas de caña de azúcar se cultivan en suelos livianos y

fértiles y el macollamiento se promueve al establecer un amplio espacio entre plantas, plantaciones poco profundas, riego frecuente y fertilización abundante. Después del desarrollo de la raíz, los vástagos, incluidas las raíces, se separan de las plantas madre y se siembran por separado, se les permite rebrotar seguido de una separación repetitiva y sembrar los vástagos por separado (Van Dillewijn, 1952, Botany of sugar-cane. Waltham, Mass. U. S. A. Chronica Botanica, 371).

Un enfoque adicional se conoce como el método Rayungan. Rayungan es un término indonesio que hace referencia al desarrollo de un solo rebrote (brote primario) a partir de yemas laterales (axilares) de un tallo de la caña de azúcar, después de podar el ápice de la planta madre. Los brotes laterales primarios se extirpan de la planta madre y se siembran (Sugiyarta & Winarsih, 2009, Sugar Tech 11(1), 22-27).

Comparado con el método de Rayungan, el método de Rayungan estratificado produce varios brotes que surgen en un solo brote secundario debido a la decapitación de los brotes primarios (primer orden lateral). Los brotes primarios y secundarios se eliminan del tallo junto con partes del nódulo al que está unida la yema para producir plántulas sin enraizar. El número de brotes producidos en el método de

rayungan estratificado depende de la posición de la yema en el tallo, la viabilidad depende del número de láminas de hojas en el brote y para el enraizamiento de brotes con menos de cuatro hojas deben tratarse con estimulantes de enraizamiento como el ácido indolacético (Sugiyarta & Winarsih, 2009, Sugar Tech 11(1), 22-27).

Keethipala et al. (2001, Sugar Tech 3(3), 106-108) divulga un método que incluye decapitación de plantas madres de caña de azúcar, seguido de decapitación de brotes laterales primarios, seguido de decapitación de brotes laterales secundarios, seguido de decapitación de brotes terciarios, separación de brotes laterales de las plantas madre y posterior transferencia a bolsas de polietileno para enraizar. La producción de material de siembra demora de 15-16 meses, incluido el crecimiento de las plantas madre durante aproximadamente 8 meses. Se dice que un tallo madre produce hasta 40 brotes laterales cuando la decapitación se realiza al menos tres veces.

El documento JP 08280244 divulga la producción de plántulas de caña de azúcar a partir de yemas axilares. Las plantas madre de caña de azúcar son decapitadas induciendo la formación de brotes laterales primarios. Los brotes laterales primarios se decapitan de nuevo para inducir la producción de brotes laterales secundarios. Los brotes laterales

secundarios se pueden extirpar de las plantas para producir plántulas. Sin embargo, para la preparación de un número suficiente de brotes laterales, se prefiere decapitar el segundo seguidos por la decapitación de brotes laterales de
5 orden terciario e incluso superior en la multiplicación eficiente de plántulas. Se requiere al menos dos, pero preferiblemente cuatro o incluso más decapitaciones.

Los documentos JP 2003 204716 y JP 2000 135025 divulgan la producción de material de siembra de caña de azúcar por
10 decapitación de un tallo a una altura de aproximadamente 120 cm de una planta madre de caña completamente desarrollada (aproximadamente 3 metros de altura). Los brotes primarios desarrollados a partir de yemas axilares se cultivan hasta que quedan siete hojas y se cortan nuevamente en la base del
15 brote primario. Los brotes secundarios se cortan nuevamente en la misma etapa de la misma manera que los brotes primarios. Los brotes de orden terciario o incluso superiores producidos después del corte adicional de los siguientes brotes de orden inferior se escinden del tallo de la planta
20 madre y se transfieren a un vivero para enraizar antes de trasplantar a un campo.

El llamado método de yema simple se basa en el hecho de que un pequeño volumen de tejido nodular junto con un primer primordio de raíz que se adhiere a una yema es suficiente

para convertirse en una plántula de caña de azúcar, aunque las plántulas establecidas a partir del tejido mínimo parecen delgadas (Ramaiah et al. 1977, Proc Inter Soc Sugar Cane Technol, 1509-1513). En base a esto, se han descrito varios
5 métodos para la producción de plántulas de caña de azúcar que se basan en esquejes que comprenden un único nudo o incluso en los llamados trozos de yemas que comprenden una yema extirpada junto con solo una porción del respectivo nudo de tallo de caña de azúcar.

10 Un ejemplo, del llamado método de yema simple utilizado en algunas regiones para propagar caña de azúcar comprende producir brotes madre que tienen al menos cuatro internudos de área en los tallos y luego cortar los tallos en piezas que comprenden un nudo (yema). Las superficies cortadas se
15 sumergen en parafina caliente, las piezas de tallos se germinan en recipientes especiales y las plantas jóvenes se endurecen antes de trasplantarse al campo (Van Dillewijn, 1952, Botany of sugar-cane. Waltham, Mass. U. S. A. Chronica Botanica, 371).

20 El documento WO 2012/140177 divulga un método para la producción de una plántula de caña de azúcar que comprende cortar tallos madre en piezas que comprenden al menos un nudo (incluyendo una yema), colocar esas piezas en un medio húmedo para producir brotes de las yemas, cortar la parte superior

de los brotes emergidos de las yemas por encima del meristemo apical, cortar la parte superior de los brotes recién emergidos (primarios) de yemas sobre el meristemo apical, opcionalmente repitiendo el último paso, cortar brotes
5 laterales obtenidos, plantar esos brotes en medio de crecimiento y plántulas en crecimiento de los brotes. Como se ejemplifica, la producción de plántulas de cortes de tallos madre en piezas hasta la siembra tomó al menos 105 días.

Se ha publicado una serie de solicitudes de patente que
10 usan esquejes de yema simple (nudo). Todas estas solicitudes se basan en el uso de piezas de tallo (esquejes) de plantas de caña de azúcar que comprenden un solo nudo (incluyendo una yema) y la siembra directa de aquellos esquejes de un solo nudo en el campo para el cultivo de cultivos de caña de
15 azúcar. La cantidad de plantas de caña de azúcar para establecer un cultivo de caña de azúcar y el tonelaje de material de siembra puede reducirse utilizando piezas de tallos que tienen un solo nudo en comparación con los métodos convencionales que utilizan tres esquejes de yema. Basado en
20 el método de esqueje de yema única descrito, el documento WO 2009/000398 enfatiza el almacenamiento en frío (por debajo de 15°C) de los esquejes de yema única antes de plantarlas en el campo. El documento WO 2009/000399 enfatiza que los esquejes de yema única pueden tratarse o recubrirse con compuestos que

promuevan el crecimiento, incluidos pesticidas, azúcares, fertilizantes o nutrientes/micronutrientes, antes de plantarlos directamente en el campo. El documento WO 2009/000400 enfatiza que los esquejes de yema única se pueden

5 tratar de una manera que apunte a retener la humedad de las piezas del tallo (incluido el encapsulado en parafina) antes de plantar directamente en el campo. El documento WO 2009 000401 enfatiza que los esquejes de yema única pueden tratarse con productos químicos para la protección de

10 cultivos, incluidos fungicidas, insecticidas, herbicidas o activadores de plantas, antes de plantarlos directamente en el campo. El documento WO 2009 000402 enfatiza que los esquejes de yema única pueden tratarse con un recubrimiento (por ejemplo, parafina) para retener la humedad de las piezas

15 de tallo y un producto químico de protección de cultivos (incluidos fungicidas, insecticidas, herbicidas o activadores de plantas) o un compuesto que tenga actividad estimulante del crecimiento antes de plantar directamente en el campo.

La tecnología de trozos de yemas utiliza partes aún más

20 pequeñas de una planta de caña de azúcar para cultivar una plántula en comparación con el método esqueje de yema única. Los trozos de yemas se producen a partir de tallos de caña de azúcar extirpando las yemas axilares junto con el material del tallo circundante, pero sin cortar por completo el tallo.

Los trozos de yemas tienen la ventaja de ser incluso más pequeños que los esquejes utilizados convencionalmente en la siembra de caña de azúcar y un solo tallo puede usarse para producir más trozos de yemas comparados con dos o tres
5 arreglos de yema, lo que reduce el área necesaria para el cultivo de caña de semilla y el volumen de material de siembra para ser transportado a los campos. Además, la parte restante del tallo utilizado para extirpar el trozo de yema se puede procesar en recursos de valor, como azúcar, alcohol
10 y electricidad.

Ravindra et al., 2013 (Sugar Tech 15(1), 27-35) divulgan la comparación de plantaciones mecánicas de plántulas de caña de azúcar producidas a partir de trozo de yemas con la plantación manual de tales plántulas. El rendimiento y la
15 calidad del jugo de la caña de azúcar sembrados con ambos métodos fueron comparables, en donde los costos fueron mayores para la siembra manual.

Ramaiah et al., 1977 (Proc. Inter Soc. Sugar Cane Technol, 1509-1513) divulga la comparación de cultivos de
20 caña de azúcar establecidos mediante el uso de plántulas producidas a partir de trozo de yemas con cultivos de caña de azúcar establecidos mediante plantación de esqueje de tres yemas convencional. Se incluyó en el método un tratamiento fungicida de los trozos de yemas antes de la transferencia al

medio de crecimiento. No se observaron diferencias significativas en el rendimiento entre los cultivos establecidos por ambos métodos, pero el costo del método del trozo de yema fue significativamente menor. Esto se debió
5 principalmente a que se utilizó mucho menos material de las plantas madre que en el método de trozo de yema (200-300 kg por hectárea) comparado con el método de siembra convencional (8,000 kg por hectárea).

Jain et al. (2010, Sugar Tech 12(1), 67-69) divulga que
10 el tratamiento de trozos de yema con Etefón (ácido 2-cloroetilfosfónico) o CaCl_2 tiene efectos positivos sobre la frecuencia de brotación de trozo de yemas, número de raíces y peso y peso de brotes de plántulas obtenidas de los trozos de yemas. También se divulgó un hallazgo previo de que el Etefón
15 y el CaCl_2 son capaces de promover la germinación de los plantones de caña de azúcar y las yemas subterráneas (vástagos).

Loganandhan et al. (2013, Sugar Tech 15(1), 98-102) resume los principales resultados obtenidos previamente en la
20 siembra de cultivos de caña de azúcar procedentes de trozos de yemas y compara la siembra de caña de azúcar de las plántulas de caña de azúcar de viveros producidas con trozo de yemas de caña con la siembra de esqueje convencional. En el método del trozo de yema, se recomienda el tratamiento

fungicida de los trozos antes de la transferencia al medio de crecimiento. Los campos plantados con plántulas de vivero producidas a partir de los trozos de yemas revelaron un mayor número de vástagos, mayores números de tallos cortables y
5 mayores rendimientos. Se presentan los parámetros óptimos relacionados con la edad y el tamaño de la yema, el medio de cultivo y el tamaño de la bandeja para cultivar las plántulas de trozo de yemas. Además, se propone un espaciamiento más amplio entre plántulas trasplantadas en el campo para
10 aumentar el rendimiento.

Otro enfoque conocido es el llamado método bolsa de polietileno desarrollado originalmente por Silva (1975, en: Seminário Copersucar da agroindustria Açucareira, 3. Águas de Lindóia, Anais ... Águas de Lindóia: COPERSUCAR, 211-214)
15 para el control de la enfermedad de raquitismo de la caña de azúcar (infección por *Leifsonia xyli* subsp. *Xyli*). El aspecto determinante de este método es que cada plántula o germinado de caña de azúcar se incluye en una contención (bolsas o tubos de plástico) y se planta en el campo junto con la
20 contención. Las plántulas de caña de azúcar para el método de bolsa de polietileno se pueden obtener mediante el método de rayungan (estratificado) (Keethipala et al., 2001, Sugar Tech 3(3), 106-108) o el método de yema simple (nudo) (Landell et

al., 2013), Ribeirão Preto: Instituto Agronómico de Campinas, 16 (IAC. Documentos, 109).

Landell et al. (2013, Ribeirão Preto: Instituto Agronómico de Campinas, 16 (IAC. Documentos, 109) divulga un
5 método para obtener germinados de caña de azúcar de esquejes de yema simple (nudo). Los tallos de 5 a 10 meses se cortan en discos de aproximadamente 3 cm de altura, en donde cada disco comprende una yema, raíces primordiales y tejido de reserva. Los discos de tallo se tratan con productos químicos
10 para la protección de cultivos, en particular fungicidas y calor (para suprimir el crecimiento de plagas) antes de transferirlos a un sustrato y colocarlos en un invernadero (vivero de brotación). Después de 12 días, los discos rebrotados (germinados) se colocan en recipientes (bolsas de
15 plástico o tubos) y se transfieren a otro invernadero (vivero de crecimiento). Después de un período de 60 días, los recipientes que incluyen los germinados se pueden trasplantar al campo.

Mohanty et al. (2015, Sugar Tech 17(2), 116-120)
20 divulgan la producción de plántulas de caña de azúcar procedentes de trozo de yemas extraídos de plantas de caña de azúcar saludables al permitir la germinación de yemas en contenciones (conos) antes del trasplante al campo (tecnología SSI). El número, la longitud y el perímetro de

las cañas cortables, el peso promedio de la caña y el rendimiento de la caña fueron significativamente mayores en los campos de caña de azúcar plantados con tecnología SSI en comparación con los sembrados con los esquejes convencionales
5 (cada uno comprendiendo tres yemas).

De la discusión anterior se deduce que los métodos conocidos para la producción de material de siembra de caña de azúcar tienen sus ventajas y desventajas.

Aunque todavía se utiliza en muchos países y zonas de
10 cultivo de caña de azúcar, los métodos convencionales que utilizan dos, tres o más esquejes de yema para plantar cultivos de caña de azúcar necesitan una gran cantidad de material que por un lado reduce el material de cosecha que puede convertirse en recursos de valor y por otro lado
15 requiere una gran cantidad de tonelaje de material de siembra para ser transportado a los campos. Los costos más altos en la siembra de caña de azúcar surgen de la producción de material de siembra respectivo.

La micropropagación de cultivos tisulares es demasiado
20 costosa para la producción comercial de material de siembra de caña de azúcar y, por lo tanto, no es competitiva con los métodos de plantación convencionales.

Debido a la reducción del tamaño del esqueje en comparación con los métodos convencionales, el método de yema

simple (nudo) ahorra material de semillas y costos para el transporte de material de siembra de caña de azúcar al campo. Los esquejes de yema simple (nudo) directamente plantadas en el campo muestran una disminución del índice de germinación en comparación con la siembra de tres o dos esquejes de yemas que conducen a una reducción en el rendimiento por hectárea (Darpana & Patel, 2014, The Biosacn 9(1), 55-57)

Los trozos de yemas reducen la cantidad de material que se debe extraer de la planta madre y, por lo tanto, permiten que se recolecte más material de la planta madre para ser cosechados y convertidos en productos de alto valor. Sin embargo, Shanthi y Ramanjaneyulu (2014, Indian Res. J. Ext. Edu 14(3), 93) divulgan que el cultivo de plántulas de caña de azúcar de los trozos de yemas presenta problemas incluso cuando se procesan en un vivero: se deben tomar un trozo de yema de las plantas más jóvenes (6-8 meses); incluso debe evitarse el ligero daño a las yemas; se requiere un suelo de alta calidad para cultivar las plántulas; cortar trozos de yemas de los tallos de caña de azúcar es un proceso laborioso.

El método de Rayungan requiere una gran cantidad de espacio, ya que solo se utilizan brotes laterales primarios como material de siembra (Sugiyarta y Winarsih, 2009, Sugar Tech 11(1), 22-27). El uso de brotes laterales secundarios y

de orden superior en el método de Rayungan estratificado requiere menos espacio que el método Rayungan, pero se necesitan varios pasos de poda (decapitación). Después de cada poda, se requiere tiempo hasta que surgen los siguientes
5 brotes laterales de orden superior. Por lo tanto, el método de rayungan estratificado requiere mucho tiempo y trabajo.

Se sabe que el uso de cultivos de caña de azúcar como plantas madre para producir material de siembra de caña de azúcar conlleva un alto riesgo de producir material de
10 siembra infectado. Por lo tanto, es bien aceptado que la caña de azúcar para la producción de caña de semilla debe cultivarse separadamente de los cultivos de caña de azúcar. El cultivo de plántulas en un vivero contribuye además a aumentar el material de siembra de caña de azúcar libre de
15 enfermedades y a ahorrar agua durante la fase de crecimiento de las plántulas. El uso de plántulas precrecidas para la cría de cultivos de caña de azúcar permite establecer un esquema de plantación bien definido que conduce a un cultivo regular y, por lo tanto, un aumento en el rendimiento de los
20 tallos cosechados y cortables.

Por lo tanto, todavía es necesario mejorar aún más la producción de semillas de caña de azúcar.

El objeto de la presente invención, por lo tanto, es la provisión de un método para la producción de material de

siembra de caña de azúcar elegible para establecer cultivos de caña de azúcar de una manera eficiente en tiempo, coste y trabajo.

Una primera realización de la invención, por lo tanto,
5 se refiere a un método para producir una plántula de caña de azúcar que comprende los pasos de

a) tratar plantas de caña de azúcar con un regulador de crecimiento de plantas liberador de etileno

b) cultivar adicionalmente las plantas de caña de azúcar
10 rociadas de acuerdo con el paso a)

c) podar las partes superiores de los tallos principales y las partes superiores de los brotes laterales recién producidos de las plantas de caña de azúcar cultivadas de acuerdo con el paso b)

15 d) cultivar adicionalmente las plantas de caña de azúcar podadas obtenidas en el paso c)

e) eliminar los brotes laterales de las plantas obtenidas en el paso d)

f) tratar los brotes laterales obtenidos de acuerdo con
20 el paso e) con una auxina

g) transferir los brotes laterales tratados de acuerdo con el paso f) a un sustrato de crecimiento y hacer crecer brotes laterales en un clima acondicionado

h) obtener (enraizar) plántulas de caña de azúcar de los brotes laterales cultivados de acuerdo con el paso g).

El término "caña de azúcar" como se usa en la presente divulgación tendrá el significado común actual en la técnica,
 5 que comprende las especies *Saccharum spontaneum* L., *Saccharum sinense* (Roxb) Jesw., *Saccharum barberi* Jesw., *Saccharum officinarum* L., *Saccharum robustum* Brandes y Jeswiet ex Grassl. y *Saccharum edule* Hassk. *Saccharum spontaneum* y *Saccharum robustum* son especies silvestres. *Saccharum*
 10 *sinense*, *Saccharum barberi*, *Saccharum officinarum* y *Saccharum edule* son comúnmente conocidos y también se entiende aquí que representan "especies cultivadas de caña de azúcar" o "plantas cultivadas de caña de azúcar". (Moore et al., en Sugarcane: Physiology, Biochemistry and Functional Biology,
 15 Ed.: Moore y Botha, Wiley 2014, Capítulo 1).

"Plántula de caña de azúcar", como se usa en el presente documento, se entiende que es una planta joven de caña de azúcar que tiene hojas, un tallo (estípote, varilla) y raíces. Los germinados representan una realización específica
 20 de una plántula de caña de azúcar.

Por germinado se entiende aquí un esqueje, que comprende raíz(ces) y brote(s) que incluyen hojas.

Se entenderá que esqueje significa piezas de tallo o estacas que comprenden uno o más nudos que incluyen yemas

laterales (axilares).

La edad de una planta de caña de azúcar se determina calculando el tiempo transcurrido entre la fecha real y la fecha de inicio. La edad se puede calcular en términos
5 comunes de medición del tiempo, como días, meses, años, pero preferiblemente se mide aquí en meses. En la técnica, se han establecido varios sistemas para cultivar plantas de caña de azúcar o cultivos de caña de azúcar. Cuando se siembran plántulas, la fecha de inicio es el día de la transferencia
10 de la plántula a condiciones de crecimiento normales o trasplantar la plántula al campo. Cuando se cultivan plantas de caña de azúcar de retoño, la fecha de inicio es la fecha en que los vástagos se vuelven visibles en la cepa. Cuando los esquejes se usan para plantar plantas de caña de azúcar,
15 la fecha de inicio es la fecha en que las plántulas emergen del suelo.

"Retoño" debe entenderse aquí como una planta o cultivo que se cultiva a partir de la cepa (las raíces y los rizomas que permanecen debajo del suelo)

20 La "cepa" se entiende comúnmente en la técnica y también se debe entender aquí como la parte de una planta de caña de azúcar que se deja en el suelo después de la recolección, incluidas las raíces subterráneas y los rizomas.

"Vástago", como se usa en este documento, tiene el

significado común en la técnica y debe entenderse que significa brotes que surgen de yemas subterráneas (debajo de la superficie del suelo) del tallo principal (estípite, varilla).

5 Las plantas de caña de azúcar en el paso a) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención pueden ser cualquier planta de caña de azúcar, incluidas plantas de caña de azúcar de una variedad comercial, o plantas de caña de azúcar de variedades que se
10 propagarán incluyendo nuevas variedades que se propagarán para su comercialización. Por lo tanto, el método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención puede usarse para la producción de material de siembra de caña de azúcar de variedades comerciales ya
15 existentes o puede usarse para la multiplicación de (nuevas) variedades. Las plantas de caña de azúcar en el paso a) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención pueden haber crecido a partir de cualquier material adecuado, como esquejes de yemas simples o
20 múltiples, germinados, retoños, trozo de yemas, plántulas, en donde las plántulas pueden haberse obtenido de cualquier material adecuado, incluido el material cultivado o propagado *in vitro* o en cultivo tisular.

El "trozo de yema" se entiende comúnmente en la técnica

y también se entenderá en la presente divulgación que significa una parte de tallo corto que comprende una parte de un nódulo que incluye una sola yema lateral (axilar).

Con respecto al paso a) del método para producir una
5 plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención, las plantas de caña de azúcar tienen entre 4 meses y 14 meses, preferiblemente entre 5 meses y 12 meses, más preferiblemente entre 5 meses y 10 meses, aún más preferiblemente entre 5 meses y 9 meses, incluso más preferiblemente entre 5 meses y
10 8 meses, particularmente preferiblemente entre 5 meses y 7 meses y lo más preferiblemente entre 6 y 7 meses cuando se trata con un regulador de crecimiento que libera etileno.

"Regulador de crecimiento de planta liberadora de etileno" se entiende aquí que significa una sustancia química
15 que induce la producción de etileno en el tejido de la planta o induce la liberación de etileno del tejido de la planta.

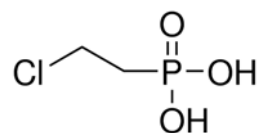
Se sabe en la técnica que el etileno en sí mismo, cuando se aplica a las plantas, estimula su propia producción en los tejidos de las plantas y la liberación de etileno a partir de
20 estos tejidos (Woodward & Bartel, 2005, *Annals of Botany* 95, 707-735; EF George et al. (eds.), 2008, *Plant Propagation by Tissue Culture* [Propagación de plantas por cultivo de tejidos] 3ª edición, Springer, 227-281). Por lo tanto, se entiende aquí que el etileno mismo representa un regulador de

crecimiento de plantas que liberan etileno.

Otros reguladores del crecimiento de plantas de etileno son conocidos en la técnica y comprenden sustancias que estimulan la producción de etileno en las plantas y su
 5 posterior liberación al medio ambiente circundante. Tales sustancias comprenden las sustancias ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), auxinas naturales de metionina y auxinas sintéticas.

Las sustancias que liberan etileno de las plantas
 10 también son conocidas en la técnica. La sustancia más común que se absorbe en las plantas, posteriormente se descompone en la planta seguida por liberación de etileno es el ácido 2-cloroetilfosfónico (Número CAS: 16672-87-0) también conocido bajo el nombre común "Etefón" (E.F. George et al., (eds.),
 15 2008, Plant Propagation by Tissue Culture 3^a Edición, Springer, 227-281).

El etefón tiene la siguiente fórmula:



El etefón está disponible comercialmente, por ejemplo,
 20 de Sigma-Aldrich (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Munich, Alemania). El etefón es el compuesto activo de diversos productos agrícolas como Ethrel® (Bayer S/A, Rua Domingos Jorge, 1.100 - CEP: 04779-900 - São Paulo/SP).

El término "etefón" como se usa en la presente divulgación no sólo comprenderá la forma ácida sino también sus sales. Las sales preferidas en relación con la presente invención son sales de etefón de metal alcalino, metal
5 alcalinotérreo o amoniaco. Con respecto a las sales de metal alcalino de etefón, en la presente divulgación se prefieren las sales de sodio o potasio. Con respecto a las sales de etefón alcalinotérreas, las sales de magnesio o calcio se prefieren en la presente divulgación.

10 El término "auxina" se entiende en el presente como que comprende auxinas naturales y sintéticas.

Las "auxinas naturales" son aquellas que son producidas por plantas y que comprenden las sustancias ácido indol-3-acético (IAA), ácido 2-fenilacético (PAA), ácido 4-
15 cloroindol-3-acético (4-Cl-IAA), ácido indol-3-butírico (IBA) (Sauer et al., 2013, J. Exp. Botany 64(9), 2565-2577).

Las "auxinas sintéticas" son aquellas que no se producen de forma natural en las plantas y comprenden ácido alfa-naftilacético (NAA), ácido 3,6-dicloroanisico (dicamba),
20 ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético (2,4,5-T), ácido 2-metil-4-clorofenoxiacético (MCPA), ácido 4-amino-3,5,6-tricloropicolínico (picloram), 2-cloro-3 (2,3-diclorofenil) propionitrilo (CDPPN), ácido paraclorofenoxiacético (PCPA),

ácido beta-naftiloxiacético (NOA), ácido 2,4-diclorofenilselenoacético, ácido 3-(benzo[b]selenienil) acético (E. F. George et al. (eds.), 2008, Plant Propagation by Tissue Culture [Propagación de plantas por cultivo de tejidos] 3a edición, Springer, 175-204), 2-cloro-3-(3-cloro-2-metilfenil) propionitrilo (CCMPPN), 2-cloro-3-(2,3 - diclorofenil) butironitrilo (CDPBN) (Németh, 1981, Scientia Horticulturae 14, 253-259). El ácido indol-3-propiónico (IPA) actúa sobre las plantas como una auxina, es producido naturalmente por bacterias presentes en el tracto gastrointestinal humano, pero no por las plantas. Por lo tanto, se entiende que es una auxina sintética.

Con respecto a el paso a) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención, el regulador de crecimiento de la planta que libera etileno puede ser cualquier sustancia que tenga como resultado la liberación de etileno del tejido de la planta al ambiente circundante. Preferiblemente, el regulador del crecimiento de la planta liberadora de etileno en el paso a) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención se selecciona de entre los grupos que consiste en ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), auxinas naturales o sintéticas o etefón.

A este respecto, las auxinas naturales preferidas a usar

en el paso a) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención son ácido indol-3-acético (IAA), ácido 2-fenilacético (PAA), ácido 4-cloroindol-3-acético (4-Cl-IAA), ácido indol-3-butírico (IBA), más preferiblemente IAA, IBA o PAA, más preferiblemente IAA o IBA.

Las auxinas sintéticas preferidas a usar en el paso a) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención son NAA (ácido alfa-naftilacético), dicamba (ácido 3,6-dicloroanísico), 2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético), 2,4,5-T (ácido 2,4-triclorofenoxiacético), MCPA (ácido 2-metil-4-clorofenoxiacético), picloram (ácido 4-amino-3,5,6-tricloropicolínico), CDPPN (2-cloro-3 (2,3-diclorofenil) propionitrilo), PCPA (ácido paraclorofenoxiacético), NOA (ácido beta-naftiloxiacético), ácido 2,4-diclorofenilselenoacético, ácido 3-(benzo[b]selenienil) acético, más preferido son NAA, dicamba, 2,4-D, 2,4,5-T, MCPA o picloram, incluso más preferidos son NAA, 2,4-D, dicamba, MCPA o picloram más preferidos son 2,4-D, dicamba, MCPA o picloram.

En la realización más preferida de la invención, el regulador de crecimiento de planta liberadora de etileno con respecto al paso a) del método para producir una plántula de

caña de azúcar de acuerdo con la invención es etefón o una sal del mismo.

Tratar las plantas con auxinas normalmente muestra un efecto perjudicial sobre el crecimiento de las plantas, como lo demuestra el hecho de que varias auxinas sintéticas (por ejemplo, 2,4-D, dicamba, picloram) se usan como ingredientes activos en herbicidas o se usan como desecantes de precosecha, lo que lleva a que las hojas de la planta se sequen. El regulador del crecimiento de las plantas, etefón también se usa comúnmente en regiones subtropicales para inducir la desecación de la caña de azúcar. Por lo tanto, fue sorprendente que las auxinas y los reguladores del crecimiento cuando se aplican a las plantas de caña de azúcar inducen la producción de brotes laterales en lugar de detener el crecimiento de las plantas cuando se usan comúnmente.

El tratamiento con un regulador de crecimiento de planta liberadora de etileno con respecto al paso a) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención significa aplicar un regulador de crecimiento de planta liberadora de etileno por cualquier medio que ponga la planta de caña directamente en contacto con un regulador de crecimiento de la planta liberadora de etileno. Por lo tanto, el tratamiento incluye la aplicación de sustancias gaseosas como etileno por aireación, sustancias sólidas en forma de

polvos o en forma de soluciones, emulsiones o dispersiones.

Las soluciones, emulsiones o dispersiones pueden aplicarse por cualquier medio adecuado a las plantas de caña de azúcar, preferiblemente se aplican al rociar las plantas

5 de caña de azúcar en el paso a) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención con una solución, emulsión o dispersión respectiva. Dicamba, 2,4-D, MCPA o picloram están disponibles comercialmente como herbicidas fácilmente formulados. El etefón también está

10 disponible comercialmente como regulador de crecimiento fácilmente formulado (por ejemplo, Ethrel®, Bayer S/A). Las formulaciones respectivas pueden usarse para preparar soluciones diluidas apropiadamente o cuando sea aplicable emulsiones o dispersiones, para tratar las plantas de caña de

15 azúcar en el paso a) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención.

En una realización específicamente preferida de la invención en el paso a) del método de acuerdo con la invención para producir una plántula de caña de azúcar, se

20 rocía una solución que comprende etefón o una sal de la misma sobre la planta de caña de azúcar.

El rociado se puede realizar por cualquier medio adecuado, incluyendo rociado manual con dispositivos de rociado manual de cualquier tipo, rociado mecánico utilizando

los dispositivos respectivos como rociador de tanque, y rociadores automáticos, etc. La persona experta en la técnica conoce los diferentes métodos y dispositivos de rociado. El método y tipo de rociado, equipo o dispositivo de rociado no son decisivos y pueden ser elegidos por el experto de acuerdo con las circunstancias dadas.

En una realización preferida de la invención, las plantas de caña de azúcar en el paso a) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención es rociada con una solución que comprende etefón en una cantidad de 14.5 gramos por litro (g/l) a 36.0 g/l, más preferido en una cantidad de 18.5 g/l a 33.0 g/l, incluso más preferido en una cantidad de 22.0 g/l a 29.5 g/l, aún más preferido en una cantidad de 24.5 g/l a 27.5 g/y más preferido en una cantidad de 25.5 g/l a 26.5 g/l. Las cantidades en g/l se calculan en base al peso seco del ingrediente activo (etefón) presente en 1 litro de solución final (rociado).

Cuando se utilizan los productos comercialmente disponibles Ethrel® 720 (Bayer S/A) o Etefón 720 (por ejemplo, Kenso agacare, Bulimba, Qld 4171, Australia o Cheminova, North Ryde, NSW 2113, Australia) las plantas de caña de azúcar en el paso a) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención se

rocía con una solución que comprende Ethrel® 720 o Etefón 720 en una cantidad de 20.0 mililitros por litro (ml/l) a 50.0 ml/l, más preferido en una cantidad de 26.0 ml/l a 46.0 ml/l, aún más preferido en una cantidad de 31.0 g/l a 41.0 ml/l, 5 aún más preferido en una cantidad de 34.0 ml/l a 38.0 ml/l y más preferido en una cantidad de 35 ml/l a 37 ml/l.

En otra realización preferida de la invención, se aplica el regulador de crecimiento de plantas liberador de etileno con respecto al paso a) del método para producir una plántula 10 de caña de azúcar de acuerdo con la invención, preferiblemente rociada sobre el dosel de las plantas de caña de azúcar, preferiblemente el crecimiento de la planta liberadora de etileno se aplica un regulador, preferiblemente rociado solo sobre el dosel de las plantas de caña de azúcar.

15 "Dosel" se entenderá en relación con la presente invención como las hojas superiores de una planta de caña de azúcar o soporte que forman una capa continua de hojas.

Después de que las plantas de caña de azúcar han sido tratadas con un regulador de crecimiento de planta liberadora 20 de etileno, se producirán nuevos brotes laterales en los tallos madre de las plantas tratadas cuando se cultiven de acuerdo con el paso b) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención. Sorprendentemente se descubrió que el tratamiento de plantas

de caña de azúcar con cantidades específicas de etefón indujo la producción de brotes laterales. Además, se encontró que el número de brotes aumentó significativamente después de la aplicación de etefón a las plantas de caña de azúcar en

5 comparación con el método de Rayungan, en el que la producción lateral de brotes se induce podando el tallo principal de la caña de azúcar. Se podrían producir de 2 a 3 veces más brotes laterales en una sola planta cuando se usa etefón, en comparación con el método tradicional de Rayungan.

10 Por lo tanto, el uso de etefón reduce el espacio necesario para la producción de brotes laterales, ya que se utilizan menos plantas madre para producir una cantidad específica de brotes laterales. Además, la producción de brotes laterales sobre el tratamiento con etefón resultó ser más uniforme, en

15 comparación con los métodos tradicionales. Por lo tanto, los brotes laterales producidos en el tallo madre se encuentran en una etapa de desarrollo comparable y similar. Por lo tanto, se pueden llevar a cabo tratamientos adicionales para la producción de plántulas de caña de azúcar en un punto en

20 el tiempo para todas las plantas, lo que permite ahorrar tiempo para grupos diferentes de plantas que deben tratarse de manera diferente. Esto ahorra trabajo y tiempo y, por consiguiente, costos. Además, una producción de brotes laterales más uniforme permite mejorar la planificación

precisa del proceso de producción de plántulas. Cuando, por ejemplo, se sabe que se requiere una cantidad determinada de plántulas en un punto definido en el tiempo, se puede definir fácilmente cuándo comenzar con la producción de plántulas, cuándo realizar qué pasos adicionales y cuándo estará disponible la cantidad requerida de nuevas plántulas. Por lo tanto, el método divulgado en la presente permite una planificación precisa de la producción de plántulas y, por lo tanto, permite la entrega justo a tiempo de plántulas al agricultor o para el mismo.

"Tallo" se entiende comúnmente y tendrá el significado en este documento para referirse al tallo cortable de una planta de caña de azúcar compuesto por unidades fitoméricas que se repiten, cada una conteniendo un nudo y un entrenudo.

"Tallo" se usa en la técnica, así como en este documento como sinónimo e intercambiablemente con los términos "varilla" o "estípite".

"Brote" significará aquí ser un tallo joven que surge de una yema.

El "brote lateral" es comúnmente y debe entenderse aquí que significa todos los brotes que surgen en la ubicación de una yema ubicada en las partes del área (por encima del suelo) de un tallo o brote. El término genérico "brote lateral" abarca brotes primarios, secundarios terciarios y de

orden superior que surgen en la ubicación de una yema ubicada en las partes del tallo aéreas (por encima del suelo).

El "brote lateral" se usa en la técnica, así como en el presente documento como sinónimo e intercambiable con el
5 término "brote axilar".

El "brote lateral primario" es comúnmente y debe entenderse aquí que se refiere únicamente a los brotes que surgen directamente de una yema localizada en las partes del área del tallo.

10 El "brote lateral secundario" es comúnmente y debe entenderse aquí que se refiere solamente a los brotes que surgen directamente de una yema localizada en el brote lateral primario.

Del mismo modo, los brotes laterales de orden superior
15 (terciario, cuaternario, etc.) son comunes y se entenderá que se refieren únicamente a los brotes que surgen directamente de una yema ubicada sobre un brote previo de orden inferior (secundario, terciario, etc., respectivamente).

El "tallo madre" se entenderá en este documento en
20 referencia al tallo del que se deriva o escinde el material de siembra (cortado).

El crecimiento de las plantas de caña de azúcar con respecto al paso b) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención se puede hacer

como se conoce convencionalmente. Las plantas pueden mantenerse bajo las condiciones con las que han sido cultivadas antes. Una persona experta conoce bien las condiciones bajo las cuales se cultivará la caña de azúcar.

5 Con respecto al paso b) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención, las plantas de caña de azúcar se cultivan hasta que se producen brotes laterales, preferiblemente las plantas de caña de azúcar se cultivan durante otros 14 días a 21 días después
10 del rociado, más preferiblemente durante otros 16 días a 19 días después del rociado, aún más preferiblemente durante 17 días a 18 días después del rociado, incluso más preferiblemente las plantas de caña de azúcar se cultivan durante otros 14 días a 16 días después del rociado.

15 La poda en el paso c) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención puede realizarse por métodos conocidos convencionalmente. La poda se puede hacer a mano usando cualquier herramienta adecuada o la poda se puede hacer mediante el uso de máquinas adecuadas.
20 Preferiblemente, la parte superior de los tallos de la red y la parte superior de los brotes laterales recién producidos en el paso c) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención se cortan en una posición que elimina el meristema apical del tallo. Los

brote laterales recién producidos a cortar en el paso c) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención pueden comprender brotes laterales primarios y secundarios.

5 El "meristemo apical" como se usa en este documento tiene el significado común en la técnica y se entiende que es el punto de crecimiento en la parte superior (punta) del tallo o brote que es responsable del crecimiento vertical del tallo o brote, respectivamente.

10 El cultivo de las plantas de caña de azúcar después de la poda conducirá a la producción de brotes laterales de orden secundario o superior desde los brotes laterales primarios o de orden inferior. El crecimiento de las plantas de caña de azúcar con respecto al paso d) del método para
15 producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención puede hacerse como se conoce convencionalmente. Las plantas pueden mantenerse bajo las condiciones que han sido cultivadas antes. Una persona experta conoce bien las condiciones bajo las cuales se cultivará la caña de azúcar.

20 Con respecto al paso d) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención, las plantas de caña de azúcar se cultivan hasta que se producen brotes laterales secundarios o incluso superiores, preferiblemente las plantas de caña de azúcar se cultivan

durante 20 días a 23 días después de la poda, más preferiblemente, las plantas de caña de azúcar se cultivan durante otros 18 días a 21 días después de la poda, incluso más preferiblemente las plantas de caña de azúcar se cultivan
5 durante otros 16 días a 19 días después de la poda.

En el paso e) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención, los brotes laterales recién formados se retiran del tallo madre. Los brotes laterales que deben extraerse del tallo madre pueden
10 ser brotes laterales primarios o secundarios, preferiblemente los brotes laterales que deben extraerse del tallo madre son brotes laterales secundarios. Los brotes laterales se pueden extraer de los tallos madre cortando los brotes laterales usando cuchillos o usando herramientas específicas, como
15 tijeras extractoras de brotes.

Opcionalmente, los brotes laterales eliminados en el paso e) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención se mantienen a temperatura reducida después de retirarlos del tallo madre. Esta parte
20 opcional del paso e) se usa en particular, cuando los brotes laterales deben almacenarse durante algún tiempo antes de que se realice el tratamiento con una auxina de acuerdo con el paso f). Si los brotes laterales se mantienen a baja temperatura, preferiblemente los brotes laterales se

transfieren inmediatamente a un entorno de baja temperatura después de la eliminación del tallo madre. A este respecto, la transferencia inmediata de los brotes laterales a temperatura reducida preferiblemente debe entenderse como la

5 transferencia de los brotes laterales a un entorno de temperatura reducida inferior a 25 minutos, más preferiblemente inferior a 20 minutos, más preferiblemente aún inferior a 15 minutos, incluso más preferiblemente menos de 10 minutos, lo más preferiblemente menos de 5 minutos

10 después de la eliminación del tallo madre.

Las temperaturas reducidas en la parte opcional del paso e) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención preferiblemente significan una temperatura que es significativamente inferior a la

15 temperatura del ambiente a partir del cual se obtienen los brotes laterales, preferiblemente, la temperatura reducida tiene un valor de entre 12°C y 18°C, más preferiblemente de entre 13°C y 17°C, aún más preferiblemente de 14°C y 16°C.

En una realización preferida de la invención, los brotes

20 laterales en la parte opcional del paso e) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención se mantienen a la temperatura reducida como máximo durante 30 horas, más preferiblemente como máximo durante 24 horas, aún más preferiblemente durante un máximo de 18 horas,

aún más preferiblemente durante un máximo de 12 horas, lo más preferiblemente durante un máximo de 6 horas.

El entorno de temperatura reducida en la parte opcional del paso e) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención puede establecerse por cualquier medio adecuado para una persona experta en la técnica. El entorno puede ser, por ejemplo, cajas refrigeradas, bolsas de enfriamiento, refrigeradores, etc.

Cuando los brotes laterales se mantuvieron a temperatura reducida de acuerdo con la parte opcional del paso e) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención, los brotes laterales se tratan con una auxina inmediatamente después de haber sido eliminados del entorno de temperatura reducida y posteriormente transferidos en un sustrato de crecimiento.

En caso de que el paso opcional del paso e) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención no se realice, el tratamiento con una auxina de acuerdo con el paso f) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención se realiza en breve después de la eliminación de los brotes laterales de las plantas, preferiblemente el tratamiento con una auxina se realiza entre 0 minutos (min) y 180 min, más preferiblemente entre 0 min y 150 min, aún más preferiblemente entre 0 min y

120 min, incluso más preferiblemente entre 0 min y 90 min, incluso más preferiblemente entre 0 min y 60 min, lo más preferiblemente entre 0 min y 30 min después de la eliminación de los brotes laterales de las plantas.

5 Preferiblemente, solo las partes inferiores de los brotes laterales se tratan con una auxina en el paso f) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención. Preferiblemente, 2 centímetros (cm) a 10 cm, más preferiblemente 2 cm a 8 cm, incluso más
10 preferiblemente 2 cm a 6 cm y lo más preferiblemente 2 cm a 5 cm de la parte inferior del brote lateral se sumergen en una solución que contiene auxina en el paso f) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención.

15 El tratamiento con una auxina en el paso f) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención puede ocurrir por cualquier medio adecuado, por ejemplo, la parte inferior de los brotes laterales se puede rociar o untar con brocha o sumergir en una solución que
20 contenga auxina.

La auxina en el paso f) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención puede ser una auxina natural o una auxina sintética.

En una realización de la invención, la auxina en el paso f) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención se selecciona del grupo que consiste en ácido indol-3-acético (IAA), ácido 2-fenilacético (PAA),
5 ácido 4-cloroindol-3-acético (4-Cl-IAA), ácido indol-3-butírico (IBA), ácido alfa-naftilacético (NAA), ácido beta-naftiloxiacético (NOA), ácido 2,4-diclorofenilselenoacético, 3-(benzo[b]selenienil) acético, ácido indol-3-propiónico (IPA), 2-cloro-3-(3-cloro-2-metilfenil) propionitrilo
10 (CCMPPN), 2-cloro-3-(2,3-diclorofenil) propionitrilo (CDPPN), 2-cloro-3-(2,3-diclorofenil) butironitrilo (CDPBN). En una realización preferida de la invención, la auxina en el paso f) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención se selecciona del grupo que consiste
15 en IAA, PAA, 4-Cl-IAA, IBA, NAA, NOA, IPA o CDPPN, más preferiblemente la auxina en el paso f) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención se selecciona del grupo que consiste en IAA, IBA, NAA, IPA, aún más preferiblemente la auxina en el paso f) del
20 método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención se selecciona del grupo que consiste en IAA, IBA o NAA, incluso más preferiblemente la auxina en el paso f) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención se selecciona del grupo

que consiste en IBA o NAA, más preferiblemente la auxina en el paso f) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención, es IBA.

En una realización de la invención, la auxina en el paso
5 f) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención, los brotes laterales se tratan con una solución de auxina, donde la concentración de auxina en la solución está entre 0.5 gramos por litro (g/l) a 2.7 g/l, preferiblemente entre 0.7 g/l a 2.5 g/l, más preferiblemente
10 entre 0.9 g/l a 2.3 g/l, aún más preferiblemente entre 1.1 g/l a 2.1 g/l, más más preferiblemente entre 1.3 g/l y 1.9 g/l, más preferiblemente entre 1.5 g/l y 1.7 g/l.

En una realización específica de la invención, la auxina en el paso f) del método para producir una plántula de caña
15 de azúcar de acuerdo con la invención, los brotes laterales se tratan con una solución de auxina, donde la auxina es IBA y la concentración de IBA en la solución está entre 0.5 gramos por litro (g/l) a 2.7 g/l, preferiblemente entre 0.7 g/l a 2.5 g/l, más preferiblemente entre 0.9 g/l a 2.3 g/l,
20 aún más preferiblemente entre 1.1 g/l a 2.1 g/l, aún más preferiblemente entre 1.3 g/l y 1.9 g/l, más preferiblemente entre 1.5 g/l y 1.7 g/l.

Los brotes laterales de acuerdo con el paso f) del método para producir una plántula de caña de azúcar de

acuerdo con la invención se transfieren a un sustrato de crecimiento después del tratamiento con una auxina. El crecimiento permite la producción de raíces por los brotes laterales. Preferiblemente, el sustrato de crecimiento está
5 presente en un recipiente. El recipiente puede seleccionarse de cualquier recipiente adecuado, como macetas, cubetas, bandejas, bolsas o bandejas con separaciones y similares. Los recipientes pueden estar hechos de material sintético o natural, incluido material biodegradable. Se prefieren las
10 macetas, cubetas o bandejas con separaciones, que permiten el crecimiento de un único brote lateral en una sola área de crecimiento.

El sustrato de crecimiento puede ser cualquier sustrato elegible para cultivar caña de azúcar. Dichos sustratos
15 elegibles de caña de azúcar son bien conocidos por una persona experta en la técnica. Preferiblemente, el sustrato comprende vermiculita o fibra de coco, más preferiblemente vermiculita y fibra de coco en una proporción de 1:5 a 5:1, aún más preferiblemente vermiculita y fibra de coco en una
20 proporción de 1:3 a 3:1, incluso más preferiblemente vermiculita y fibra de coco en una proporción de 1:2 a 2:1 y más preferiblemente vermiculita y fibra de coco en una proporción de 1:1.

Después de la transferencia a un sustrato de

crecimiento, los brotes laterales, o, según corresponda, los recipientes que comprenden los brotes laterales se cultivan en un clima acondicionado. El entorno para establecer un clima acondicionado de acuerdo con el paso g) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención no es decisivo, siempre que al menos permita el crecimiento de los brotes de caña de azúcar bajo condiciones de humedad o temperatura uniforme. Se prefiere usar un entorno para cultivar los brotes de caña de azúcar que esté equipado con medios técnicos para controlar la humedad o la temperatura. Más preferiblemente, el entorno de clima acondicionado es un invernadero, aún más preferiblemente un invernadero equipado con aire acondicionado o control de humedad.

Con respecto a el paso g) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención, el clima está en promedio preferiblemente acondicionado a una temperatura entre 24°C y 36°C, más preferiblemente a una temperatura entre 26°C y 34°C, aún más preferiblemente a una temperatura entre 28°C y 32°C, incluso más preferiblemente a una temperatura entre 29°C y 31°C y lo más preferiblemente a una temperatura de aproximadamente 30°C.

La humedad relativa del clima acondicionado de acuerdo con el paso g) del método para producir una plántula de caña

de azúcar de acuerdo con la invención se acondiciona preferiblemente a 70 % a 98 %, más preferiblemente a 75 % a 98 %, aún más preferiblemente a 77 % a 98 % incluso más preferiblemente a 80 % a 98 %, en particular preferiblemente a 80 % a 95 %, lo más preferiblemente a 80 % a 90 %.

Los brotes laterales se cultivan en el paso g) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención hasta que los brotes hayan desarrollado suficientemente las raíces. Preferiblemente los brotes laterales se cultivan bajo clima acondicionado en el paso g) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención durante al menos 5 días, más preferiblemente durante al menos 7 días, aún más preferiblemente durante al menos 10 días.

Los brotes laterales se cultivan bajo clima acondicionado en el paso g) del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención, preferiblemente durante un máximo de 15 días, más preferiblemente durante un máximo de 13 días, aún más preferiblemente durante un máximo de 12 días, incluso más preferiblemente durante un máximo de 11 días, más preferiblemente durante un máximo de 10 días.

Preferiblemente los brotes laterales crecen bajo clima acondicionado en el paso g) del método para producir una

plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención durante 5 días a 15 días, más preferiblemente durante 5 días a 13 días, aún más preferiblemente durante 5 días a 12 días, aún más preferiblemente durante 5 días a 11 días, más
5 preferiblemente durante 5 días a 10 días.

En el método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención después de que los brotes laterales cultivados de acuerdo con el paso g) hayan desarrollado raíces, se obtienen plántulas de acuerdo con el
10 paso i). Las plántulas se pueden cultivar en plantas de caña de azúcar de cualquier forma adecuada y deseable. Las plantas de semillero pueden, por ejemplo, crecer en recipientes en cualquier entorno adecuado o deseable o pueden transferirse a los campos. Las plantas de semillero se pueden cultivar para
15 fines de amplificación adicionales por ejemplo repitiendo simplemente el método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención o pueden transferirse a un campo para establecer un cultivo de caña de azúcar o para la producción de más caña de semilla.

20 Otra realización de la presente invención se refiere a un método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención que comprende un paso adicional j) que consiste en hacer crecer la plántula obtenida en el paso i) en un entorno de aclimatación.

El cultivo de las plántulas obtenidas mediante el método de acuerdo con la invención para la producción de una plántula de caña de azúcar en un ambiente de aclimatación es especialmente recomendable para las plántulas destinadas a ser transferidas al entorno natural, incluidos los campos, para el cultivo adicional de plantas de caña de azúcar.

El término "entorno de aclimatación" como se usa en el presente documento se debe entender como un entorno que permite la adaptación de plántulas de caña de azúcar (paso a paso) a otro entorno, en particular la adaptación a humedad o temperatura diferentes y más volátiles.

Los entornos de aclimatación y la configuración de las condiciones respectivas para plántulas de caña de azúcar son conocidos por una persona experta en la técnica.

La aclimatación se realiza con la modificación progresiva de la temperatura y la humedad, hasta que iguale o sea similar a las condiciones de temperatura y humedad del entorno de la región en la que se pretende transferir las plántulas de caña de azúcar. Las condiciones se pueden elegir de acuerdo con el conocimiento común de una persona experta en la técnica y dependen del entorno dado en el que se pretende transferir las plántulas de caña de azúcar.

Preferiblemente, las plántulas obtenidas mediante un método de acuerdo con la invención para la producción de una

plántula de caña de azúcar se cultivan de acuerdo con el paso adicional j) en un entorno de aclimatación durante 16 días a 28 días, más preferiblemente durante 18 días a 26 días, aún más preferiblemente durante 18 días a 24 días, incluso más
5 preferiblemente durante 19 días a 22 días, más preferiblemente durante aproximadamente 21 días.

Las ventajas clave del método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención descrita en este documento se pueden resumir de la siguiente manera.

10 Más del 95 % de los brotes laterales producidos en el tallo principal se convirtieron en plántulas viables. La alta tasa de reproducción reduce la cantidad de tallos principales y, por lo tanto, el espacio necesario para la producción de un número definido de plántulas. También reduce los costos de
15 mano de obra y espacio en el establecimiento de plántulas porque habrá que descartar un bajo número de brotes laterales después de la fase de crecimiento para el desarrollo de la raíz. El desarrollo uniforme de brotes laterales después del tratamiento con etefón se debe en parte a la alta tasa de
20 supervivencia después de la fase del crecimiento radicular.

En comparación con los métodos conocidos para la producción de plántulas de caña de azúcar, se incrementa la tasa de multiplicación, que define el número de plántulas de caña de azúcar producibles a partir de un solo tallo o

vástago de caña de azúcar. En el llamado método convencional de bolsa de polietileno, los germinados (yemas/nudos simples) germinaron en una bolsa que contiene sustrato de cultivo, la tasa de multiplicación es de 1:20. El método de trozo de yema
5 convencional tiene una tasa de multiplicación de aproximadamente 1:40. Para el método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención, se observaron tasas de multiplicación de 1:200 a 1:350. Por lo tanto, en comparación con los métodos convencionales, se
10 deben cultivar muchas menos plantas de caña de azúcar para producir el mismo número de plántulas cuando se usa el método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención descrita en el presente documento. Esto ahorra espacio para el cultivo y los recursos de plantas de caña de
15 azúcar, como agua, fertilizantes, agentes de protección de cultivos, trabajo, etc.

En comparación con los métodos convencionales para producir plántulas de caña de azúcar, la cantidad de tiempo necesaria para cultivar los brotes de caña de azúcar en un
20 clima acondicionado se reduce cuando se usa el método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención descrita aquí. En el denominado método de bolsa de polietileno convencional, por ejemplo, se requieren al menos 60 días para la producción de brotes laterales a partir de

brote en condiciones climáticas acondicionadas. En el método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención descrita en este documento, se requiere un marco de tiempo de aproximadamente 28 días para el crecimiento bajo
5 clima acondicionado para la producción de raíces y la aclimatación. Como máximo hasta 36 días, pero generalmente se necesita menos tiempo para el crecimiento bajo clima acondicionado en el método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención divulgada aquí. Ésta es
10 una reducción significativa del tiempo de crecimiento en condiciones de clima acondicionado necesario en el proceso de producción de plántulas, lo que reduce los costos de los insumos para establecer el clima requerido.

Con el método para producir una plántula de caña de
15 azúcar de acuerdo con la invención descrita en este documento, no solo se pueden producir más plántulas de caña de azúcar por tallo (espacio) sino también plántulas de mayor uniformidad, en comparación con los métodos convencionales para la producción de plántulas de caña de azúcar. Esto se
20 debió principalmente al efecto de que el tratamiento con un regulador de crecimiento liberador de etileno no afectó la viabilidad de las yemas axilares, pero permitió la producción de brotes laterales en una amplia gama de nódulos desde la base hasta la parte superior del tallo de la caña de azúcar.

Además, los brotes laterales se desarrollaron de forma mucho más uniforme después del tratamiento con un promotor de crecimiento liberador de etileno, en comparación con los métodos convencionales para producir plántulas de caña de azúcar. Una mayor uniformidad de los brotes laterales aumenta el número de plántulas viables de caña de azúcar que pueden producirse a partir de esos brotes.

Los métodos convencionales para producir una plántula de caña de azúcar comparable al método divulgado en la presente divulgación requieren varias operaciones de poda consecutivas. El uso de un promotor de crecimiento liberador de etileno en el método para la producción de una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención reduce el número de operaciones de poda necesarias a una sola. Esto nuevamente ahorra tiempo y trabajo en la producción de plántulas.

Las plántulas de caña de azúcar producidas mediante un método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención pueden trasplantarse en el campo, por ejemplo, para establecer un cultivo de caña de azúcar (comercial) o para la propagación de una variedad deseada, una línea de reproducción deseada o un progenitor deseado de un híbrido.

Una realización adicional de la invención, por lo tanto, se refiere a un método para establecer un cultivo de caña de

azúcar que comprende los pasos de

a) obtener o producir plántulas de acuerdo con un método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención

5 b) trasplantar las plántulas de acuerdo con el paso a) en un campo.

En relación con la presente invención, el término "cultivo de caña de azúcar" tiene el significado común y debe entenderse en este documento como cualquier planta o variedad
10 de caña de azúcar específica que se pretende plantar o cultivar en una escala de beneficio o subsistencia y que después el cultivo se cosecha para alimentos, ropa, ganado, forraje, biocombustibles, medicinas u otros usos humanos. En particular, el término "cultivo de caña de azúcar" tiene el
15 significado aquí de ser cualquier planta o variedad de caña de azúcar específica que se plante o cultive en grupos a escala con fines de lucro y que después de cultivar se coseche para proporcionar azúcar, etanol y forraje o bagazo para producción de energía eléctrica. Por el término
20 destinado a ser cultivado utilizado en la definición actual, debe quedar explícitamente claro que también cualquier material de reproducción o propagación elegible para producir cualquier planta o variedad de caña de azúcar prevista para ser plantada o cultivada como cultivo está comprendida en el

término "cultivo de caña de azúcar".

El término "cultivo de caña de azúcar" como se usa en el presente documento es genérico y comprende los términos "caña de azúcar comercial (cultivo)" y "especies cultivadas de caña de azúcar".

El trasplante en el paso b) del método para establecer un cultivo de caña de azúcar de acuerdo con la invención puede realizarse con cualquier medio adecuado conocido por los expertos en la técnica. El trasplante de las plántulas se puede realizar mediante trabajo manual o se puede hacer mediante plantación en máquina como se divulga, por ejemplo, por Ravindra et al. (2013, Sugar Tech 15(1), 27-35).

Una realización adicional de la invención se refiere al uso de una plántula obtenida u obtenible mediante un método para la producción de una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención para establecer un cultivo de caña de azúcar.

Una ventaja de establecer un cultivo de caña de azúcar mediante trasplante de plántulas de caña de azúcar obtenidas mediante un método para producir una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención es que las plántulas de caña de azúcar se pueden plantar en el campo en una distribución igual. Por lo tanto, el espaciado entre filas y plantas en una fila se puede adaptar como se desee. Se conoce

en la técnica que el espaciamiento uniforme entre plantas aumenta el rendimiento en términos de número, longitud y peso de tallos cortables en cultivos de caña de azúcar (Mohanty et al., 2015, Sugar Tech 17(2), 116-120). Por lo tanto, con el

5 método de producción eficiente de plántulas divulgado aquí, los ingresos de un agricultor aumentarán, porque los costos de producción de plántulas de caña de azúcar se reducen y, al mismo tiempo, puede aumentarse el rendimiento. La sustitución regular y más frecuente de cultivos de caña de azúcar al

10 plantar nuevas plántulas en lugar de cultivar numerosos retoños de cultivo también es posible con el método para establecer un cultivo de caña de azúcar de acuerdo con la invención porque se reducen los costos para la producción de las plántulas por el método para producir una plántula de

15 caña de azúcar de acuerdo con la invención, divulgado en el presente documento, se reduce y los mayores costos para replantación con las plántulas pueden verse sobrecompensados por la mejora en el rendimiento debido a la siembra regular ajustada a las circunstancias, en comparación con los

20 cultivos de retoño repetitivos.

El tratamiento de la caña de azúcar con etefón demostró tener varios efectos diferentes. No se ha descrito la inducción de brotes laterales en el tratamiento de plantas de caña de azúcar con etefón. En particular, no se ha descrito

que el tratamiento de hojas de dosel de caña de azúcar con etefón aumentaría la producción de brotes laterales y la uniformidad en la producción de brotes laterales. Este efecto del etefón se divulga primero en este documento.

5 Una realización adicional de la invención se refiere, por lo tanto, al uso de etefón para inducir el crecimiento de brotes laterales en plantas de caña de azúcar. Una realización preferida de la invención es el uso de una solución que contiene etefón para rociar el dosel (hojas) de
10 una planta de caña de azúcar para inducir el crecimiento de brotes laterales. Preferiblemente, la solución que contiene etefón utilizado para rociar el dosel (hojas) de una planta de caña de azúcar para inducir el crecimiento lateral de brotes contiene etefón en una cantidad de 14.5 gramos por
15 litro (g/l) a 36.0 g/l, más preferiblemente en una cantidad de 18.5 g/l a 33.0 g/l, aún más preferiblemente en una cantidad de 22.0 g/l a 29.5 g/l, aún más preferiblemente en una cantidad de 24.5 g/l a 27.5 g/l y más preferiblemente en una cantidad de 25.5 g/l a 26.5 g/l. Preferiblemente, la
20 solución que contiene etefón usada para rociar el dosel (hojas) de una planta de caña de azúcar para inducir el crecimiento de brote lateral es rociada sobre el dosel (hojas) de 4 meses a 12 meses, más preferiblemente de 5 meses a 11 meses, aún más preferiblemente de 6 meses a 10 meses,

incluso más preferiblemente una planta de caña de azúcar de 7 meses a 9 meses de edad.

Una realización adicional de la invención es el uso de una plántula obtenible u obtenida por un método para la
 5 producción de una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención para establecer un cultivo de caña de azúcar (comercial).

Otra realización de la invención es el uso de una plántula obtenible u obtenida mediante un método para la
 10 producción de una plántula de caña de azúcar de acuerdo con la invención para establecer, cosechar el cultivo y posteriormente procesar un cultivo de caña de azúcar. Aquí el procesamiento preferiblemente significa molienda. Más preferiblemente procesamiento significa molienda, obtención
 15 de jugo de caña de azúcar y posterior producción de sacarosa del jugo por cristalización o posterior producción de etanol del jugo por medio de fermentación.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Figura 1
 20 Número promedio de internudos por tallo/caña de plantas de caña de azúcar a 0 DAS (días después de rociar Ethrel® 720 o poda, respectivamente) y a 14 DAS.

Figura 2	Muestra los resultados para el número promedio de yemas (botones) por tallo/caña para cada uno de los diferentes tratamientos como se describió en el Ejemplo 2.
5	
Figura 3	Curva de respuesta a la dosis para el número de rebrotes producidos en respuesta a la cantidad de Ethrel® 720 (etefón) rociado en plantas de caña de azúcar.
10	
Figura 4	Imagen para comparar plantas de caña de azúcar que han sido tratadas con etefón (macetas 3 y 4) y plantas de caña de azúcar que han sido decapitadas/podadas en lugar de tratamiento con etefón (macetas 1 y 2).
15	
Figura 5	Imagen que muestra el corte de los brotes laterales de los tallos/vástagos.
20	
Figura 6	Número de brotes laterales

61

5

muertos (sin enraizamiento) después de la transferencia de brotes laterales a un sustrato de crecimiento dependiente del pretratamiento con diferentes cantidades de ácido indol-butírico.

Figura 7

10

Tasa de supervivencia (enraizamiento) de brotes laterales en relación con el tratamiento con ácido indol-butírico, su concentración y curva de regresión calculadas sobre la base de los puntos de datos obtenidos.

15

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Ejemplos

1. Producción De Internudos Después Del Tratamiento Con Etefón Frente A Poda

20 Las plantas de caña de azúcar (variedad RB92579) se cultivaron en bloques aleatorizados en un invernadero. Los tratamientos con etefón (Ethrel® 720) se realizaron rociando el dosel de plantas de caña de azúcar de seis meses de acuerdo con la Tabla 1. Un grupo de plantas no se roció con

etefón, sino que las partes superiores de los tallos se decapitaron por debajo del meristemo apical. Cada uno de los experimentos se realizó en cinco réplicas independientes.

Se determinaron el número promedio de internudos por tallo/vástago en el día 0 (día en que se realizó el tratamiento con etefón o poda, respectivamente), así como el número promedio de internudos en el día 14 (14 días después del tratamiento con etefón o poda, respectivamente). Los resultados se muestran en la Tabla 1 y la Figura 1.

10 Tabla 1

No.	Cantidad Ethrel® 720 [ml/l]	Cantidad etefón [g/l]	Poda	Número de internudos por tallo/vástago	
				En el día 0	En el día 14
T1	0.0	0	si	8	8
T2	12.0	8.62	no	8	9
T3	22.0	15.84	no	7	9
T4	30.0	21.60	no	8	11
T5	40.0	28.80	no	8	10
T6	50.0	36.00	no	7	8

Tabla 1: Número de internudos de plantas de caña de azúcar presentes en el día 0, definido como el momento de poda (T1) o tratamiento con diferentes concentraciones de etefón (T2 a T6) en comparación con el número de internudos 14 días después de los respectivos tratamientos. La cantidad de etefón en mg/l se calculó sobre la información de la etiqueta del fabricante Ethrel® 720 según la cual el producto

comprende 720 g de etefón por litro. Los resultados se presentaron para el análisis de varianza, utilizando la prueba F al 5 % y la prueba t de significancia ($p < 0.05$).

Se puede deducir de los datos obtenidos, que la poda
 5 impide la producción de nuevos internudos en plantas de caña de azúcar. El tratamiento con etefón no evitó la producción de nuevos internudos en plantas de caña de azúcar. Durante el período de 14 días después de rociar el dosel de caña de azúcar con etefón en promedio, se produjeron dos nuevos
 10 internudos por tallo/vástago, mientras que las plantas podadas de caña de azúcar no produjeron nuevos internudos durante este período. Se puede concluir que la poda detiene el desarrollo de internudos adicionales, mientras que el etefón no lo hace.

15 **2. Desarrollo De Brotes Laterales Después De La Aplicación De Etéfón Seguido De Poda Vs. Poda Subsiguiente**

Las plantas de caña de azúcar se cultivaron y trataron (poda o aplicación de etefón) como se describió en el Ejemplo 1.

Catorce días después de la poda o la aplicación de
 20 etefón, se realizó una poda simultánea de la parte superior de los tallos de caña de azúcar y los brotes laterales en los tratamientos T2, T3, T4, T5 y T6. En el tratamiento T1, solo se realizó la poda de los brotes laterales en este momento. Al final del período experimental, se determinó el número de

cultivadores de caña de azúcar, internudos y brotes laterales en los diferentes tratamientos. Los resultados se presentaron para el análisis de varianza usando la prueba F al 5 %. En casos de variaciones significativas, se aplicó la prueba de significancia de Fisher ($p < 0.05$) y se realizó un análisis de regresión para determinar la mejor dosis de etefón que se utilizará.

La Figura 2 muestra los resultados obtenidos para el número promedio de brotes laterales por tallo/vástago en cada uno de los diferentes tratamientos. Se observa un efecto positivo de la aplicación de Ethrel® 720 en la producción de brotes laterales de caña de azúcar. El promedio de todos los tratamientos que utilizaron Ethrel® 720 fue de aproximadamente 30 brotes laterales por tallo/vástago. Para los métodos convencionales, utilizando únicamente los tratamientos de poda subsiguientes, el número de brotes laterales de caña de azúcar fue de 13 en promedio.

La mayor producción de brotes laterales se observó con la aplicación de 40 ml/l de Ethrel® 720 (equivale a 28.80 g/l de etefón). A esta concentración se obtuvieron en promedio 40 brotes laterales de caña de azúcar por tallo/vástago. En tratamientos de control con poda subsiguiente sin aplicación de etefón se obtuvieron en promedio 13 brotes laterales por tallo/vástago. En la figura 4 se muestran ejemplos que

comparan plantas de caña de azúcar tratadas con etefón seguidas de poda en comparación con plantas de caña de azúcar posteriormente podadas, pero sin tratamiento previo con etefón.

5 Con los resultados obtenidos para diferentes concentraciones de Ethrel® 720 rociadas en plantas de caña de azúcar versus producción de brotes laterales por tallo/vástago de caña de azúcar, se estableció una ecuación de regresión. El modelo polinomial de segundo grado dio la
10 ecuación:

$$Y = -0.0149X^2 + 1.0792X + 13.272 \quad (R^2 = 0.7373)$$

La curva respectiva de respuesta a la dosis se muestra en la Figura 3.

Esta ecuación tiene un coeficiente de correlación
15 elevado (r) del 86 %, lo que indica que la ecuación representa una correlación suficiente entre la producción de brotes laterales de caña de azúcar con la aplicación de diferentes dosis de Ethrel® 720.

Utilizando la ecuación anterior, se calculó que la
20 producción máxima de aproximadamente 35 brotes laterales por tallo/vástago se obtuvo cuando se roció el dosel de plantas de caña de azúcar con una solución que comprende 36 ml/l de Ethrel® 720 (que equivale a 25.92 gramos de etefón por litro de solución de aerosol).

3. Desarrollo De La Raíz Frente A La Concentración De Auxinas

Las plantas se cultivaron y se trataron como se describió en los Ejemplos 1 y 2 de acuerdo con T2 a T6 en la Tabla 1. Los brotes laterales se cortaron de los tallos/vástagos como se
5 ejemplifica en la Figura 5 y el extremo inferior de los brotes laterales se sumergieron en una solución que contiene ácido butírico (IBA). Se sumergieron aproximadamente 100 brotes laterales en cada caso en una solución que comprende 0.0 gramos por litro (g/l), 0.5 g/l, 1.0 g/l, 1.5 g/l o 2.0
10 g/l de ácido indol-butírico (IBA). Inmediatamente después, las yemas de caña de azúcar se colocaron en bandejas que contenían sustrato (1:1 de vermiculita y fibra de coco) y se colocaron en un ambiente con una temperatura de aproximadamente 27°C y una humedad relativa de
15 aproximadamente 85 %. Después de un período de 10 días, se evaluaron los brotes laterales. Se realizó un conteo de plantas muertas. Los brotes laterales muertos indicaron que no se había producido enraizamiento. Los brotes laterales sobrevivientes desarrollaron un sistema de raíces y se
20 convirtieron en una plántula de caña de azúcar. Los resultados se presentaron para el análisis de varianza al 5 % de probabilidad y el análisis de regresión posterior para la comparación de los valores medios.

Los resultados se muestran en la Figura 6. Sin la

aplicación de ácido indolbutírico (0 g/l), se observó un aumento en la muerte de los brotes laterales (23 plántulas). Después de la aplicación de 0.5 g/l; 1.0 g/l; 1.5 g/l y 2.0 g/l de ácido indolbutírico, 6, 7, 5 y 2, respectivamente, se
 5 obtuvieron brotes laterales muertos. Lo anterior representa una clara reducción en la tasa de mortalidad de los brotes laterales de la caña de azúcar en comparación con los brotes laterales que no han sido tratados con ácido indolbutírico.

Se calculó el porcentaje de plantas viables (% de
 10 plantas supervivientes). Con los resultados obtenidos se estableció una ecuación de regresión que representa la correlación entre la concentración de ácido indolbutírico versus el enraizamiento y la supervivencia de los brotes laterales (Figura 7).

15 El modelo polinomial de segundo grado dio la ecuación:

$$Y = -7.7143X^2 + 25.229X + 76.543 \quad (R^2 = 0.8376)$$

Esta ecuación tiene un coeficiente de correlación elevado (r) del 92 %, lo que indica que la ecuación representa una correlación suficiente entre el enraizamiento
 20 y la aplicación de ácido indolbutírico. Usando este modelo, se encontró que se obtenía un enraizamiento máximo de los brotes laterales a una concentración de 1.6 g/l de ácido indolbutírico (aproximadamente el 97 % de los botones producen raíces y sobreviven).

A pesar de que el ácido indolbutírico óptimo resultó ser óptimo a 1.6 g/l cuando se usa la ecuación anterior, se puede observar a partir de los puntos de datos presentados en la figura 7 que la tasa de supervivencia de los brotes laterales es superior al 90 % en cada caso cuando se utiliza ácido indolbutírico entre 0.5 g/l a 2.0 g/l. En contraste con esto, sin el tratamiento con ácido indolbutírico, la tasa de supervivencia de los brotes laterales está por debajo del 75 %. Por lo tanto, el tratamiento de los brotes laterales de caña de azúcar con cualquier concentración de ácido indolbutírico entre 0.5 g/l a 2.0 g/l aumenta significativamente la formación de raíces y el desarrollo de plántulas de caña de azúcar.