

Evaluación de métodos de resiembra en un sistema de cultivo de caña de azúcar
(*Saccharum officinarum* L.) variedad CC05-430

Jhan Carlos Zapata Dagua

Jorge Leonardo Buitrago Agudelo

Asesor

Milton César Ararat Orozco

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA)

Programa de Agronomía

Palmira

2025

Dedicatoria

A Dios por otorgarnos la sabiduría y el entendimiento necesarios para llevar a cabo este trabajo.

Dedicamos este trabajo a nuestras familias, quienes han sido nuestro pilar constante, apoyándonos en cada momento de este camino académico. A nuestros amigos y compañeros, que nos brindaron su motivación y compañía en cada etapa del proceso.

Agradecimiento

Queremos agradecer a los profesores y al personal de la UNAD por su apoyo durante todo el proceso académico. También agradecemos a los agricultores de caña de azúcar por su generosidad al compartir su experiencia y conocimientos.

Resumen

La evaluación del impacto económico de diferentes métodos de resiembra en caña de azúcar, mediante análisis de costo-beneficio, resulta relevante por la necesidad de garantizar la población de los campos y mejorar la productividad. Para lograrlo, es fundamental considerar la longitud crítica de los espacios vacíos y el porcentaje adecuado de despoblación que justifique la necesidad de la resiembra. El crecimiento de los brotes de caña del material resembrado puede compensar en cierta medida las pérdidas, lo cual hace que esta práctica sea estadísticamente necesaria al evaluar su rendimiento en comparación con la inversión realizada (James, 2004, como se citó en Toruño, 2010). Se pueden utilizar diferentes materiales en la resiembra, como esquejes o tallos, cepas o rebrotes (macollos), yemas pregerminadas o plántulas. Esta práctica cultural busca garantizar la población del cultivo después de la cosecha debido a los daños ocasionados durante el corte, que generan despoblación, aunque pueden surgir diversos factores que afecten la germinación luego de la siembra (plantillas), así como en los cultivos ya cosechados (socas) (Cassalett et al., 1995; López, 2020). Un estudio realizado en la industria azucarera de Guatemala reveló cambios en la despoblación de caña de azúcar antes y después de la cosecha mecanizada (CENGICANA, 2020). Sin embargo, la germinación puede fallar debido a diversas razones. Además, es importante mencionar que la resiembra es una práctica costosa. La determinación de la longitud crítica del espacio vacío en el surco para la resiembra de caña de azúcar tiene como objetivo optimizar y aprovechar los recursos, garantizando la población del cultivo y su productividad, mientras se obtiene un beneficio económico en relación con la inversión realizada (Toruño, 2010).

Palabras clave: caña, despoblación, resiembra, productividad, costos.

Abstract

The evaluation of the economic impact of different sugarcane replanting methods through cost-benefit analysis is relevant due to the need to ensure field population and improve crop productivity. To achieve this, it is essential to consider the critical length of empty spaces and the appropriate percentage of depopulation that justifies replanting. The growth of sugarcane shoots from replanted material can partially compensate for losses, making this practice statistically necessary when evaluating its performance relative to the investment made (James, 2004, as cited in Toruño, 2010). Various materials can be used in replanting, such as cuttings or stalks, stumps or ratoons (*macollos*), pre-germinated buds, or seedlings. This cultural practice aims to restore crop population after harvest due to the damage caused by cutting, which leads to depopulation. However, several factors may affect germination both after planting (*plantillas*) and in already harvested crops (ratoons) (Cassalett et al., 1995; López, 2020). A study conducted in the Guatemalan sugar industry revealed changes in sugarcane depopulation before and after mechanized harvesting (CENGICAÑA, 2020). Nevertheless, germination may fail for various reasons. It is also important to note that replanting is a costly practice. Determining the critical length of empty space in the furrow for sugarcane replanting aims to optimize resource use, ensure crop population and productivity, and yield an economic return relative to the investment made (Toruño, 2010).

Keywords: sugarcane, replanting, underpopulation, costs, yield.

Tabla de contenido

Introducción	11
Planteamiento del Problema	12
Justificación	13
Objetivos.....	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos.....	14
Marco Teórico.....	15
La Caña de Azúcar	15
La Resiembra.....	16
Propagación.....	16
<i>Esquejes (Tallos)</i>	17
<i>Cepas o Rebrotos (Macollos)</i>	17
<i>Plántulas</i>	17
<i>Otros Aspectos de la Resiembra</i>	18
Materiales y Métodos.....	19
Localización	19
Selección de Variedad y Sistema de Cultivo	20
El Diseño Experimental de Parcelas Subdivididas	20
Descripción de Métodos de Resiembra.....	21

<i>A). Esqueje (Tallo)</i>	21
<i>B). Cepa (Macollo)</i>	22
<i>C). Plántula</i>	22
<i>Testigo</i>	23
Variables.....	24
<i>Agronómica</i>	24
<i>Económicas</i>	25
Resultados y Discusión.....	27
Análisis de Variables Agronómicas	27
Análisis de variables económicas.....	34
Conclusiones.....	36
Referencias Bibliográficas	38
Apéndice	40

Lista de figuras

Figura 1	<i>Plano del Lote 006 Finca Lindosa Cauca.2024</i>	19
Figura 2	<i>Plano Diseño Experimental de Tres (3) Métodos de Resiembra de Caña de Azúcar</i>	23
Figura 3	<i>Determinación del Volumen Desplazado por el Tallo Mediante Inmersión en Probeta.</i>	24
Figura 4	<i>Distribución de Alturas de (3) Métodos de Resiembra</i>	27
Figura 5	<i>Población Total por Método de Resiembra</i>	29
Figura 6	<i>Distribución de Diámetros de (3) Métodos de Resiembra</i>	31
Figura 7	<i>Índice Desarrollo de (3) Métodos de Resiembra</i>	33

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Diseño Experimental de Tres (3) Métodos de Resiembra de Caña de Azúcar</i>	21
Tabla 3 <i>Porcentaje de Supervivencia de (3) Métodos de Resiembra</i>	30
Tabla 4 <i>Costo Hectárea por Método de Resiembra</i>	35

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Establecimiento de Una Parcela, Resiembra por Esquejes (Tallos)</i>	40
Apéndice B <i>Establecimiento de Una Parcela, Resiembra por Cepas (Macollos)</i>	40
Apéndice C <i>Establecimiento de Una Parcela, Resiembra por Plántulas</i>	41
Apéndice D <i>Evaluación Agronómica en Cada Tratamiento</i>	41

Introducción

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es un cultivo fundamental para la economía del Valle del Cauca y otras regiones de Colombia, debido a su alto valor comercial y a su significativa contribución en la generación de empleo. Este cultivo impacta no solo el ámbito agrícola, sino también la producción de azúcar, alcohol y energía, satisfaciendo la demanda tanto local como internacional (Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia [ASOCAÑA], 2022). Para asegurar altos niveles de productividad, es esencial mantener una densidad adecuada de plantas en cada área cultivada.

Uno de los desafíos en el cultivo de caña de azúcar es la despoblación, causada por factores como la baja tasa de germinación y los daños derivados de la cosecha mecanizada, los cuales afectan directamente la productividad del cultivo. La resiembra es una práctica agrícola clave para reponer las áreas despobladas y garantizar una cobertura uniforme del terreno (Cassalett, Torres & Isaacs, 1995).

El objetivo de este estudio es evaluar tres métodos de resiembra en un sistema de cultivo de caña de azúcar (variedad CC05-430) en el Valle del Cauca. Además, se busca determinar la longitud crítica de los espacios vacíos que define cuándo es necesaria la resiembra y cuál método resulta más viable. También se presentarán los costos asociados a cada método de resiembra a nivel comercial.

Este trabajo forma parte del semillero de investigación en Producción Agropecuaria Sostenible (SIPAS), adscrito a la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA).

Planteamiento del Problema

Sostener el rendimiento agrícola, reflejado en una buena cosecha, mediante la adecuada conservación de la población en las áreas de cultivo representa un desafío significativo. Para enfrentarlo, es fundamental considerar la longitud crítica de los espacios vacíos y el porcentaje de despoblación que justifique la resiembra. El crecimiento de los brotes de caña resembrada puede compensar las pérdidas si el nivel de resiembra es el adecuado, lo que hace esta práctica necesaria al evaluar el rendimiento —en toneladas de caña por hectárea (TCH)— en comparación con la inversión realizada (James, 2004, como se citó en Toruño, 2010). En la resiembra del cultivo pueden emplearse diversos materiales, como esquejes de tallos, cepas o rebrotes (macollos), yemas pregerminadas o plántulas. Esta práctica cultural tiene como objetivo asegurar la población del cultivo tras la cosecha, aunque pueden presentarse dificultades en campos recién sembrados debido a múltiples factores (Cassalett, Torres & Isaacs, 1995). Un estudio realizado por el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA, 2020) evidenció variaciones en la despoblación de caña de azúcar antes y después de la cosecha mecanizada en la industria azucarera de Guatemala. Se registraron variaciones del 2.6 % en el ingenio Tzululá, 2.0 % en el ingenio Magdalena y 5.4 % en el ingenio Madre Tierra tras la implementación de la cosecha mecanizada. No obstante, la mecanización no es siempre el único factor responsable. La germinación puede fallar por distintas razones, tanto en una plantilla como en una soca (Cassalett, Torres & Isaacs, 1995).

Además, la resiembra es una de las prácticas más costosas (CENGICAÑA, 2020). Según González Domínguez et al. (2020, como se citó en CENGICAÑA, 2020), la despoblación es uno de los factores con mayor impacto negativo en la producción de caña de azúcar.

Justificación

La producción primaria de caña de azúcar se encuentra ampliamente distribuida en 30 municipios del Valle del Cauca, 9 en Cauca, 5 en Caldas, 5 en Risaralda y 1 en Quindío. Esta industria es un pilar importante en la generación de empleo, creando más de 279,000 puestos de trabajo directos e indirectos. Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR, 2020), los indicadores muestran un área neta sembrada de 241,205 hectáreas, un área cosechada de 200,499 hectáreas, un rendimiento de 111.70 toneladas de caña por hectárea (TCH), una producción de azúcar de 2,203,982 toneladas y una producción de alcohol de 443,570 miles de litros. Además, de acuerdo con la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia (ASOCAÑA, 2022), se generaron 1,615 GWh de energía a partir del bagazo de la caña, lo cual cubre el 59 % del consumo interno de los ingenios y aporta el 41 % restante al Sistema Interconectado Nacional (SIN). Esta producción de energía es suficiente para abastecer a una ciudad de un millón de habitantes (ASOCAÑA, 2022). En las últimas décadas, la productividad del cultivo de caña de azúcar ha mejorado notablemente. Este aumento se atribuye al desarrollo de variedades adaptadas a condiciones específicas del entorno agrícola, la implementación de Agricultura Específica por Sitio (AEPS) y el uso de sistemas avanzados de monitoreo y seguimiento. Estas mejoras han permitido estudiar variables fisiológicas y agronómicas de manera más precisa. Sin embargo, aún no se ha determinado con exactitud la edad de corte ni el tercio óptimo para las nuevas variedades. Identificar estos factores permite mejorar la calidad de la semilla y, por tanto, aumentar la densidad de las plantaciones, reduciendo así la necesidad de resiembra y la cantidad de riegos por ciclo (Ararat et al., 2015, como se citó en Enríquez, 2021).

Objetivos

Objetivo General

Evaluar tres (3) métodos de resiembra en un sistema de cultivo de caña de azúcar (variedad CC 05-430) en el valle geográfico del río Cauca, zona agroecológica 11H2.

Objetivos Específicos

Realizar estimaciones agronómicas en el desarrollo de la planta en cada método de resiembra (altura, población, % de sobrevivencia, diámetro, índice desarrollo).

Analizar en términos económicos cada método de resiembra de acuerdo con los costos operativos de un escenario comercial.

Marco Teórico

La Caña de Azúcar

La información morfológica y fisiológica presentada a continuación ha sido adaptada del documento elaborado por Insuasty et al. (2010), el cual describe detalladamente las características botánicas de la caña de azúcar.

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), perteneciente a la familia de las gramíneas o poáceas, posee tallos largos y cilíndricos que suelen medir entre 2 y 5 metros de altura, con un diámetro de aproximadamente 5 a 6 centímetros. En cuanto a su morfología, presenta un sistema radicular compuesto por raíces primordiales, delgadas y muy ramificadas, que se originan a partir de la estaca inicial de la siembra y suelen tener una vida útil de hasta tres meses. También tiene raíces permanentes, gruesas y numerosas, que surgen de los nuevos brotes y crecen rápidamente junto con la planta. Estas raíces fasciculadas desempeñan funciones fundamentales de anclaje y absorción de nutrientes y agua del suelo.

El tallo es la parte más relevante de la planta, ya que almacena los azúcares y se extrae de él, jugo dulce. La longitud del tallo varía según las condiciones ambientales y el manejo del cultivo. Los tallos pueden clasificarse en primarios, secundarios y terciarios, y presentan nudos, que son secciones duras y fibrosas que separan dos entrenudos. Cada nudo está compuesto por un anillo de crecimiento, una banda de raíces, una cicatriz foliar y una yema. Los entrenudos, que se encuentran entre los nudos, se caracterizan por presentar un anillo ceroso, estrías, rajaduras de corteza y un canal de yema. Pueden tener formas cilíndricas, abarilladas, constreñidas, cónicas, obcónicas o curvas.

Las hojas de la caña de azúcar brotan en los nudos y se disponen de manera alternada a lo largo del tallo. Cada hoja está compuesta por una lámina foliar y una vaina o yagua, que es una estructura tubular que envuelve al tallo.

La flor de la caña de azúcar es una inflorescencia en forma de espiga, con flores hermafroditas que presentan tres anteras y un ovario con dos estigmas. El ciclo de crecimiento y cosecha de la caña de azúcar generalmente se extiende de 11 a 17 meses (Insuasty et al., 2010).

Gracias a las condiciones climáticas privilegiadas del Valle del Cauca, es posible cultivar y cosechar caña durante todo el año. Este entorno agroclimático favorable, junto con los avances tecnológicos impulsados por el Centro de Investigación de la Caña (CENICAÑA), en colaboración con cultivadores e ingenios, ha permitido que la región se especialice en el cultivo de la caña de azúcar (ASOCAÑA, 2022).

La Resiembra

La resiembra es una práctica cultural en el cultivo de la caña de azúcar que consiste en replantar esquejes (tallos), cepas o rebrotes (macollos), o plántulas, en los espacios vacíos del surco después del corte o cosecha, con el fin de recuperar la población vegetal en zonas donde se ha perdido germinación o donde las plantas se han dañado tras la cosecha. En las socas, esta actividad se lleva a cabo entre los 10 y 75 días posteriores al corte, dependiendo del tipo de material utilizado y la disponibilidad de riego (Cassalett, Torres & Isaacs, 1995).

Propagación

La propagación de la caña de azúcar se realiza principalmente de forma asexual mediante esquejes de tallos conocidos como “semillas”, ya que esta planta no produce semillas verdaderas

para fines comerciales. Se pueden emplear esquejes, yemas germinadas o plántulas como material de propagación (Arbo, 2020, como se citó en Enríquez, 2021).

Esquejes (Tallos)

Se utilizan estacas o segmentos de tallo de aproximadamente 60 cm de longitud, con al menos tres yemas cada uno, agrupados en paquetes de 30 unidades. Es fundamental emplear material fresco, genéticamente puro y libre de plagas y enfermedades (Agrotendencia, s.f., como se citó en Enríquez, 2021). Los esquejes se colocan manualmente en el sitio deseado y se cubren con una capa de suelo de aproximadamente 5 cm (Cassalett, Torres & Isaacs, 1995). Los cultivos destinados a la producción de semilla de calidad deben tener entre 7 y 9 meses de edad (Garcés Eder S.A.S., 2019, como se citó en López, 2020). En el caso de las socas, la resiembra con esquejes o tallos debe realizarse dentro de los 10 días posteriores al despaje, siempre que se identifiquen los espacios vacíos.

Cepas o Rebrotos (Macollos)

Generalmente se extraen de la misma plantación y tienen una edad aproximada de dos meses. Se utiliza una parte del *macollo* o rebrote proveniente de una cepa ya establecida, empleando herramientas como pala o barretón. Es importante mantener un riego frecuente para favorecer el establecimiento del rebrote (Cassalett, Torres & Isaacs, 1995).

Plántulas

Cuando se utilizan yemas pregerminadas o plántulas en bolsas plásticas, estas deben haber permanecido en vivero durante aproximadamente 40 a 50 días. Las yemas germinadas pueden emplearse para la resiembra hasta 20 días después del corte. Es fundamental monitorear

el estado de las plántulas para garantizar un buen establecimiento (Cassalett, Torres & Isaacs, 1995).

Otros Aspectos de la Resiembra

La germinación puede fallar por diversas razones. En las plantillas, esto puede deberse a material de siembra envejecido, yemas dañadas, riego insuficiente, profundidad inadecuada en la colocación del material, deshidratación, daño por insectos o presencia de suelos con exceso de humedad y mal drenaje. En el caso de las socas, el rebrote posterior al corte puede verse afectado por cepas dañadas debido al paso de maquinaria durante la cosecha, especialmente en épocas de lluvia. También puede ocurrir volcamiento de plantas, daños mecánicos a las cepas por el corte, y falta de oportunidad en la labor de despaje, que consiste en acomodar adecuadamente los residuos que quedan tras la recolección para asegurar un buen rebrote (Garcés Eder S.A.S., 2019, como se citó en López, 2020).

De acuerdo con Cassalett, Torres y Isaacs (1995), no existe una norma específica que determine cuándo realizar la resiembra, pero comúnmente se lleva a cabo cuando los espacios vacíos en el surco superan un metro o cuando el área presenta un porcentaje de despoblación mayor al 5 %.

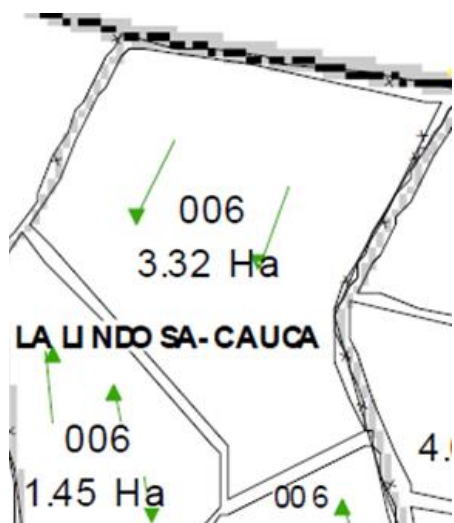
Materiales y Métodos

Localización

El ensayo se estableció en la finca La Lindosa, ubicada en el corregimiento Chocosito, municipio de Florida, Valle del Cauca. Se localiza en las coordenadas geográficas $3^{\circ}17'10.1''N$, $76^{\circ}17'01.7''W$, a una altitud de 1,020 m s. n. m. (Google Earth, 2023). La información climática fue tomada de la estación meteorológica más cercana, operada por CENICAÑA, según lo citado por Enríquez (2021), a partir de datos de CENICAÑA (2019). La temperatura media anual es de $23.5^{\circ}C$, la precipitación media anual de 1,160 mm, la humedad relativa es del 77 % y las horas de máxima radiación solar se estiman en 5.2 horas por día. La zona agroecológica corresponde a la clasificación 11H2, la cual, de acuerdo con Quintero et al. (2008), presenta las siguientes características: suelos de textura franca a fina arcillosa, con un contenido de arcilla menor al 35 %, bien y moderadamente drenados, con una profundidad efectiva medida. El suelo pertenece a la serie Manuelita, clasificado como Entisol (Quintero et al., 2008).

Figura 1

Plano del Lote 006 Finca Lindosa Cauca.2024



Nota: Forma y área del lote en el que se establece ensayo de resiembra.

Selección de Variedad y Sistema de Cultivo

La variedad comercial seleccionada de caña de azúcar es la CC 05-430, una variedad prometedora para ambientes semiseco, que combina un alto rendimiento de toneladas de caña por hectárea (TCH) y alto contenido de sacarosa, además de ser resistente a enfermedades y tolerante a la *Diatraea spp.* (Victoria,2018). Por este motivo, se decidió trabajar con esta variedad. El sistema de cultivo corresponde a una soca de dos cortes y el ensayo se extiende hasta el séptimo mes.

El Diseño Experimental de Parcelas Subdivididas

El diseño experimental consta de tres tratamientos, cada uno correspondiente a un método de resiembra: A. Esqueje (tallo), B. Cepa (*macollo*) y C. Plántula. Cada tratamiento se aplicó en parcelas subdivididas, las cuales corresponden a los tres diferentes espacios vacíos: 1, 1.5 y 2 metros. Cada uno de estos espacios vacíos tiene cinco repeticiones. Se incluyó un testigo absoluto (T), que no recibió resiembra en este caso es la misma cepa establecida y que se ha ubicado después de la segunda cepa en cada repetición de los espacios vacíos de los tres tratamientos. Cada espacio vacío cuenta con dos individuos. En total, el diseño consta de 90 parcelas.

Tabla 1*Diseño Experimental de Tres (3) Métodos de Resiembra de Caña de Azúcar*

Tratamiento	Método	Espacios vacíos en (m)	No individuos	No de repeticiones	Variables de respuesta	
					Agronómica	Económica
T1	A. Esqueje (tallo)	1	2	5		
		1,5	2	5		
		2	2	5		
T2	B. Macollo (cepa)	1	2	5		
		1,5	2	5		
		2	2	5		
T3	C. Plántula	1	2	5		
		1,5	2	5		
		2	2	5		
T4	Testigo	1 1,5 2	No es resiembra	45		

Nota: Cada tratamiento corresponde a un método de resiembra (esqueje, cepa y plántula)

aplicado a espacios vacíos de 1, 1.5 y 2 metros, con cinco repeticiones y dos individuos por unidad. El testigo no recibió resiembra y se ubicó después de la segunda cepa en cada parcela.

Descripción de Métodos de Resiembra

A). Esqueje (Tallo)

Para la obtención de semillas, se seleccionan tallos de un sistema cultivo de caña de azúcar con una edad de 7 meses. Los tallos se cortaron en segmentos de 60 cm, con un promedio de tres yemas por segmento. En el sitio, se delimitaron seis líneas de surco que se designaron como Tratamiento 1 (T1). (Ver figura 2). En estas líneas, se crearon espacios vacíos de 1, 1,5 y 2 metros, los cuales se replicaron cinco veces cada uno. La selección de los espacios vacíos se realizó de manera aleatoria. En cada espacio vacío de 1, 1,5 y 2 metros, se resembro dos segmentos de tallos, cubriéndolos con una capa de suelo de aproximadamente 5 cm. El testigo

absoluto (T), que no recibió resiembra que en este caso es la misma cepa establecida, utiliza una longitud homologa, y esta después de la segunda cepa en cada repetición de los espacios vacíos.

B). Cepa (Macollo)

Se seleccionaron rebrotes robustos de la misma plantación con una edad de 30 días. Se prestó especial atención a la calidad de las cepas, asegurándose de que tuvieran un sistema de raíces saludables y una adecuada presencia de rebrotes, con el objetivo de garantizar el éxito y la eficacia en el proceso de resiembra. En el sitio, se delimitaron seis líneas de surco que se designaron como Tratamiento 2 (T2). En estas líneas, se crearon espacios vacíos de 1, 1,5 y 2 metros, replicándose cada uno cinco veces. La selección de los espacios vacíos se realizó de manera aleatoria. En cada espacio vacío de 1, 1.5 y 2 metros, se sembraron dos cepas (macollos) de caña de azúcar, asegurándose de cubrir la base con el suelo (aporcar) alrededor para mejorar su establecimiento. El testigo absoluto (T), que no recibió resiembra que en este caso es la misma cepa establecida, utiliza una longitud homologa y esta después de la segunda cepa en cada repetición de los espacios vacíos.

C). Plántula

Las yemas pregerminadas o plántulas seleccionadas fueron aquellas que presentaban un adecuado sistema radicular saludable y un porte adecuado con el fin de garantizar su óptimo desarrollo y éxito en el proceso de resiembra. En el sitio se delimitaron siete líneas de surco, que se designaron como Tratamiento 3 (T3). En estas líneas se crearon espacios vacíos de 1, 1,5 y 2 metros, replicándose cada uno cinco veces. La selección de los espacios vacíos se realizó de manera aleatoria. En cada espacio vacío de 1, 1.5 y 2 metros se sembraron dos plántulas de caña de azúcar, cubriendo la base con el suelo (aporcar) alrededor para mejorar su establecimiento. El testigo absoluto (T), que no recibió resiembra que en este caso es la misma cepa establecida,

utiliza una longitud homologa y esta después de la segunda cepa en cada repetición de los espacios vacíos.

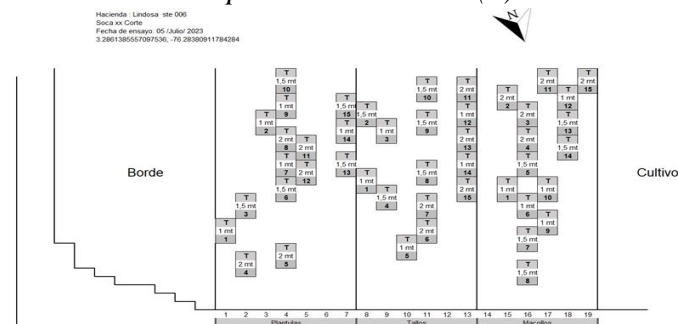
Testigo

El Testigo absoluto (T), que no es resiembra, corresponde a la plantación ya establecida originalmente, refiriéndose a las cepas del mismo cultivo. Este testigo se encuentra ubicado en el mismo surco, específicamente después de la segunda cepa en cada repetición de los espacios vacíos de 1, 1.5 y 2 metros, utilizados en los tres tratamientos. El propósito del testigo es representar el crecimiento natural de la cepa, permitiendo así evaluar el comportamiento natural del cultivo en comparación con las áreas sembradas.

Para asegurar la comparabilidad, el testigo tiene una longitud homologa al espacio vacío definido de cada tratamiento. Esto significa que el área testigo tiene el mismo tamaño y características que los espacios vacíos tratados, pero sin la intervención de nuevas plantas sembradas. Esta configuración permite determinar hasta qué punto la resiembra mejora (o no) el rendimiento y la densidad de población del cultivo en comparación con las condiciones originales del mismo lote.

Figura 2

Plano Diseño Experimental de Tres (3) Métodos de Resiembra de Caña de Azúcar



Nota: Distribución de las parcelas en campo

Variables

Las variables de evaluación son:

Agronómica

Altura. Esta variable se mide desde el segundo hasta el séptimo mes posterior a la resiembra, permitiendo trazar una curva de crecimiento. Se mide desde la base del tallo hasta la última lígula (lámina foliar) visible en cm.

Población. Se registra la cantidad de tallos secundarios que se forman y se establecen en el cultivo. Los datos se recogen del segundo hasta el séptimo mes.

% de Supervivencia. Este indicador permite determinar la proporción de plantas resembradas que se mantuvieron vivas desde el establecimiento. Se calcula a partir de los datos recolectados un mes después de la resiembra, se aplica la siguiente fórmula: "% de supervivencia = (No de individuos vivos / Total de los individuos) x 100.

Diámetro. Se mide en el tercio medio del tallo para evaluar el crecimiento de ancho de la planta. La unidad de medición es en mm obtenida en el séptimo mes.

Índice Desarrollo. Este indicador cuantifica el desarrollo del cultivo a través de la siguiente ecuación: [índice desarrollo = (población x altura x densidad de biomasa x edad)]. La densidad de biomasa se determina midiendo el peso y volumen de un entrenudo mediante desplazamiento de agua y se hace con la siguiente fórmula: [densidad de biomasa = (peso del entrenudo / volumen)]. Donde el volumen se obtiene por la diferencia entre el volumen final e inicial del agua en la probeta así: [volumen = (volumen final - volumen inicial)].

Figura 3

Determinación del Volumen Desplazado por el Tallo Mediante Inmersión en Probeta



Nota: Volumen inicial versus volumen final, después de sumergir el tallo en agua dentro de una probeta.

Económicas

Para cumplir con el objetivo específico relacionado con el análisis económico, se tuvieron en cuenta las siguientes variables:

Costo de Material Vegetal para Resiembra. Valor económico correspondiente a los materiales empleados en cada método de resiembra (esquejes, cepas y plántulas). Se expresó en pesos colombianos (COP) por unidad y posteriormente se calculó el costo por hectárea.

Costo de Mano de Obra. Comprende todas las actividades operativas involucradas directamente en el proceso de resiembra, como: corte, alce, transporte y colocación del material vegetativo. Se evaluó el costo total de mano de obra por hectárea.

Costo de Maquinaria. Incluye los gastos asociados al uso de maquinaria para transportar y distribuir los materiales de resiembra en el terreno. Esta variable también fue calculada en términos de costo por hectárea.

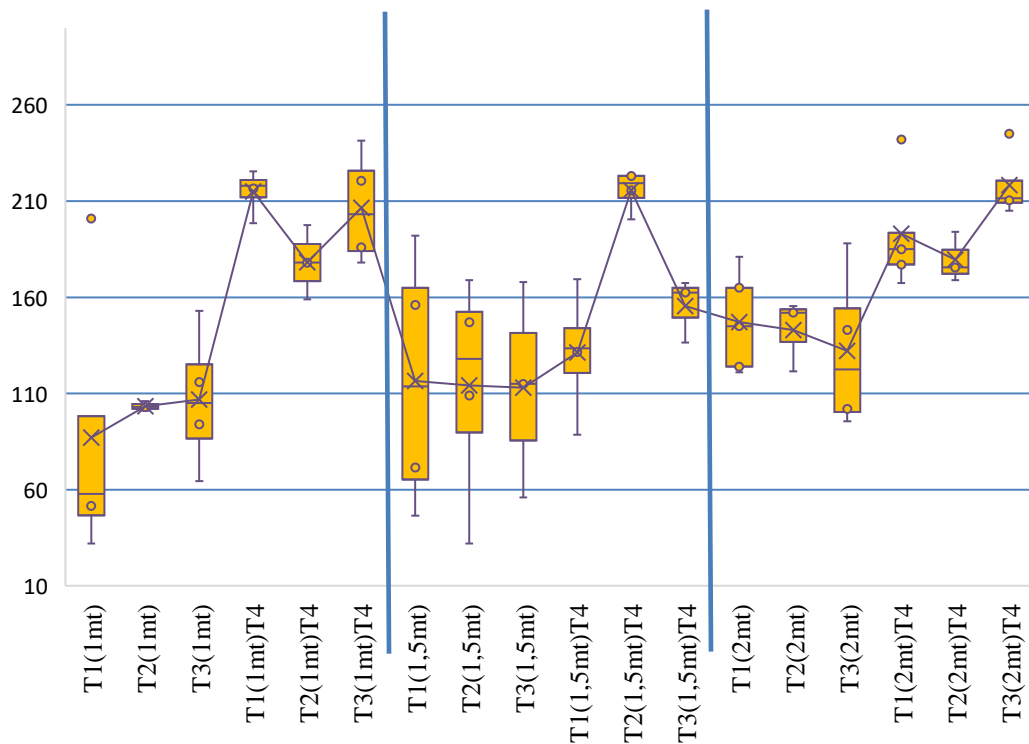
Costo Total por Hectárea. Representa la suma total de los costos asociados a cada método de resiembra mencionado anteriormente (material vegetativo, mano de obra y maquinaria). Este cálculo permite identificar el método más eficiente en términos de inversión económica por hectárea bajo condiciones comerciales.

Resultados y Discusión

Análisis de Variables Agronómicas

Figura 4

Distribución de Alturas de (3) Métodos de Resiembra



Nota: El gráfico de cajas y bigotes para la variable alturas muestra:

T1

En este tratamiento con esquejes (tallos) la distancia resebrada a 1 metro expone su menor crecimiento con 87 cm, seguido de la de 1,5 metros que muestran mayor varianza entre alturas con 117 cm y el mejor crecimiento se observa en la longitud resebrada a 2 metros y menos varianza entre sus datos, todas superadas por sus respectivos tratamientos del testigo (T4) en cada distancia resebrada.

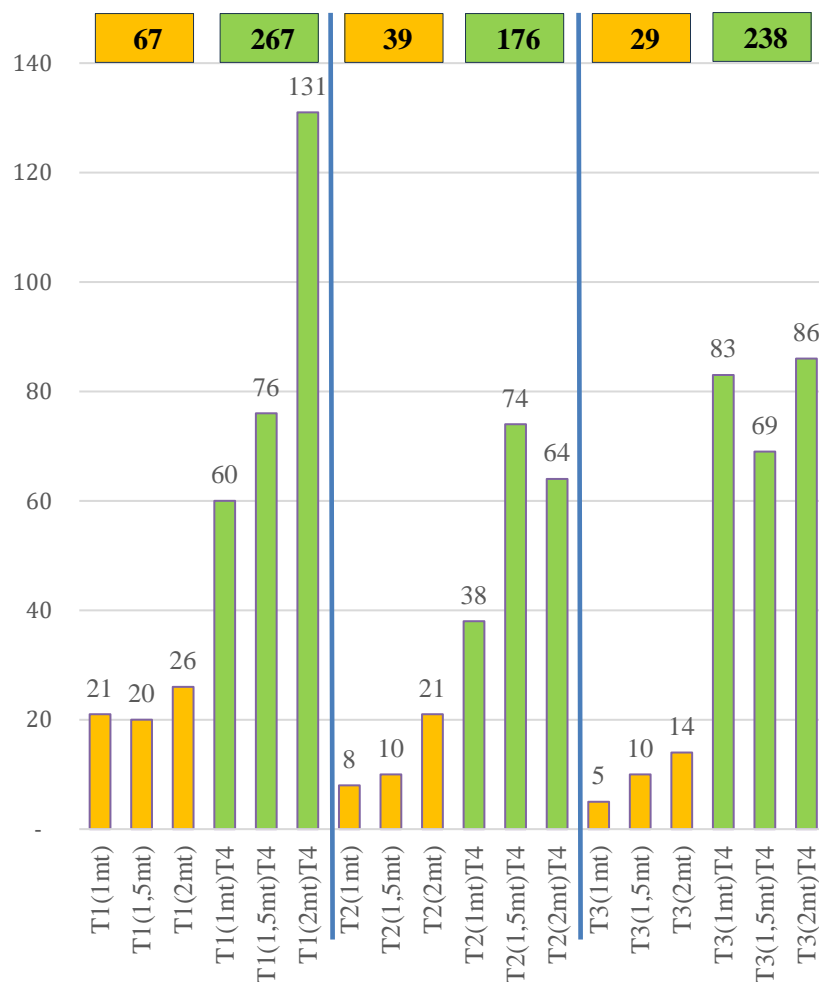
T2

Para este tratamiento con cepas (macollos) la distancia de resiembra a 1 metro evidencia su menor crecimiento 103 cm, seguido de las de 1,5 metros que señala mayor varianza entre alturas con 114 cm y el mejor crecimiento el resembrada a 2 metros y menos varianza entre sus datos con 147 cm, todas superadas por sus respectivos tratamientos del testigo (T4) en cada distancia resembrada.

T3

Este tratamiento resembrado con plántulas en la distancia de 1 metro demuestra su menor crecimiento 107 cm, seguido de la de 1,5 metros con altura cercana a la de 1 metro que indican mayor varianza entre sus alturas con 113 cm y el mejor crecimiento es el resembrada de 2 metros y menos varianza entre sus datos con 143 cm, todas superadas por sus respectivos tratamientos del testigo (T4) en cada distancia resembrada.

Las alturas que más sobresalen son las son las del T1 resembradas con esquejes (tallos), seguido del T2 de las cepas (macollos) y las más baja del T3 con las plántulas, aunque estas últimas presentan menos varianza entre sus datos por su poco crecimiento.

Figura 5*Población Total por Método de Resiembra*

Nota: Gráfico de columnas con población obtenida en cada longitud de resiembra muestra:

T1

El tratamiento resembrado con esquejes (tallos) en la distancia de resiembra de 1 metro evidencia la población media con 21 individuos, en la de 1,5 metros muestra la más baja 20 individuos y la mejor población la resembrada a 2 metros con 26 individuos, superadas por sus respectivos tratamientos del testigo (T4) en cada distancia resembrada.

T2

En el tratamiento de resiembra con cepas (macollo) la distancia de resiembra de 1 metro demuestra la población más baja con 8 individuos, seguido de la de 1,5 metros con 10 individuos y la mejor población resembrada es la de 2 metros con 21 individuos, superadas por sus respectivos tratamientos del testigo (T4) en cada distancia resembrada.

T3

Para el tratamiento que se resembró con plántulas en la distancia de 1 metro exhibe la población más baja con 5 individuos, seguido de la de 1,5 metros con 10 individuos y la mejor población la resembrada a 2 metros con 14 individuos, casi triplicando a la de 1 metro, superadas por sus respectivos tratamientos del testigo (T4) en cada distancia resembrada.

La población que más se destaca es la del T1 resembrada con esquejes con 67 tallos, seguido del T2 de cepas con 39 macollos y la más baja del T3 de las plántulas con 29 individuos en promedio, destacándose siempre las distancias de 2 metros.

Tabla 2

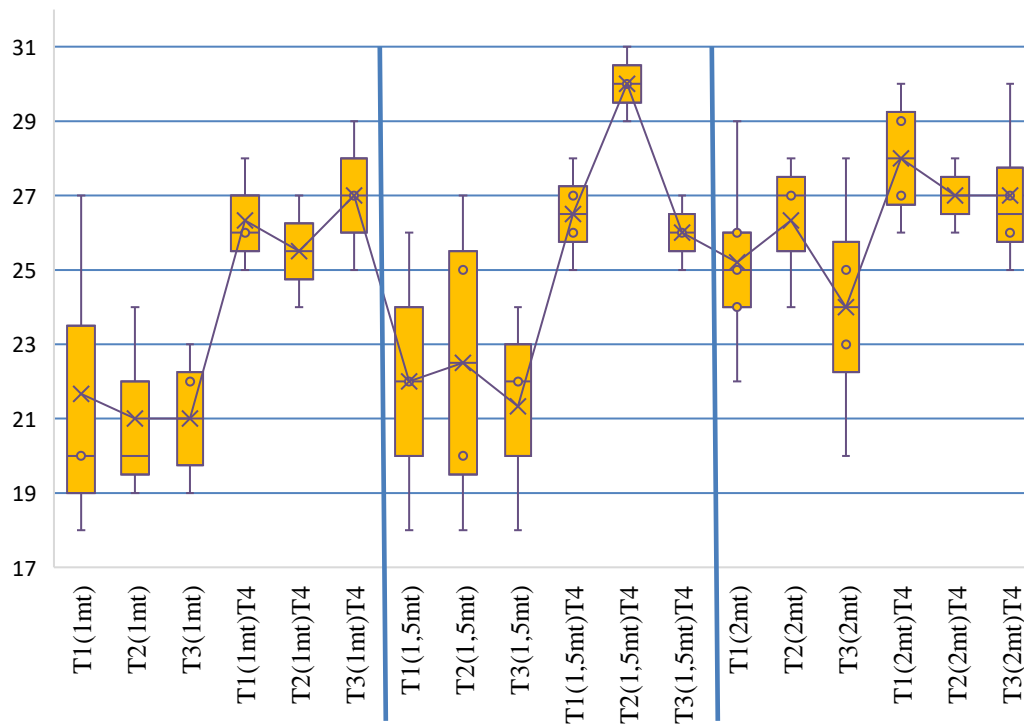
Porcentaje de Supervivencia de (3) Métodos de Resiembra

Método resiembra	Individuos vivos	Individuos totales	% Supervivencia
T1	26	30	86,7%
T2	20	30	66,7%
T3	22	30	73,3%

Nota: El porcentaje de supervivencia para los esquejes (tallos) fue del 86,7% con 26 individuos vivos, para las cepas (macollos) fue del 66,7% con 20 individuos sobrevivientes y las plántulas fue del 73,3% con 22 individuos de 30 en cada tratamiento que se establecieron en la resiembra.

Figura 6

Distribución de Diámetros de (3) Métodos de Resiembra



Nota: El gráfico de cajas y bigotes para la variable diámetro muestra:

T1

En este tratamiento de esquejes (tallos) podemos apreciar que las resiembras de 1 metro evidencian su mayor diámetro con mayor varianza entre sus datos con 21,3 mm, seguido de las de 1,5 metros con 22 mm y las de 2 metros con 25,2 mm, todas superadas por sus respectivos tratamientos del testigo (T4) en cada distancia resemebrada.

T2

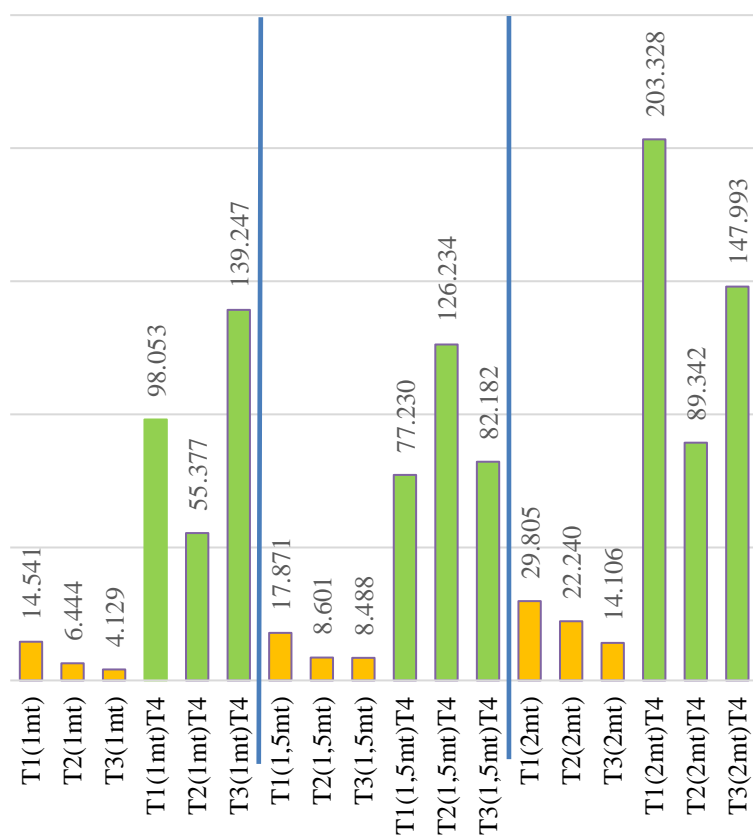
En el tratamiento de cepas (macollos) la distancia de resiembra de 1 metro expone su menor diámetro con 21 mm, seguido de las de 1,5 metros con 22,5 mm que muestran mayor

varianza entre sus datos y el mejor diámetro de la longitud resembrada de 2 metros con 26,3 mm y menos varianza entre sus datos, todas superadas por sus respectivos tratamientos del testigo (T4) en cada distancia resembrada.

T3

En este tratamiento de plántulas la distancia de resiembra de 1 metro señala su menor diámetro con 21 mm, seguido de las de 1,5 metros 22,5 mm y el mejor diámetro de la longitud resembrada de 2 metros de 24 mm con mayor varianza entre sus datos, todas superadas por sus respectivos tratamientos del testigo en cada distancia resembrada.

Los diámetros que más se destacan son los del T2 resembrados con cepas (macollos) con 23,2 mm, seguido del T1 de esquejes (tallos) con 23 mm y la más baja del T3 de las plántulas con 22,2 mm en promedio, destacándose siempre los diámetros de las distancias resembradas a 2 metros.

Figura 7*Índice Desarrollo de (3) Métodos de Resiembra*

Nota: Gráfico de columnas con índices de desarrollo por grupo de tratamiento muestra:

T1

El tratamiento de resiembra con esquejes (tallos) en la distancia de resiembra de 1 metro demuestra el índice de desarrollo más bajo con 14.541, la de 1,5 metros con 17.871 y el mejor índice de desarrollo es la resiembra a 2 metros con 29.805, superadas por sus respectivos tratamientos del testigo (T4) en cada distancia resiembra.

T2

Para el tratamiento de las cepas (macollos) en la distancia de resiembra de 1 metro muestra el índice de desarrollo más bajo con 6.444, la de 1,5 metros con 8.601 y el mejor índice

de desarrollo es la resembrada a 2 metros con 22.240, superadas por sus respectivos tratamientos del testigo (T4) en cada distancia resembrada.

T3

En el tratamiento de plántulas, la distancia de resiembra de 1 metro presenta el índice más bajo con 4.129, seguido de la de 1,5 metros con 8.488 y el mejor índice de desarrollo es la resembrada a 2 metros con 14.106, superadas por sus respectivos tratamientos del testigo (T4) en cada distancia resembrada.

El índice de desarrollo más destacado entre los tratamientos resembrados es el de 2 metros en cada uno de los métodos utilizados, sobresaliendo entre ellos el T1.

Análisis de variables económicas

Este apartado presenta un análisis detallado de los costos asociados con la resiembra en un cultivo comercial de caña de azúcar, diferenciando los métodos de resiembra empleados.

A continuación, se presenta la tabla que resume los costos económicos; todos los valores están expresados en pesos colombianos (COP) y han sido calculados para un porcentaje de despoblación del área de un 6%.

Tabla 3*Costo Hectárea por Método de Resiembra*

Método de resiembra	Descripción de actividad	Unidad de medida	Costo por hectárea	Costo total por hectárea
T1 Esquejes (Tallo)	Mano de obra y maquinaria	Hectárea	\$ 261.619	\$ 324.414
	Material de resiembra (esquejes)	Tonelada	\$ 62.794	
T2 Cepas (macollo)	Mano de obra	Hectárea	\$ 253.091	\$ 253.091
	Material de resiembra (Cepas)	Cepas		
T3 Plántulas	Mano de obra y maquinaria	Hectárea	\$ 334.913	\$ 577.338
	Material de resiembra (Plántulas)	Plántula	\$ 242.424	

Nota: Los costos por hectárea exhibidos en la tabla 3 presentan el T2 de la resiembra con cepas (macollo) como la más económica con \$253.091 pesos, seguido del T1 de los esquejes (tallos) a \$324.414 pesos y el T3 con \$577.338.

Conclusiones

Las alturas de los tratamientos en los métodos de resiembra muestran una relación directamente proporcional, a mayor longitud de resiembra se obtienen mejores datos en su desarrollo de crecimiento, destacándose el T1 de resiembra con esquejes (tallos) a 2 metros a excepción de la distancia de 1 metro; por su parte los testigos ubicados continuamente reflejan mayor crecimiento por estar establecidos anterior a la resiembra. Las alturas más sobresalientes son las del T1 resembradas con esquejes (tallos), seguido del T2 de las cepas (macollos) y las más baja del T3 con las plántulas, aunque estas últimas presentan menos varianza entre sus datos por su poco crecimiento.

Las poblaciones en las resiembras del T1 con esquejes (tallos) marcan un 72% por encima de las realizadas con las cepas (macollos), destacando así un buen brote en las yemas de los esquejes (tallos) resembrados y las plántulas con la menor población establecida. Aquí la población que más se destaca es la del T1 resembrada con esquejes con 67 tallos, seguido del T2 de cepas con 39 macollos y el más bajo el T3 de las plántulas con 29 individuos en promedio, destacándose siempre las distancias de 2 metros.

El porcentaje de sobrevivencia evidencia en los esquejes (tallos) el 86,7% con 26 individuos vivos, las cepas (macollos) con 66,7% y 20 individuos sobrevivientes y las plántulas el 73,3% con 22 individuos, donde cada tratamiento inició con 30 individuos que se establecieron en la resiembra.

Los diámetros que exhiben mayor volumen son los del T2 resembrado con cepas (macollos) con 23,2 mm, seguidos del T1 de esquejes (tallos) con 23 mm y el más sutil el T3 de

las plántulas con 22,2 mm en promedio, destacándose siempre los diámetros de las distancias resembradas a 2 metros.

El indicador del índice de desarrollo permite ver que el método más destacado entre los tratamientos resembrados es el de 2 metros en cada uno de los métodos utilizados, sobresaliendo entre ellos el T1 de los esquejes (tallos) que evidencia mejor desarrollo en los datos obtenidos en las mediciones frente a los otros 2 tratamientos.

Finalmente, el método del T1 de resiembra con esquejes (tallos) a pesar de tener el costo por hectárea medio frente a los otros tratamientos, en la práctica posibilita establecer el cultivo en los espacios despoblados que requieren la acción de realizar la resiembra.

Referencias Bibliográficas

ASOCAÑA (2022). Sector Agroindustrial de la Caña.

<https://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>

Cassalett, C. Torres, J. Isaacs, C. (1995). El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia.

CENICANA (Centro De Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia).

https://www.cenicana.org/pdf_privado/documentos_no_seriados/libro_el_cultivo_cana/libro_p3-394.pdf

CENGICANA. (2020). Memoria Presentación de resultados de investigación Zafra 2020 – 2021:

Comparación de despoblación de caña de azúcar en cosecha mecanizada en la agroindustria azucarera de Guatemala.

Enríquez, H. (2021). Evaluación de prendimiento y vigor de semilla asexual de cuatro variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). Unad.edu.co.

<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/44688>

Google Earth. (2023). Google Earth Pro (Versión 7.3.6) [Software].

<https://www.google.com/earth/>

Insuasty, O. López, J. Peñaloza, D. Villamizar, L. Rojas, W. Portilla, L. Suarez, J. Villamizar, C.

(2010). Variedades de caña de azúcar para la producción de panela. Universidad de Pamplona. Corpoica.

https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_4/mod_virtuales/modulo4/index.html

- López, L. (2020). Análisis de la productividad en las labores de resiembra y despaje de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L), en el Ingenio Pichichi S.A. Unad.edu.co.
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/38441>
- Minagricultura. (2020). Cadena caña de azúcar. MADR (Ministerio de agricultura y Desarrollo Rural). <https://sioc.minagricultura.gov.co/CanaAzucar/Documentos/2020-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Quintero, R. García, A. Cortés, A. Muñoz, F. Torres, J. Carbonell, J. Osorio, C. (2008). Grupos homogéneos de suelos del área dedicada al cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca. Serie Técnica No. 37. CENICAÑA (Centro De Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia). https://www.cenicana.org/pdf_privado/serie_tecnica/st_37/st_37.pdf
- Toruño, G. (2010). Evaluación económica de la práctica de resiembra en caña de azúcar en el Ingenio San Antonio, Nicaragua. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras.
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/9b6cfd5a-fdba-4526-81b4-6a4730ace458/content#:~:text=La%20resiembra%20es%20una%20pr%C3%A1ctica>
- Victoria, J. (2018). Las variedades sin la agronomía, sin las fábricas, sin la transferencia no son nada. Carta informativa, año 6, número 1. CENICAÑA (Centro De Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia). <https://www.cenicana.org/las-variedades-sin-la-agronomia-sin-las-fabricas-sin-la-transferencia-no-son-nada/>

Apéndice

Apéndice A

Establecimiento de Una Parcela, Resiembra por Esquejes (Tallos)



Nota: Ubicación de espacios vacíos para el método de resiembra por esquejes (tallos).

Apéndice B

Establecimiento de Una Parcela, Resiembra por Cepas (Macollos)



Nota: Ubicación de espacios vacíos para el método de resiembra por Cepas (macollos).

Apéndice C

Establecimiento de Una Parcela, Resiembra por Plántulas



Nota: Ubicación de espacios vacíos para el método de resiembra por plántulas.

Apéndice D

Evaluación Agronómica en Cada Tratamiento



Nota: Evaluaciones de variables agronómicas en los diferentes métodos de resiembra.