

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

EFFECTO DE LA VELOCIDAD DE LA COSECHADORA
EN EL DESARROLLO DEL REBROTE DE CAÑA DE AZÚCAR
TESIS DE GRADO

JOB ISMAEL MURALLES VALLE
CARNET 30306-05

ESCUINTLA, NOVIEMBRE DE 2015
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

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

EFECTO DE LA VELOCIDAD DE LA COSECHADORA
EN EL DESARROLLO DEL REBROTE DE CAÑA DE AZÚCAR
TESIS DE GRADO

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

POR
JOB ISMAEL MURALLES VALLE

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES EN EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIADO

ESCUINTLA, NOVIEMBRE 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: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
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. OSCAR RUBÉN FUENTES CARDONA

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. ERBERTO RAÚL ALFARO ORTIZ
ING. OSCAR LEONEL CASTRO GARCÍA
LIC. CARLOS DANILO SANTIZO SOLLER

Escuintla, Octubre de 2015

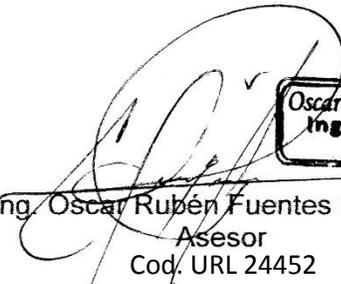
Honorable Consejo de
La Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente.

Distinguidos Miembros del Consejo.

Por este medio hago constar que he procedido a revisar el Informe Final de Tesis del estudiante Job Ismael Muralles Valle, quien se identifica con carné número 3C306-05, titulada: **"Efecto de la velocidad de la cosechadora en el desarrollo del rebrote de caña de azúcar"**.

El cual considero que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad para ser aprobado, por lo que solicito sea revisado por la terna que designe el Honorable Consejo de la Facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente.



Ing. Oscar Rubén Fuentes Cardona
Asesor
Cod. URL 24452



**Universidad
Rafael Landívar**
Tradición Jesuita en Guatemala

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
No. 06386-2015**

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante JOB ISMAEL MURALLES VALLE, Carnet 30306-05 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES, de la Sede de Escuintla, que consta en el Acta No. 06154-2015 de fecha 31 de octubre de 2015, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

**EFFECTO DE LA VELOCIDAD DE LA COSECHADORA
EN EL DESARROLLO DEL REBROTE DE CAÑA DE AZÚCAR**

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 19 días del mes de noviembre del año 2015.



**ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES, SECRETARIA
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar**



AGRADECIMIENTOS

A:

Ingenio Santa Ana

Por albergarme en sus filas de colaboradores desde diciembre de 2005 y permitir culminar mis estudios.

Mis asesores

Ing. Agr. Oscar Rubén Fuentes Cardona.

Ing. Agr. Oscar Castro.

Lic. Carlos Danilo Santizo Soller.

Ing. Agr. Ricardo Morales.

Por su colaboración, paciencia y entrega en la realización de éste trabajo.

A mis compañeros de trabajo

Por su apoyo y amistad brindada durante el tiempo compartido.

Colaboradores

Gracias a su apoyo hice posible éste trabajo. En especial:

Personal del departamento de cosecha mecanizada Ingenio Santa Ana.

ACTO QUE DEDICO

A:

Dios: Creador del cielo y de la tierra, por permitirme alcanzar un título profesional, que será mi herramienta de trabajo para el resto de mi vida, para servirle al él y a todos mis seres queridos.

Mis padres: Modesto Muralles Ramírez y Siria Valle Pimentel como mínimo aporte al amor, apoyo y comprensión que siempre me brindaron, cumpliendo su deseo de verme graduado profesionalmente.

Mi esposa: Thelma Elizabeth Suleta Alvarado por su amor, paciencia y apoyo incondicional a lo largo de muchos años, los cuales quiero seguirle brindando también yo por toda la vida.

Mis hijas: **Josselinne Daniela y Dulce Adamari** por permitirme tener la dicha de contar con ellas amarlas, educarlas y formarlas, y gozar del amor que me brindan.

Mis amigos: Las personas que de una u otra forma participaron apoyándome hasta con la más mínima ayuda sean parte de la elaboración de éste trabajo.

Índice General

	Página
RESUMEN	i
SUMMARY	ii
I. INTRODUCCION	1
II. MARCO TEÓRICO	2
2.1 ANTECEDENTES	2
2.1.1 Importancia de la caña de azúcar en Guatemala	3
2.1.2 Clasificación taxonómica de la caña de azúcar	4
2.1.3 Fenología del cultivo	4
2.1.4 Germinación y macollamiento	5
2.1.5 Cosecha de la caña de azúcar	5
2.1.6 Tipos de cosecha	6
2.1.6.1 Cosecha mecanizada	6
2.1.6.2 Cosecha mecanizada en caña quemada	6
2.1.6.3 Cosecha mecanizada en caña verde	7
2.1.6.4 Desventajas de la cosecha en verde	7
2.1.6.5 Ventajas de la cosecha en verde	7
2.1.7 Planificación de la cosecha	8
2.1.7.1 Plan de zafra	8
2.1.7.2 Programación general de la cosecha	8
2.1.8 Cosecha mixta o parcialmente mecanizada	9
III. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	11
3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	11
IV. OBJETIVOS	12
4.1 GENERAL	12

4.2 ESPECÍFICOS	12
V. HIPÓTESIS	13
VI. MATERIALES Y METODOS	14
6.1 LOCALIZACION	14
6.1.1 Variedad utilizada	14
6.1.2 Características de la variedad CG 98-10	14
6.2 MATERIAL EXPERIMENTAL	14
6.3 FACTOR DE ESTUDIO	15
6.4 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	15
6.5 DISEÑO EXPERIMENTAL	15
6.6 MODELO ESTADÍSTICO	15
6.7 UNIDAD EXPERIMENTAL	16
6.8 CROQUIS DE CAMPO	16
6.9 MANEJO DEL EXPERIMENTO	17
6.9.1 Determinar área de quema y preparar equipo contra incendio	17
6.9.2 Brechas y proceso de quema	17
6.9.3 Limite de parcelas	18
6.9.4 Corte, alce y Transporte de caña Quemada	19
6.9.5 Trasiago de la caña de los vagones al camión que la transporta al ingenio	20
6.9.6 Labores culturales del experimento	20
6.9.7 Tipo de cosechadora a utilizar	21
6.9.7.1 Revoluciones por minuto en cuchillas de corte de base	21
6.9.7.2 Angulo de cortador de base	21
6.9.7.3 Calcular la velocidad	21
6.9.7.4 Toma de datos	22
6.10 VARIABLES DE RESPUESTA	22
6.11 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	23

6.11.1 Análisis estadístico	23
6.11.2 Análisis económico	23
VII. RESULTADOS Y DISCUCION	24
7.1 Análisis Estadístico	24
7.1.2 Efecto de la velocidad de la cosechadora en el desarrollo de rebrotes, de caña de azúcar	24
7.1.2.1 Prueba no Paramétricas aplicada a los 30, 50, 70 DDC	25
7.1.2.2 Total de tallos germinados a los 50 y 70 días después del corte	26
7.1.3 Porcentaje de arranque de tallos (Tallos)	27
7.1.4 Caña dejada por la máquina	28
7.1.5 Trash vegetal y mineral por cada tratamiento	29
7.2 Análisis Económico	30
7.2.1 Costo por tonelada, de corte mecanizado comparado con corte manual	30
7.2.2 Costos de Cosecha por cada Tratamiento	31
7.2.3 Análisis y discusión de resultados	32
VIII. CONCLUSIONES	35
IX. RECOMENDACIONES	36
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
ANEXOS	39

INDICE DE CUADROS

	Página
1. Crecimiento y desarrollo de la industria azucarera guatemalteca	4
2. Tratamientos a evaluar	15
3. Análisis de Varianza	24
4. Prueba de Friedman	25
5. Prueba de Friedman a los 50 y 70 días después del corte	26
6. Análisis económico corte mecanizado versus corte manual	30
7. Costos de cosecha por cada tratamiento	31
8. Boleta para toma de datos, desarrollo de rebrotes	39
9. Boleta de control de calidad de corte	40
10. Determinación de trash en caña de azúcar	42
11. Datos recopilados del experimento	45
12. Costo por tonelada cortada a una velocidad de corte de 4.5 Km/hora	46

INDICE DE FIGURAS

	Página
1. Aleatorización de los tratamientos en campo	16
2. Brecha límite para la quema	17
3. Equipo contra incendio	18
4. Límite de tratamientos	18
5. Conteo de tallos en diez metros lineales	19
6. Ejecución de corte y alce de la caña	19
7. Trasiego de caña al camión	20
8. Cantidad de tallos a los 30 días después del corte	25
9. Total de Rebrotos a los 50 y 70 días después del corte	27
10. Porcentaje de Arranque de Cepa (Tallos)	27
11. Caña dejada por la máquina	28
12. Porcentaje de Trash en campo	29
13. Indicador de nivel y presión de corte	41
14. Clasificación de diferentes componentes para determinar el trash	41
15. Conteo de rebrotos a los 30 días después del corte	43
16. Conteo de rebrotos a los 50 días después del corte	43
17. Conteo de rebrotos a los 70 días después del corte	44
18. Conteo de rebrotos a los 70 días después del corte	44

Efecto de la velocidad de la cosechadora en el desarrollo del rebrote de caña de azúcar

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar efectos de velocidad de corte de caña de azúcar variedad CG98-10 con cosechadora y su calidad de rebrotes a los 30 días después del corte mediante diferentes velocidades de corte en km/hora. Las velocidades evaluadas fueron 3.5, 4.5, 5.5 y 6.5 km/hora. La investigación se realizó en finca La Giralda, del Municipio de El Puerto de San José, Escuintla que pertenece al Ingenio Santa Ana, S.A. El diseño experimental empleado fue bloques al azar, con cuatro tratamientos y cinco repeticiones. Las variables de respuesta fueron: tallos brotados por metro lineal, porcentaje de arranque de tallos, caña dejada por la cosechadora en ton/ha, costos de cosecha y trash vegetal y mineral por cada tratamiento. Los resultados obtenidos mostraron que a menor velocidad el costo de la operación de corte se eleva considerablemente en un 29 % mientras que el aumento de la velocidad disminuye en 22 %. Para caña dejada en campo y arranque de cepa la velocidad juega un papel directamente proporcional a mayor velocidad mayor es la cantidad de caña dejada en campo a menor velocidad esta se reduce considerablemente en rangos de 1.9 ton/ha a 3.5 Ton/ha. Mismo criterio aplicable a los porcentajes de arranque de cepa, en rangos de 3.5 a 4.5 km/h se mantienen los estándares de calidad permisibles por la Empresa.

Effect of the combine harvester speed in the development of sugarcane shoots

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the cutting speed effects on the CG98-10 variety sugarcane with combine harvester and its shoot quality 30 days after the harvest, through different speeds in km/hour. The evaluated speeds were: 3.5, 4.5, 5.5, and 6.5 km/hour. The research study was carried out in La Giralda farm, owned by Santa Ana, S.A. mill, in the municipality of Puerto de San José, Escuintla. A randomized block design with four treatments and five replicates was used. The response variables were: shoot stems per linear meter, percentage of stem cutting, sugar cane left for the combine harvester in ton/ha, harvest costs, and vegetable and mineral trash costs per treatment. The results obtained demonstrated that the lower the speed, the highest the operation cost, increasing by 29%, while the speed is reduced by 22%. Regarding the sugarcane left in the field and stump cutting, the speed plays a directly proportional role; the highest the speed, the highest the amount of sugarcane left in the field. At a lower speed, this is significantly reduced in ranges from 1.9 ton/ha to 3.5 ton/ha. The same criteria applies to the stump cutting percentage; in ranges from 3.5 to 4.5 km/ha, the allowed quality standards are kept by the company.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el cultivo de la caña de azúcar influye en la economía del país de forma importante y aporta el 3.0 % del PIB de Guatemala, en un área cultivada de 271,313 hectáreas del total nacional dedicada a uso agrícola. Debido a su alta demanda los productores se ven en la necesidad de incrementar áreas de aprovechamiento para este cultivo, abarcando para el año 2015 una totalidad de 271,313 hectáreas a nivel nacional (Meneses *et al.*, 2015).

Su alta productividad y demanda en el mercado requiere de un sistema de cosecha eficiente que permita abastecer a los ingenios de materia prima de alta calidad en el menor tiempo posible. Una alternativa viable es la cosecha mecanizada. El desarrollo de esta tecnología, la ha llevado a ser reconocida mundialmente como una de las más eficientes, sin embargo, ha sido cuestionada debido a diversos problemas que la operación requiere como tal: condiciones del clima, topografía del terreno, tamaño, altura y velocidad de corte, siendo la última la más cuestionada.

El ingenio Santa Ana S. A. para la zafra 2014 - 2015 cultiva 25,655 ha, siendo de éstas el 65% cosechada en forma manual y el 35% restante corresponde a cosecha mecanizada. La mecanización en la cosecha se implementó desde el año 1993 (Solares, 2012) y va tomando mayor auge debido a que año con año, existe menor disponibilidad de mano de obra y mayor área de cultivo.

Se cree que al utilizar máquinas cosechadoras en el corte de la caña de azúcar se genera baja productividad para los años siguientes o mayor porcentaje de resiembra, se estima que existe un alto porcentaje de arranque de cepa debido al paso de las máquinas cosechadoras por los campos de cultivo a velocidades no estandarizadas. No obstante, estas estimaciones se basan en la observación del estado fisiológico de la planta hasta los 30 días después del corte, sin fundamentos estadísticos y metodológicos.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

La agroindustria azucarera guatemalteca ha crecido permanentemente desde 1960 y ha logrado posicionarse a nivel mundial en el quinto país exportador de azúcar, segundo a nivel latinoamericano y tercero en la categoría de productividad. En los últimos 20 años ha sido notorio el aumento en su productividad y para Guatemala representa el segundo producto agrícola que genera divisas (Melgar, *et al.*, 2012).

El crecimiento de áreas de cultivo han generado a su vez mayor demanda de mano de obra, esto genera mayores retos para los ingenios al momento de la zafra, situación que implica optar por alternativas tecnológicas que respondan a los problemas que se suscitan en el campo, como complicaciones en otros frentes de cosecha para abastecimiento de materia prima, lluvias, desgaste físico de colaboradores para el corte manual, etc. Esto ha permitido la reducción en la eficiencia de corte manual en los últimos años (Solares, 2012).

En el año 1993 el ingenio El Pilar inició la utilización de máquinas cosechadoras para el corte y alce de caña, un año después el Ingenio Pantaleón implementó este mismo sistema, año con año la cosecha mecanizada ha ido incrementando debido a las bondades que ofrece comparada al corte manual (Solares, 2012).

Para el año 2012 se cosecharon 30,080 ha, de forma mecanizada, esto representa un 14 % del total de la caña cosechada a nivel nacional, la cosecha mecanizada en las últimas semanas de zafra en la mayoría de ingenios se usa como apoyo a la cosecha manual cuando hay falta de cortadores (Melgar, *et al.*, 2012).

Las cosechadoras de oruga (banda) tienen la capacidad de operar de 0 a 9 kilómetros y las cosechadoras de llanta con una capacidad de desplazamiento de 0 a 20 kilómetros por hora según (Case, 2009), actualmente los rangos de velocidad

de operación en la cosecha se han cuestionado debido a la calidad de rebrote presente posterior a su labor, por ello resulta necesario lograr determinar en este ámbito si existe una relación directamente proporcional entre la velocidad de las cosechadoras utilizadas en el corte de la caña de azúcar y el número de rebrotes en cepas (TECNICAÑA, sf).

Debido a la necesidad que se ha generado en los ingenios de implementar la cosecha mecanizada y a los pocos estudios científicos sobre este tema en nuestro país, se realizó la investigación con el objetivo de aportar al mejoramiento de esta práctica.

2.1.1 Importancia de la caña de azúcar en Guatemala

El crecimiento del cultivo de caña de azúcar en Guatemala ha sido constante, tanto en la superficie sembrada como en la productividad obtenida. Este crecimiento parece no será detenido a corto plazo ya que en la actualidad también representa una opción para la obtención de combustibles de fuentes renovables. En el cuadro 1 se detalla el crecimiento de la agroindustria azucarera durante más de 50 años.

Cuadro 1. Crecimiento y desarrollo de la industria azucarera guatemalteca

Zafra	Área (ha)	Caña molida (t)	Rendimiento (t caña / ha)	Rendimiento (t azúcar / ha)	Producción (t azúcar)
1959 - 1960	12,534	670,130	54	5.24	65,163
1960 - 1965	25,109	1,427,067	56.83	5.32	133,598
1965 - 1970	31,446	1,946,474	61.9	5.72	179,911
1970 - 1975	52,517	4,258,341	81.09	7.11	373,193
1975 - 1980	66,000	4,624,547	70.07	6.02	397,049
1980 - 1985	84,000	5,569,528	66.3	6.55	549,809
1985 - 1990	110,000	8,834,892	80.32	7.63	838,827
1990 - 1995	150,000	12,916,574	86.11	8.62	1,293,207
1995 - 2000	180,000	14,338,961	82.8	9.56	1,655,168
2000 - 2005	200,000	17,819,763	91.3	10.45	2,037,118
2005 - 2010	230,000	22,530,622	102.4	10.3	2,340,837
2010 - 2011	231,505	19,219,653	88.52	9.38	2,048,142
2011 - 2012	252,871	21,562,263	99.52	10.3	2,252,954
2012 - 2013	263,056	26,747,489	101.68	10.57	2,782,461

Fuente: (Meneses y Melgar, 2013.)

2.1.2 Clasificación taxonómica de la caña de azúcar

Su descripción Taxonómica corresponde a la siguiente:

Reino: Vegetal

Clase: Iliopsidas.

Familia: Poaceae,

Subfamilia: Panicoideae,

Género: *Saccharum* de las cuales existen varias especies.

Especie: *S. officinarum* (Juárez y Muñoz, 1998).

2.1.3 Fenología del cultivo

El cultivo de la caña de azúcar consta de tres etapas de desarrollo que se describen a continuación:

2.1.4 Germinación y macollamiento

Se toma en cuenta de 0 a 3 meses de edad de la planta, se caracteriza por el aumento de tallos. **Elongación:** inicia a los 3 meses, aumentando su tasa de crecimiento hasta 2.5 cm/día, reduciendo la población por competencia, **Maduración:** dependiendo de la variedad y las condiciones climáticas, se da entre 7 y 8 meses caracterizándose por la acumulación de azúcares en los tallos y se puede manifestar por la inducción de la floración. (Juárez, 1998).

2.1.5 Cosecha de la caña de azúcar

Dentro de la agroindustria de la caña de azúcar, una de las operaciones más importantes es indudablemente la cosecha de la materia prima. La cosecha de la caña de azúcar se desarrolla en Guatemala en un periodo de 6 meses, denominado periodo de zafra, el objetivo principal de ésta labor es proporcionar a las áreas de producción el servicio de corte, alce y transporte de caña con el fin de cumplir con el plan de productividad para el área de campo, mismo que incluye fechas de corte de acuerdo a: conceptos agronómicos, indicio de madurez y/o días después de la aplicación de madurante (glifosato), a la vez cumplir con un suministro constante y oportuno para el área de fábrica (Cárdenas, 1986)

La operación de la cosecha requiere de una adecuada organización y logística con el fin de llevar al ingenio la cantidad y calidad de caña que el mismo necesita para no dejar de moler. En los ingenios azucareros la principal función de la cosecha es reducir desperdicios de la materia prima, cumpliendo con el momento oportuno de corte para alcanzar los mayores beneficios, partiendo con la planeación incluida por los actores que participan en la producción de caña, el CAT (Corte, alce y transporte), depende de las necesidades de abastecimiento en fábrica, condiciones de topografía y presencia de piedra, sin embargo es evidente que la calidad de caña que se envía al ingenio depende del tipo de corte que se emplea y así también del tipo del alce, en el tipo de transporte no tiene mayor incidencia en la calidad final pero constituye el costo más alto de la cosecha por lo que es esencial que sea eficiente para mantener los costos, se define a los sistemas de cosecha como manual y de forma mecanizado, sin embargo; en Guatemala se ha hecho una

combinación de prácticas que han dado origen a una clasificación más amplia (García, 2008).

2.1.6 Tipos de cosecha

En Ingenio Santa Ana, S.A se utilizan dos tipos de cosecha:

- Cosecha de forma mecanizada
- Cosecha mixta o parcialmente mecanizada.

La utilización de cada una de ellas depende principalmente de la topografía del terreno.

2.1.6.1 Cosecha mecanizada

Al Utilizar máquinas cosechadoras se realiza el trabajo de corte y alce de la caña a su vez, con el apoyo de tractores con vagones autovolcables por lo que facilita y hace más eficiente la operación de carga a los camiones ya que se trasiega la caña de los auto volteos directamente a las jaulas de los camiones que transportan la caña hacia la fábrica (Solares, 2012).

Las máquinas que se han utilizado en Guatemala han variado con el tiempo en cuanto a series, modelos y marcas. Para el año 2015 las marcas más utilizadas son: John Deere seguidas por las Case, la principal variante en el diseño de éstas máquinas es con respecto al número de surcos que se puedan cosechar a la vez, existiendo de uno y dos surcos, para el año 2013 en Guatemala la más común es la de un solo surco. El uso de estas máquinas tiene sus limitaciones como la topografía irregular del terreno o la presencia de piedra en el pante de cosecha (Solares, 2012).

2.1.6.2 Cosecha mecanizada en caña quemada

Las variantes que principalmente surgen en la cosecha mecanizada son: caña quemada y caña en verde. En Guatemala se utiliza con mayor frecuencia el corte en quemado debido a que las eficiencias de corte son mucho más altas que las de corte en verde por el efecto de la disminución de biomasa al realizar la quema y por ende las máquinas trabajan libremente sin obstáculos (García, 2008).

2.1.6.3 Cosecha mecanizada en caña verde

Según Del Cid (2006), la cosecha mecanizada en verde no es más que la ejecución de la cosecha de manera mecanizada en ausencia de la tradicional quema. Aunque ésta actividad tiene sus desventajas ya que por el residuo dejado en el campo en condiciones lluviosas produce condiciones de exceso de humedad y esto deriva en la presencia de problemas fitosanitarios que inciden en la germinación de cepas, no obstante en suelos permeables y cepas aporcadas por encima del nivel del suelo (Cook, 1995). En Sao Pablo Brasil se reporta aumento en la población de chinche salivosa (*Aeneolamia postica*) en cañales que han sido cosechados de forma mecanizado en verde, (Viana, 2002). La cosecha de caña en verde mecanizada ha sido una práctica de buena aceptación a nivel de zonas semi-áridas, ya que implementando ésta práctica se reduce la pérdida de agua por evaporación, mejorando la penetración del agua del riego o las lluvias al suelo, así también se reducen los riesgos de erosión hídrica, mejorando también la fertilidad de los suelos.

2.1.6.4 Desventajas de la cosecha en verde

Según Ripoli (2002), los puntos negativos, producto de la cosecha mecanizada en verde están: el incremento de la cantidad de material vegetal, incremento de la infestación de chinche salivosa (*aeneolamia postica*), necesidad de mayor sistematización de los pantes (diseño en función de mecanizar), el incremento del costo por tonelada cosechada (mayor mantenimiento y mayor rendimiento de combustible por hora de la máquina).

2.1.6.5 Ventajas de la cosecha en verde

También se presentan algunas ventajas a continuación: Ausencia de quemas y por ende de contaminación al medio ambiente, mejora de propiedades fisicoquímicas del suelo por el retorno de la materia orgánica, mejora las propiedades microbiológicas y al no quemar se estima que se reduce las pérdidas de sacarosa.

2.1.7 Planificación de la cosecha

La planeación de la cosecha es una actividad que se realiza para el cumplimiento de las metas productivas, esto consta en agrupar los conceptos de las áreas técnicas, producción y logística buscando priorizar y balancear todos los aspectos. Dicho de otra forma, elaborar el plan de cosecha tomando en cuenta todos los recursos a utilizar para ser precisos en el momento justo. En la planificación de la cosecha se debe contar con un plan de producción contemplando un periodo a mediano plazo (Solares, 2012).

2.1.7.1 Plan de zafra

Consta en actualizar la información en un listado básico, los datos que se deben tomar en cuenta son: Zona donde se encuentra la finca, nombre de la finca, número de los pantes de caña a cosechar, frente que cosechará, variedad de la caña de azúcar, número de cortes, fecha de siembra/cosecha, área de cada uno de los pantes, edad de la caña en meses, toneladas estimadas por hectárea, fecha de cosecha, edad de cosecha, etc. Para estimar las toneladas de caña por hectárea se toman en cuenta los siguientes aspectos: evaluación en campo, datos estadísticos que incluyan los pronósticos del clima y pronósticos de lluvia para el último trimestre del año. También es necesario obtener retroalimentación del cumplimiento del plan de reparación de maquinaria, tanto en taller agrícola como en fábrica, previo a la zafra, una vez teniendo la fecha estimada de reparación se establece la fecha de inicio de zafra, también se debe obtener la capacidad de molienda que estiman en la fábrica y elaborar el calendario de molienda (Solares, 2012).

2.1.7.2 Programación general de la cosecha

Se necesita enriquecer con toda la información necesaria y tomar en cuenta cualquier factor que se considere que pueda ser obstáculo para la cosecha, los factores tomados en cuenta son los siguientes:

- Presencia de piedra
- Disponibilidad y tipo de riego
- Tipo de suelo, si hay presencia de vetas de arena
- Tipo de maduración de cada variedad
- Estrato altitudinal
- Clasificación de pantes en función de la cosecha
- Distanciamiento de siembra
- Programa de renovación de pantes
- Numero de cortes por pante
- Aspectos logísticos como accesos y rutas
- Distancia de finca a fábrica
- Presencia de tendidos eléctricos
- Horario de quemas en función de comunidades, salineras y camaroneras.

Es necesario tomar en cuenta todos los puntos antes mencionados, ya que estos ayudarán a determinar la mejor distribución de los diferentes frentes de cosecha a lo largo de la zafra para cada ingenio, la logística o forma de operar que definirá el cálculo de los recursos a emplear, todo esto es importante en la búsqueda de acoplar la logística y una vez ubicadas las fechas de corte ya consensuadas con las áreas técnicas y de producción, también se debe incluir actividades de muestreos pre cosecha y uso de madurantes.

2.1.8 Cosecha mixta o parcialmente mecanizada

Es una agrupación de corte manual conocida como chorra continua o mini chorra que también es llamado chorra discontinua. En cualquiera de los dos casos lo usual es quemar la caña previo al corte (García, 2008).

En el caso de la chorra continua, es común utilizar en áreas sin presencia de piedra. En Guatemala se utiliza el machete australiano, éste fue introducido en el año 1,981. Según (Giraldo, 1,995). Es de uso común en todos los ingenios azucareros.

Para el caso de la mini chorra se utiliza únicamente en áreas con presencia de piedra, con este tipo de mini chorra lo que se pretende es que el operador de la alzadora tenga mejor visibilidad y evitar el envío de piedras a la fábrica al momento de levantar la caña y cargarla al camión que la transporte, son casos excepcionales porque es una labor que requiere mayor mano de obra porque le eficiencia del cortador baja.

La caña se dispone en la chorra de una manera intermitente o de pequeños montones que son los que le dan el nombre al sistema, las maquinas que se utilizan para levantar la caña son las mismas para los dos tipos: chorra continua o mini chorra.

III. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

El Ingenio Santa Ana S. A. en el año 2014 se cosecharon 25,655 hectáreas de caña, de este área el 35% fue cosechada de forma mecanizada, debido a la necesidad que ha generado en consecuencia de una menor disponibilidad de mano de obra, condiciones variadas del clima y la baja del precio de azúcar en el mercado internacional. Al ser más rentable el costo de la tonelada de caña cosechada de forma mecanizada en comparación al corte de caña de forma manual, es necesario incrementar el porcentaje de área cosechada de forma mecanizada y para ello fue necesario evidenciar los efectos negativos y positivos que produce este tipo de corte.

En Guatemala existen pocos estudios científicos sobre el efecto de la velocidad de la cosecha mecanizada por tal motivo, la presente investigación se realizó con el propósito de aportar conocimientos para el mejoramiento de esta práctica. Una alternativa viable fue conocer el efecto real de la velocidad de las cosechadoras en el desarrollo de los rebrotes de caña de azúcar, permitiendo vislumbrar temas aun interesantes y necesarios para la Industria Azucarera.

IV. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

- Determinar el efecto de la velocidad de la cosechadora en el corte de caña de azúcar (*L.Saccharum Spp*) en el desarrollo de sus rebrotes en Finca Giralda, Ingenio Santa Ana S. A.

4.2 ESPECÍFICOS

- Medir el efecto de la velocidad de corte en cosecha mecanizada sobre la cantidad de tallos brotados después del corte.
- Cuantificar las toneladas cortas de caña por hectárea dejadas en el lote, en relación a la velocidad de corte.
- Determinar los beneficios económicos que genera el uso de la cosecha mecanizada, en comparación a la cosecha manual.

V. HIPÓTESIS

- Al menos uno de los tratamientos mostrará mayor cantidad de tallos germinados después de la cosecha.
- Al menos uno de los tratamientos tendrá mejores resultados en relación a la cantidad de caña dejada en campo durante la cosecha.
- Al menos uno de los tratamientos a evaluar presentará menores costes de cosecha.

VI. MATERIALES Y METODOS

6.1 LOCALIZACION

La presente investigación se realizó en el pante 102 de Finca La Giralda de Ingenio Santa Ana S.A. Perteneciente al Municipio de El Puerto de San José, del Departamento de Escuintla. Se ubica en la zona de vida según Holdridge, Bosque húmedo Subtropical cálido (Conap, 2008), en las coordenadas 13°59'28.10" N 90°55'23.78". El área experimental se encuentra a una altura de 19 msnm, con una temperatura promedio de 26°C y según la base de datos del Ingenio Santa Ana una precipitación pluvial promedio 1530 mm.

6.1.1 Variedad utilizada

Para el estudio se utilizó la variedad CG98-10 en segundo corte que la utiliza comercialmente el Ingenio Santa Ana, S.A. Las características agronómicas y morfológicas de esta y otras variedades influyen directa y de forma determinante sobre la calidad de la cosecha, como por ejemplo el tamaño del cogollo, tipo de crecimiento, despeje de la vaina, la cantidad de tallos por metro lineal y arranque de cepas por acame antes de la cosecha.

6.1.2 Características de la variedad CG 98-10

La variedad CG 9810 es resultado del cruce de las variedades PR 87-2078 X PR 87-2073, se inicia el cruce y evaluación en el año 1998 y fue declarada comercialmente por CENGICAÑA en el año 2010 (CENGICAÑA, 2009). Dicha variedad es apta para cultivarla en la zona altitudinal alta, media y baja, se cosecha entre los meses: febrero marzo y abril, entre segundo y tercer tercio de zafra, se le ha dado mucha importancia por ser altamente rendidora en tonelaje y resistente a enfermedades.

6.2 MATERIAL EXPERIMENTAL

En esta prueba de campo, se utilizó un lote de caña de azúcar con la variedad CG 98-10 de segundo corte, con un distanciamiento de siembra de 1.60 m entre surcos. El corte de caña se realizó con una cosechadora CAMECO serie CH3500 en el pante establecido el mes de abril del año 2,015

6.3 FACTOR DE ESTUDIO

- Se evaluó la velocidad de corte en la cosecha mecanizada

6.4 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

En el cuadro 2 se describen los tratamientos evaluados.

Cuadro 2. Tratamientos a evaluar

TRATAMIENTOS	DESCRIPCIÓN
1	Velocidad de corte 3.5 km/hora
2	Velocidad de corte 4.5 km/hora (Testigo)
3	Velocidad de corte 5.5 km/hora
4	Velocidad de corte 6.5 km/hora

6.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño del experimento empleado fue bloques al azar, con 4 tratamientos y 5 repeticiones, para un total de 20 unidades experimentales.

6.6 MODELO ESTADÍSTICO

$$Y_{ij} = U + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde:

U = Efecto medio de velocidad de cosecha

T_i = Efecto del tratamiento j -ésimo en las velocidades de corte

β_j = Efecto del j -ésimo bloque

ϵ_{ij} = valor aleatorio, error experimental de la u.e. i, j

Y_{ij} = función de la media general del efecto del i -ésimo tratamiento, del efecto j -ésimo bloque del error experimental asociado a la i - j -ésima unidad experimental.

6.7 UNIDAD EXPERIMENTAL

Cada unidad experimental fue una parcela de 9.6 x 100 m (6 surcos x 1.60 m de ancho y 100 m de largo) con un total de 960 m² (0.096 ha) por cada unidad experimental, por el efecto de borde cada parcela bruta fue de 9.6 m de ancho por 100 m de largo para que finalmente cada parcela neta quedara de 6.4 m de ancho por 80 m de largo. (Figura1)

6.8 CROQUIS DE CAMPO

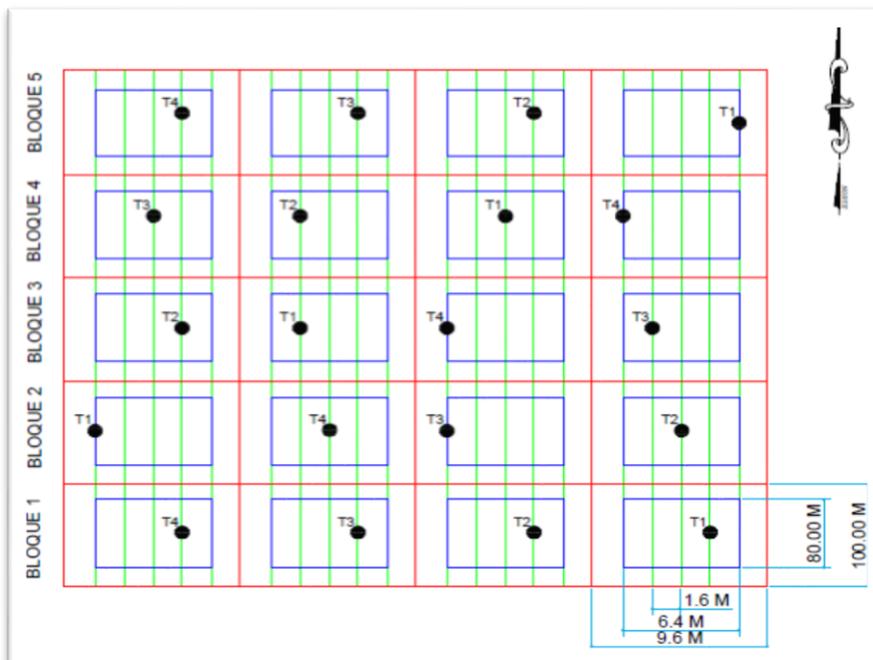


Figura 1.

Aleatorización de los tratamientos en campo.6.9 MANEJO DEL EXPERIMENTO

El proceso de la cosecha del cultivo de caña inició con la planificación y ejecución de las actividades previo al corte, que incluyeron:

- Determinar área de quema y preparar equipo contra incendio.
- Brechas y proceso de quema.
- Marcar y delimitar parcelas.
- Corte, alce y Transporte de caña Quemada.
- Trasiego de la caña de los vagones al camión que la transporta a la caña.
- Labores culturales del cultivo (área experimental).

6.9.1 Determinar área de quema y preparar equipo contra incendio

Con una anticipación de dos horas previo a la actividad de quema se preparó el área en el pante donde se realizó el experimento.

6.9.2 Brechas y proceso de quema

Se procedió a delimitar el área haciendo una brecha con tractor para proceder a quemar, (figura 2). El área utilizada para el ensayo fue 1.92 hectáreas por tanto, la quema total fue de 8.33 hectáreas (1100 toneladas), para cumplir con la cuota requerida por la fábrica, y poder llegar cortando con dicha quema al horario adecuado para la del día siguiente.

El equipo contra incendio que se utilizó fue: Tractor, Tanqueta de agua y una bomba de mochila lanza llamas, (Figura 3).



Figura 2. Brecha límite para la quema



Figura 3. Equipo contra incendio

6.9.3 Limite de parcelas

Se utilizaron estacas de madera de dos pulgadas de grosor por 1.5 m de largo con un listón de nylon de color verde (Figura 4), para poder diferenciar fácilmente cada parcela, así poder aplicar las diferentes velocidades de corte.



Figura 4. Límite de tratamientos.

Teniendo marcadas las parcelas de cada tratamiento, antes de iniciar la cosecha se marcaron los puntos de muestreo de 10 metros lineales cada punto (Figura 5) y se realizó el conteo de tallos molederos, para determinar el porcentaje de arranque de cepa por la cosechadora posterior al corte.



Figura 5. Conteo de tallos en diez metros lineales.

El porcentaje de arranque de cepa por la cosechadora consistió en contar el total de tallos molederos posterior a la cosecha y después se realizó el conteo de trocos en el mismo punto. El porcentaje de cepa arrancada, se obtuvo al dividir el total de troncos arrancados por la maquina entre el total de tallos contados antes.

6.9.4 Corte, alce y Transporte de caña Quemada

En la cosecha de forma mecanizada el corte y alce se realiza al mismo tiempo, como lo muestra la figura 6.



Figura 6. Ejecución de corte y alce de la caña.

6.9.5 Trasiego de la caña de los vagones al camión que la transporta a la caña

La caña que corta la cosechadora es recibida por un auto volteo llamado también vagón, para llevarla a un punto de trasiego debidamente nivelado, donde se encuentra el camión que la recibe para luego transportarla al centro de acopio en la fábrica (Figura 7.)



Figura 7. Trasiego de caña al camión.

6.9.6 Labores culturales del experimento

Las labores culturales para el ensayo se ejecutaron según la secuencia de labores previamente validadas por el Ingenio Santa Ana, siendo estas:

- Requema de rastrojo o punta de caña, labor realizada a los 2 días después del corte (DDC) con el fin de evitar dejar residuos de cosecha e impedir que las siguientes labores fueran obstruidas por la acumulación de basura.
- Escarificado o descarnado, empleando para ello un tractor de 1800 rpm, y con la ayuda del implemento conocido como escarificador, esta labor se realizó a los 12 días después del corte con el fin de permitir la aireación en el suelo y una poda de raíces; su mayor beneficio se alcanza cuando se deja un espacio entre la cepa y los ganchos de 0.15 m.

- Fertilización mecanizada, labor realizada con un tractor de 1800 rpm y una fertilizadora de dos tolvas, a fin de brindar el porcentaje de Nitrógeno a los 21 días posterior al corte.
- Primer Riego a los 23 días, labor realizada con una motobomba de 800 galones por minuto, la frecuencia de riego fue de 15 días y la lámina de riego fue de 24 mm a 60 psi, en un tiempo de riego de 2 horas.
- Aplicación de herbicida pre emergente se realizó a los 25 días, haciendo uso de un tractor de 1800 rpm y un aguilón marca JACTO con capacidad de 600 litros.

6.9.7 Tipo de cosechadora a utilizar

La cosecha se realizó con la cosechadora de caña serie CH3500. El lote cuenta con condiciones similares en topografía, textura y estructura. Para cada uno de los tratamientos la cosecha se realizó en caña quemada con 15 horas de anticipación.

6.9.7.1 Revoluciones por minuto en cuchillas de corte de base

Éste indicador permitió al operador determinar si el nivel de las cuchillas era el apropiado, si el nivel es bajo las revoluciones disminuyen y cuando el nivel es alto o la población del cañal no es muy densa, las revoluciones aumentan, el mejor corte se realiza cuando existen 1,000 RPM. (Anexo figura 13).

6.9.7.2 Angulo de cortador de base

La profundidad y el ángulo de corte son cruciales. El cortador de base es un juego de discos giratorios con cuchillas reemplazables que está diseñado para cortar limpiamente la caña a nivel del suelo, sin partirla, luego dirige el flujo de caña hacia arriba a los rodillos alimentadores con ayuda del rodillo pateador.

6.9.7.3 Calcular la velocidad

La velocidad de corte se midió a través del tiempo que toma una cosechadora en recorrer una distancia, para ello se utilizó la fórmula siguiente: $velocidad = \frac{s}{t} *$

3.6 donde s es el espacio conocido, para esta investigación fue de 50 metros

lineales, t es el tiempo que recorrió la cosechadora en 50 metros y 3.6 la constante para convertir m/s en km/h.

Teniendo la velocidad recorrida de la maquina cosechadora en km/h se comparó este valor con el velocímetro de la máquina coincidiendo los valores en ambas lecturas, para ello se empleó como referencia el velocímetro interno de la cosechadora, no obstante las lecturas se llevaron paralelas debido a que existen áreas en las parcelas que causan patinaje y deslizamiento a la maquina según la cantidad de humedad que posean.

6.9.7.4 Toma de datos

Para llevar el control del desarrollo de los rebrotes se muestrearon los mismos puntos marcados antes de la cosecha, por cada unidad experimental a los 30 días y como referencia al desarrollo del cultivo se realizaron muestreos a los 50 y 70 días después del corte, (anexo cuadro 8).

6.10 VARIABLES DE RESPUESTA

- **Tallos brotados por metro lineal:** se midió la cantidad de tallos germinados en 10 metros lineales, a intervalos de 30, 50 y 70 días después del corte, los puntos de medición fueron los mismos que se emplearon antes de la cosecha.
- **Porcentaje de arranque de tallos:** Para determinar este porcentaje se realizó un conteo del total de cepas (tallos), en 10 metros lineales, Posterior al corte se repitió el muestreo en el mismo punto contando los tocones, (troncos) dejados después de la cosecha. Con ambos datos se determinó el porcentaje de arranque de cepa.
- **Caña dejada por la máquina.** (t/ha) la medición consistió en recolectar trozos de caña cortadas, cañas enteras y quebradas, pesándose en una balanza digital marca Brell T230 (-+ 5%) para determinar la cantidad de

toneladas dejadas en campo por unidad de área en cada uno de los puntos muestreados (anexo cuadro 9)

- **Costos de cosecha.** Se recopiló información a detalle del coste en quetzales por tonelada de la operación de cosecha mecanizada, comparada con la cosecha manual para la zafra 2014–2015.
- **Trash vegetal y mineral por cada tratamiento.** Se tomaron muestras de caña cortada al azar por cada tratamiento, posteriormente se pesó cada una de las muestras para determinar su totalidad de peso en libras, seguidamente se separaron sus componentes (caña buena, piedra, tierra, cepas, puntas de caña y hoja). Calculando individualmente sus valores de peso, al finalizar esta actividad se dividió, el peso de los componentes que contaminantes de la caña buena entre el total de la muestra multiplicado por 100. (anexo figura 14).

6.11 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

6.11.1 Análisis estadístico

Fue a través de un análisis de varianza ANOVA, con significancia del 5 % de encontrarse diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. Se procedió a realizar una prueba de medias de Duncan con significancia del 5 %.

6.11.2 Análisis económico

Se analizó el coste por tonelada de caña cortada en comparación con el coste por tonelada de cosecha manual, incluyendo Corte, Alce y Transporte (CAT) desde la unidad de corte hasta el ingenio.

VII. RESULTADOS Y DISCUSION

7.1 Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico se realizaron conteos a los 30 días después del corte de la cantidad de rebrotes (tallos) por tratamiento observado, se realizó un ANOVA de una vía con una prueba de significancia de $P < 0.05$. Se realizaron muestreos a los 50 y 70 días, donde se determinó el número de rebrotes por cada una de las repeticiones. Los análisis fueron ejecutados utilizando el software Libre Infostat® versión 13 (2,010).

7.1.2 Efecto de la velocidad de la cosechadora en el desarrollo de rebrotes, de caña de azúcar.

El análisis estadístico ANOVA del número de rebrotes a los 30 días después del corte, a diferentes velocidades de la cosechadora, no mostró diferencias significativas ($F = 1.9$; $gl = 3, 12$; $P_{(5\%)} > 0.05$) en el número de rebrotes (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de Varianza

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	34685.90	7	4980.84	1.30	0.3281
Tratamiento	21767.20	3	7255.73	1.90	0.1841
Repetición	13098.70	4	3274.68	0.86	0.5173
Error	45921.30	12	3826.78		
Total	80787.20	19			

(Infostat, 2,014)

El conteo de brotes corresponde a 1197 brotes contados a una velocidad de 3.5 km/h, el testigo con 991 brotes a 4.5km/h de velocidad, 1437 brotes a 5.5 km/h de velocidad y 1319 brotes a una velocidad 6.5 km/h. Con un Media de 1236 brotes. (Figura 8.)

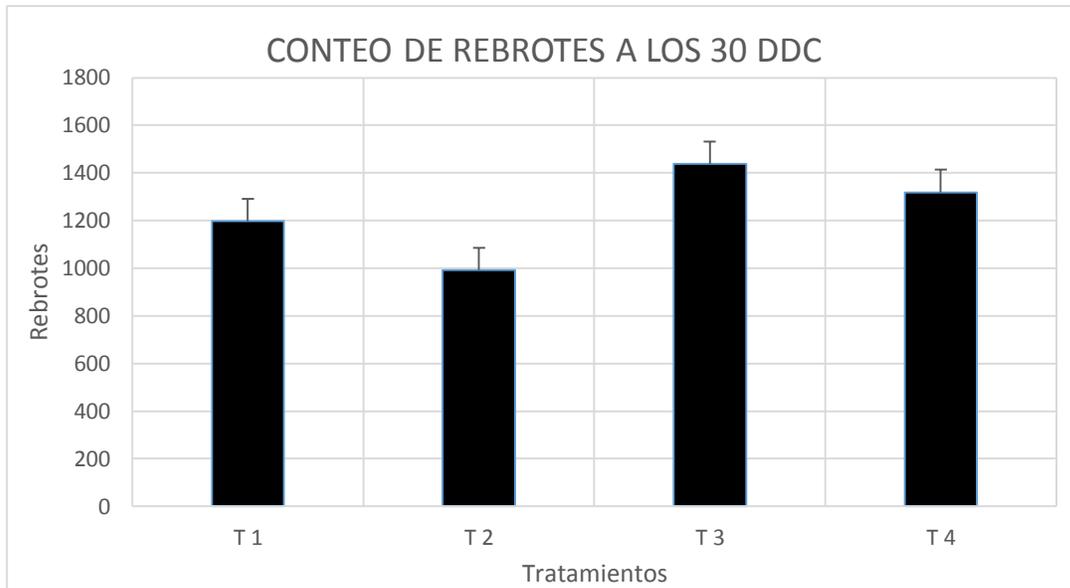


Figura 8. Cantidad de tallos a los 30 días después del corte

7.1.2.1 Prueba no Paramétricas aplicada a los 30, 50, 70 DDC

Se analizaron los rebrotos por cada tratamiento perteneciente a cada bloque mediante pruebas no paramétricas, considerando las 3 lecturas del experimento según el intervalo de días después de corte se obtiene el siguiente cuadro, aplicando la prueba de Friedman (Cuadro 4).

Cuadro 4. Prueba de Friedman

T 1	T 2	T 3	T 4
244	181	252	264
Friedman rank sum test			
Data: Responses		Friedman chi-squared = 6.36,	
df = 3, p-value = 0.09535			

No hay diferencia significativa entre los tratamientos a los 30, 50 y 70 días después del corte, sin embargo, la no significancia no es muy convincente y se encuentra cerca de la región de indecisión ($p = 0.095$).

Considerando esta relevancia se analizaron los datos a los 50 y 70 DDC mediante el mismo análisis obteniendo los siguientes resultados (Cuadro 5)

Cuadro 5. Prueba de Friedman a los 50 y 70 días después del corte.

T 1	T 2	T 3	T 4
366	296	358	264
Friedman rank sum test			
Data: Responses	Friedman chi-squared = 9.72, df = 3, p-value = 0.0211		

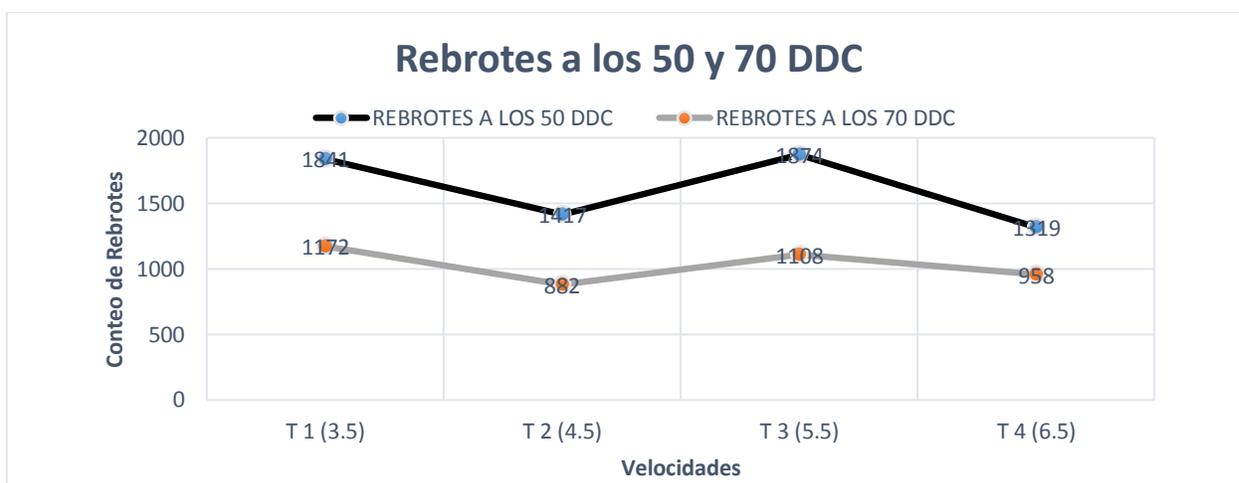
Al determinar el efecto de la velocidad de la cosechadora en los rebrotes a los 50 y 70 días después del corte si existe una diferencia significativa (p-value = 0.0211).

7.1.2.2 Total de tallos germinados a los 50 y 70 días después del corte.

Se contaron los tallos germinados a los 50 y 70 días para conocer el desarrollo de los rebrotes influenciados bajo el efecto de las diferentes velocidades de la cosechadora, a partir de los 70 días después del corte existe una diferenciación entre la cantidad de tallos molederos y tallos mamones, dicho desarrollo podría atribuirse a cierta “competencia” por espacio luz, agua y nutrientes entre cada uno de los brotes desarrollados, habiendo una disminución para este estudio del 63% según las muestras consideradas en campo, al ser un total de tallos de 6451 tallos a los 50 días después del corte comparados con 4120 a los 70 días después del corte, existiendo una diferencia de 2331 brotes.

Otro factor a considerar sería el efecto directo del paso de la cosechadora en cada uno de los surcos, y podría manifestarse un efecto retrasado del impacto del proceso de la cosecha mecanizada.

Figura 9. Total de Rebrotos a los 50 y 70 días después del corte.



7.1.3 Porcentaje de arranque de tallos (Tallos)

Posterior al Corte se realizaron conteos de cepas dejadas en campo fuera del surco para cada uno de los tratamientos, en este sentido existe un efecto directamente proporcional entre el porcentaje de arranque y la velocidad de cosecha, es decir a mayor velocidad mayor arranque de cepa al comparar los 2 tratamientos con mayor valor en sus conteos contra el testigo existe una variación de 1.12 % mayor con relación a una velocidad de 4.5 km/h.

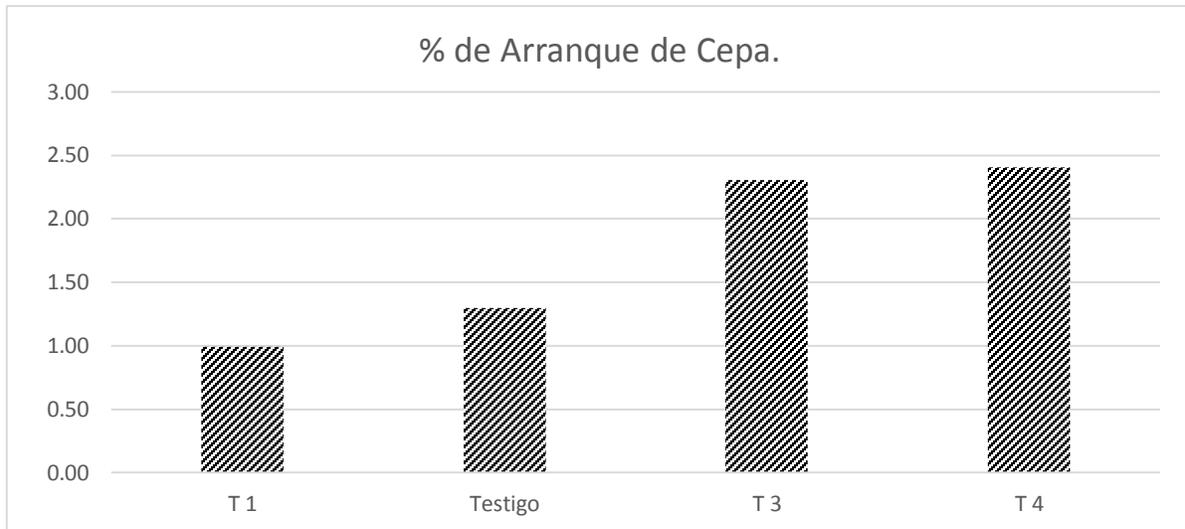


Figura 10. Porcentaje de Arranque de Cepa (Tallos)

7.1.4 Caña dejada por la máquina

Las toneladas por hectárea dejadas en campo es un indicador que en el Ingenio Santa Ana reconoce como de enorme valor, debido a su importancia en la cantidad de azúcar que puede ser recuperada. El valor del testigo se encuentra en el límite permitido con 2.3 ton/ha en promedio, siendo el valor más alto a una velocidad superior a los 6 km/h con 2.9 ton/ha. Y un valor mínimo a una velocidad de 3.5 km/h al presentar la misma condición fisiográfica (Figura 11).

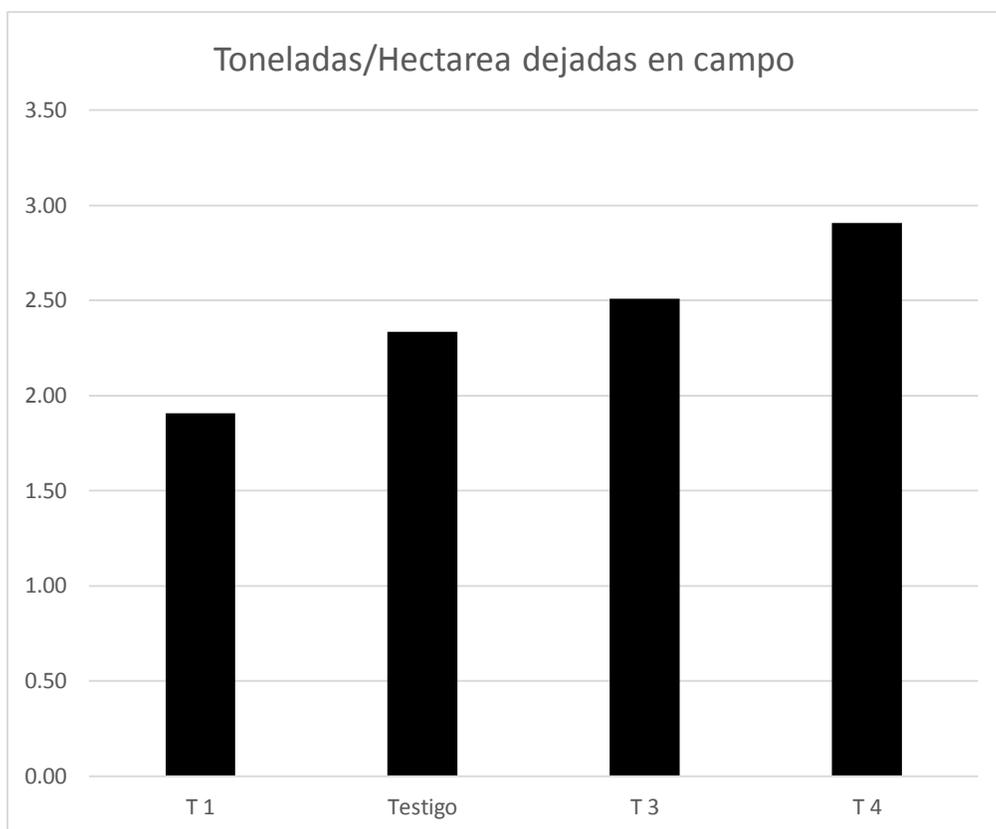


Figura 11. Caña dejada por la máquina

7.1.5 Trash vegetal y mineral por cada tratamiento

Los componentes a considerar en la determinación de la “basura” (trash) en las muestras recolectadas dependieron de: caña limpia, hojas, mamones, cañas seca, malezas, cogollos, cepas, tierra y piedras. A nivel de campo se observó un incremento al valor de trash, entre el testigo y dos tratamientos al existir 1.76 de diferencia mayor en puntos porcentuales, siendo el más alto la velocidad del tratamiento t4 (6.5 km/h) superando por 1.18% al testigo. En los componentes evaluados el de mayor porcentaje ha sido la opción “cogollos” con un promedio de 3.86% sobre los otros componentes. (Figura 12).

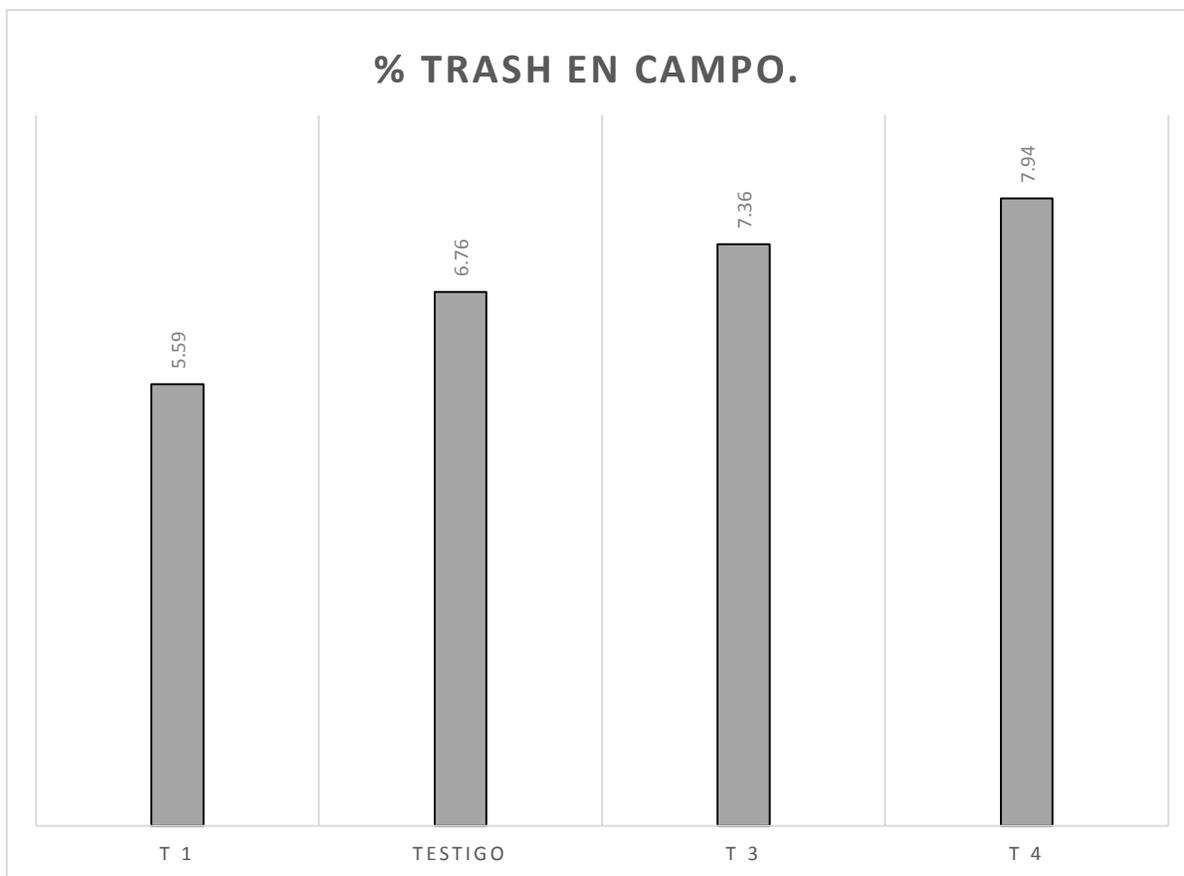


Figura 12. Porcentaje de Trash en campo

7.2 ANÁLISIS ECONÓMICO.

7.2.1 Costo por tonelada, de corte mecanizado comparado con corte manual

Se analizaron y compararon los datos de costo por tonelada en Quetzales de corte manual versus corte mecanizado. Utilizando como referencia los datos de cosecha de la zafra 2,014 – 2015 de Ingenio Santa Ana, S. A. Dando como resultado los datos que se presentan en el cuadro 6.

Cuadro 6. Análisis económico corte mecanizado versus corte manual

DESCRIPCION	CORTE Y ALCE MANUAL		CORTE MECANIZADO
Costo de Transporte			
Manual	Q	182,500.00	
Toneladas		10,000	
Toneladas por viaje		120	
Costo por Km en Q.	Q	36.50	
Distancia en Km.		60	
Costo por viaje en Q.	Q	2,190.00	
Costo por tonelada en Q.	Q	18.25	
Mecanizado			Q 161,657.14
Toneladas			10,000
Toneladas por viaje			140
Costo por Km en Q.	Q	37.72	
Distancia en Km.		60	
Costo por viaje en Q.	Q	2,263.20	
Costo por tonelada en Q.	Q	16.17	
Costos de operación de alce	Q	193,500.00	Q 341,900.00
Costo por tonelada alce manual en Q.	Q	19.35	
Costo por tonelada corte y alce mecanizado Q.			Q 34.19
Costos de operación de corte	Q	385,100.00	Q -
Costo por tonelada en Q.	Q	38.51	Q -
Gran Total	Q	761,100.00	Q 503,557.14
Costo por tonelada CAT en Q.	Q	76.11	Q 50.36

7.2.2 Costos de Cosecha por cada Tratamiento

Para esta evaluación se determinó el valor de corte de caña por cada uno de sus tratamientos, sin incluir Alce y Transporte, dicha observación (Cuadro 7) representa una disminución de gasto al aumentar la velocidad habiendo una diferencia de Q419.06 entre el tratamiento más económico (T4) y el testigo (T2). Y una diferencia mayor entre el tratamiento más costoso (T1) comparado con el testigo (T2) de Q546.75.

Cuadro 7. Costos de cosecha por cada tratamiento

No. Descripción	T1	T2	T3	T4
1 Combustible utilizado en quema.	Q 17.38	Q 17.38	Q 17.38	Q 17.38
2 Mano de obra para quema	Q 12.43	Q 12.43	Q 12.43	Q 12.43
3 Operadores de maquinaria	Q 73.75	Q 73.75	Q 73.75	Q 73.75
4 Mano de obra equipo de apunte	Q 50.89	Q 50.89	Q 50.89	Q 50.89
5 Maquinaria	Q 1,938.41	Q 1,391.66	Q 1,141.80	Q 976.46
6 Mano de obra toma datos durante cosecha	Q 225.00	Q 225.00	Q 225.00	Q 225.00
7 Mano de obra muestreos despues de cosecha	Q 63.37	Q 63.37	Q 63.37	Q 63.37
8 Costo total por tratamiento	Q 2,381.23	Q 1,834.48	Q 1,584.62	Q 1,419.28

7.2.3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se determinó mediante un ANOVA bajo el diseño bloques al azar el efecto en los rebrotes de caña de azúcar a diversas velocidades de la cosechadora, no existiendo un efecto significativo, debido a factores de desarrollo es decir, en ésta época la planta se encontró en etapa de proliferación de tallos para regenerar sus características fisiológicas y completar su ciclo fenológico, por ello no existe una diferenciación entre la cantidad de tallos rebrotados entre uno y otro tratamiento.

Mediante pruebas no paramétricas se determinó que existe una diferencia significativa en lecturas a los 50 y 70 DDC, dicho efecto podría ser facultativo debido a la competencia y desarrollo de los primeros rebrotes, los cuales compiten por espacio luz y agua favoreciendo por la planta el desarrollo de tallos con mejor condiciones fisiológicas, (Figura 9), a su vez se nota que existe una diferenciación entre tallos verdaderos (molederos) en un rango de 40 días (30-50 y -70) lo cual permite dilucidar que a mayor velocidad en la diferenciación de tallos verdaderos menor es el número de tallos que completan su ciclo fenológico.

Para el Ingenio Santa Ana el rango permitido de velocidad corresponde al Tratamiento 2 (4.5 km/h) para tal investigación denoto un menor número de rebrotes en campo factores como textura de suelo (arenosa), espacios anegados y

macollamientos débiles, fueron característicos para el área de evaluación y en mayor proporción a el total de repeticiones de este tratamiento, factor que ocasiono la alteración de los resultados en campo.

A una velocidad de 4.5 km/h se contribuye a reducir el porcentaje de cepa arrancada en campo (Figura 10) comparada con velocidades mayores y menores a ella, a menor velocidad se observa un mayor porcentaje de arranque de cepa facultad atribuida a un fuerte volteo de cepa característico de la variedad, y las condiciones de textura presentes en el suelo, para esta investigación esto ha contribuido a aumentar significativamente la lectura de este para dicho tratamiento.

La caña dejada en campo es un aspecto de importancia a considerar por el Ingenio Santa Ana siendo permisibles 2.9 ton/ha. Para esta labor (Figura 11), ese rango se alcanzó a velocidades de 4.5 km/h (T2) en esta investigación. A una velocidad mayor el porcentaje de caña dejada en campo fue mayor, e inversamente proporcional a velocidades menores; no obstante los tratamientos 1 y 3 presentaron aspectos a considerar, las irregularidades en las lecturas se deben a las condiciones edáficas y fisiológicas del cultivo. En espacios donde la caña se encontraba volteada presentó menor tonelaje dejado en campo pero mayor porcentaje de arranque de cepa, y donde hubo mayor tonelaje dejado en campo se debió a ondulaciones en el campo que impedían que las cuchillas base y trazadoras ejercieran su trabajo con normalidad. Aspectos como densidad de tallos por metro lineal contribuyen a alterar estos rangos significativamente, no solo en corte sino en quema como ocurre con los porcentajes de trash.

En esta investigación se da una relación directamente proporcional entre la velocidad de campo y el porcentaje de trash, a menor velocidad menor porcentaje de trash en campo debido a velocidades lentas las cantidades de caña cortadas son suficientes para que el sistema de limpieza (extractores de aire) cumplan su función separando trozos de hoja, malezas y pequeñas piedras no entren en contacto con la caña cortada. Para el tratamiento 1 los rangos asociados a un mayor porcentaje de trash se deben en especial al componente cogollo el cual no fue presente en los

demás tratamiento, (Anexo figura 15). Al considerar estos factores un buen manejo de herbicidas utilizados como madurante en la caña mejoraría la calidad de los cortes a diferentes velocidades.

En el análisis económico se observa una diferencia menor de Q25.75 por tonelada de caña cortada de forma mecanizada, en comparación a la tonelada de caña cortada de forma manual, debido a los gastos administrativos que representan la manutención del personal de corte (alimentación, transporte, hospedaje, salud, etc), y la disminución de maquinaria al no permitir emplear una alzadora directamente en el proceso de CAT, contribuye a reducir costos significativamente. Los costos por tratamiento indican que a una mayor velocidad menor será el costo de la tonelada de caña, debido a que el consumo se encuentra directamente afectado por el hodómetro de la máquina, que va de la mano con el costo del combustible rubros que aumentan considerablemente el costo de operación de corte dentro de un lote, no obstante como se observa en la figura 15, a mayor velocidad mayor es el aumento de porcentaje de trash, esto se debe a la mayor cantidad de caña ingresada a los molinos de la cosechadora y los extractores no presentan la suficiente capacidad de limpieza de la caña.

A menor velocidad el costo de la operación de corte se eleva considerablemente en un 29 % mientras que el aumento de la velocidad disminuye en 22 %, por lo que cabe en la necesidad de poder implementar un control más detallado y conocer sus diferentes fluctuaciones por lote cortado.

VIII. CONCLUSIONES

No existe un efecto significativo entre la velocidad de corte y los rebrotes en caña cortada de forma mecanizada, para la variedad CG98-10 en Finca Giralda, perteneciente al Ingenio Santa Ana, según el ANOVA realizado a sus datos estadísticos recopilados en campo a los 30 DDC.

En Pruebas no paramétricas existe una diferencia significativa entre tratamientos en los rebrotes de tallos de caña de azúcar a los 50 y 70 DDC.

La caña dejada en campo es un indicador directo en la estimación de la calidad de corte en un lote específico, para esta investigación a velocidades de 3.5 km/h se determinó que existe 1.9 ton/ha dejadas en campo, a velocidades de 4.5 km/h y 5.5 km/h se estimó 2.3 y 2.5 ton/ha respectivamente. Para velocidades de 6.5 km/h se determinó que existen 2.9 ton/ha dejadas en campo. Los indicadores de calidad permisibles que consideran un corte “correcto” en el Ingenio Santa Ana se alcanzó a una velocidad de 4.5 km/h.

En un rango de 3.5 a 4.5 km/h se mantienen los estándares de calidad permisibles por el Ingenio Santa Ana en cosecha mecanizada, al considerar aspectos como porcentaje de cepa volteada, Trash y caña dejada en campo.

El corte de caña mecanizada favorece la reducción de costos de operación en Q 25.75 por tonelada cortada en comparación al corte de caña manual.

IX. RECOMENDACIONES

- Considerar evaluar otras variedades de intereses para los ingenios azucareros bajo diferentes condiciones edáficas y pisos altitudinales a diferentes velocidades para determinar si existe un impacto directo en la cantidad de rebrotes en campo.
- Aumentar el número de bloques por unidad experimental para obtener una tendencia general de los resultados obtenidos en campo debido a la significancia observada en la prueba no paramétrica de Friedman, esto permitirá tener datos estadísticos más confiables y cercanos a la realidad.
- Considerar lotes característicos tanto en condiciones edáficas y topográficas del terreno, esto favorecerá a tener muestras homogéneas y disminuir los coeficientes de error en la toma de datos de campo.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cárdenas, A. (1986). La cosecha de la caña de azúcar, Memorias de curso dictado en la ciudad de Cali. Colombia: Tecnicaña.

Case (2009). Cosechadoras de caña serie A8000, especificaciones, PP. 24 (En red) Disponible en: www.caseih.com

CENGICAÑA, (2009). Nuevo catálogo de variedades promisorias de caña de azúcar para la agroindustria azucarera guatemalteca.

Conap (2008). Mapa de zonas ecológicas clasificación Holdridge (en red), mapas temáticos, disponibles en: www.conap.gob.gt

Cook J. (1995). Manejo de la caña para cosecha en estado verde. El cultivo de la caña de azúcar en la Industria Azucarera de Colombia, PP. 364-370. Colombia: Cassalet, Torres y Echeverri.

Del Cid, H. (2006). Cambio de sistema de cosecha de caña de azúcar de manual quemado a mecanizado verde. Tesis Guatemala: Universidad Rafael Landivar.

García, J. (2008). Implementación del sistema de minichorras tipo brasileño, tesis. Guatemala: Universidad Rafael Landivar.

Giraldo, F. (1995). Cosecha, alce y transporte, El Cultivo de la caña de azúcar en la Industria Azucarera de Colombia, pp 357-363. Colombia: Cassalet, Torres y Echeverri.

Infostat, Software estadístico. (2014). es un software para análisis estadístico de aplicación general desarrollado bajo la plataforma Windows. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar/>

Juárez, D., Muñoz, E. (1998). Requerimiento de riego de la caña de azúcar en la costa sur de Guatemala. Estudio exploratorio. Guatemala: Cengicaña.

Melgar, M., Meneses, A., Orozco, H., Pérez, O., Espinoza, R., (2012). El Cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Guatemala. CENGICAÑA. 16-18 pp.

Meneses, A., Melgar, M. (2013). Boletín Estadístico, (Boletín N.1), PP. 2. Guatemala Cengicaña.

Meneses, A., Melgar, M. (2015). Boletín Estadístico, (Boletín N.1), PP. 2. Guatemala Cengicaña.

Ripoli, C. (2002). Cosecha mecanizada verde, Revista Atagua PP. 15-16, Guatemala.

Solares J. (2012). Proceso de implementación del corte verde en un frente de cosecha mecanizada de caña de azúcar, Ingenio Concepción, Escuintla, Guatemala. Tesis de ingeniero agrónomo, Guatemala, Universidad Rafael Landívar. 8-10 pp.

TECNICAÑA, (sf). Mecanización de la cosecha de caña de azúcar. Colombia.

Viana, M. (2002). Cosecha Mecanizada y sus desafíos: Caña verde, perdidas Mecanización y Producción de Caña de Azúcar, pp70-92. Riberao Preto SP Brasil: Ripoli.

ANEXOS

Cuadro 8. Boleta para toma de datos, desarrollo de rebrotes.

	Fecha	Finca	Pante	No. Muestreo	Evaluador	
T 1	Lectura en los puntos de muestreo					Promedio
	P 1	P 2	P 3	P 4	P5	
R 1						
R 2						
R 3						
R 4						
R 5						
T 2	Lectura en los puntos de muestreo					Promedio
	P 1	P 2	P 3	P 4	P5	
R 1						
R 2						
R 3						
R 4						
R 5						
T 3	Lectura en los puntos de muestreo					Promedio
	P 1	P 2	P 3	P 4	P5	
R 1						
R 2						
R 3						
R 4						
R 5						
T 4	Lectura en los puntos de muestreo					Promedio
	P 1	P 2	P 3	P 4	P5	
R 1						
R 2						
R 3						
R 4						
R 5						

Cuadro 9. Boleta de control de calidad de corte

FINCA	PANTE	VARIEDAD	ANTES SAN.	DESP SAN	TO/HA REC	CAL CORTE	% ARR. CEPA	
MÁQUINA			OPERADOR					
FACTORES EVALUADOS, RESULTADOS DADOS EN TONELADAS POR HECTAREA								
INDICADORES DE LAS VARIABLES DE CALIDAD DE CORTE MECANIZADO								
0.44	0.56	1.09	0.25	0.17	0.24	0.15	2.9	2.9
CAÑA DEJADA POR ALCE TON/HA				CAÑA PEGADA t/ha		TRONCO ALTO	TOTAL	% DE TALLOS
< de 25 cm.	> de 25 cm. <50 cm.	>50 cm.	Caña sin despuntar	>25 <50 cm.	> de 50 cm.	< de 25 cm.	t/ha	(CEPAS)



Figura 13. Indicador de nivel y presión de corte



Figura 14. Clasificación de diferentes componentes para determinar el trash.

Cuadro 10. Determinación de trash en caña de azúcar

COMPAÑÍA AGRICOLA INDUSTRIAL SANTA ANA, S.A. ZAFRA 2014 - 2015.					
FINCA		1344	PANTE		102
VELOCIDAD		5.5 Km/Hora			
FINCA		1344	PANTE		102
VELOCIDAD		6.5 Km/Hora			
COMPONENTES	LIBRAS			%	
Caña Limpia	75.00			92.64	
Hojas	0.40			0.49	
Mamones	0.00			0.00	
Caña Seca	2.00			2.45	
Malezas	0.00			0.00	
Cogollos	2.87			3.44	
Cepas	0.70			0.86	
Tierra	0.10			0.12	
Piedras	0.00			0.00	
Total Muestra	81.5				
% Trash Muestra	7.36				
FINCA		1344	PANTE		102
VELOCIDAD		4.5 Km/Hora			
COMPONENTES	LIBRAS			%	
Caña Limpia	80.70			93.24	
Hojas	0.85			0.98	
Mamones	0.00			0.00	
Caña Seca	1.10			1.27	
Malezas	0.00			0.00	
Cogollos	3.70			4.27	
Cepas	0.00			0.00	
Tierra	0.20			0.23	
Piedras	0.00			0.00	
Total Muestra	86.55				
% Trash Muestra	6.75				
FINCA		1344	PANTE		102
VELOCIDAD		3.5 Km/Hora			
COMPONENTES	LIBRAS			%	
Caña Limpia	81.00			94.40	
Hojas	0.75			0.87	
Mamones	0.00			0.00	
Caña Seca	0.95			1.11	
Malezas	0.00			0.00	
Cogollos	2.80			3.26	
Cepas	0.00			0.00	
Tierra	0.30			0.35	
Piedras	0.00			0.00	
Total Muestra	85.8				
% Trash Muestra	5.59				

RESPONSABLE: Job Ismael Muralles Valle

FECHA: 05 Abril de 2015



Figura 15. Conteo de rebrotes a los 30 días después del corte.



Figura 16. Conteo de rebrotes a los 50 días después del corte.



Figura 17. Conteo de rebrotes a los 70 días después del corte.



Figura 18. Conteo de rebrotes a los 70 días después del corte.

Cuadro 11. Datos recopilados del experimento

CONTROL DE CALIDAD DE CORTE MECANIZADO														
Porcentaje permisible de arranque de tallos: 2.60% Tamaño de la muestra: 100 m cuadrados parametro permisible de pérdida: 2.90 ton/ha.														
FACTORES EVALUADOS											CONTEO DE REBROTES			
No. Muestra	Km/h	CAÑA DEJADA POR COSECHADORA				CAÑA PEGADA		TRONCO ALTO	TOTAL	% TALLOS	Arrancados	MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 3
		< de 25 cm	> 25 < 50 cm	> de 50 cm	Caña sin despuntar	>25 < 50 cm	> de 50 cm	< de 25 cm	Ton/ha	30 DDC.		50 DDC.	70 DDC.	
1	3.5	1.1	0.22	0.35	0.05	0.01	0	0.17	1.9	0.6	251	419	276	
2	4.5	0.98	0.62	1.42	0.67	0.05	0.23	0.14	4.11	2.59	181	311	151	
3	5.5	0.86	0.36	0.96	0.11	0	0	0.02	2.31	0.67	189	303	175	
4	6.5	0.88	0.48	0.88	0.48	0.05	0	0.22	2.99	0.65	257	450	230	
5	3.5	1.15	0.62	0.49	0.44	0	0	0.07	2.77	1.5	236	341	206	
6	4.5	0.7	0.15	0.51	0.08	0.03	0	0.16	1.63	0	175	296	176	
7	5.5	0.56	0.18	0.32	0.25	0.04	0	0.08	1.43	6.81	252	476	219	
8	6.5	0.74	0.48	1.11	0.56	0.19	0.14	0.6	3.82	5.49	327	350	193	
9	3.5	0.8	0.65	0.99	0.16	0.56	0.55	1.43	5.14	8.78	244	366	226	
10	4.5	0.59	0.07	0.28	0.08	0.07	0	0.28	1.37	0.8	263	285	191	
11	5.5	0.99	0.12	0.24	0.24	0	0	0.04	1.63	2.48	229	358	252	
12	6.5	0.65	0.34	0.65	0.21	0.51	0.34	1.44	4.14	1.53	307	290	188	
13	3.5	1.04	0.36	0.28	0.08	0	0	0	1.76	0	201	335	206	
14	4.5	0.87	0.26	0.55	0.15	0.31	0	0.18	2.32	0	164	301	200	
15	5.5	0.63	0.03	0.47	0.15	0	0	0.15	1.43	0.72	354	343	215	
16	6.5	0.6	0.14	0.41	0.04	0	0	0.09	1.28	0	164	279	138	
17	3.5	1.15	0.51	0.82	0.16	0.06	0	0.41	3.11	2.86	265	380	258	
18	4.5	1.08	0.32	0.72	0.13	0	0	0	2.25	3.09	208	224	164	
19	5.5	1.22	0.43	0.42	0.13	0.11	0.07	0.37	2.75	2.84	413	394	247	
20	6.5	0.98	0.32	0.44	0.28	0.07	0	0.21	2.3	1.35	264	329	209	

Cuadro 12. Costo por tonelada cortada a una velocidad de corte de 4.5 Km/hora

Costo por tonelada cortada a 4.5 Km/hora	
Costo por hora cosechadora (Q)	Q 990.00
Costo por hora tractor (Q)	Q 265.00
Cantidad horas cosechadora	1.09
Cantidad horas tractor	2.18
Velocidad de corte (Km/hora)	4.50
Eficiencia corte toneladas por hora cosechadora	58.00
Eficiencia corte toneladas por hora tractor	29.00
Área de corte (Ha)	0.48
Toneladas cortadas	63.36
Costo por tonelada cortada (Q)	Q 19.81