

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRICOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRICOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

EVALUACIÓN DE DENSIDADES DE SIEMBRA EN DOBLE SURCO
SOBRE EL RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR VARIEDAD CP-72-2086;

LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA
TESIS DE GRADO

MANOLO DÁVILA GARCÍA
CARNET 21210-06

ESCUINTLA, MARZO DE 2015
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

EVALUACIÓN DE DENSIDADES DE SIEMBRA EN DOBLE SURCO
SOBRE EL RENDIMIENTO DE CANA DE AZÚCAR VARIEDAD CP-72-2086;

LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR
MANOLO DÁVILA GARCÍA

PREVIO A CONFERIRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRONOMO CON ENFASIS EN CULTIVOS TROPICALES EN EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIADO

ESCUINTLA, MARZO DE 2015
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. EDUARDO VALDES BARRIA, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: DR. CARLOS RAFAEL CABARRÚS PELLEGER, S. J.
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANO: DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS
VICEDECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIA: ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. LUIS MOISÉS PEÑATE MUNGUÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

ING. EDGAR ROLANDO SOLARES MONTERROSO

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. ADÁN OBISPO RODAS CIFUENTES
MGTR. RICARDO ARMANDO MORALES RAMÍREZ
ING. LUIS GERARDO MOLINA MONTERROSO

Guatemala, 25 de Marzo de 2015

Miembros
Comisión de Trabajos de Graduación
Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas
Universidad Rafael Landívar
Guatemala

Distinguidos miembros de la comisión:

Por este medio informo a ustedes que he asesorado en la elaboración de su informe final de tesis, al estudiante: Manolo Dávila Garcia: 2121006, titulada: **"EVALUACION DE CINCO DENSIDADES DE SIEMBRA EN DOBLE SURCO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum spp.*) VARIEDAD CP-72-2086 EN FINCA SANTA ELISA, LA DEMOCRACIA ESCUINTLA"**.

Considero que el mismo cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, de la Universidad Rafael Landívar, por lo que sugiero continúe los trámites para su respectiva aprobación.

Sin otro particular

Atentamente:


Ing. Agr. Edgar Rolando Solares Monterroso
Asesor Colegiado 3090



Universidad
Rafael Landívar
Tradición Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
No. 06278-2015

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante MANOLO DÁVILA GARCÍA, Carnet 21210-06 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES, de la Sede de Escuintla, que consta en el Acta No. 0629-2015 de fecha 14 de marzo de 2015, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

EVALUACIÓN DE DENSIDADES DE SIEMBRA EN DOBLE SURCO
SOBRE EL RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR VARIEDAD CP-72-2086;
LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES en el grado académico de LICENCIADO

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 24 días del mes de marzo del año 2015.



LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
, VICEDECANA
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar

AGRADECIMIENTOS

A:

Mis padres Carmelo Dávila Lima y María Concepción García, por apoyarme, motivarme y ser el pilar de mi formación de vida quienes con su esfuerzo y sacrificio me apoyaron a lo largo de mi carrera estudiantil.

Dios por darme sabiduría, para terminar mi carrera, por estar conmigo en los momentos difíciles y en los buenos momentos a lo largo de mi vida estudiantil, y por ser el pilar fundamental de mi vida.

Mi hijo Kendell Manolo Dávila Alcántara, por ser quien me motivo a salir adelante en mi carrera y por ser un regalo de dios que llego a mi vida

Mi asesor Edgar Rolando Solares Monterroso por el apoyo, dedicación que me brindo con el permiso de estudio y asesoría al final de mi carrera.

Ingeniero Juan Jesus Avila Pesquera, Byron Oswaldo de la Rosa Dieguez y Juan Otoniel Suquen Ramirez quienes me apoyaron con el permiso de estudio y motivaron a seguir adelante.

Compañeros de estudio Byron Norberto Moya Mejia, Eddy Saul Guinea Díaz, Erick Fernando Suarez, William Geovany Duarte Aguirre, Darvin Uribio Simon Guzman y Ángel Ovidio Reyes por el compañerismo apoyo y cariño brindado durante seis años de estudio.

Hermanos Ubaldo Ramos García, Carmelina Ramos García, Isabel Ramos García y Sergio Dávila Garcia por el apoyo y cariño que me brindado.

Ingenio Magdalena por el permiso de estudio brindado y el desarrollo del diseño experimental.

DEDICATORIA

A:

Dios quien me dio soplo de vida, amor infinito, regalo de talentos para poder multiplicarlos y culminar mi carrera con muchos éxitos, alegría y bendición.

Mis padres María Concepción García Y Carmelo Dávila Lima por el amor, cariño y ternura que me brindaron a lo largo de mi carrera estudiantil.

Mi hijo Kendell Manolo Dávila Alcántara y Ana Magali Alcántara Zuleta quienes me apoyaron a seguir adelante.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	i
SUMMARY	ii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	2
2.1 IMPORTANCIA SOCIO ECONÓMICA PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR EN GUATEMALA	2
2.2 ORIGEN MORFOLOGÍA Y DESARROLLO VEGETATIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR	2
2.2.1 Origen	2
2.2.2 Morfología	2
2.2.3 Desarrollo vegetativo	3
2.2.4 Sistema radical	3
2.2.5 Tallo	3
2.2.6 Hoja	3
2.2.7 Flor	3
2.3 ESTABLECIMIENTO DE UNA PLANTACIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR	4
2.3.1 Adecuación y preparación de terrenos	4
2.3.2 Siembra y labores de cultivo	5
2.3.3 Época de siembra	6
2.3.4 Método de siembra	6
2.3.5 Distanciamiento y densidad	7
2.3.8 Productividad de caña y rendimiento azucarero	9
2.4 DESARROLLO VEGETATIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR	9
2.4.1 Periodo de brotación	9
2.4.2 Periodo de amacollamiento	9
2.4.3 Periodo de crecimiento	10
2.4.4 Población	10
2.4.5 Periodo de maduración	10
2.5 CONDICIONES CLIMÁTICAS Y EDÁFICAS NECESARIAS PARA LA CAÑA DE AZÚCAR	10
2.5.1 Efecto de la humedad del suelo sobre la brotación	11
2.6 MÉTODOS DE CULTIVO PARA PROMOVER LA BROTACIÓN	12
III PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	14
3.2 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	14

IV	OBJETIVOS	15
		Página
4.1	GENERAL	15
4.2	ESPECÍFICOS	15
V	HIPÓTESIS	16
VI	METODOLOGÍA	17
6.1	LOCALIZACIÓN DEL TRABAJO	17
6.2	MATERIAL EXPERIMENTAL	17
6.3	FACTOR ESTUDIADO	17
6.4	DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	17
6.5	DISEÑO EXPERIMENTAL	18
6.6	MODELO ESTADÍSTICO	18
6.7	UNIDAD EXPERIMENTAL	19
6.8	CROQUIS DE CAMPO	19
6.9	MANEJO DEL EXPERIMENTO	19
6.10	VARIABLES RESPUESTA	20
6.10.1	Población (plantas por metro lineal)	20
6.10.2	Diámetro de tallos (cm)	20
6.10.3	Altura de plantas (m)	20
6.10.4	Rendimiento de caña (t/ha)	20
6.10.5	Rendimiento de azúcar (t de azúcar/ha)	20
6.11	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	21
6.11.1	Análisis estadístico	21
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
7.1	POBLACIÓN (PLANTAS POR METRO LINEAL)	22
7.2	DIÁMETRO DE TALLOS	24
7.3	ALTURA DE PLANTAS	25
7.4	RENDIMIENTO DE CAÑA	26
7.5	RENDIMIENTO DE AZÚCAR	27
7.6	COSTOS DE PRODUCCIÓN	29
VIII.	CONCLUSIONES	30
IX.	RECOMENDACIONES	31
X.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
XI	ANEXO	34
11.1	POBLACIÓN DE PLANTAS DE CAÑA DE AZÚCAR	34
11.2	DIÁMETRO DE PLANTAS DE CAÑA DE AZÚCAR	35
11.3	ALTURA DE PLANTAS DE CAÑA DE AZÚCAR	36
11.4	RENDIMIENTO DE CAÑA	37

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Distanciamiento entre surco y mesa de los tratamientos, paquetes y metros lineales de cultivo.	18
Cuadro 2. Análisis de varianza para variable población por metro lineal	22
Cuadro 3. Prueba de medias población por metro lineal	22
Cuadro 4. Análisis de varianza para la variable diámetro de tallos	24
Cuadro 5. Prueba de medias para la variable diámetro de tallos	24
Cuadro 6. Análisis de varianza para la variable altura de plantas	25
Cuadro 7. Análisis de varianza para la variable rendimiento de caña (t/ha)	26
Cuadro 8. Prueba de medias para la variable rendimiento de caña (t/ha)	26
Cuadro 9. Análisis de varianza para la variable rendimiento de azúcar (t de azúcar/ha)	27
Cuadro 10. Prueba de medias para la variable rendimiento de azúcar (t de azúcar/ha)	27
Cuadro 11. Costos de producción por tonelada	29
Cuadro 12. Costos generales de producción	29

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Distribución de los tratamientos en el campo	19
Figura 2.	Población de plantas de caña de azúcar	34
Figura 3.	Diámetro de plantas de caña de azúcar	35
Figura 4.	Altura de plantas de caña de azúcar	36
Figura 5.	Rendimiento de caña en (t/ha)	37
Figura 6.	Rendimiento de azúcar (t de azúcar/ha)	38

EVALUACIÓN DE DENSIDADES DE SIEMBRA EN DOBLE SURCO SOBRE EL RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR VARIEDAD CP-72- 2086 LA DEMOCRACIA ESCUINTLA.

RESUMEN

El trabajo se desarrolló en la finca Santa Elisa, La Democracia, Escuintla, tuvo como objetivo determinar el rendimiento, en toneladas por hectárea, de cinco distanciamientos de siembra con el arreglo de doble surco en el cultivo de caña de azúcar (*saccharum* sp.) Se evaluaron seis tratamientos los cuales fueron 1.4*0.40, 1.5*0.40, 1.6*0.40, 1.7*0.40, 1.9*0.40, incluyendo un testigo, éste consistió en un surco simple con un distanciamiento entre surcos de 1.5 m. Se evalúa el número de tallos por metro lineal, el diámetro de tallos molederos, la altura de tallos molederos, el rendimiento de toneladas de caña por hectárea y el rendimiento de toneladas de azúcar por hectárea. Se utilizó como material experimental la variedad CP72-2086. Se determinó que hubo diferencia entre los tratamientos; el mejor tratamiento fue el testigo, obteniendo 21.73 toneladas de azúcar por hectárea y 155.4 toneladas de caña por hectárea; en segundo lugar se ubicó el tratamiento de 1.4 x 0.4 m con 20.53 toneladas de azúcar por hectárea y 138.3 toneladas de caña por hectárea. Se determinó que para el efecto de los tratamientos evaluados sobre el costo de toneladas de azúcar por hectárea, el mejor tratamiento fue el testigo, obteniendo el menor costo de producción, con Q 214.24 por tonelada producida. Se recomienda utilizar esta información como base para establecer un método adecuado de siembra en caña de azúcar y así alcanzar su máxima productividad.

EVALUATION OF PLANTING DENSITIES YIELD IN DOUBLE FURROW ON THE CP-72-2086 SUGARCANE VARIETY, LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA

SUMMARY

This research study was carried out in Santa Elisa farm, La Democracia, Escuintla, and its objective was to determine the yield, in tons per hectare, of five planting distances in a double furrow arrangement in the sugarcane production (*saccharum* sp.). Six treatments were evaluated, which were: 1.4*0.40, 1.5*0.40, 1.6*0.40, 1.7*0.40, and 1.9*0.40, including a check that consisted of a simple furrow with a distance among furrows of 1.5 m. The number of stalks per linear meter, diameter of grinding stalks, height of grinding stalks, stalk yield in tons per hectare, and sugar yield in tons per hectare were evaluated. The CP72-2086 variety was used as experimental material. It was determined that there was a difference among treatments; the best treatment was the check, obtaining 21.73 tons of sugar per hectare and 155.4 tons of stalk per hectare; it was followed by the 1.4 x 0.4 m treatment with 20.53 tons of sugar per hectare and 138.3 tons of stalks per hectare. For the effect of the evaluated treatments on the cost of sugar tons per hectare, the best treatment was the check, obtaining the lowest production cost, with Q214.24 [equivalent to US\$26.78] per ton. It is recommended to use information as a base to establish an adequate planting method in sugarcane to reach its maximum productivity.

I. INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar es un cultivo que beneficia a toda la costa sur por los empleos que genera en dicha región, también a más de 33,000 cortadores de caña que se emplean para el corte de caña de azúcar en los diferentes ingenios de Guatemala. Para el año 2010 se encontraban establecidas aproximadamente 230,000 hectáreas de siembra, esto equivale al 25.25% de las exportaciones agrícola del país, teniendo un impacto socio económico relevante. Los rendimientos actuales oscilan alrededor de 101 toneladas métricas de caña por hectárea; la caña de azúcar ocupa el segundo lugar en productividad a nivel mundial. Sin embargo, la falta de tierra para la expansión de este cultivo obliga a buscar soluciones para un mejor aprovechamiento del recurso suelo, así como de la maquinaria utilizada. Por ello se busca otro arreglo espacial de siembra, como el surco doble, para aprovechar el recurso tierra lo más eficiente posible, para incrementar la productividad y por ende la cantidad de toneladas de caña por hectárea. Actualmente el método de siembra tradicional es en hileras simples, con una distancia entre ellas de 1.50 metros (Azasgua, 2008).

En la hacienda El Verger Pradera, Valle de Cauca Colombia, se hicieron estudios de siembra con doble hilera, lo que ha proporcionado fuentes de información para poder realizar el método de doble hilera en el cultivo de caña de azúcar, en el que no tuvieron ningún inconveniente para el corte, alce y transporte (CAT) (Estrada, 2005).

Por lo tanto, en la presente investigación se evaluó el rendimiento de caña utilizando un método de doble surco con cinco distanciamientos. El estudio es parte de la investigación realizada en el Ingenio Magdalena. Teniendo actualmente 1000 hectáreas de siembra con el método de doble hilera. El objetivo de este método de siembra es incrementar los metros lineales de los surcos de siembra, reduciendo los espacios sin caña y reduciendo los pasos de maquinaria de labores varias y la cosecha mecánica, así mismo incrementar la cantidad de toneladas por hectárea; el experimento se realizó en la finca Santa Elisa, del municipio de La Democracia, que pertenece geográficamente al estrato bajo del departamento de Escuintla.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 IMPORTANCIA SOCIO ECONÓMICA PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR EN GUATEMALA

En la actualidad Guatemala exporta aproximadamente el 71% de su producción y el 29% restante lo destina al mercado interno. Guatemala está entre los 10 países exportadores más importantes del mundo, en el ámbito nacional, la caña ocupa el segundo renglón en la economía del país por concepto de exportación (CENGICAÑA, 1994).

2.2 ORIGEN MORFOLOGÍA Y DESARROLLO VEGETATIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

2.2.1 Origen

La caña de azúcar es originaria de la india. En china apareció 800 años AC utilizándose como pago de tributos. Alejandro El Grande la llevó a Europa 300 años AC; los árabes la propagaron en sus tierras, Cristóbal Colón en 1493 la introdujo al continente americano, siendo en República Dominicana donde se cultivó por primera vez en 1509. A Pedro de Alvarado se le atribuye su introducción a Guatemala (Flores, 1976).

2.2.2 Morfología

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es una planta monocotiledonea que pertenece a la familia de las poaceas. El conocimiento de la morfología de la planta permite diferenciar y reconocer las especies y variedades existentes; también relacionarlas con comportamientos en rendimientos y adaptabilidad, lo que facilita la implementación de las BPA porque se mejora el conocimiento del productor sobre su cultivo y facilita algunas acciones (CENGICAÑA, 1994).

2.2.3 Desarrollo vegetativo

Las partes básicas de la estructura de una planta, que determinan su forma son: la raíz, el tallo, las hojas y la flor.

2.2.4 Sistema radical

Es el órgano sostén y el medio para la absorción de nutrientes y el agua del suelo; en la planta de caña de azúcar se distinguen dos tipos de raíces, primordiales y permanentes (CENGICAÑA, 1994).

2.2.5 Tallo

Es el órgano más importante de la caña puesto que allí se almacenan los azúcares; el número, el diámetro, el color y el hábito de crecimiento dependen de la variedad. La longitud de los tallos, en gran parte depende de las condiciones ambientales de la zona y el manejo que se le da a la variedad; los tallos pueden ser primarios, secundarios y terciarios (CENGICAÑA, 1994).

2.2.6 Hoja

Se origina en los nudos y se distribuye en posiciones alternas a lo largo del tallo; cada hoja está formada por la lámina foliar y por la vaina y la yagua, la unión entre estas dos partes se conoce con el nombre de lígula, en cuyos extremos existe una aurícula con pubescencia variable (CENGICAÑA, 1994).

2.2.7 Flor

Es una inflorescencia en panícula sedosa en forma de espiga. Las espiguillas dispuestas a lo largo de un raquis contienen una flor hermafrodita con tres anteras y un ovario con dos estigmas. Cada flor está rodeada de pubescencias largas que le dan a la

inflorescencia un aspecto sedoso. La floración ocurre cuando las condiciones ambientales del fotoperiodo, temperatura y disponibilidad de agua en niveles de nutrientes en el suelo son favorables (CENGICAÑA, 1994).

2.3 ESTABLECIMIENTO DE UNA PLANTACIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR

2.3.1 Adecuación y preparación de terrenos

CENGICAÑA (1994) recomienda realizar las labores que están directamente relacionadas con el estudio del terreno que se va a preparar, su uso anterior, su topografía, características físicas del suelo, humedad, drenaje etc. las labores van a depender del estado inicial del suelo incluyéndose las siguientes fases:

Limpieza o decepada: Consiste en eliminar todos los residuos de cultivos anteriores, o destrucción de las cepas en caso de renovación. Se puede utilizar rastras, haciendo dos pasos perpendiculares entre ellos, y así desterronar y destruir las cepas anteriores.

Levantamiento topográfico: Tiene el objetivo de delimitar todos los accidentes naturales o artificiales a tomar en cuenta en el diseño de campo.

Diseño de campo: Aquí se define la ubicación de los lotes, tomando en cuenta las curvas a nivel, el trazo de quineles o canales de riego y drenaje, la pendiente deseable de los surcos para un riego por gravedad eficiente y los callejones de transporte de la caña y maquinaria.

Nivelación: Es recomendable únicamente cuando se va a realizar riego por gravedad, la pendiente deseable en este caso es de 2 por mil.

Subsolado: Es necesario para fragmentar las capas impermeables formadas por la compactación que se va formando durante las labores del cultivo y cosecha, se utiliza

más el equipo parabólico, haciendo dos pases, formando el segundo 15 grados con respecto al primero.

Aradura: Únicamente se realiza en suelos pesados, y se hace de forma perpendicular a la dirección del surco.

Surcado: Se hacen los surcos generalmente distanciados 1.5 m, su profundidad varía de 20 a 30 cm, dependiendo del suelo y la textura del mismo (CENGICAÑA, 1994).

2.3.2 Siembra y labores de cultivo

Se debe tener cuidado en la selección del material vegetativo a sembrar (semilla asexual) y de las labores de siembra dependerá en gran parte el futuro de la plantación. Si estas labores se hacen de forma adecuada se evitarán gastos de resiembra o pérdidas. Y consecuentemente la plantía y posteriores ciclos de soca y resoca rendirán mejor (Zamora, 1978).

El material a utilizar para establecimientos de plantaciones comerciales deberá consistir de esquejes o trozos de tallos de 60 cm de longitud aproximadamente, con 3 a 4 yemas (denominadas semillas), los cuales se agrupan en paquetes de 30 unidades (Viveros y Calderón, 1995).

Los esquejes no deben pasar más de cuatro días en el campo y tener cuatro yemas viables para obtener óptimos resultados en la brotación (Buenaventura, 1974).

También indica que en la selección, corte y picado del material vegetativo los tallos cortados deben despuntarse pero no deshojarse, para impedir que las yemas se lastimen. Los canutos superiores o tiernos germinan mejor que los inferiores. Antes de la siembra se debe proceder a la eliminación de las vainas de las hojas (despaje) de la superficie de la estaca, aplicándole un fertilizante rico en fósforo al fondo del surco

antes de distribuir esquejes con 3 o 4 yemas, luego se debe aplicar una solución desinfectante y tapar inmediatamente con suelo (Zamora, 1978).

2.3.3 Época de siembra

El periodo de siembra depende de los accesos a las áreas de siembra y la disponibilidad de agua en los campos; de lo contrario lo ideal sería al término de la temporada de lluvia, entre octubre y noviembre, de tal forma que la plántula brotada aproveche la humedad y alcance a desarrollar su sistema radicular antes de que se acentúe la temporada seca, entre marzo y abril. En cambio, en las fincas que se dispone de riego, el periodo de siembra puede ser de principios de noviembre hasta finales de abril (Flores, 1976).

2.3.4 Método de siembra

Cadena sencilla: Los tallos se distribuyen en una sola hilera en el fondo del surco, con los extremos sobre puestos, se recomienda en variedades de tallo grueso y mediano (Flores, 1976).

Cadena doble: se hacen dos hileras de semilla, con los tallos totalmente sobre puestos, Se recomienda cuando se quieran densidades altas, cuando los esquejes sean de mala calidad (Flores, 1976).

Siembra mecanizada: Aquí la máquina ejecuta todas las labores mencionadas anteriormente, ahorrando tiempo y mano de obra. Todas las variaciones de la siembra mecanizada son más eficientes y más económicas que la siembra manual (Flores, 1976).

2.3.5 Distanciamiento y densidad

Actualmente en Guatemala el distanciamiento más común es de 1.5 m entre surcos con variación en las densidades de siembra (yemas/m lineal). Sin embargo, por diversas razones, principalmente desde el punto de vista de la mecanización, algunos ingenios están modificando este distanciamiento a un menor espaciamiento para proteger la planta de las labores de cosecha y en la economía de pasos de maquinaria. En algunos casos se ha reducido el espaciamiento hasta 1.3 m entre surcos para tener más tallos por área y tener un cierre más rápido (CENGICAÑA, 2006).

La densidad de siembra puede ser diferente de acuerdo a la distancia a que se coloquen las marcas de siembra de un paquete de 30 esquejes (longitud de bandereo), normalmente se colocan banderolas separadas 10 a 12 m, sin embargo, se obtiene un ahorro de hasta el 33% en cantidad de semilla si se hace de 12 a 18 m; la densidad de siembra empleada en la actualidad varía entre 9 y 12 yemas por metro lineal de surco (Viveros y Calderón, 1995).

Actualmente en ingenio Magdalena se busca obtener 16 tallos por metro lineal, estaquillando entre 6 a 9 metros, dependiendo de la cantidad de yemas viables por paquete en campo.

Se debe sembrar entre 14 y 16 yemas por metro lineal en semilla de baja calidad y con semillas de buena calidad alrededor de 10 yemas (Buenaventura, 1974).

Se ha tratado de adaptar las distancias de siembra de caña con objetivos diferentes: aumentar el rendimiento de los cañales y adaptar sistemas de riego por goteo. En hacienda El Vergel Pradera, Valle del Cauca, Colombia, se realizaron varios experimentos para aprovechar o alternar el cultivo del maíz en áreas con caña establecida aún en lotes de soca. En 1978 se tomó la decisión de renovar cada surco de caña de la hacienda El Vergel, aumentando el distanciamiento entre surcos de 1.50

a 1.75 m e implementando el doble surco a 0.70 m para mantener la densidad de población (Estrada, 2005).

En Guatemala un análisis realizado en el ingenio Magdalena determinó que los distanciamientos más adecuados en doble surco para facilitar las labores de corte alce y transporte (CAT) es de 40 cm entre surco doble y 1.5 m de mesa, lo que ayuda a evitar que el paso de la maquinaria compacte los surcos de caña directamente (Comunicación personal E. Solares).

En 1979 las primeras renovaciones se realizaron con la siembra de doble surco, proceso que contó con el respaldo incondicional del Ingenio Central Castilla S.A. Se llevó a cabo una ampliación de la distancia de estaquillado a 14 m por paquete de 30 esquejes buscando sembrar aproximadamente la misma cantidad de esquejes utilizados en el sistema de 1.50 m de ancho de calle. En 1980, se realiza la primera cosecha con doble surco en el Ingenio Central Castilla S.A. sin presentarse inconveniente alguno con el corte, alce y transporte (CAT). Se mantienen los niveles de producción en los distanciamientos realizados (Estrada, 2005).

Se escogieron ocho parejas de lotes con similares características de tipo de suelo, fecha de siembra, zona meteorológica y manejo de cultivo. En cinco parejas un lote se sembró bajo el sistema doble surco (1.80 x 0.60 m) y el lote testigo fue sembrado con surco sencillo a 1.50 m. En las otras parejas se sembró un lote con surco sencillo a 1.65 m y el testigo a 1.50 m. Al igual que en el 2009, se agregó un 30% a las dosis de fertilizante en los lotes con doble surco con respecto a las dosis aplicadas en el surco sencillo a 1.50 m (Cruz, Palomeque, Nuñez, Spaans, 2013).

En población y diámetro del tallo se presentan los promedios obtenidos en las evaluaciones de doble surco, pues se obtuvo una tendencia similar en las variables población y diámetro de tallos. Un 60% presentaron diferencias significativas a los 8 meses de edad a favor del surco sencillo. El doble surco presenta menor población de tallos/m en un surco, y un incremento del 17% en la población de tallos por hectárea al

momento de la cosecha, debido a la mayor cantidad de metros lineales por hectárea en el sistema doble surco (surco sencillo 6,667 m/ha vs. doble surco 11,111 m/ha) (Cruz, et al., 2013).

2.3.6 Productividad de caña y rendimiento azucarero

En las cinco parejas en las que se evaluó el doble surco se obtuvo mayor productividad bajo este sistema que en el surco sencillo a 1.50 m. En promedio el incremento obtenido fue de 17%. El mayor incremento se produjo en las parejas 3 y 4, que estaban ubicadas en la zona de menor luminosidad del ingenio. Los resultados sugieren que el beneficio productivo del sistema doble surco tiende a ser mayor en ambientes de baja luminosidad (Cruz, et al., 2013).

2.4 DESARROLLO VEGETATIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

El desarrollo vegetativo de la caña de azúcar se lleva a cabo de la siguiente forma:

2.4.1 Periodo de brotación

La brotación es un proceso mediante el cual el estado latente de crecimiento se transforma en estado activo; los órganos de las yemas se desarrollan formando paulatinamente una planta. El hecho por el cual las yemas no entran en actividad mientras la planta se encuentra enraizada al suelo es que en ese momento, el meristemo apical ejerce una dominancia en la cual produce una hormona que hace que se inhiba la brotación lateral (la hormona se produce en la raíz y se trasloca hacia el meristemo, a esto se le llama dominancia apical). Al cortarse los esquejes o eliminar el cogollo se rompe la dominancia apical, y las yemas laterales pueden brotar (Flores, 1976).

2.4.2 Periodo de amacollamiento

Por amacollamiento se conoce al periodo de brotaciones de los nuevos retoños que posteriormente formarán la cepa o macolla, todos ellos provenientes de una sola yema.

La plantita nacida de la yema original va formando sus nudos y entre nudos, los cuales a su vez tiene yemas y primordios de raíces, dichas yemas dan lugar a nuevos tallos, y sucesivamente hasta integrar la cepa. Las raíces que brotan del nudo son temporales, y mueren después de 30-40 días de la fecha en que se hizo la siembra. El número de retoños pueden llegar a ser de 10-14 por macolla, aun cuando después pueden morir, ya sea por competencia, por falta de espacio en el suelo, por daños de plagas, entre otros (Flores, 1976).

2.4.3 Periodo de crecimiento

El periodo de crecimiento varía entre 11 y 17 meses dependiendo de la variedad de caña y de la zona. Requiere de nitrógeno fósforo y potasio y ciertos oligoelementos para su fertilización. En zonas salinas se adiciona azufre para controlar el sodio (Flores, 1976).

2.4.4 Periodo de maduración

En la caña de azúcar se pueden considerar los estados de maduración botánica fisiológica y económica. Desde el punto de vista botánico, se considera madura después de la emisión de flores. La maduración puede ser de un ciclo corto o largo dependiendo del crecimiento. La maduración fisiológica se alcanza cuando los tallos logran su potencial de almacenamiento de sacarosa, o sea el punto máximo de azúcar posible (Cruz *et al.*, 2013).

2.5 CONDICIONES CLIMÁTICAS Y EDÁFICAS NECESARIAS PARA LA CAÑA DE AZÚCAR

Los índices de temperatura para el mejor desarrollo de la caña son: de 32 a 38 °C para óptima brotación de yemas; 27 °C para un buen crecimiento y absorción de nutrientes y de 27 a 38 °C para el desarrollo normal. Las plantas retardan su crecimiento entre 10 y

21 °C; sus funciones fisiológicas se paralizan a menos de 10 °C y daños irreversibles ocurren a menos de 2 °C (Flores, 1976).

Los requerimientos de agua varían según el lugar, en climas templados cálidos necesitan 3.8 a 8.6 mm/día y de 4.8 a 8.9 mm/día en clima cálido (Flores, 1976).

La temperatura óptima para la brotación de la caña de azúcar es de 32 a 38 °C. Las temperaturas mayores a los rangos mencionados reducen el porcentaje de brotación y crean condiciones ideales para el ataque de organismos patógenos, causando alta mortalidad de las plántulas (Barnes, 1974).

2.5.1 Efecto de la humedad del suelo sobre la brotación

La humedad óptima del suelo y temperatura para la brotación es de -0.3 bares y 30 °C respectivamente, la tasa total de brotación de todos los cultivos disminuye a medida que baja el potencial de humedad, debido a sus efectos sobre la disponibilidad de agua y la rapidez con que esa se mueve. La tasa de brotación también disminuye a medida que baja la temperatura, haciendo falta por lo menos 36 días para lograr brotación de 50% a 18 °C en comparación con 8 días a 30 °C. La brotación total es menos afectada que la tasa de brotación por bajas temperaturas (Yang, 1974).

El rango ideal para la brotación de caña es a capacidad de campo, es decir a -0.3 bares, en el cual se produce alrededor de un 80% de brotación de yemas. La cantidad y dinámica de movimiento del agua desde el suelo hasta las yemas pueden incrementarse de acuerdo al requerimiento progresivo de las yemas. Bajo condiciones de saturación de humedad, la caña no presenta brotación alguna debido a la escases de oxígeno que puede consumirse en un tiempo relativamente corto (Yang, 1974).

Las diferencias en brotación entre variedades o cultivares bajo las mismas condiciones de humedad del suelo, pueden ser atribuidas a:

Diferente conductividad hidráulica epidermal, lo que causa diferencias en el ingreso de agua dentro de los esquejes.

Diferentes cantidades de agua requerida para activar las enzimas responsables de invertir la sucrosa en azúcar aprovechable.

Diferentes condiciones de sucrosa y de azúcares reductores en los esquejes, diferentes potenciales osmóticos (Yang, 1974).

La brotación decrece en porcentaje en relación directa a la disminución de la temperatura, y se necesita alrededor de 8 días para obtener un 50% de brotación a 30 °C, de 8 a 25 días a 26 °C y 36 días a 18 °C en la mayoría de actividades. Además, el porcentaje final de brotación no es tan dependiente de la temperatura, como la aceleración de producir la misma y que cuando la temperatura decrece hasta cierto nivel, no solo la absorción de agua por los esquejes decrece debido al incremento en la resistencia al flujo del agua, sino que también a que la actividad de las enzimas involucradas en el proceso de brotación disminuye. (Victoria y Calderón, 1995).

2.6 MÉTODOS DE CULTIVO PARA PROMOVER LA BROTAÇÃO

Siembra de semilla de buena calidad y provenientes de semilleros con la edad de 7 y 12 meses, según la variedad (CENGICAÑA, 1995).

Preparación del suelo. La caña de azúcar requiere de una adecuada preparación del suelo que permita a las raíces desarrollarse eficientemente y evitar problema de drenaje (CENGICAÑA, 1995).

Humedad del suelo. Durante el periodo de brotación se debe asegurar un nivel alto de humedad en los primeros 25 a 30 cm del suelo, aplicando los riegos necesarios para mantener el balance hídrico (CENGICAÑA, 1995).

Tapado de los esquejes. En suelos con buen drenaje el tapado se puede realizar con una capa de 5 a 10 cm de suelo. En suelos húmedos y con mal drenaje el tapado de los esquejes debe ser lo más delgado posible (máximo 5 cm) y los surcos deben ser poco profundos para evitar pérdidas de brotación (CENGICAÑA, 1995).

Sanidad de los esquejes. Deben estar libre de plagas y enfermedades (CENGICAÑA, 1995).

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Debido a que las áreas destinadas al cultivo de caña de azúcar no son suficientes, se busca mejorar la productividad, implementando tecnologías que incrementen la producción por unidad de área.

Actualmente el Ingenio Magdalena está implementado el método de doble surco o tipo piña en 1,000 hectáreas de cultivo, con el objetivo de incrementar la productividad de toneladas métricas por hectárea, sin embargo, siendo una labor innovadora, se requiere de información que defina distanciamientos que permitan el máximo potencial de esta actividad, para generar una mayor producción de toneladas de caña por hectárea.

3.2 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Debido a que los arrendamientos de terrenos para el cultivo de caña de azúcar son cada vez más escasos y el costo es alto, es necesario aumentar la producción de toneladas de caña por hectárea, también el aumento demográfico hace que la demanda de azúcar sea mayor día con día, por lo que se propone implementar un nuevo sistema de siembra de surco de doble hilera o tipo piña, con el que se espera aumentar la cantidad de toneladas de caña por hectárea y así cumplir con la demanda del producto.

Por lo que es de mucha importancia y necesario generar información para que pueda ser difundida en la agro industria azucarera, de esta manera se logrará que el beneficio económico y generación de empleos sea mayor para el país.

IV. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Evaluar el efecto de cinco densidades de siembra en doble surco, sobre el rendimiento del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en finca Santa Elisa, La Democracia, Escuintla.

4.2 ESPECÍFICOS

Determinar el efecto de los tratamientos sobre el rendimiento de caña (t/ha)

Determinar el efecto de los tratamientos sobre el rendimiento de azúcar (t/ha)

Determinar la viabilidad económica de los tratamientos

V. HIPÓTESIS

- Al menos uno de los tratamientos superará a los demás en rendimiento de caña por hectárea.
- Al menos uno de los tratamientos superará a los demás en rendimiento de azúcar por hectárea.
- Al menos uno de los tratamientos constituye una buena alternativa económica para los productores de caña de azúcar.

VI. METODOLOGÍA

6.1 LOCALIZACIÓN DEL TRABAJO

El trabajo se desarrolló en la finca Santa Elisa, la cual está ubicada en el municipio de La Democracia, que pertenece geográficamente al estrato bajo del departamento de Escuintla, a una latitud de 14° 9' 44.6" norte y una longitud de 90° 55' 32.48" oeste. El ensayo se realizó durante la temporada 2010-2011.

6.2 MATERIAL EXPERIMENTAL

Se utilizó semilla de caña variedad CP72-2086 para los seis tratamientos

Surcador de dos puntas

Surcador de cuatro puntas para surco doble

Tractor 100 HP

6.3 FACTOR ESTUDIADO

Densidades de siembra

6.4 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Tratamiento 1. Densidad: 112,255 tallos/ha Forma de siembra: 1.50 metros entre surco sencillo, tratamiento testigo

Tratamiento 2. Densidad: 97,300 tallos/ha Forma de siembra: 0.40 m entre surco doble y 1.60 m entre calles

Tratamiento 3. Densidad: 109,443 tallos/ha Forma de siembra: 0.40 m entre surco doble y 1.40 m entre calles

Tratamiento 4. Densidad: 97,610 tallos/ha Forma de siembra: 0.40 m entre surco doble y 1.70 m entre calles

Tratamiento 5. Densidad: 115,575 tallos/ha Forma de siembra: 0.40 m entre surco doble y 1.50 m entre calles

Tratamiento 6. Densidad: 92,167 tallos/ha Forma de siembra: 0.40 m entre surco doble y 1.90 m entre calles

En el cuadro 1 se presenta un resumen de los tratamientos evaluados.

Cuadro 1. Distanciamiento entre surco y mesa de los tratamientos, paquetes y metros lineales de cultivo.

Tratamientos	Método	Distanciamiento		Paquetes de 130 yemas	Metros lineales de cultivo	Tallos por hectárea
		Entre calle	Entre Surco			
1	Surco sencillo	1.5	1.5	889	6666	112,255
2	Doble Surco	1.6	0.4	1333	10000	97,300
3	Doble Surco	1.4	0.4	1481	11111	109,443
4	Doble Surco	1.7	0.4	1269	9523	97,610
5	Doble Surco	1.5	0.4	1403	10526	115,575
6	Doble Surco	1.9	0.4	1159	8695	92,167

6.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, debido a que las condiciones del terreno no son homogéneas

6.6 MODELO ESTADÍSTICO

$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$ Donde:

μ = Media general de la variable respuesta

τ_i = Efecto de i-ésimo tratamiento

β_j = Efecto del j-ésimo bloque

ϵ_{ij} = Error asociado a la ij-ésima unidad experimental

Para hacer la prueba de media se utilizó (LSD Fisher)

6.7 UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental tuvo 10 m de largo y 7.5 m de ancho, con un total de 75 metros cuadrados, cada unidad experimental se repitió 6 veces (6 repeticiones).

6.8 CROQUIS DE CAMPO

La distribución de los tratamientos en el campo se muestra en la figura 1

Bloque 1	2	1	4	6	3	5
Bloque 2	3	6	1	5	4	2
Bloque 3	5	6	1	2	4	3
Bloque 4	3	4	2	6	1	5
Bloque 5	2	6	5	1	3	4
Bloque 6	3	4	6	5	2	1

Figura 1. Distribución de los tratamientos en el campo

6.9 MANEJO DEL EXPERIMENTO

Se realizó el programa de siembra en el mes de noviembre, con una aplicación de fertilizante fórmula 18-46-0, a 227.27 kg/ha, esto se utilizó para las diferentes densidades de siembra, se aplicó una lámina de riego de 6 mm por día, una aplicación pre-emergente y otra pos-emergente donde se utilizó ametrina a una dosis de 2.5 l/ha en mezcla con 2-4-D a una dosis de 1.5 l/ha; se cuantificaron población de tallos, altura y diámetro, esto se realizó el día de la cosecha. Se realizaron dos limpiezas manuales. Al momento de la cosecha se cortó manualmente y se pesó con una alzada, agregándole una balanza analítica de medición para experimentos, proporcionada por CENGICAÑA, en donde se tomaron los pesos por unidad experimental.

6.10 VARIABLES RESPUESTA

6.10.1 Población (plantas por metro lineal)

Se tomaron todos los surcos de la unidad experimental y se contó la cantidad de tallos molederos.

6.10.2 Diámetro de tallos (cm)

Se utilizó vernier para medir el diámetro de tallos, se tomó un metro de los surcos centrales a cinco metros de la ronda y se midieron diez plantas para obtener un promedio de las mismas, la medida se tomó a 50 cm de altura.

6.10.3 Altura de plantas (m)

Se utilizaron reglas para medir la altura de las plantas; se midieron diez plantas de un metro tomado en el surco central y se obtuvo un promedio de las mismas.

6.10.4 Rendimiento de caña (t/ha)

Se utilizó una alzadora y una balanza analítica digital proporcionada por CENGICAÑA para tomar el peso de cada unidad experimental.

6.10.5 Rendimiento de azúcar (t azúcar/ha)

Se tomaron muestras de pre-cosecha para el análisis en el laboratorio para obtener la cantidad de azúcar de cada unidad experimental.

6.11 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

6.11.1 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza para cada una de las variables evaluadas. En caso de encontrar diferencia significativa se realizó una prueba de medias (LSD Fisher 0.5 %).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 POBLACIÓN (TALLOS POR METRO LINEAL)

De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 2, del análisis de varianza para la variable población por metro lineal, se determinó que existe diferencia estadística altamente significativa, por lo cual se determinó que los tratamientos influyen sobre la variable respuesta de población por metro lineal. La fuente bloques no presentó diferencia estadística significativa, la lectura de población fue tomada a los 12 meses después de la siembra.

Cuadro 2. Análisis de varianza para la variable población por metro lineal.

Fuente variación	G.L.	SC	CM	Fc	Prob>F
Modelo	10	232.24	23.22	9.27	<0.0001**
Tratamiento	5	221.30	44.26	17.67	<0.0001**
Bloque	5	10.94	2.19	0.87	0.5131NS
Error	25	62.63	2.51		
Total	35	294.86			

** Diferencia altamente significativa NS Diferencia no significativa CV 13.91%

Cuadro 3. Prueba de medias para población por metro lineal

Tratamiento	Distancia siembra	Medias (# tallos)	Grupo	Fisher
1	Testigo (1.5 m)	16.84	A	
5	Doble surco (0.40*1.50 m)	10.98		B
6	Doble surco (0.40*1.90 m)	10.6		B
4	Doble surco (0.40*1.70 m)	10.25		B
3	Doble surco (0.40*1.40 m)	9.85		B
2	Doble surco (0.40*1.60 m)	9.73		B

De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 3, de la prueba de medias utilizando Fisher con una confiabilidad del 95%, el tratamiento 1, el cual corresponde al tratamiento testigo donde la distancia de siembra fue de 1.5 m entre surcos presentó mayor población por metro lineal, con un dato de 16.84 tallos molederos por metro lineal, esto debido a que el conteo de tallos se realizó en cada línea de siembra, independientemente sean paralelos en el surco doble, lo cual implica que en los tratamientos de surcos dobles, se tiene una mayor cantidad de metros lineales por la

condición de doble surco, sin embargo, produce una menor cantidad de tallos por metro lineal. El área de brotación de yemas viables por macolla, se ve reducida por unidad de tallos, en los tratamientos de doble surco, a diferencia del surco sencillo que posee mayor área viable de brotación de yemas en cada surco, lo cual reduce la probabilidad de brotación de yemas en la condición de surco doble en un metro lineal, mientras que en una hectárea, la diferencia entre población de tallos del surco sencillo en relación al surco doble, es menor, ya que cada hilera de surcos presentan una mayor optimización del área para obtención de tallos a cosecha. Los tratamientos del 2 al 6 no presentaron una diferencia en la prueba de medias entre los mismos; similares resultados presentaron Cruz *et al.* (2013) quienes en su experimento indican que obtuvieron diferencia significativa en los tratamientos de las cinco parejas de doble surco evaluadas a los 8 meses de edad a favor del surco sencillo de 1.5 m sobre la población y diámetro de tallos, aunque el doble surco presenta menor población de tallos/m en un surco, existe un incremento del 17% en la población de tallos al momento de la cosecha en una hectárea frente al surco sencillo, debido a la mayor cantidad de metros lineales por hectárea en el sistema doble surco en comparación con el surco sencillo a 1.50 m (6,667 m vs. 11,111 m).

7.2 DIÁMETRO DE TALLOS

De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 4, de análisis de varianza de la variable diámetro de tallos, se observa que existe diferencia estadística altamente significativa entre los tratamientos en relación a la variable respuesta diámetro de tallo. Las fuentes modelo y bloque no presentaron diferencia estadística significativa. Por lo anterior, se realizó la prueba de medias para la variable tratamientos, misma que se presenta en el cuadro 5.

Cuadro 4. Análisis de varianza para variable diámetro de tallos

Fuente variación	G.L.	SC	CM	Fc	Prob> F
Modelo	10	2.77	0.28	2.2	0.0537 NS
Bloque	5	0.51	0.1	0.82	0.5503 NS
Tratamiento	5	2.26	0.45	3.58	0.014**
Error	25	3.15	0.13		
Total	35	5.92			

** Diferencia altamente significativa NS Diferencia no significativa CV 13.57%

Cuadro 5. Prueba de medias para la variable diámetro de tallos.

Tratamiento	Distancia de siembra	Medias (diámetro cm)	Grupo	Fisher
1	Testigo (1.5 m)	3.14	A	
4	Doble surco (0.40*1.70 m)	2.60		B
6	Doble surco (0.40*1.90 m)	2.59		B
5	Doble surco (0.40*1.50 m)	2.58		B
2	Doble surco (0.40*1.60 m)	2.42		B
3	Doble surco (0.40*1.40 m)	2.37		B

Medidas con una letra común no son significativamente diferentes ($p < .05$)

De acuerdo a los resultados expresados del cuadro 5, prueba de medias de la variable diámetro de tallos, el tratamiento 1, que corresponde al testigo absoluto, presentó el mayor diámetro, con una media de 3.14 centímetros, a diferencia de los tratamientos del 2 al 6 que presentaron un diámetro de tallos molederos inferior. Esto debido a que la fertilización propuesta para cada tratamiento fue la misma cantidad proporcionada en cada unidad experimental, siendo ésta 226.79 kg/ha de la fórmula 18-46-0, lo que conlleva a tener tallos más nutridos por unidad de área en el tratamiento testigo. Otro

indicador es el índice de área foliar (IAF), que presenta cada tallo, ya que en el sistema de doble surco el IAF se reduce afectando la capacidad fotosintética de cada planta, a diferencia del surco sencillo que posee mayor IAF por unidad de tallos, esto es lógico, ya que a mayor densidad de tallos mayor será la competencia entre ellos, por ende la disponibilidad de nutrientes será mejor en el surco sencillo (Cruz *et al.*, 2013). La variable diámetro fue tomada al momento de la cosecha con 12 meses después de la siembra.

7.3 ALTURA DE PLANTAS

De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 6, del análisis de varianza de la variable altura de plantas, no existe diferencia significativa entre los tratamientos, modelos y bloques, por lo que no se procedió a realizar prueba de medias.

Cuadro 6. Análisis de varianza de la variable altura de plantas

F.V.	SC	GI	CM	F	P-valor
Modelo	6545.94	10	654.59	0.61	0.7916 NS
Tratamiento	4474.47	5	894.89	0.83	0.5389 NS
Bloque	2071.47	5	414.29	0.39	0.854 NS
Error	26872.36	25	1074.89		
Total	33418.31	35			

NS Diferencia no significativa CV 12.98%

De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 6, del análisis de la variable altura de plantas, estadísticamente no se observan diferencias significativas, aunque en la figura 4 se observan algunas tendencias a presentar mayor altura cuando las distancias entre calle del doble surco es menor. Los datos de la variable altura fueron tomados al momento de la cosecha con 12 meses después de la siembra

7.4 RENDIMIENTO DE CAÑA

De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 7, de análisis de varianza de la variable rendimiento de caña (t/ha), se observa que existe diferencia estadística altamente significativa entre los tratamientos con relación al rendimiento de caña, por lo que se procedió a realizar una prueba de medias.

Cuadro 7. Análisis de varianza de la variable rendimiento de caña (t/ha)

Rendimiento (t/ha)	G.L.	SC	CM	Fc	Prob>F
Modelo	10	9504.76	950.48	5.65	0.0002**
Tratamiento	5	8,024.16	1604.83	9.53	<0.0001**
Bloque	5	1480.6	296.12	1.76	0.1581 NS
Error	25	4209.25	168.37		
Total	35	13714.01			

** Diferencia altamente significativa NS Diferencia no significativa CV 10.10%

Cuadro 8. Prueba de medias para la variable rendimiento de caña (t/ha)

Tratamiento	Densidad siembra	Medias (t/ha)	Grupo
1	Testigo (1.5 m)	155.4	A
3	Doble surco (0.40*1.40 m)	138.3	B
4	Doble surco (0.40*1.70 m)	123.93	B C
2	Doble surco (0.40*1.60 m)	123.22	B C D
5	Doble surco (0.40*1.50 m)	121.72	C D
6	Doble surco (0.40*1.90 m)	107.97	D

De acuerdo a los resultados de la prueba de medias el tratamiento 1, correspondiente al testigo, presentó el mejor rendimiento, siendo éste de 155.4 t/ha de caña, se estima que es debido a la dosis de fertilización que se proporcionó a cada unidad experimental, basado en la unidad de área y no en la población por unidad de área. En segundo lugar se encuentra el tratamiento 3, que corresponde al distanciamiento de 0.4x1.4 m, con una media de 138.3 t/ha de caña, debido a que es el tratamiento de doble surco que posee menor distanciamiento entre calles, con relación a los demás tratamientos de doble surco, y en último lugar el tratamiento 6, que corresponde al distanciamiento de 0.4x1.90 m, con una media de 107.97 t/ha de caña, esto se estima a que existe un

mayor distanciamiento entre calles; diferentes resultados presentaron Cruz *et al.*, (2013) con una producción del 14% en plantilla, para los tratamientos de doble surco, esto debido a que en la investigación aplicaron un 30% de fertilizante más para los tratamientos de doble surco, este antecedente respalda la idea de que en la evaluación realizada los tratamientos de doble surco no obtuvieron mayor rendimiento debido a que la fertilización no fue la adecuada para los tratamiento de doble surco. Los datos de la variable rendimiento de caña fueron tomados después de la cosecha, pesando cada unidad experimental a 12 meses después de la siembra.

7.5 RENDIMIENTO DE AZUCAR

De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 9, de análisis de varianza de la variable rendimiento de azúcar, se observa que existe diferencia estadística altamente significativa entre los tratamientos con relación al rendimiento de azúcar, por lo que se procedió a realizar una prueba de medias.

Cuadro 9. Análisis de varianza de la variable rendimiento de azúcar (t/ha)

F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Modelo	195.61	10	19.56	4.67	0.0008**
Tratamiento	152.99	5	30.6	7.31	0.0002**
Bloque	42.62	5	8.52	2.03	0.1082NS
Error	104.72	25	4.19		
Total	300.33	35			

** Diferencia altamente significativa NS Diferencia no significativa CV 11.07%

Cuadro 10. Prueba de medias para la variable rendimiento de azúcar (t azúcar/ha)

Tratamiento	Medias	N	E.E.	Grupo
1	21.73	6	0.84	A
3	20.53	6	0.84	A
2	17.83	6	0.84	B
4	17.80	6	0.84	B
5	17.56	6	0.84	B
6	15.48	6	0.84	B

Letras distintas indican diferencia significativa

De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 10, de la prueba de medias, el tratamiento 1, correspondiente al testigo, presentó el mejor rendimiento, con una media de 21.73 t/ha, similar resultado presento el tratamiento 3, que corresponde al

distanciamiento de 0.4x1.4 m con una media de 20.53 t/ha y en último lugar el tratamiento 6, que corresponde al distanciamiento de 0.4x1.90 m, con una media de 15.48 t/ha, los resultados de tonelada de azúcar por hectárea analizados en laboratorio que se muestran en el cuadro 10, fueron tomados de las muestras de pre cosecha que se tomó en campo después de la quema.

Estos datos se obtuvieron de las muestras de pre cosecha realizadas el día de la cosecha. De acuerdo a los resultados de los análisis anteriores, se determina que el tratamiento testigo de 1.5 metros de distancia, es el que presenta mayor diámetro, plantas por metro lineal, toneladas métricas de caña por hectárea y cantidad de toneladas de azúcar por hectárea.

Se considera que el tratamiento 3, presentó un resultado de rendimiento de azúcar similar al surco sencillo, debido a que es el tratamiento con menor área entre surcos dobles, lo cual provocó un mayor estrés hídrico a los tallos, promoviendo una mejor concentración de azúcar. Los resultados de la variable rendimiento de azúcar fueron tomados de las muestras de pre-cosecha de cada unidad experimental a 12 meses después de la siembra.

Un antecedente que presentó un planteamiento similar a los resultados obtenidos en la anterior discusión, demuestra que en tallos molederos por hectárea, existe un aumento en los tratamientos de surco doble, también vale la pena mencionar que en el trabajo realizado en Ecuador aumentó un 17% la cantidad de toneladas por hectárea, debido a que se aplicó un 30% de fertilizante mas para los tratamientos de doble surco, a diferencia del trabajo de evaluación de cinco densidades de siembra sobre el rendimiento de caña de azúcar, donde no se contempló aplicar una dosis mayor de fertilizante en los tratamientos de doble surco comparado con el tratamiento testigo de surco sencillo.

7.6 COSTOS DE PRODUCCIÓN

Se hizo un análisis económico, en el cual se determinó la utilidad neta de cada tratamiento.

Cuadro 11: Costos de producción por tonelada procesada por tratamiento

Tratamiento	Costo						Costo/t producida
	Preparación de tierras/t	siembra/t producida	Ton. Manejo plantación	CAT/t	Proceso/t	Ton Procesada	
1	Q10,60	Q39,99	Q67,25	Q73,00	Q23,40	Q214,24	Q428,48
2	Q13,37	Q84,01	Q92,92	Q73,00	Q23,40	Q286,70	Q573,40
3	Q11,91	Q70,93	Q82,79	Q73,00	Q23,40	Q262,03	Q524,07
4	Q13,29	Q75,20	Q87,55	Q73,00	Q23,40	Q272,43	Q544,87
5	Q13,53	Q72,92	Q89,13	Q73,00	Q23,40	Q271,98	Q543,95
6	Q15,26	Q75,09	Q100,53	Q73,00	Q23,40	Q287,27	Q574,55

En el análisis del costo por tonelada procesada, el tratamiento número 1 de 1.5 m de distancia fue el mejor con Q 214.24 seguido del tratamiento 3 con Q 262.03 por tonelada procesada.

Cuadro 12. Rendimientos de caña, azúcar, precio y utilidad obtenida por tratamiento

Tratamientos	Rendimiento			Precio	Kilógramo	Utilidad/ha
	Tonela/ha	(kilogramos de azúcar/t de caña)				
1	155.4	117.27		Q 2.57	Q 46,896.29	
2	123.22	117.27		Q 2.57	Q 37,185.08	
3	138.3	117.27		Q 2.57	Q 41,735.89	
4	123.93	117.27		Q 2.57	Q 37,399.34	
5	121.73	117.27		Q 2.57	Q 36,735.43	
6	107.93	117.27		Q 2.57	Q 32,570.89	

La utilidad de los tratamientos se muestra en el cuadro 12, de acuerdo al precio de la tonelada de caña por el número de toneladas producidas por tratamiento, menos el costo total del número de toneladas producidas por su costo unitario, el cual se muestra en el cuadro 11.

VIII. CONCLUSIONES

Se determinó que de los tratamientos evaluados, el distanciamiento de 1.5 metros de distancia entre surcos sencillo (testigo), obtuvo el mejor rendimiento de caña, siendo éste 155.4 t/ha y en segundo lugar el tratamiento 3, que corresponde al distanciamiento 1.4 x 0.4 m con 138.3 t/ha.

Para rendimiento de azúcar el mejor tratamiento fue el testigo obteniendo 21.73 toneladas de azúcar por hectárea, similar resultado presentó el tratamiento 3 de 1.4 x 0.4 m con 20.53 toneladas de azúcar por hectárea.

Con relación al análisis económico, se determinó que el mejor tratamiento fue el testigo, obteniendo el menor costo de producción con 214.24 quetzales por tonelada producida.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se determina que de los tratamientos en relación a la población obtenida por metro lineal, el testigo, donde la distancia de siembra fue de 1.5 m entre surcos de siembra simple presentó mayor población por metro lineal, con un dato de 16.84 tallos molederos. De acuerdo a los datos de biometría, el testigo presentó el mayor diámetro, con una media de 3.14 centímetros. Sin embargo, la condición de doble surco presentó mayor número de plantas por hectárea que el surco sencillo.

IX. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los datos se recomienda continuar sembrando el tratamiento testigo de 1.5 metros entre surcos sencillos.

Evaluar diferentes dosis y métodos de fertilización y generar una recomendación apropiada, para aplicar en los surcos de doble hilera, ya que posiblemente esto influyó en el desarrollo; causando un menor rendimiento de caña con relación al tratamiento testigo de 1.5 metros entre surco simple.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASAZGUA. (Asociación de azucareros de Guatemala). Manual de la caña de azúcar zafra 2007-2008 14p. Disponible en www.Expogranel.com
- ASAZGUA. (Asociación de azucareros de Guatemala). 2008. Que hay de tras de una cucharadita de azúcar. Boletín informativo. Zafra 2007-2008.
- Barnes, A.C. (1974). The sugar cane. 2. Ed. Estados unidos, Leonard Hill Book. S.p.
- Buenaventura, C.E. (1974). Viabilidad y tamaño de la semilla asexual de caña de Azúcar. Colombia, Instituto colombiano del azúcar. 10 p.
- Buenaventura. (1990). Semilleros y siembra de la caña de azúcar. Colombia, Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. Serie técnica, no. 6. 10 p.
- Caña de Azúcar. (1995). El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Colombia. PP 115-129
- CENGICAÑA. (1994). Aspectos generales de la industria azucarera en Guatemala, Guatemala, centro guatemalteco de investigación y capacitación de la caña de azúcar. CENGICAÑA, folleto 1 p 4
- CENGICAÑA. (1994). Morfología de la caña de azúcar. Guatemala, Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. Folleto. 2. p.10
- CENGICAÑA. (1995). Documento teórico no.12 Multiplicación y certificación de semilla asexual de caña de azúcar (saccharun spp) para la agro industria azucarera en Guatemala.
- CENGICAÑA. (2006). Memoria. Presentación de resultados de investigación zafra 2005-2006. Guatemala 308 p.
- Cruz, R.,Palomeque, D., Nuñez, O., Spaans,E. (2013) Desempeño de la caña de azúcar bajo diferentes distancias de siembra que mejora el trafico dentro del cultivo 2013 4p.
- Estrada, C. (2005). Método alternativo de siembra de caña de azúcar experiencia de 30 años en la hacienda el Vergel Pradera, Valle del Cauca, Colombia. Disponible en: www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_4/mod_virtuales/odulo1/metodo_alternativo.pdf Consultado 01 de Agosto 2010.

- Flores, S. (1976). Manual de Caña de azúcar. Guatemala, Instituto Técnico de Capacitación y Productividad 172 P
- Humbert, S. R.P. (1974). El Cultivo de la caña de azúcar. México, Continental. 719 P
- Morfología de la caña/disponible en agrioriente.wordpress.com
- Uribe, E, A; C. (2005). Método alternativo de siembra de caña de azúcar experiencia de 30 años en la hacienda el Vergel Pradera, Valle del Cauca, Colombia
- Victoria, J, J.: Calderón, H. (1995). Establecimiento de semilleros y multiplicación de variedades de caña en Centro Colombiano de Investigación y Capacitación de la caña de azúcar
- Viveros. C.; Calderón, H (1995). Siembra In Centro Colombiano de Investigación y capacitación de la caña de Azúcar El cultivo de la caña en la zona azucarera en Colombia. Colombia. 412 P
- Yang, S, J. (1974) El papel de la humedad del suelo en el crecimiento y rendimiento de la caña de azúcar en el clima sub tropical, en memoria simposio relación agua-suelo- planta Colombia 1978
- Zamora. (1978). Estudio de niveles tecnológicos usados en las fincas que cultivan caña en el departamento de Escuintla Tesis Ing. Agr. Guatemala Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 48 P

XI. ANEXO

11.1 POBLACIÓN DE PLANTAS DE CAÑA DE AZÚCAR

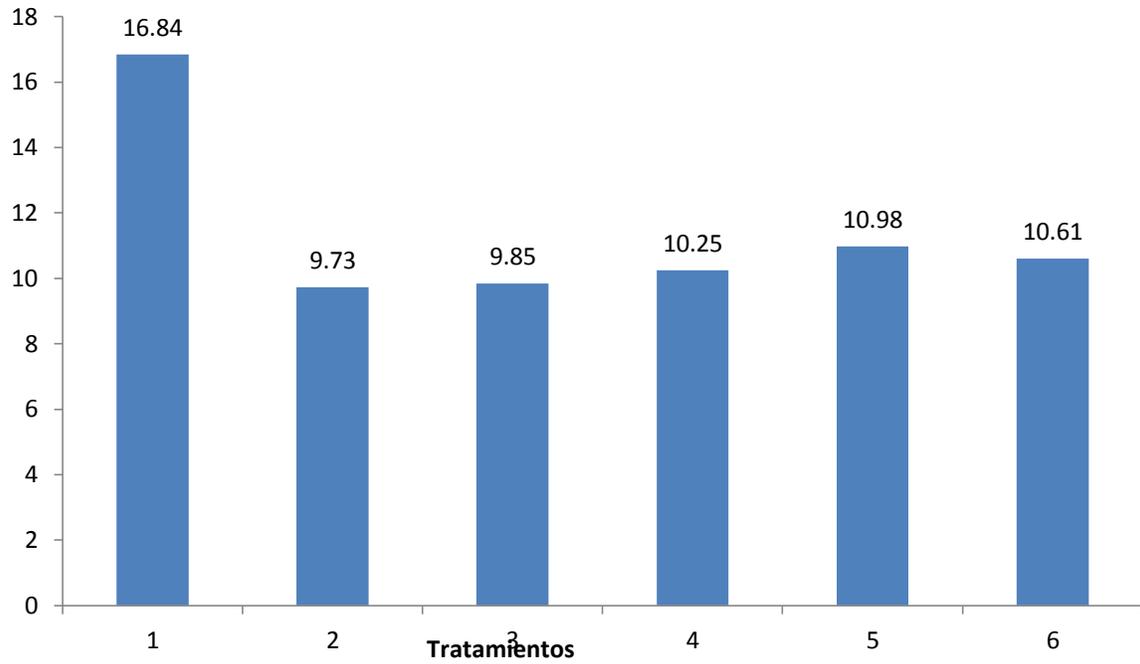


Figura 2. Población de tallos de caña de azúcar

11.2 DIÁMETRO DE PLANTAS DE CAÑA DE AZÚCAR

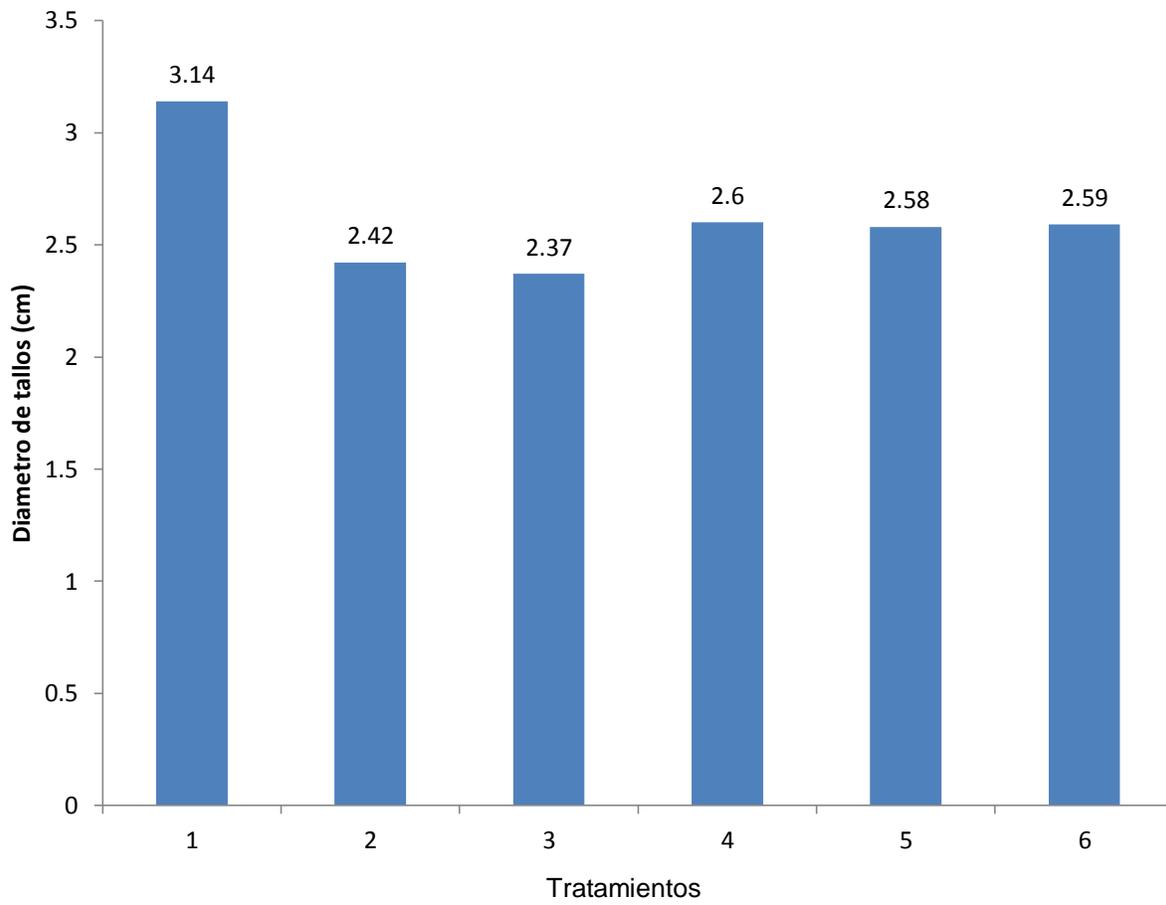


Figura 3. Diámetro de tallos de caña de azúcar.

11.3 ALTURA DE PLANTAS DE CAÑA DE AZÚCAR

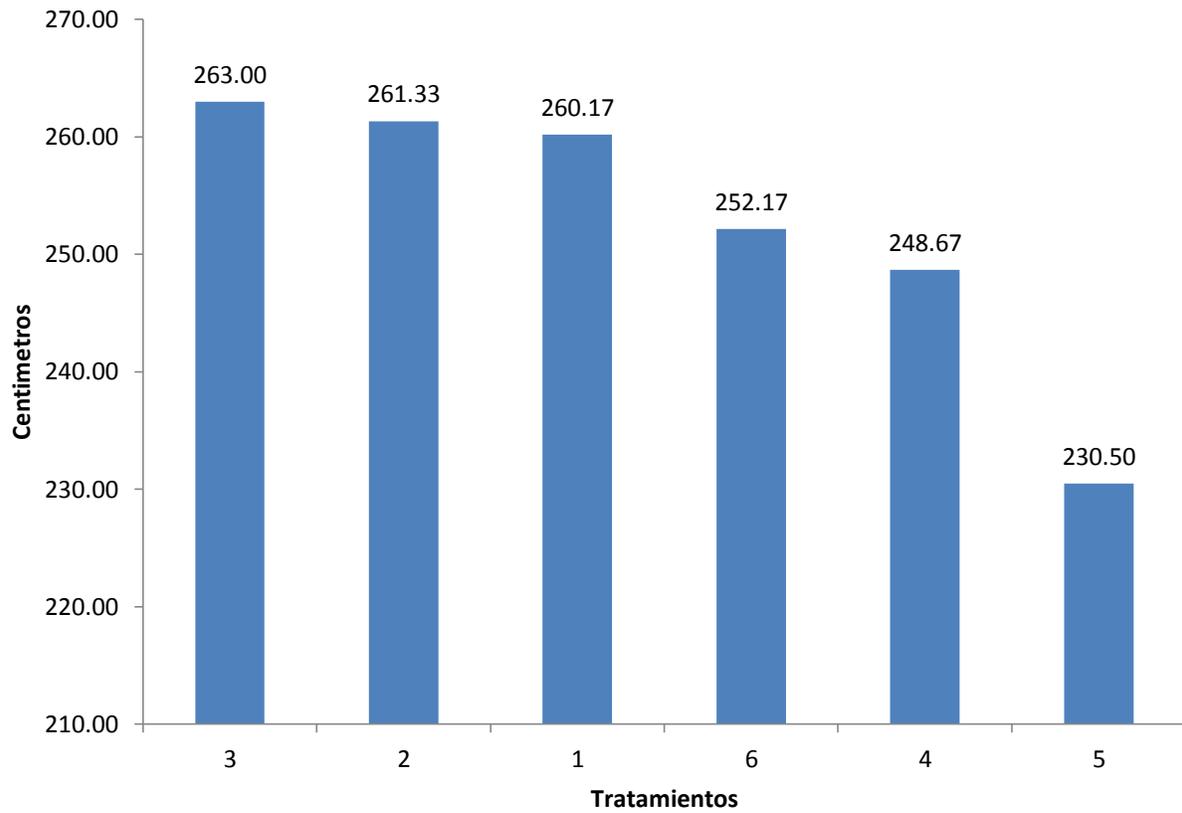


Figura 4. Altura de plantas de caña de azúcar.

11.4 RENDIMIENTO DE CAÑA (t/ha)

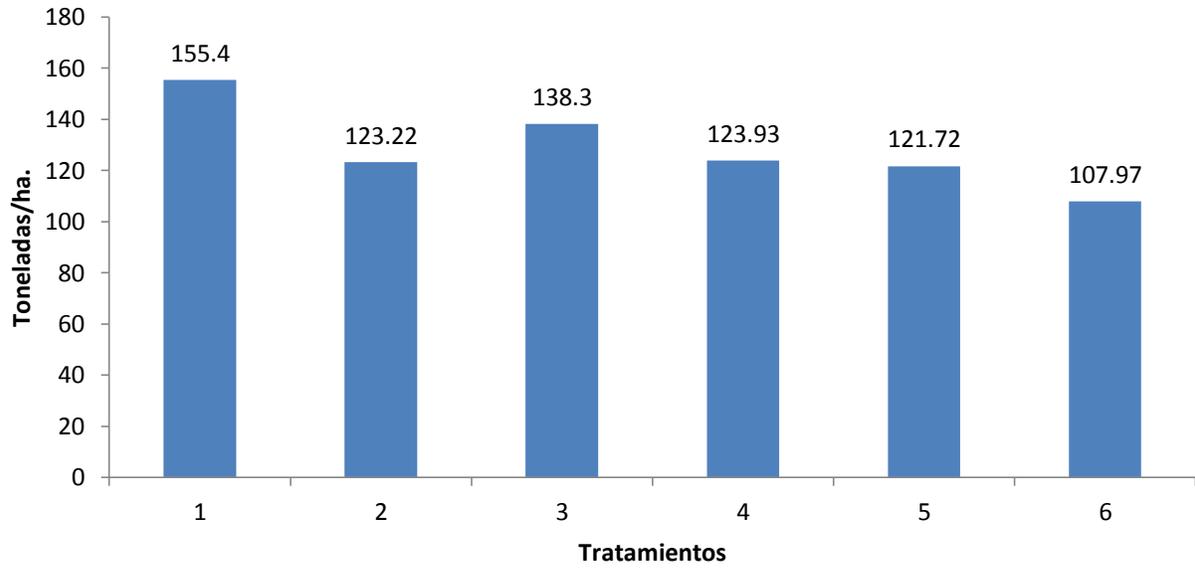


Figura 5. Rendimiento de caña por hectárea.

11.5 RENDIMIENTO DE AZÚCAR (t azúcar/ha)

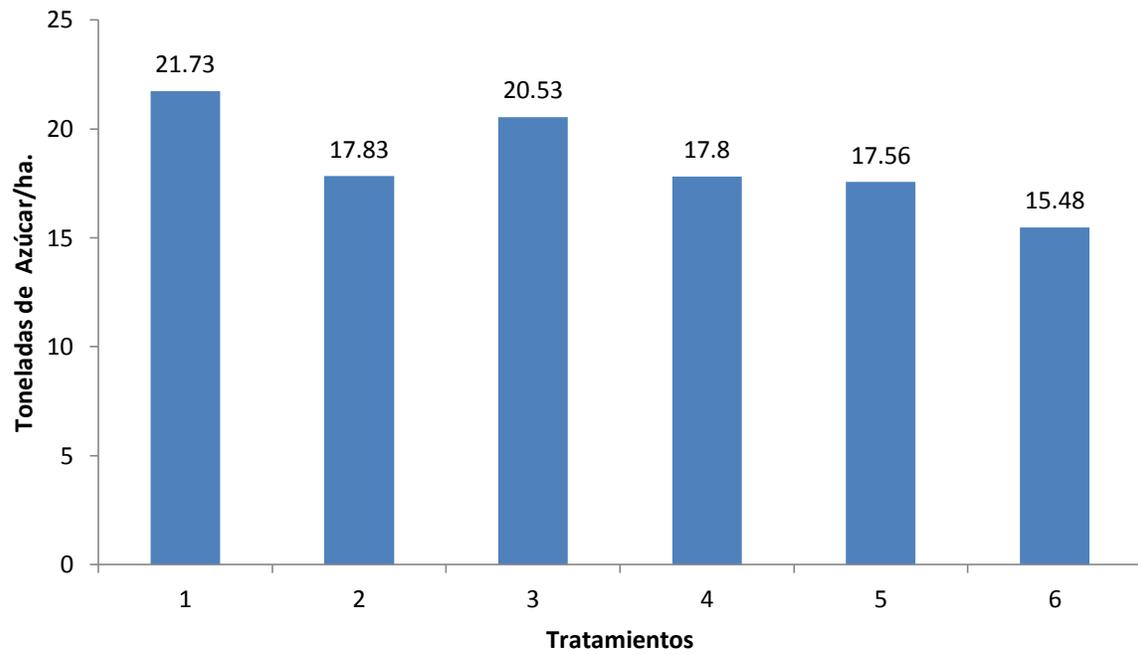


Figura 6. Rendimiento de azúcar (t/ha)