

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

EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE PREPARACIÓN DE SUELOS EN ÁREAS DE COSECHA
MECANIZADA EN VERDE DE CAÑA DE AZÚCAR
TESIS DE GRADO

RENE DAVID MILLAN PANIAGUA
CARNET 20489-10

ESCUINTLA, AGOSTO DE 2018
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

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

EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE PREPARACIÓN DE SUELOS EN ÁREAS DE COSECHA
MECANIZADA EN VERDE DE CAÑA DE AZÚCAR
TESIS DE GRADO

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

POR
RENE DAVID MILLAN PANIAGUA

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

ESCUINTLA, AGOSTO DE 2018
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULLIO MARTINEZ SALAZAR, 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

DECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ

SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA

DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
ING. CARLOS ANTONIO GORDON BROWN

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN
MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

Guatemala 28 de Agosto del 2018

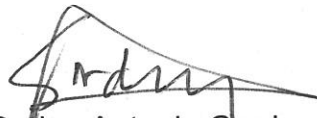
Honorable Consejo de Facultad
Ciencias Ambientales y Agrícolas
Universidad Rafael Landívar
Presente

Estimados miembros del Consejo

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de tesis de graduación del estudiante René David Millán Paniagua, carné 20489-10, titulado: "EVALUACIÓN DE METODOS DE PREPARACIÓN DE SUELOS EN ÁREAS DE COSECHA MECANIZADA EN VERDE DE CAÑA DE AZUCAR".

El cual considero que cumple con los requisitos establecidos por la facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



Ing. Carlos Antonio Gordon Brown
Colegiado No. 3587
Código URL. 6271



Universidad
Rafael Landívar

Tradición Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
No. 06991-2018

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante RENE DAVID MILLAN PANIAGUA, Carnet 20489-10 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES, de la Sede de Escuintla, que consta en el Acta No. 06131-2018 de fecha 24 de agosto de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE PREPARACIÓN DE SUELOS EN ÁREAS DE COSECHA MECANIZADA EN VERDE 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 24 días del mes de agosto del año 2018.



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

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios por darme la vida, la sabiduría, la energía, la pasión de superarme y seguir adelante.

A Universidad Rafael Landívar, facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas por ser parte de mi formación académica.

Ing. Carlos Gordon Brown, por su asesoría, revisión y corrección de la presente investigación, sobre todo, por su valioso tiempo brindado.

Ing. Fernando Barneond por brindarme el apoyo necesario para desarrollar dicha investigación, dentro del Ingenio Pantaleon, S.A.

Dr. Luis Gerardo Molina, por su apoyo, asesoría, revisión y corrección de la presente investigación.

Inga. Imelda Méndez por su valioso apoyo y orientación durante ultima fase de este proyecto de investigación.

DEDICATORIA

A:

Dios: Por sus infinitas bendiciones, nunca me desampara y siempre me guía.

Mis Padres: Edwin Millán y Elizabeth Paniagua a quienes, gracias a su formación y apoyo incondicional me permiten llegar a esta etapa importante de mi vida, los amo.

Mi esposa: Patricia López, con mucho amor quiero dedicar este triunfo, por todo el apoyo moral brindado.

Mi hija: Isabella Valentina Millán López, por ser mi motor y fuente de inspiración en seguir adelante.

Mis hermanos: Ana Carolina Millán; Edwin René Millán; Ana Beatriz Millán, por ser ese sustento que me permite seguir adelante, este triunfo es de ustedes.

Mis abuelos: Desde el cielo han sido mi guía para triunfar, en especial a mi abuelo David Paniagua (Q.E.P.D.) por darme ese gran ejemplo de superación.

Mis tíos: Por ser parte elemental de este triunfo, en especial Enrique Godoy (Q.E.P.D.) por ser mi inspiración en seguir adelante.

INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	MARCO TEÓRICO.....	2
2.1.	CAÑA DE AZÚCAR	2
2.2.	TAXONOMÍA DE LA CAÑA DE AZÚCAR.....	2
2.2.1.	Etimología	2
2.3.	CLASIFICACIÓN CIENTÍFICA.....	3
2.4.	USOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR	3
2.5.	CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR.....	3
2.6.	PROCESO INDUSTRIAL	4
2.7.	SECUENCIA Y DESCRIPCIÓN DE LABORES	5
2.7.1.	Arado	6
2.7.2.	Volteo	9
2.7.3.	Pulido	11
2.7.4.	Subsolado	12
2.7.5.	Surcado.....	15
2.8.	COMPACTACIÓN DEL SUELO.....	16
2.8.1.	Efectos de la compactación del suelo.....	17
2.8.2.	Medidas correctivas.....	17
III.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
3.1.	Definición del problema	18
IV.	OBJETIVOS.....	19
4.1.	GENERAL.....	19
4.2.	ESPECÍFICOS.....	19
V.	HIPÓTESIS.....	20
VI.	METODOLOGÍA	21
6.1.	Localización del trabajo.....	21
6.1.1.	condiciones climáticas.....	21
6.1.2	Vías de acceso	21
6.2.	Material experimental.....	21
6.2.1	Descripción de implementos	22

6.3.	Factores a estudiar	24
6.3.1	Métodos de preparación de suelos	24
6.4.	Descripción de los tratamientos.....	24
6.5.	Diseño experimental.....	25
6.6.	Modelo estadístico.....	25
6.7.	Unidad experimental.....	26
6.8.	Croquis de campo	26
6.9.	Manejo del experimento	26
6.10.	Variables de respuesta.....	27
6.10.1	Profundidad de capas compactadas.....	27
6.10.2	Profundidad de penetración de implementos	27
6.10.3	Eficiencias de maquinaria	27
6.10.4	Relación beneficio/costo	27
6.11.	Análisis de la información	27
6.11.1	Análisis estadístico.....	27
6.11.2	Análisis económico	27
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
7.1.	Profundidad de capas compactadas	28
7.2.	Profundidad de penetración de los implementos	30
7.3.	Eficiencias de maquinaria.....	32
7.4.	Rendimiento de los tratamientos	34
7.5.	Relación beneficio/costo.....	35
7.6.	Análisis económico.....	35
VIII.	CONCLUSIONES	37
IX.	RECOMENDACIONES	38
X.	BIBLIOGRAFÍA	39
XI.	ANEXOS.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Descripción de los tratamientos evaluados.	24
Tabla 2 Análisis de varianza (ANDEVA) profundidad de capas compactadas en centímetros. ...	28
Tabla 3 Resultados de profundidad de capas compactadas en centímetros	28
Tabla 4. Pruebas de medias DGC al 0.05% para profundidad de capas compactadas.....	29
Tabla 5 Análisis de varianza (ANDEVA) profundidad de penetración de implementos en centímetros	30
Tabla 6 Resultados de profundidad de penetración en centímetros	30
Tabla 7 Prueba de medias DGC al 0.05% para profundidad de penetración de los implementos .	31
Tabla 8 Análisis de varianza (ANDEVA) eficiencias de maquinaria hectáreas por hora.....	32
Tabla 9 Resultados de eficiencias de maquinaria hectáreas por hora	32
Tabla 10 Pruebas de medias DGC al 0.05% para eficiencias de maquinaria.....	33
Tabla 11 Análisis de varianza (ANDEVA) de los rendimientos en toneladas de caña por hectárea de los tratamientos evaluados.....	34
Tabla 12 Resultados de rendimientos de toneladas de caña por hectárea para cada tratamiento ..	34
Tabla 13 Prueba de media DGC al 0.05% para los rendimientos de caña por hectárea	34
Tabla 14. Resultados de la relación beneficio/costo	35
Tabla 15 Análisis económico	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I. Secuencia presentada en forma general y en su orden, desde el arado de cincel hasta el surcado. (CENGICAÑA, 2012).	6
Figura II. Arado de cinceles integral con enganche al sistema de tres puntos del tractor.....	8
Figura III. Arado de cinceles con rolo con enganche a la barra de tiro.	8
Figura IV. Rastro arado excéntrico de cuatro secciones de 20 discos de 24 pulgadas.	10
Figura V. Método de preparación en melgas, de afuera hacia adentro.	10
Figura VI. Método de preparación en melgas, de adentro hacia fuera.....	10
Figura VII. Rastra pulidora de tiro excéntrico de secciones adicionales tipo velera.	12
Figura VIII. Subsolador de tiro de 7 puntas de 3 pulgadas de diámetro por 1m de altura.....	13
Figura IX. Método de preparación de suelos de subsolado en pasadas continuas.	14
Figura X. Roturación del suelo al momento de realizar el arado vertical del suelo.(CENGICAÑA, 2012).....	14
Figura XI. Surcado de tres cuerpos de discos de 24 pulgadas de diámetro.	15
Figura XII. Distribución de los tratamientos de evaluación.....	26
Figura XIII. Comportamiento de la profundidad de capas compactadas en centímetros	29
Figura XIV. Comportamiento de la profundidad de penetración en centímetros	31
Figura XV. Comportamiento de las eficiencias de la maquinaria hectáreas por hora	33

EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE PREPARACIÓN DE SUELOS EN ÁREAS DE COSECHA MECANIZADA EN VERDE DE CAÑA DE AZÚCAR.

RESUMEN

La investigación se realizó en Ingenio Pantaleon, S. A. El objetivo principal fue la evaluación de métodos de preparación de suelos en áreas de cosecha mecanizada en verde de caña de azúcar para suelos mollisoles. Los tratamientos evaluados fueron cinco: Tratamiento uno (testigo); rastro arado, arado de cinceles, pulidora y surcador. Tratamiento dos; dos pasos de rastro arado, arado de cinceles, pulidora y surcador. Tratamiento tres; Rastro arado, arado de cinceles y surcador. Tratamiento cuatro; dos pasos de rastro arado, dos pasos de arado de cinceles y surcador. Tratamiento cinco; Trituradora de residuos, rastro arado, implemento múltiple (panta penta). Las variables evaluadas fueron: profundidad de capas compactadas, profundidad de penetración de implementos, eficiencias de maquinaria, relación beneficio/costo y rendimientos. El tratamiento que presento mayor diferencia comparado con el testigo para la variable de profundidad de capas compactadas fue el cinco con 43.78cm y el tratamiento que presento menor profundidad, fue el dos con 35.62cm. Para la variable profundidad de penetración de implementos, el tratamiento que presentó mayor diferencia comparado con el testigo fue el cinco con 45.40cm y el tratamiento con menor profundidad fue el tres. Para la variable de eficiencias de maquinaria el mejor tratamiento fue el testigo absoluto, y el que presentó menor eficiencia fue el cinco. Se realizó análisis de varianza entre tratamientos, determinando que existen diferencias estadísticas significativas. El análisis económico los tratamientos evaluados, ofreció mayor beneficio económico el cinco, con utilidad de U\$\$ 1,603.85 por hectárea comparado con el testigo.

I.INTRODUCCIÓN

La agroindustria azucarera ha venido creciendo permanentemente desde 1960, hasta llegar a ubicar a Guatemala como el quinto país exportador de azúcar a nivel mundial, el segundo en Latinoamérica y el tercer lugar en productividad (toneladas métricas/ha) a nivel mundial. El azúcar es el segundo producto agrícola en Guatemala en generación de divisas, constituyéndose en una importante contribución a la economía nacional

La preparación de suelos es la combinación de labores mecanizadas que proveen a la semilla de caña (reproducción vegetativa) las condiciones óptimas para su germinación, y un crecimiento vigoroso de la masa foliar y la masa radicular. Se debe tomar en cuenta que la preparación excesiva y en condiciones inadecuadas, puede resultar perjudicial, aquella deteriora la estructura debido a la generación de agregados muy finos que favorecen la formación de costras en la superficie, obstruye los macroporos y acumula partículas finas en diferentes profundidades. El contenido de humedad en el suelo tiene gran importancia para definir el momento óptimo en realizar las labores de preparación. Esto ayuda a reducir la compactación, fuerza de tracción, desgaste de implementos y el consumo de combustible de la maquinaria.

La tendencia de la cosecha mecanizada en verde ha aumentado en los últimos seis años debido a la rentabilidad de las máquinas y a la conservación del medio ambiente, ya que elimina la práctica de requema, sumando así una problemática para las labores de preparación de suelos. En la cosecha de la caña sin empleo de la quema, queda sobre el campo una cantidad de residuos (hojas y despuntes) se estima entre 7-16 toneladas⁻¹ métricas de materia seca/ha (Alonso, Casen, Digonzelli, Fernández de Ullivarri, Giardina, Leggio, Romero, Scandalariis, Tonatto, 2009).

El estudio se enfoca en evaluar métodos de preparación de suelos en lotes con residuo agrícola vegetal abundante, para mejorar la penetración de implementos agrícolas, la profundidad de capas compactadas, desarrollo radicular apropiado, anclaje de la planta. El estudio proveerá información relevante para mejorar el conocimiento sobre la técnica tradicional actualmente utilizada.

II.MARCO TEÓRICO

2.1. Caña de azúcar

Es una especie de planta, pertenece a la familia de las poáceas, son plantas cespitosas con tallos de hasta 5 m x 2-5 cm, con numerosos entrenudos alargados vegetativamente. Vainas glabras o pelosas; ligula de 2-4 mm; láminas 1-2 m x 2-6 cm, glabras o la costilla media pelosa. Panícula 25-50 cm; pedúnculo glabro o densamente puberulento; eje glabro o peloso; entrenudos del raquis de 5 mm, glabros. Espiguillas 3-4 mm. (Díaz y Portocarrero, 2002)

La caña de azúcar es una planta proveniente del sureste asiático. La expansión musulmana supuso la introducción de la planta en territorios donde hasta entonces no se cultivaba. Así llegó al continente europeo. Fue así como los españoles llevaron la planta, primero a las islas Canarias, y luego a América. Se dice que la primera se llevó a América por Pedro de Atienza, en el segundo viaje de Colón a la Isla Española.

Así es como se desarrolló en países como: Cuba, Guatemala, Brasil, México, Argentina, Perú, Ecuador, República Dominicana, Colombia y Venezuela. Actualmente estos países se encuentran entre los mayores productores de azúcar del mundo.

2.2. Taxonomía de la caña de azúcar

Saccharum officinarum fue descrita por Carlos Linneo y publicado en *Species Plantarum* 1: 54. 1753.

2.2.1. *etimología.*

a. *Saccharum:*

Nombre genérico que deriva del griego *sakcharon*, "azúcar", y otras palabras similares en malayo y sánscrito para "azúcar o el jugo de la caña de azúcar". (Díaz y Portocarrero, 2002)

b. *Officinarum*:

Epíteto latino que significa "vendido como hierba medicinal". Sinonimia (Díaz y Portocarrero, 2002)

2.3. Clasificación científica

Reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Liliopsida, subclase Commelinidae, orden Poales, familia Poaceae, subfamilia Panicoideae, tribu Andropogoneae, género *Saccharum*, especie *officinarum*. (Díaz y Portocarrero, 2002)

2.4. Usos de la caña de azúcar

El jugo de su tallo es la fuente principal para elaborar azúcar artesanal, su jugo es extraído por medio de unas cuchillas desmenuzadoras, para luego pasar al trapiche. Pasando por una serie de extractores y filtros, seguidamente se somete a un tratamiento de clarificación donde se coloca en depósitos de cocción al vacío para ser concentrado y cultivado el grano., una vez cristalizado se extrae el agua sobrante obteniendo como resultado el azúcar blanco nombre común con que se conoce comúnmente.

2.5. Cultivo de la caña de azúcar

La caña es un cultivo de zonas tropicales o subtropicales del mundo. Requiere agua y suelos adecuados para crecer bien. Es una planta que asimila muy bien la radiación solar, teniendo una eficiencia cercana a 2% de conversión de la energía incidente en biomasa. Un cultivo eficiente puede producir 100 a 150 toneladas de caña por hectárea por año (con 14% a 17% de sacarosa, 14% a 16% de fibra y 2% de otros productos solubles). (Díaz y Portocarrero, 2002)

La caña se propaga mediante la plantación de trozos de caña, de cada nudo sale una planta nueva idéntica a la original; una vez plantada la planta crece y acumula azúcar en su tallo, el cual se corta cuando está maduro. La planta retoña varias veces y puede seguir siendo cosechada. Estos cortes sucesivos se llaman "zafras". La planta se deteriora con el tiempo y por el uso de la maquinaria que pisa las raíces, así que se debe replantar cada siete a diez años, aunque existen cañaverales de 25 o más años de edad.

La caña requiere de abundante agua. Su periodo de crecimiento varía entre 11 y 17 meses, dependiendo de la variedad de caña y de la zona. Requiere de

nitrógeno, fósforo, potasio y ciertos oligoelementos para su fertilización. En zonas salinas se adiciona azufre para controlar el sodio.

La caña se puede cosechar a mano o a máquina. La cosecha manual se hace a base de personas con machete o rulas que cortan los tallos (generalmente después de quemada la planta para hacer más eficiente la labor) y los organizan en chorras para su transporte. Una persona puede cosechar entre 5 y 7 t por día de caña quemada y 40% menos de caña sin quemar. La cosecha mecánica se hace con cosechadoras que cortan la mata y separan los tallos de las hojas con ventiladores. Una máquina puede cosechar 30 toneladas por hora, pero con el inconveniente de que daña la raíz o soca, disminuyendo en gran medida el nacimiento de nuevas plantas por este método siendo muchas veces necesaria la replantación.

Una vez cortada la caña debe transportarse rápidamente al ingenio para evitar su deterioro por levaduras y microbios. El transporte se hace en vagones halados por un camión o tractor. Los vagones tienen capacidades entre 15 y 30 toneladas cada uno. La producción mundial de caña de azúcar en 2005 fue de 1,267 millones de toneladas, siendo el principal productor Brasil con 34 % de la producción mundial, Asia 41.6 %, Oceanía 2.6 %, Europa 0 %, Américas 49.7%. Los países con 5 mayores rendimientos son; Perú, Egipto, Senegal, Malawi y Zambia. En su respectivo orden. (FAO, 2015).

2.6. Proceso industrial

La caña llega al ingenio donde se extrae el jugo, éste se clarifica y luego se cristaliza para separar el azúcar. La extracción se hace generalmente en un molino que pasa la caña entre tres o cuatro masas de acero, que exprimen los tallos y sacan todo el jugo. Para mejorar la extracción se añade agua que disuelve y logra sacar más azúcar. El residuo sólido fibroso se llama bagazo y es usado para hacer papel y para quemar en la caldera que utiliza todo el proceso del ingenio.

El jugo extraído (llamado guarapo) tiene de 10 a 14 % de sacarosa. Éste se mezcla con cal para evitar la acidificación y se pasa por diversos clarificadores para extraer los residuos sólidos. Una vez clarificado se evapora parte del agua para llevar la concentración de azúcar a 60 %. Aquí se inicia un proceso de cocción al vacío (para mantener la temperatura

más baja y reducir la caramelización) hasta llegar a sobresaturar la masa. Luego se introduce polvillo de azúcar que funciona como semilla alrededor del cual crecen los cristales de azúcar.

La masa luego pasa a una centrífuga que tiene una malla en sus paredes; al girar muy rápido, la fuerza centrífuga empuja la miel a través de la malla y deja sólo el azúcar. El azúcar resultante es crudo y contiene 97 % de sacarosa. Este azúcar se puede enviar a una refinería para obtener azúcar blanca o azúcar blanquilla. La miel resultante puede volverse a cristalizar y centrifugar un par de veces para recuperar más azúcar. Alternativamente, en años recientes se ha vuelto posible fermentar estos jugos produciendo menos azúcar y más etanol. Las ventajas del etanol como combustible son tanto ambientales como de reducir la dependencia de gasolina.

En algunos países el jarabe se sulfita, que es una manera de blanquear el azúcar al añadirle dióxido de azufre. Este azúcar, llamado sulfitado, es similar al crudo, pero de color más blanco (el crudo es habano) pues las impurezas han sido desteñidas. De este proceso queda azúcar y una miel final llamada melaza. La melaza se usa para alimento animal y para producir alcohol.

El azúcar crudo se refina para remover todas las impurezas y dejar el cristal de la molécula de sacarosa lo más puro posible. El proceso se inicia con la afinación, en la cual los cristales son lavados para remover la melaza adherida. El azúcar resultante se disuelve y se clarifica más. Luego se añade ácido fosfórico y sacarato de calcio para que formen fosfato de calcio que se precipita y arrastra otras impurezas. Alternativamente puede usarse un proceso de carbonatación en el cual el dióxido de carbono, reacciona con el calcio para formar carbonato de calcio que produce el mismo efecto.

El líquido resultante se decolora y filtra en carbón activado (carbón vegetal o de hueso) que absorbe las impurezas. Luego, se concentra y se cuece en tachos (tanques de cocimiento al vacío), por último, se separa el azúcar de la miel en centrífugas. (Díaz y Portocarrero, 2002)

2.7. Secuencia y descripción de labores

Las labores necesarias para una adecuada preparación de suelos y su secuencia dependen de las características del suelo que será renovado. Éstas se pueden conocer a través de la observación y descripción del perfil en una calicata (1m x 1m x 1m) o cajuela (0.6m x 0.6m x 0.6m) representativa del lote en cuestión. Las principales a observar en el perfil son la

secuencia de los horizontes presentes, su espesor, profundidad, textura y estructura, también habrá que detectar capas compactadas y presencia de piedras u otro factor limitante. Adicionalmente, en varios puntos representativos del lote se mide la compactación con algún instrumento de campo, como el penetrómetro y la medición de la humedad actual. Debido a la variabilidad de suelos existentes en la zona cañera y la variación en el manejo del cultivo por parte de los ingenios, las labores y secuencia son variables, pero de manera general en la Figura 1 se muestra una secuencia típica de las labores de preparación. (CENGICAÑA, 2012).

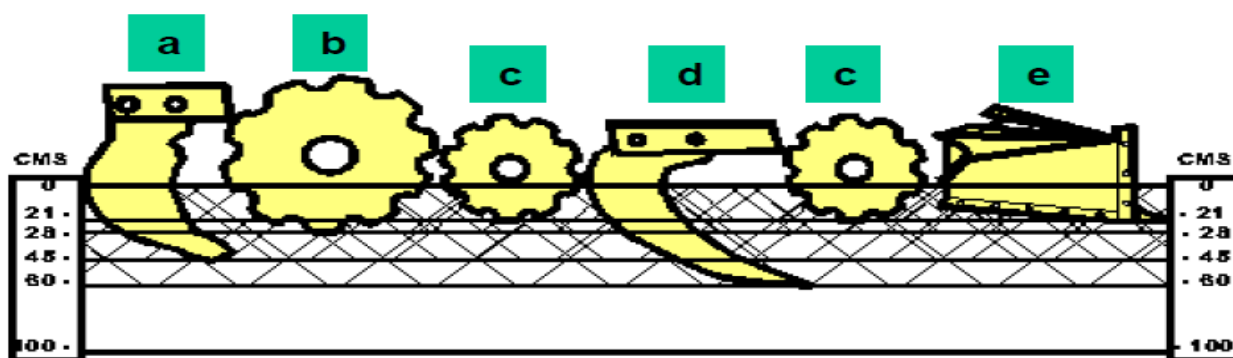


Figura 1. Secuencia presentada en forma general y en su orden, desde el arado de cincel hasta el surgado. (CENGICAÑA, 2012).

2.7.1. arado. Esta actividad se practica en suelos que presenten capas compactadas con una resistencia mayor a 200 psi. Consiste en introducir en el suelo cuerpos parabólicos separados a 0.45 m entre cada uno, a una profundidad no mayor de 0.45 m en suelos francos y 0.30 m en suelos arcillosos. El equipo utilizado se llama arado de cinceles; los cuales son cuerpos parabólicos que van sostenidos en una barra portaherramientas, la cual es jalada por un tractor con llantas de 320 HP, cuando el equipo cuenta con cinco cuerpos, o un tractor de llanta de 215 HP si el equipo cuenta con tres cuerpos. La velocidad de operación del equipo debe ser de 4.5 a 5.5 km por hora. Esta actividad conforma un sustrato del suelo en el que las plantas de caña de azúcar se puedan desarrollar apropiadamente.

El arado de cinceles efectúa una labranza vertical, cuya principal característica es aflojar el suelo a profundidades mayores que los arados o rastro arados de discos, sin invertir ni mezclar las distintas capas de su perfil, lo que permite conservar la estructura interna del suelo.

El arado de cincel se hace en sentido paralelo a los surcos, si la capa arable no fue roturada en su totalidad, se dará un segundo paso, éste se realiza con una orientación de 45° respecto al primero. Esta labor se realiza generalmente después del paso de subsolado. El patrón de campo utilizado con mayor frecuencia incluye una dirección transversal con ángulo de 90° en relación con la dirección del surco propuesta (Rodríguez y Daza, 1995). La calidad de esta labor se mide por el grado de fracturación de la capa compacta, que está muy relacionada con la textura del suelo y su contenido de humedad, así como por el implemento usado, la velocidad y dirección de operación.

El arado corta, levanta y remueve la capa superficial del suelo, enterrando el rastrojo y residuos de cosecha, aireando el suelo a través de incrementar la porosidad del mismo y permitiendo un beneficioso control de malezas, enfermedades e insectos. La profundidad depende del equipo que se utilice. Para el caso de las plagas del suelo, se ha registrado un control de hasta el 70 por ciento si se deja un espacio de tiempo de ocho días entre el volteo y la labor siguiente (Campollo, 1999).

Algunas de las ventajas que presenta el arado de cinceles son: a) elimina los estratos compactados y el pie de arado, provocado por el paso sucesivo de discos a una misma profundidad, b) sustituye la utilización del subsolador, en los suelos que presentan compactación a profundidades menores a 0.45 m, c) puede sustituir en algunos casos un paso de rastro arado, d) no deja camellones o surcos muertos en su operación, como los arados de discos y conserva la estructura interna del suelo.



Figura II. Arado de cinceles integral con enganche al sistema de tres puntos del tractor.



Figura III. Arado de cinceles con rolo con enganche a la barra de tiro.

2.7.2. volteo. El volteo se realiza con el implemento llamado “rastro arado”. Consiste en cortar, levantar y voltear el suelo, con el propósito de destruir el cultivo anterior, ayudar a controlar las malezas existentes, las plagas del suelo y laborar el suelo a profundidades mayores de 0.20 m, para permitir el establecimiento y desarrollo del cultivo. La profundidad de esta labor debe ser mayor en por lo menos 0.05 m a la profundidad del surcado, para garantizar que la semilla quedará sobre suelo laborado.

El rastro arado se puede dirigir a dos tipos de suelo: a) áreas con pendiente media a quebradas o con presencia de piedras y b) áreas planas libre de piedras.

En áreas con pendiente media o quebradas o con presencia de piedras se necesitan rastras pequeñas, de 12 a 16 discos de 0.81 m (32 pulgadas) de diámetro, la profundidad de corte no debe ser menor de 0.20 m, se deben utilizar tractores de llanta de 170 a 320 HP, respectivamente, a una velocidad de 5-7 km por hora. En áreas con pendiente media, el rastro arado se realiza en el sentido de los surcos anteriores, para lo cual se forman melgas para la circulación del equipo dentro del lote. Si el diámetro de los agregados quedase muy grandes y se requiere un segundo paso, éste se hace de forma transversal o a 45° con respecto al primer paso, y en áreas con pendiente mayores al 50 por mil, el volteo se efectúa a favor de la pendiente. (CENGICANA, 2012)

En áreas planas libres de piedras se utilizan rastras de 20 a 24 discos de 0.81 m (32 pulgadas) de diámetro, la profundidad de corte no debe ser menor de 0.20 m, jaladas por tractores de llanta de 320 HP, a una velocidad de 7-8 km por hora.

Para realizar el volteo pueden emplearse arados de discos o de vertederas dispuestos en dos secciones de tiro excéntrico, montados sobre marcos portadores o chasis. La separación entre discos sobre la sección va de 0.35 a 0.45 m. El peso por disco es de 240 a 280 kg con una potencia requerida de 14 a 16 HP por disco en tractores de doble tracción.



Figura IV. Rastro arado excéntrico de cuatro secciones de 20 discos de 24 pulgadas, del área a trabajar las cabeceras alrededor se pueden hacer al inicio si las crestas de los surcos son muy altas para facilitar la vuelta del tractor e implemento (melgas de afuera hacia adentro), o al final de laborar el resto del área (melgas de adentro hacia afuera), tal como se muestra en la figura 5 y 6.

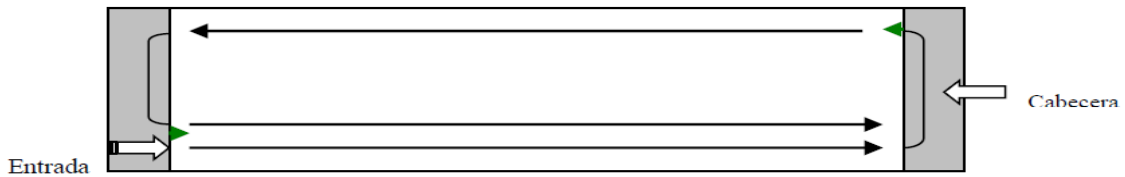


Figura V. Método de preparación en melgas, de afuera hacia adentro.

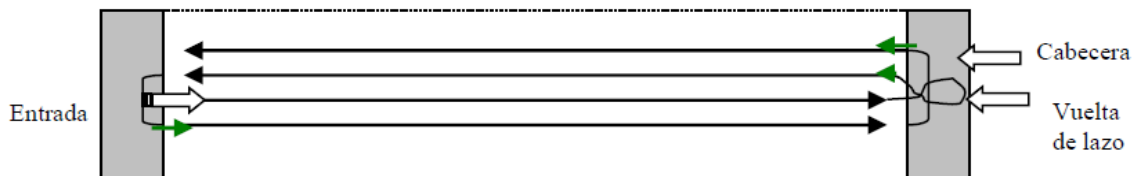


Figura VI. Método de preparación en melgas, de adentro hacia fuera, si la cresta de los surcos es muy alta, el primer paso de volteo debe hacerse paralelamente a la dirección de los surcos del cultivo anterior, si fuera necesario un segundo paso, hacerlo diagonal, o perpendicular al primer paso.

Por el contrario, si la cresta de los surcos del cultivo anterior no es tan alta, que dificulte el desplazamiento del tractor e implemento, el primer paso de volteo debe hacerse diagonal a la dirección de los surcos, y si es necesario un segundo paso, este será perpendicular al primer paso, verificar que el traslape entre una pasada y otra sea de 0.30 – 0.40 m, o la misma distancia que la separación entre discos, de lo contrario ajustar la dirección del tractor.

Verificar periódicamente que la profundidad del rastro arado esté alcanzando entre 0.24 a 0.27 m, ya que la máxima profundidad que se puede alcanzar es de $\frac{1}{3}$ del diámetro del disco. Generalmente, cuando la cresta de los surcos es alta, no permite alcanzar la profundidad deseada con el primer paso; por lo que se hace necesario un segundo paso.

2.7.3. pulido. Se realiza con el implemento conocido como “rastra”. El objetivo de esta labor es roturar y fraccionar los terrones producidos en el volteo o en el subsuelo, destruir e incorporar residuos vegetales y ayudar en el control de plagas del suelo. Un pulido de calidad asegura un mejor contacto entre el suelo y la semilla, lo que garantiza una buena germinación, así mismo una alta efectividad de los herbicidas. Sus principales funciones son desmenuzar los terrones que quedan después de las actividades anteriores, ayudar a destruir las cepas del cultivo anterior, a controlar las plagas del suelo, las malezas, hasta cierto punto ayuda a emparejar las protuberancias que quedan de las labores anteriores y a laborar el suelo entre 0.15 y 0.21 m.

En áreas con pendiente media a quebrada o con piedra se utilizan rastras de 28 discos de 0.66 m (26 pulgadas) de diámetro, jaladas por tractores de llanta de 170 caballos de fuerza, rastras de 66 discos de 0.61 m (24 pulgadas) de diámetro en áreas planas; jaladas por tractores de llanta de 320 caballos de fuerza. La velocidad de operación del equipo debe oscilar entre 7 y 10 km por hora, con desplazamiento transversal al volteo. Los discos están dispuestos en dos secciones de tiro excéntrico o en tándem, montados sobre marcos portadores o chasis, con una separación de discos sobre la sección que va de 0.20 a 0.25 m. El peso por disco fluctúa entre 85 y 100 kg. La potencia requerida es de 4.5 a 5.5 HP por disco en tractores de doble tracción. Esta labor se realiza con el método de melgas como se muestra en la figura 5 y 6. (CENGICAÑA, 2012)



Figura VII. Rastra pulidora de tiro excéntrico de secciones adicionales tipo velera.

2.7.4. Subsulado. Para el subsulado se utiliza el implemento conocido como “subsolador”. Es una labor que tiene como finalidad romper las capas impermeables del suelo situadas por debajo de la profundidad normal del cultivo (pie de arado), con ello se persigue mejorar la infiltración de agua, el drenaje y la penetración de las raíces, lo cual conlleva a aumentar los rendimientos de las cosechas en forma efectiva (Campollo, 1999).

La necesidad del subsolador dependerá de una evaluación técnica apropiada, ya que es de alto costo. Para medir la compactación se utiliza generalmente el penetrómetro, que es un instrumento que mide la resistencia a la penetración, expresada por la presión (fuerza por unidad de superficie) necesaria para introducir la punta cónica del equipo de medida hasta una cierta profundidad del suelo. Esta variable no constituye por sí sola una medida directa del estado de compactación del suelo. La calidad del subsulado se mide por el grado de fracturación, y depende del contenido de humedad y la textura del suelo, el implemento y la velocidad de operación. La profundidad del subsulado y de las demás

labores de preparación puede medirse con un instrumento sencillo llamado profundímetro, que no es más que una varilla sólida de metal, graduada en centímetros, de 75 cm de largo y 1.27 cm (½ pulgada) de diámetro.

Los implementos más utilizados para esta labor son los subsoladores parabólicos que tienen mayor eficiencia y constan de tres o cinco roturadores de 0.6 m de longitud, separados de 0.75 m a 1.00 m y dispuestos en la barra o marco portaherramientas integral o de tiro. La demanda de potencia varía entre 50 y 65 HP por roturador dependiendo del tipo de tractor, el grado de compactación, la profundidad de labor y de la velocidad a que se trabaje.



Figura VIII. Subsolador de tiro de 7 puntas de 3 pulgadas de diámetro por 1 m de altura.

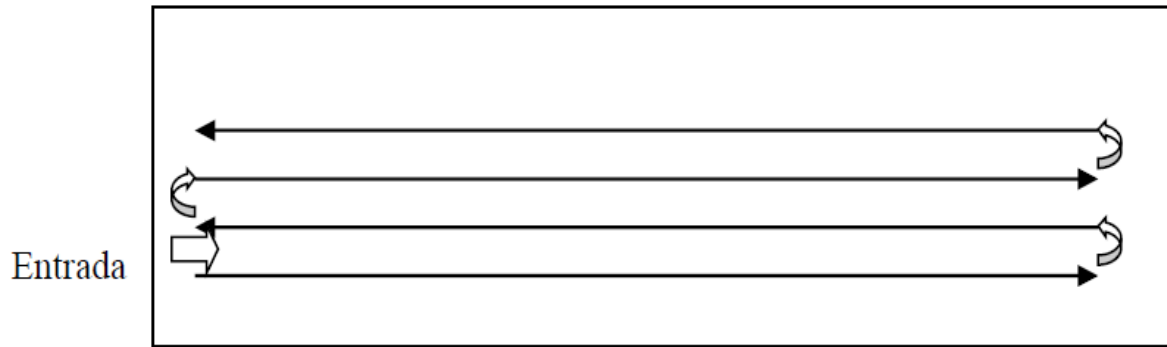


Figura IX. Método de preparación de suelos de subsolado en pasadas continuas.

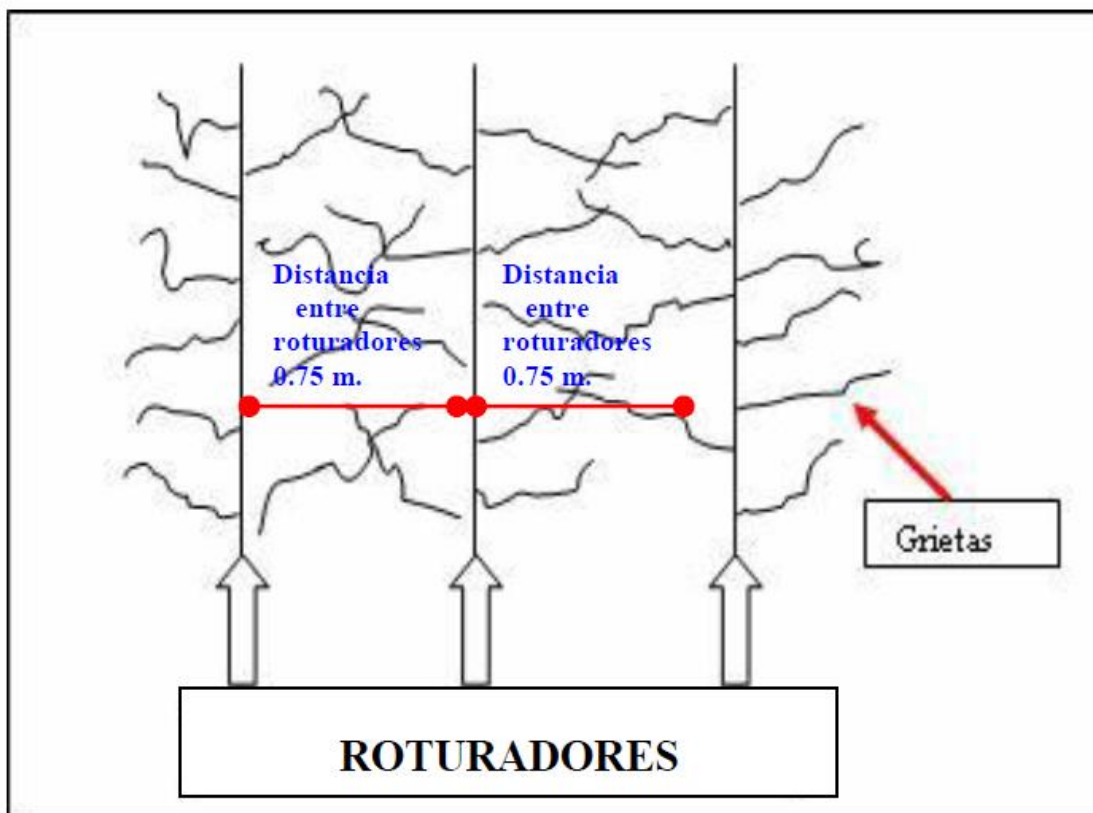


Figura X. Roturación del suelo al momento de realizar el arado vertical del suelo. (CENGICAÑA, 2012)

2.7.5. surcado. El surcado se realiza con el implemento “suscador”. Consiste en abrir surcos paralelos, distribuidos en línea recta o siguiendo curvas previamente diseñadas y establecidas por el proceso de diseño agrícola, a distancias de 1.50 m o 1.75 m, y a profundidades de 0.15 o 0.25 m en labranza convencional, y de 0.25 a 0.35 m para siembras de humedad.

El propósito es preparar una cama de suelo, en el que la semilla pueda acomodarse, germinar, emerger adecuadamente y permitir el desarrollo del cultivo. En adición al surcado, puede aplicarse fertilizantes granulados, a base de fósforo y/o potasio, e insecticida para el control de plagas del suelo, adaptando tolvas y mecanismos de descarga sobre la estructura de los suscadores (Figura 11). Esta labor puede hacerse con suscadores de dos, tres o hasta cuatro cuerpos, montados sobre una barra portaherramientas de tipo integral. La potencia requerida depende del tamaño y componentes del equipo utilizado, de la profundidad a la que se trabaje, de la velocidad de operación. La velocidad de operación en el campo es de 6 a 10 km por hora, en condiciones normales.



Figura XI. Surcado de tres cuerpos de discos de 24 pulgadas de diámetro.

2.7.5.1. calibración del implemento.

- a. Colocar el tractor con el surcador en terreno plano.
- b. Verificar que la distancia entre cuerpos del surcador sea la requerida para el campo que se surcará.
- c. Graduar longitudinalmente el surcador, con el tercer punto de acople o muñeco, para regular el ángulo de incidencia de los cuerpos surcadores.
- d. Graduar transversalmente el implemento, por medio de los brazos elevadores, hasta lograr que las puntas de cada cuerpo surcador toquen el suelo plano al mismo tiempo.
- e. Verificar que la profundidad de surcado en labranza convencional sea de 0.15 – 0.25 m y en siembra de humedad de 0.25 – 0.35 m.
- f. Ajustar la posición de los marcadores en los surcadores, hasta lograr que la distancia entre los surcos del traslape entre una pasada y la otra sea la misma, o con una variación menor al 5 por ciento.
- g. Actualmente existen sistemas de posicionamiento global (GPS). Que apoyados con mecanismos de corrección a través de antenas RTK, permiten surcar sin necesidad de marcadores, y se logra una mejor equidistancia y paralelismo entre los surcos.

2.8. Compactación del suelo

La ausencia de porosidad, presentada en capas de profundidad impermeables o compactadas bajo la superficie del suelo es un fenómeno común en campos con regímenes de

mecanización intensiva del campo, en sistemas de varios cultivos de socas y en sistemas de rotación de caña de azúcar y arroz.

2.8.1. efectos de la compactación del suelo.

- a. Aumenta la densidad aparente (suelos delgados a medios: 1.5 a 1.7 g/m³ y suelos pesados: 1.45 a 1.57 g/m³) y la resistencia del suelo a la penetración.
- b. Reducción de la porosidad, tasas de infiltración y capacidad de almacenamiento de agua.
- c. Impedancia a la penetración y proliferación radicular. Sistemas radiculares superficiales hacen que la planta sea susceptible a la sequía.
- d. Menor absorción de agua y nutrientes.
- e. Promueve la tendadura, especialmente bajo condiciones inusualmente húmedas. (CENGICAÑA, 2012).

2.8.2. medidas correctivas

- a. Arado profundo, subsolado o cincelado a una profundidad de 50 - 75 cm hasta 90 cm.
- b. Aplicación de abonos orgánicos (25 toneladas⁻¹ de estiércol fresco por hectárea), cultivo de abonos verdes y su incorporación al suelo.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Definición del problema

En la actualidad la preparación del suelo constituye aproximadamente un 25% de los costos destinados a manejo de plantación, haciendo que cualquier ahorro con relación a este proceso sea significativo. Antes de iniciar el proceso de certificación para la empresa, los residuos vegetales eran eliminados a través de la quema, generando de esta forma un problema de contaminación ambiental que se traduce en emisiones de CO₂, N₂O, NO, CO Y CH₄ (IPCC, 1995).

El efecto del material orgánico dejado por la cosecha mecanizada en verde se traduce a una mala penetración de implementos, la profundidad de las capas compactadas se reduce, desarrollo radicular inapropiado, falta de anclaje, alto costo/ha. Esto debido a que el material vegetal se encuentra en función de la cantidad de biomasa que produce la planta. La relación es directamente proporcional ya que, a mayores producciones, mayor es la cantidad del residuo vegetal dejado en campo.

3.2 Justificación del trabajo

La biomasa que se genera estará disponible en aproximadamente 60 a 90 días, lo cual, por el volumen de área preparada anualmente genera atrasos en la planificación anual de cosecha, ya que cada lote sembrado debe ser cosechado en ventana, es decir de 10 a 12 meses, teniendo en cuenta que mientras más lejos se encuentre de la ventana de cosecha, menor será la concentración de azúcar del tallo, efecto que se traduce en menor rendimiento.

Por ello, se evaluaron métodos de preparación de suelos sobre residuos de cosecha mecanizada en verde en el cultivo de caña de azúcar para lograr diferencias entre la profundidad de capas compactadas y de penetración de los implementos agrícolas por el efecto de los métodos. Esto para proveer las condiciones necesarias al cultivo en el momento de su siembra, para permitir un buen desarrollo radicular, aireación-oxigenación, infiltración, etc. Que se traduce en reducción de costos y un mayor rendimiento. El estudio provee información relevante para mejorar el conocimiento sobre la técnica tradicional actualmente utilizada.

IV.OBJETIVOS

4.1. General

Evaluar métodos de preparación de suelos en áreas de cosecha mecanizada en verde, en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum sp.*), en suelos mollisoles en zona agrícola Puyumate, Ingenio Pantaleon, S.A.

4.2. Específicos

Determinar la profundidad de capas compactadas del suelo por efecto de los métodos de preparación.

Establecer la profundidad de penetración de implementos en cada método de preparación de suelo.

Determinar la eficiencia de la maquinaria en los diferentes métodos de preparación de suelos.

Determinar la relación beneficio/costo para diferentes métodos de preparación de suelos.

Determinar el rendimiento de los tratamientos en toneladas de caña por hectárea.

V.HIPÓTESIS

Existen diferencias en la profundidad de capas compactadas por efecto de los métodos de preparación.

Al menos un método de preparación de suelos mejora la penetración de implementos agrícolas.

Al menos uno de los tratamientos aumentara la eficiencia de la maquinaria.

Al menos uno de los tratamientos a evaluar no constituye una buena alternativa económica en el cultivo de caña de azúcar.

Al menos uno de los tratamientos a evaluar mejorara el rendimiento de caña (Toneladas métricas de caña/ha)

VI.METODOLOGÍA

6.1. Localización del trabajo

La zona agrícola Puyumate se encuentra ubicada en el municipio de Nueva Concepción departamento de Escuintla, Guatemala. En el kilómetro 126.5 ruta nacional 11 (RN-11). La región perteneciente es oeste de la clasificación que actualmente existe en el ingenio Pantaleón S.A. En las coordenadas son Latitud: 14° 33' 22.82'' Longitud: 90° 99' 90.07''. Según la clasificación de Holdridge (1967) la zona Puyumate se encuentra en el bosque húmedo subtropical cálido BHs(c) forma parte de la llanura costera del pacífico, es una región regularmente plana, comprendida entre la línea costera y el macizo montañoso hasta 30 m sobre el nivel del mar.

6.1.1. condiciones climáticas. El clima cálido-húmedo con una precipitación de 1325 mm anuales, humedad relativa por encima de 85%, temperatura de 27-30°C mínima y máxima, respectivamente, altitud de 30 msnm, fotoperiodo de 10 horas luz, texturas francas, franco arenosas y arcillosas, horizontes perfil ABC y AC, drenaje bien (80%) profundidad de 80 cm., materia orgánica de 3.0%, pH: 4 a 6 pendiente de 0-5%.

6.1.2 vías de acceso. Existen dos accesos, el primero por la carretera que conduce al municipio de Nueva Concepción sobre el km 126.5 de la ruta nacional 11 y la segunda por el centro del municipio de la Nueva Concepción aldea las pampas de la ruta interna que conduce al río madre vieja.

6.2. Material experimental

Se utilizo como caña de azúcar la variedad CP72-2086 y para los tratamientos se utilizaron tractores de 245Hp para labores cuyo implemento no demanda mucha potencia (triturado de residuos, rastra liviana y surqueo) y 345 Hp para implementos que demandan potencia máxima (Rastro arado, arado de cinceles y panta-penta).

6.2.1 descripción de implementos.

a. Arado de cinceles

Son cuerpos parabólicos que van sostenidos en una barra portaherramientas, la cual es jalada por un tractor con llantas de 345 HP. La velocidad de operación del equipo debe ser de 4.5 a 5.5 km por hora.

b. Rastro arado

Corta, levanta y voltea el suelo, con el propósito de destruir el cultivo anterior, ayudar a controlar las malezas existentes, las plagas del suelo y laborar el suelo a profundidades mayores de 0.20 m, para permitir el establecimiento y desarrollo del cultivo. La profundidad de esta labor debe ser mayor a $\frac{1}{3}$ del diámetro del disco. Generalmente, cuando la cresta de los surcos es alta, no permite alcanzar la profundidad deseada con el primer paso; por lo que se hace necesario un segundo paso. Las velocidades de trabajo oscilan de 6 a 8 km/hora.

El cuerpo de la rastra constituida de 20 a 24 discos de 0.81 m (32 pulgadas) de diámetro, la profundidad de corte no debe ser menor de 0.20 m. El peso por disco es de 240 a 280 kg con una potencia requerida de 14 a 16 HP por disco en tractores de doble tracción. jaladas por tractores de llanta de 320 HP

c. Pulidora

Este implemento rotura y fracciona los terrones producidos en el volteo o en el subsuelo, destruir e incorporar residuos vegetales y ayudar en el control de plagas del suelo. Un pulido de calidad asegura un mejor contacto entre el suelo y la semilla, lo que garantiza una buena germinación, así mismo una alta efectividad de los herbicidas. Sus principales funciones son desmenuzar los terrones que quedan después de las actividades anteriores, ayudar a destruir las cepas del cultivo anterior, a controlar las plagas del suelo, las malezas, hasta cierto punto ayuda a emparejar las protuberancias que quedan de las labores anteriores y a laborar el suelo entre 0.15 y 0.21 m. Las velocidades de trabajo oscilan de 7 a 10 km/hora.

d. *Surcador*

Consiste en abrir surcos paralelos, distribuidos en línea recta o siguiendo curvas previamente diseñadas y establecidas por el proceso de diseño agrícola, a distancias de 1.50 m o 1.75 m, y a profundidades de 0.15 o 0.25 m en labranza convencional. El propósito es preparar una cama de suelo, en el que la semilla pueda acomodarse, germinar, emerger adecuadamente y permitir el desarrollo del cultivo.

e. *Panta penta*

Este implemento se construyó con el objetivo de reducir la secuencia convencional de preparación de suelos, corresponde 5 actividades en 1 está constituido por: 4 subsoladores curvos, 2 cinceles rectos, 2 líneas de 6 discos de rastra 28 pulgadas de diámetro, alineados en ángulos opuestos, 2 cuerpos de discos dobles de 24 pulgadas de diámetro para la debida conformación del surco.

Este es un implemento creado por el ingeniero Tuchán (2015) Debido a las demandas de trabajos, con una mejor utilización de maquinaria (políticas de leasing), ser más eficientes en la preparación de suelos, en un solo paso, partiendo de la ideología de menor número de usos de tractor y mayor número de pasos con rastra.

f. *Trituradora de residuos*

Es un implemento triturador y desmenuzador de residuos de origen vegetal (pastos, malezas, arbustos y caña), diseñada para grandes volúmenes por medio de su trituración intensiva.

A continuación, según Industrias Líder en (2015) se presentan las siguientes características del equipo:

a. Tapa trasera abatible.

Permite regular el nivel de trituración obtenido, y a su vez la potencia consumida.

Facilita el acceso a mantenimiento del rotor

b. Cajón de trituración

Con mucho volumen interior para poder recibir gran cantidad de material vegetal. Fabricado en doble chapa de acero anti desgaste 6.4mm para evitar deformaciones en los trabajos de trituración de alta demanda.

c. Rodillo de apoyo

Su gran diámetro le permite rodar libremente sobre cualquier superficie. Tiene masas integradas de capacidad sobrada engrasadas de por vida. Diferentes posiciones para regular la altura de corte.

d. Martillo o cuchillas

De acero forjado y tratado para el trabajo pesado con restos leñosos. Cuchillas compuestas tipo “Y” para el trabajo en pastos con bajo consumo de potencia.

e. Rotor

El más robusto en su clase, sobredimensionado para elevadas cantidades de material y mantener a su vez el momento de inercia

f. Trasmisión

De trabajo extrapesado operado a 540 revoluciones por minuto (RPM), para tractores de 90 a 140hp

6.3. Factores a estudiar

6.3.1 *métodos de preparación de suelos.* En el presente estudio se establecieron cuatro métodos distintos de preparación de suelos, evaluando la profundidad de capas compactadas y profundidad de implementos.

6.4. Descripción de los tratamientos

Los tratamientos evaluados y su secuencia de manejo se describen en el cuadro 1.

Tabla 1

Descripción de los tratamientos evaluados.

Tratamientos	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5
T1 (Testigo)	Rastro arado	Arado de cinceles	Pulidora	Surcador	
T2	Rastro arado	Rastro arado	Arado de cinceles	Pulidora	Surcador
T3	Rastro arado	Arado de cinceles	Surcador		
T4	Rastro arado	Rastro arado	Arado de cinceles	Arado de cinceles	Surcador
T5	Triturador de residuos	Rastro arado	Panta penta		

6.5. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos y aleatorizados. Este es un diseño igual al de bloques completos al azar, a diferencia de que, en él las unidades experimentales son subdivididas en grupos homogéneos para mejorar la eficiencia en el uso de la maquinaria agrícola.

Para determinar el número de repeticiones, usando el criterio de grados de libertad del error

$$GLE * 12$$

$$GLE = (t-1) (r-1)$$

Entonces:

$$(5-1) (r-1) = 12, \text{ despejamos } r$$

$$R = 16 / 4 = 4 \text{ repeticiones}$$

$$\text{El número de unidades experimentales } t * r = 5 * 4 = 20$$

6.6. Modelo estadístico

$$X_{ij} = \mu + \beta_i + T_j + e_{ij}$$

X_{ij} = Es el valor representativo de la variable aleatoria del i-esimo bloque y j-esimo tratamiento

μ = Media general para los datos poblacionales

β_i = Representa un efecto de bloque que refleja el hecho de que la unidad de experimentación cae en el i-ésimo bloque.

T_j = Representa el efecto de un tratamiento que refleja el hecho de que la

e_{ij} = Representa el efecto del error experimental

6.7. Unidad experimental

Cada unidad experimental fue de 21 m de ancho y 215 m de longitud, con un área total de 0.45 ha. La unidad experimental tuvo un total de 12 surcos (parcela bruta), para efectos de la evaluación se tomaron en cuenta los 6 surcos centrales (parcela neta).

6.8. Croquis de campo

Repeticiones																			
IV					III					II					I				
T5	T4	T3	T2	T1	T5	T4	T3	T2	T1	T5	T4	T3	T2	T1	T5	T4	T3	T2	T1

Figura XII. Distribución de los tratamientos de evaluación.

6.9. Manejo del experimento

Se eligió un lote que se encontraba en programa de renovación zafra 2014-2015 (Datos no publicados).

Se inicio la preparación de suelos y el establecimiento de los tratamientos en la fecha 16 de mayo de 2016, la duración de la preparación fue de 4 días.

Los muestreos se realizaron el 22 de mayo de 2016, la metodología del muestreo fue la siguiente:

- ✓ Se realizaron 10 muestras distribuidas en zigzag de cada unidad experimental.
- ✓ Se utilizó el penetrómetro para medir la compactación del suelo (se introdujo la varilla al suelo, se verificó la presión en 200 psi y se tomó la lectura en centímetros de la profundidad, esto indica la profundidad de capas compactadas).
- ✓ Luego se utilizó el profundímetro para determinar la profundidad de penetración de los implementos utilizados en la preparación de suelos (se introdujo la varilla al suelo, se verificó la profundidad, esta tiene una escala de medición en centímetros).

- ✓ Los resultados de los muestreos fueron consolidados y tabulados previo a su análisis.
- ✓ La cosecha del experimento se realizó la fecha 01 de mayo de 2017.

6.10. Variables de respuesta

6.10.1 *profundidad de capas compactadas.* Se midió por medio del instrumento llamado penetrómetro, las lecturas fueron a 200 psi., lectura en cm.

6.10.2 *profundidad de penetración de implementos.* Se midió al momento de concluir el último paso de preparación de tierras (surcado) la medición se realizó con el uso del instrumento llamado profundímetro, en una escala en cm.

6.10.3 *eficiencias de maquinaria.* Se determinó mediante las hectáreas de cada unidad experimental (parcela neta), tomando como índice las horas maquina empleadas, el parámetro de medición fue de ha/h.

6.10.4 *relación beneficio/costo.* Se determinó mediante la productividad de cada tratamiento, y los datos generados por el departamento de planeación y control sobre los gastos de los tratamientos.

6.11. Análisis de la información

6.11.1 *análisis estadístico.* Para el análisis de cada una de las variables medidas se utilizó un análisis de varianza (ANDEVA), y para determinar el valor exacto estadístico de la población se utilizó la DGC 0.05%.

6.11.2 *análisis económico.* Se realizó un análisis económico para determinar la relación beneficio-costo de cada uno de los tratamientos evaluados.

VII.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Profundidad de capas compactadas

De acuerdo con los muestreos realizados en campo para determinar la profundidad de capas compactadas de los diferentes tratamientos, a continuación, se presentan los resultados del análisis de varianza

Tabla 2

Análisis de varianza (ANDEVA) profundidad de capas compactadas en centímetros.

F.V.	SC	gl	CM	FC	p-valor	
TRAT	247.18	4	61.79	51.66	<0.0001	**
REP	13.39	3	4.46	3.73	0.0419	*
Error	14.35	12	1.2			
Total	274.92	19				

CV% 2.86

Al realizar el análisis de varianza se determinó que existe alta significancia estadística entre los tratamientos por lo que se procedió a realizar una prueba de medias DGC 0.05% los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 4.

Tabla 3

Resultados de profundidad de capas compactadas en centímetros.

Tratamientos	Repeticiones				Media
	I	II	III	IV	
1	32.23	33.65	36.55	36.05	34.62
2	34.41	34.80	37.80	35.48	35.62
3	36.53	34.63	36.14	37.30	36.15
4	39.80	41.12	42.17	40.29	40.85
5	44.23	42.78	43.90	44.21	43.78

El cuadro 3 muestra los resultados de profundidad en cm al punto de compactación de >200 psi medidos con el penetrómetro al momento del surqueo

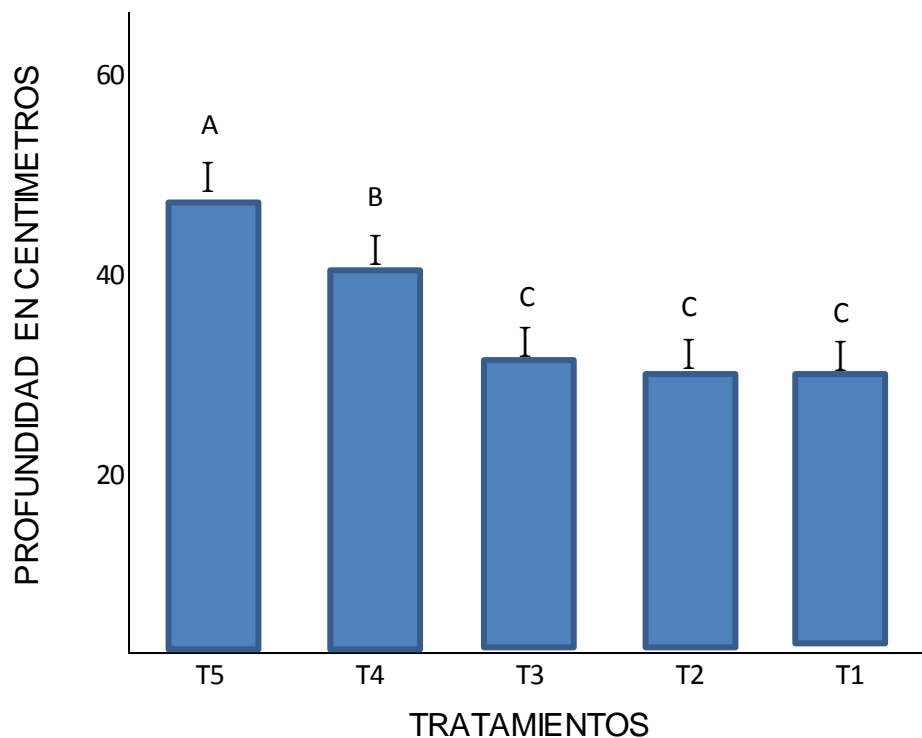


Figura XIII Comportamiento de la profundidad de capas compactadas en centímetros, muestra el comportamiento de la profundidad de capas compactadas de cada tratamiento, según la prueba de medias el tratamiento cinco mostró menor efecto de compactación del suelo con un valor promedio de 43.78 cm de profundidad de compactación, mientras que los tratamientos 1,2 y 3 provocaron mayor compactación con profundidades de 34.62, 35.62 y 36.15, respectivamente.

Tabla 4

Pruebas de medias DGC al 0.05% para profundidad de capas compactadas.

Trat	Medias	n	E.E.		
5	43.78	4	0.55	A	
4	40.85	4	0.55		B
3	36.15	4	0.55		C
2	35.62	4	0.55		C
1	34.62	4	0.55		C

El tratamiento cinco es el mejor tratamiento, porque presentó la capa más profunda de compactación con 43.78cm, luego el tratamiento cuatro con 40.85cm y por último los tratamientos uno, dos y tres con 34.62, 35.62 y 36.15cm, respectivamente, los tratamientos unos, dos y tres no muestran diferencia estadística entre ellos, es decir, estadísticamente son iguales. Probablemente el tratamiento cinco presentó la mayor profundidad de compactación

del suelo debido a que el mismo tratamiento haya sido favorecido porque involucra el implemento panta-penta que posee dos ganchos de subsolador, que roturan el suelo a profundidades mayores de 35 cm.

7.2. Profundidad de penetración de los implementos

De acuerdo con los muestreos realizados en campo, a continuación, se presentan los resultados del análisis de varianza de la profundidad de penetración.

Tabla 5

Análisis de varianza (ANDEVA) profundidad de penetración de implementos en centímetros.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
TRAT	2895.71	4	723.93	1704.7	<0.0001 **
REP	0.94	3	0.31	0.74	0.5489 *
Error	5.1	12	0.42		
Total	2901.75	19			

CV % 3.04

Al realizar el análisis de varianza se determinó que existe alta significancia estadística entre los tratamientos, por lo que se sometió a una comparación de medias, por lo que se utilizó la prueba DGC, los resultados se presentan en la tabla 7.

Tabla 6

Resultados de profundidad de penetración en centímetros.

Surcador Tratamientos	Repeticiones				Media
	I	II	III	IV	
1	15.10	15.80	13.30	14.80	14.75
2	15.90	15.60	16.40	16.50	16.10
3	13.70	13.40	14.50	14.80	14.10
4	16.20	16.70	16.50	17.30	16.68
5	45.5	45	45.6	45.5	45.40

La tabla 6 muestra los resultados de profundidad de penetración de cada tratamiento.

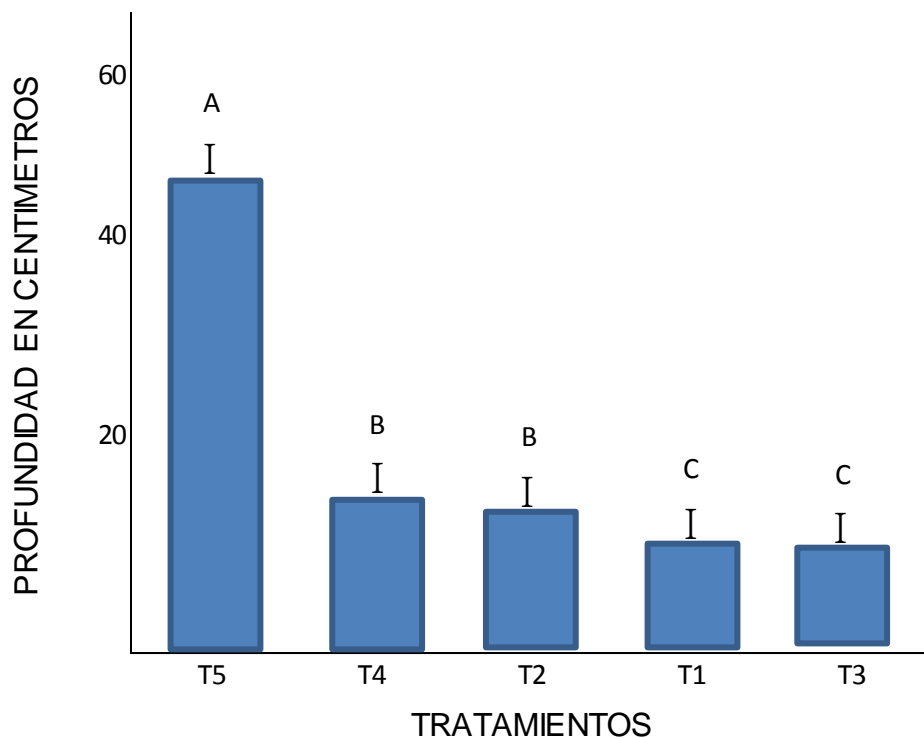


Figura XIV Comportamiento de la profundidad de penetración en centímetros, el mejor tratamiento fue el tratamiento cinco con 45.40 cm de profundidad de penetración de implementos, luego los tratamientos cuatro y dos en cuanto a penetración resultaron ser iguales. Y por último los tratamientos uno y tres resultaron ser iguales estadísticamente.

Tabla 7

Prueba de medias DGC al 0.05% para profundidad de penetración de los implementos.

Trat	Medias	n	E.E.	
5	45.4	4	0.33	A
4	16.68	4	0.33	B
2	16.1	4	0.33	B
1	14.75	4	0.33	C
3	14.1	4	0.33	C

La penetración de implementos en la preparación de suelos fue mayor en el tratamiento 5 con una media de 45.40 cm, le siguen los tratamientos cuatro y dos que resultaron estadísticamente iguales entre ellos con medias de 16.68 y 16.10 cm, respectivamente. Por último, los tratamientos uno y tres tuvieron la menor profundidad de penetración con 14.75 y 14.10 cm, respectivamente. Probablemente el tratamiento cinco tiene mayor penetración debido a que el mismo tratamiento tuvo el menor efecto de la compactación, además es probable que la trituración de residuos haya favorecido la mayor penetración de los implementos

7.3. Eficiencias de maquinaria

En la variable de eficiencia de maquinaria, hectáreas por hora, se presentan los siguientes resultados del análisis de varianza.

Tabla 8

Análisis de varianza (ANDEVA) eficiencias de maquinaria hectáreas por hora.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
TRAT	6.03	4	1.51	14.17	0.0002 **
REP	0.6	3	0.2	1.87	0.1889 *
Error	1.28	12	0.11		
Total	7.9	19			
CV %	16.34				

De acuerdo con el análisis de varianza se determinó que existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, debido a ello se procedió a realizar una prueba múltiple de medias al 0.05%. presentada en la tabla 10.

Tabla 9

Resultados de eficiencias de maquinaria hectáreas por hora.

Tratamientos	Repeticiones				Media	Eficiencia Teorica Acumulada	dif
	I	II	III	IV			
1	2.34	3.14	2.35	2.27	2.52	2.15	0.37
2	3.32	1.96	2.35	2.20	2.46	2.07	0.39
3	1.96	1.96	1.95	1.57	1.86	1.65	0.21
4	2.35	2.15	2.15	1.89	2.14	1.66	0.48
5	1.12	1.08	1.06	0.77	1.00	1.32	-0.32

La tabla 9 muestra los resultados de la eficiencia de la maquinaria obtenidos de cada tratamiento, se calculó una eficiencia acumulada para cada tratamiento dependiendo su método y la cantidad que este conlevó. La eficiencia acumulada parte de las eficiencias teóricas que actualmente existe en el depto. de preparación de tierras de ingenio pantaleon.

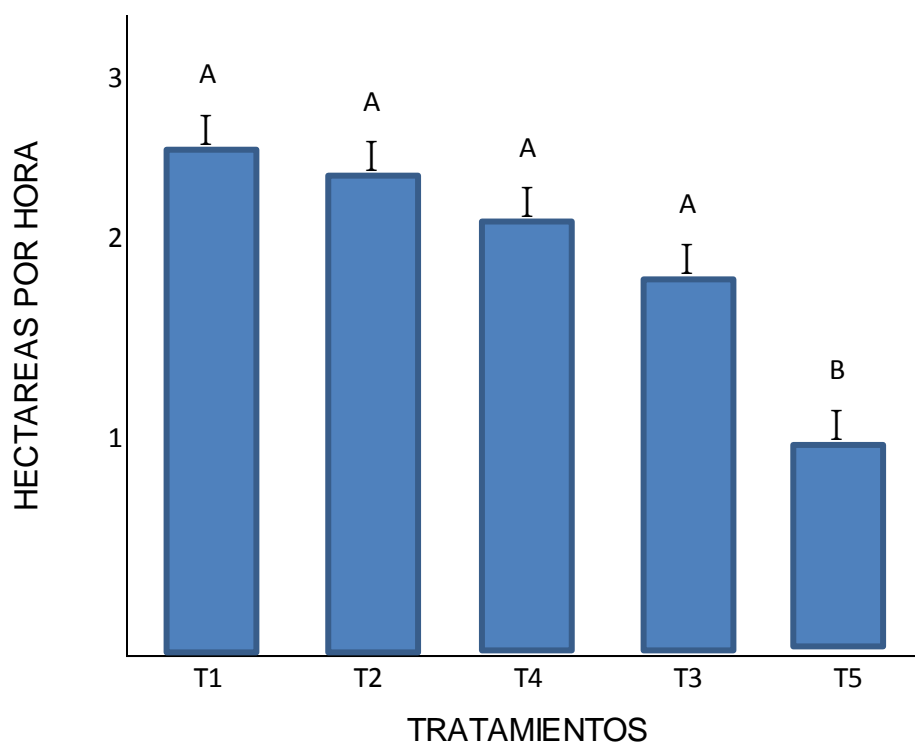


Figura XV Comportamiento de las eficiencias de la maquinaria hectáreas por hora, se observa que los tratamientos uno, dos, tres y cuatro tuvieron las más altas eficiencias de maquinaria que van de 1.86 a 2.53 ha/h mientras que el tratamiento cinco mostró una menor eficiencia de 1.01 ha/h.

Tabla 10

Pruebas de medias DGC al 0.05% para eficiencias de maquinaria.

Trat	Medias	n	E.E.	
1	2.53	4	0.16	A
2	2.46	4	0.16	A
4	2.14	4	0.16	A
3	1.86	4	0.16	A
5	1.01	4	0.16	B

El tratamiento cinco mostró una menor eficiencia de maquinaria con 1.01 ha/h mientras que los demás tratamientos tuvieron eficiencias entre 1.86 y 2.53, esto probablemente se deba a que el tratamiento cinco involucra un implemento que ejerce una mayor resistencia al suelo, por lo tanto, requiere de mayor potencia y menor velocidad de operación en promedio, comparado con los otros tratamientos que estadísticamente son iguales.

7.4. Rendimiento de los tratamientos

A continuación, se determinó el rendimiento en toneladas de caña por hectárea (TCH) para cada uno de los tratamientos evaluados.

Tabla 11

Análisis de varianza (ANDEVA) de los rendimientos en toneladas de caña por hectárea de los tratamientos evaluados.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
TRAT	1796.8	4	449.2	129.58	<0.0001	**
REP	4.4	3	1.47	0.42	0.7399	*
Error	41.6	12	3.47			
Total	1842.8	19				

CV% 1.53

En la tabla 11 se muestran los resultados de rendimiento en toneladas de caña por hectárea para cada uno de los tratamientos, se determinó mediante el análisis de varianza que existe diferencia estadística significativa por lo que se procedió a realizar una prueba de medias DGC al 0.05% presentada en la tabla 13.

Tabla 12

Resultados de rendimientos de toneladas de caña por hectárea para cada tratamiento.

Tratamientos	Repeticiones				Total	Media
	I	II	III	IV		
1	102.00	102.00	103.00	105.00	412.00	103.00
2	122.00	123.00	122.00	125.00	492.00	123.00
3	126.00	127.00	125.00	122.00	500.00	125.00
4	125.00	126.00	125.00	128.00	504.00	126.00
5	128.00	130.00	133.00	129.00	520.00	130.00

En la tabla 12 se muestran los resultados de rendimiento de toneladas de caña por hectárea para cada tratamiento, se determinó que el tratamiento 5 es el que presenta mayor rendimiento de 130 toneladas de caña por hectárea (TCH) con respecto al testigo que es de 103 TCH.

Tabla 13

Prueba de media DGC al 0.05% para los rendimientos de caña por hectárea.

Trat	Medias	n	E.E.		
5	130	4	0.93	A	
4	126	4	0.93		B
3	125	4	0.93		B
2	123	4	0.93		B
1	103	4	0.93		C

El tratamiento cinco tuvo mayor rendimiento con 130 TM/ha de caña, mientras que el tratamiento uno, fue el de menor rendimiento con 103 TM/ha, los tratamientos dos, tres y cuatro tuvieron rendimiento intermedio de 123, 125 y 126 TM/ha, respectivamente. Probablemente el tratamiento cinco haya obtenido el mayor rendimiento debido a que el mismo involucre el implemento triturador de residuos vegetales, que incorpora al suelo toda la materia de origen vegetal y el panta-penta, conlleva un rompimiento de las capas compactadas a profundidades mayores de 35 cm.

7.5. Relación beneficio/costo

Tabla 14

Resultados de la relación beneficio/costo.

Tratamientos	Descripción de tratamientos	TCH	US\$ Costo por Tratamiento	US\$ Costo por Manejo de plantación	US\$ Costo por CAT	Total Costo Producción	Total Costo Producción	Relación B/C
1	METODO 1	103.00	320.38	3,743.00	875.50	4,938.88	5,965.25	1.21
2	METODO 2	123.00	414.84	3,743.00	1,045.50	5,203.34	6,902.88	1.33
3	METODO 3	125.00	258.62	3,743.00	1,062.50	5,064.12	7,322.25	1.45
4	METODO 4	126.00	459.27	3,743.00	1,071.00	5,273.27	7,582.30	1.44
5	METODO 5	130.00	263.68	3,743.00	1,105.00	5,111.68	7,741.89	1.51

En la tabla 14 se muestran los resultados de la relación beneficio/costo de cada uno de los métodos evaluados, de los cinco tratamientos evaluados el que ofrece mayor beneficio económico es el tratamiento 5, el cual presentó una relación B/C de 1.51 comparado con el tratamiento 1 (testigo) relación B/C 1.21, ninguno de los tratamientos tuvo valores negativos.

7.6. Análisis económico

En la tabla 15 se presenta el análisis económico de cada uno de los tratamientos, tomando en cuenta los costos directos.

Tabla 15

Análisis económico.

Tratamientos	Descripcion de tratamientos	US\$/Kg. Azúcar	Kg. Azúcar/TC (Industrial)	TCH	US\$/ha Parcial	US\$ Costo por Ha	Area por tratamiento Ha	US\$ Costo por Tratamiento	CAT	US\$/ha Total	Diferencia US\$ Tratamientos Contra Testigo
1	METODO 1	0.39	148.5	103	5,965.2	177.4	1.8	320.4	875.5	4,769	-
2	METODO 2	0.39	143.9	123	6,902.9	229.7	1.8	414.8	1045.5	5,443	673.18
3	METODO 3	0.39	150.2	125	7,322.3	143.2	1.8	258.6	1062.5	6,001	1,231.77
4	METODO 4	0.39	154.3	126	7,582.3	254.3	1.8	459.3	1071.0	6,052	1,282.68
5	METODO 5	0.39	152.7	130	7,741.9	146	1.8	263.7	1105.0	6,373	1,603.85

En la tabla 15 se muestran los resultados del análisis económico de cada uno de los tratamientos, se determinó que el tratamiento 2 tiene una diferencia de U\$ 673.18 con respecto al testigo, el tratamiento 3 tiene una diferencia de U\$ 1,231.77 con respecto al testigo, el tratamiento 4 tiene una diferencia de U\$ 1,282.68 con respecto al testigo, el tratamiento 5 tiene una diferencia de U\$ 1,603.85 con respecto al testigo.

VIII.CONCLUSIONES

1. Se determinó el efecto de las capas compactadas y se comprobó que existen diferencias estadísticas significativas, siendo el tratamiento cinco la mayor profundidad con 26.45% con respecto al testigo.
2. Se estableció la profundidad de penetración de los implementos, siendo el tratamiento cinco el mayor con 221.98% comparado con la media de los de menor profundidad, tratamiento uno y tres que estuvo entre 14.43 cm.
3. Se determinó la eficiencia de maquinaria, siendo el tratamiento cinco el de menor efecto con -150% comparado con los tratamientos de mayor eficiencia uno, dos, tres y cuatro, estadísticamente iguales con media de 2.25 ha/h.
4. Se determinó la relación beneficio/costo, siendo el tratamiento cinco de mayor resultado con 1.51 comparado con el testigo, es decir que por cada dólar invertido se reintegran U\$0.51.
5. Se determinó el rendimiento de los tratamientos, siendo el mayor el tratamiento cinco con 26.21% comparado con el testigo, mientras que el tratamiento dos, tres y cuatro tuvieron un rendimiento intermedio entre 20.87% con respecto al testigo. Se concluye que el tratamiento cinco muestra la mejor alternativa para utilizarse como método de preparación de suelos para la finca puyumate.

IX.RECOMENDACIONES

1. Se recomienda evaluar el efecto del comportamiento de los nutrientes y sus organismos benéficos al utilizar el método cinco.
2. Se recomienda realizar evaluaciones para determinar el efecto en los diferentes tipos de suelos que existen en la agroindustria azucarera de Guatemala.
3. Se recomienda evaluar el efecto del sistema radicular de cada método durante los próximos tres años.
4. Las condiciones ambientales son factores importantes en la evaluación, se debe investigar más a detalle, tomando en cuenta la variabilidad de factores como el riego, la fertilización, labores culturales, etc. Que puedan influir en la evaluación.
5. El análisis económico indica que el tratamiento cinco es el de mayor rentabilidad y se debe utilizar para ese tipo de suelo en zona agrícola puyumate.

X.BIBLIOGRAFÍA

Alonso, Digonzelli, Fernández, Giardina, Rojas, Romero y Tonatto (2011). Dinámica de la descomposición del residuo de la cosecha en verde de la caña de azúcar (RAC). (En línea). Consultado el 11-03-2015 disponible en: <http://www.eeaoc.org.ar/upload/publicaciones/archivos/118/20120313152354000000.pdf>

Campollo, P. S. (1999). Fundamentos de mecanización agrícola para caña de azúcar. Ingenio Pantaleon, Guatemala. 43 p.

Castro, O. (2012). El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala, CENGICANA – (Centro de investigación de caña de azúcar, Guatemala) 183 p.

CENGICANA (2015). Centro de investigación y capacitación de la caña de azúcar. Consultado el 10-03-2015. Disponible en: <http://www.cengicana.org/portal>.

CENGICANA (2012). El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Espinosa, R.; Melgar, M.; Meneses A.; Orozco, H. y Pérez, O. (eds.) Guatemala. pp. 107-119. 512 p.

Depto. Económico y Social. (2015). Principales productores de caña de azúcar (en línea). Consultado el 10/04/2015. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S>

Diaz, L. y Portocarrero, E. (2002). Manual de producción de caña de azúcar. (en línea). Consultado el 15/05/2015. Disponible en: http://teca.fao.org/sites/default/files/technology_files/T1639.pdf

Industrias Líder (2015). Desmenuzadora Serie DGV (en línea). Implementos agrícolas, Tinguindín, Michoacán, México. Consultado el 10/01/2018. Disponible en: <http://www.industriaslider.com/media/pdf/5ecba-Desmenuzadoras-Serie-DGV.pdf>

IPCC (1995). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel Climate Change. Vol. 3. pp. 110-175.

LA GACETA (2014). La gaceta Tucumán. El residuo agrícola de la cosecha de caña de azúcar genera beneficios contra plagas. (En línea). Disponible en: <http://www.lagaceta.com.ar/nota/607519/economia/residuo-agricola-cosecha-cana-azucar-genera-beneficios-contraplagas.html>

MINEM (2011). Ubicación y límites bioclimáticos de las zonas de vida (en línea). Consultado el 10-03-2015. Disponible en: http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/SubCap%201_2%20Clima%20y%20Zonas%20de%20Vida%20V14.pdf?ixlgklwqqnhvomws?oakldeixlwsbjjq?ywsixlwjskumixsk?klnrzfkuotdxskuv

Rodríguez, C. A.; Daza, O. H. (1995). Preparación de Suelos. En: El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cassalet, C.; Torres, J.; Isaacs, C. (eds.). Cali, Colombia. pp. 109-114

Romero, E. R., J. Scandaliaris; P. A. Digonzelli; L. G. Alonso; F. Leggio; J. A. Giardina; S. D. Casen; M. J. Tonatto and J. Fernández de Ullivarri. (2009). Effect of variety and cane yield on sugarcane potential trash. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 86 (1): 9-13.

Rojas MBA (1961). Materias extrañas en la caña moledera. Memorias del Simposio Internacional sobre basura en caña moledera. Instituto Tecnológico Azucarero Veracruzano. Veracruz, México. pp.: 1-13

Tuchán, O. (2015) Origen de panta penta (entrevista). Siquinalá, Escuintla. Guatemala, Pantaleon, S.A.

XI.ANEXOS

ANEXO 1. Glosario

Calicata: Es una técnica empleada para el conocimiento geotécnico de un determinado terreno, se realiza normalmente de 1m x 1m x 1m (largo, ancho, alto).

Textura: Indica una elevada proporción de partículas finas y se clasifican por limo, arcilla y arena.

Estructura: Se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales granulométricas de arena, limo y arcilla dando como resultado agregados de suelo.

Suelo franco: Se le denomina a las partes superficiales del terreno cuya composición cuantitativa se encuentra en proporciones óptimas o muy próximas a ellas.

Perfil: Es un corte vertical que conforma las capas del suelo, que van desde la superficie hasta la roca madre. Se conforma por los horizontes del suelo (A,B, y C).

Compactación: Se define por la ausencia de oxígeno del suelo y es provocada cuando se ejerce presión sobre el mismo.

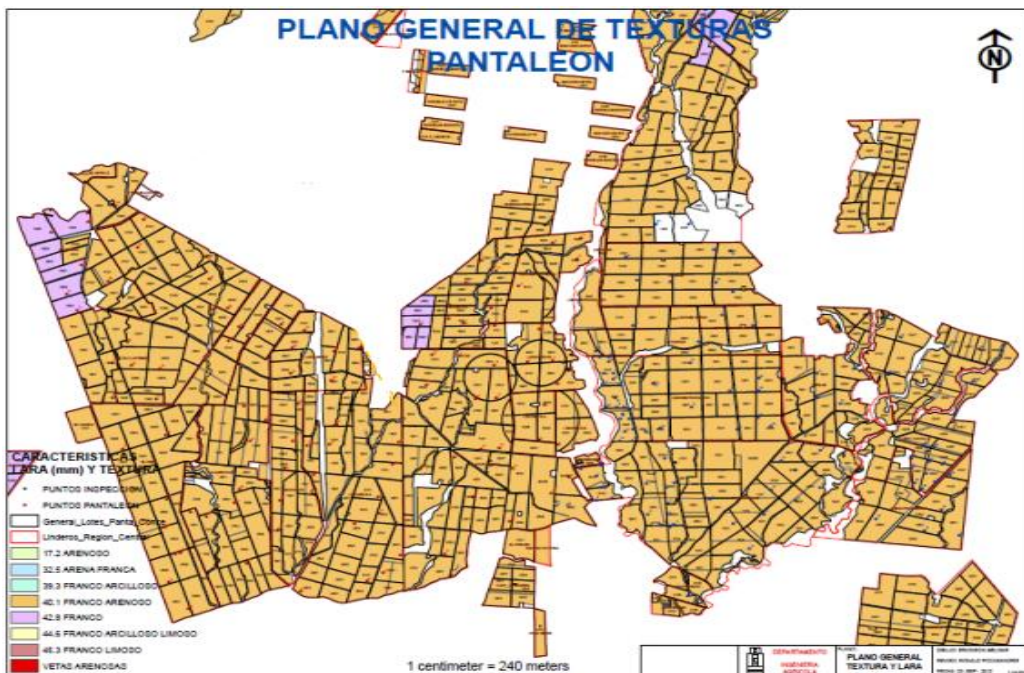
Sección excéntrica de implementos: Estructura de metal compuesta por perfiles de acero de alto grado halados por la barra de tiro. Ejes verticales con relación posición inicial de tiro, comúnmente llevan ángulos de ataque.

Anexo 2. Tractor de 235 caballos de fuerza (HP) nominales al motor.



Fuente: Autor (2018)

Anexo 3. Mapa general de texturas de suelos



Fuente: CENGICAÑA (2015)

Anexo 4. Tractor de 345 caballos de fuerza (HP) nominales al motor.



Fuente: Autor (2018)

Anexo 5. Condición de residuo vegetal en abundancia, dejado por la cosecha mecanizada en verde



Fuente: Autor (2018)

Anexo 6. Vista frontal de los tratamientos evaluados



Fuente: Autor (2018)

Anexo 7. Establecimiento de las unidades experimentales



Fuente: Autor (2018)

Anexo 8. Herramienta utilizada para las lecturas de profundidad de capas compactadas



Fuente: Autor (2018)

Anexo 9. Muestra de una porción de suelo compactado



Fuente: Autor (2018)