

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE  
DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
CARRERA DE AGRONOMIA



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**EVALUACION DE DOS TECNICAS DE PREPARACION DEL SUELO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum*) EN EL INGENIO PANTALEON S.A., SIQUINALA, ESCUINTLA, GUATEMALA.**

*Mario Efraín López Díaz.*

Quetzaltenango, Guatemala, Agosto del 2015.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE  
DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
CARRERA DE AGRONOMIA



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**EVALUACION DE DOS TECNICAS DE PREPARACION DEL SUELO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum*) EN EL INGENIO PANTALEON S.A., SIQUINALA, ESCUINTLA, GUATEMALA.**

**TRABAJO DE GRADUACION**

Presentado a autoridades de la División de Ciencia y Tecnología Del Centro Universitario de Occidente de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Por:

*Mario Efraín López Díaz.*

Previo a conferírsele el Título de:

**INGENIERO AGRONOMO  
EN SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA**

En el grado académico de:

**LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS**

Quetzaltenango, Guatemala, Agosto del 2015.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE**

**AUTORIDADES**

Rector Magnífico: Dr. Carlos G. Alvarado Cerezo  
Secretario General: Dr. Carlos Enrique Camey Rodas

**CONSEJO DIRECTIVO**

Directora General del CUNOC: Licda. María del Rosario Paz C.  
Secretario Administrativo: MSc. Silvia Del Carmen Recinos C.

**REPRESENTANTES DE LOS DOCENTES**

Ing. Agr. M.SC. Héctor Alvarado Quiroa  
Ing. Edelman Monzón

**REPRESENTANTES DE LOS ESTUDIANTES**

Br. Luis Ángel Estrada García  
Br. Edson Vitelio Amézquita Cutz

**REPRESENTANTES DE LOS EGRESADOS**

Dr. Emilio Búcaro Echeverría

**DIRECTOR DE LA DIVISION DE CIENCIA Y TECNOLOGIA**

Lic. Q.F. Aroldo Roberto Méndez Sánchez

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE AGRONOMIA**

Ing. Agr. MSc. Imer Vinicio Vásquez Velásquez

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE  
DIVISION DE CIENCIA Y TECNOLOGIA  
CARRERA DE AGRONOMIA**

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN TECNICO PROFESIONAL**

**PRESIDENTE**

Q.F. Aroldo Roberto Méndez Sánchez

**EXAMINADORES**

Ing. Agr. Carlos Gutiérrez Loarca

Ing. Agr. Juan Bolaños

Ing. Agr. Jorge Luis Rodríguez

**SECRETARIO**

Ing. Agr. MSc. Imer Vinicio Vásquez Velásquez

**DIRECTOR DE LA DIVISION DE CIENCIA Y TENOLOGIA**

Q.F. Aroldo Roberto Méndez Sánchez

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE AGRONOMIA**

Ing. Agr. MSc. Imer Vinicio Vásquez Velásquez

NOTA: “Únicamente el autor es responsable de las doctrinas y opiniones sustentadas en el presente trabajo de graduación”. (Artículo 31 del reglamento para Exámenes Técnicos Profesionales del Centro Universitario de Occidente y Artículo 13 de la ley Orgánica de La Universidad de San Carlos de Guatemala.

Quetzaltenango, agosto de 2015

**HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO**

**HONORABLES AUTORIDADES DE LA DIVISION DE CIENCIA Y TECNOLOGIA**

**HONORABLE MESA DE ACTO DE GRADUACION Y JURAMENTACION**

De manera muy atenta y de acuerdo con las normas establecidas por la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, del reglamento General de Evaluación y promoción del Estudiante del Centro Universitario de Occidente: tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de graduación titulado:

**EVALUACION DE DOS TECNICAS DE PREPARACION DEL SUELO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum*) EN EL INGENIO PANTALEON S.A., SIQUINALA, ESCUINTLA, GUATEMALA.**

Presentado como requisito a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado de Ciencias Agrícolas.

Atentamente con muestras de respeto y admiración.

**Mario Efraín López Díaz**  
**Carnet: 20931881**

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Quetzaltenango 12 de agosto de 2015

Lic. Roberto Méndez

Director de División de Ciencia y Tecnología

Centro Universitario de Occidente

Universidad San Carlos de Guatemala

Respetable licenciado Méndez:

Le envío un cordial y atento saludo, esperando que sus actividades sean exitosas.

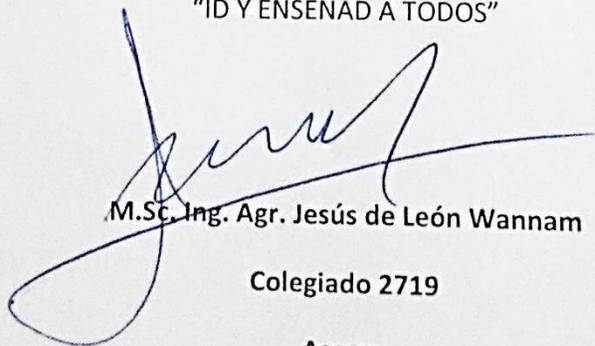
Por este medio le informo que he concluido el proceso de asesoría del trabajo de tesis del estudiante de la carrera de agronomía Mario Efraín López Díaz, identificado con carnet 200931881, titulada:

*Evaluación de dos Técnicas de Preparación del Suelo en el Cultivo de la Caña de Azúcar (Saccharum Officinarum), en el Ingenio Pantaleón S.A., Siquinalá, Escuintla, Guatemala,*

Misma que desarrolló el estudiante de manera satisfactoria, constándome que las observaciones y correcciones efectuadas por la terna examinadora durante el seminario II de tesis han sido efectuadas adecuadamente, por lo que otorgo el aval correspondiente a efecto que se continúe con el trámite establecido, ya que se ha cumplido con los requisitos académicos exigidos por la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente

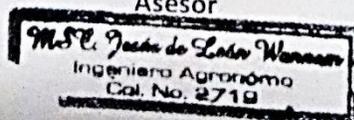
"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



M.Sc. Ing. Agr. Jesús de León Wannam

Colegiado 2719

Asesor



Quetzaltenango, 13 de agosto de 2015

Q.F. Aroldo Roberto Méndez Sánchez  
Director de la División de Ciencia y Tecnología  
Centro Universitario de Occidente CUNOC  
Edificio

Apreciado Señor Director.

Atentamente me dirijo a Usted, para informarle que a la fecha he finalizado la REVISION del trabajo de investigación del estudiante **MARIO EFRAIN LOPEZ DIAZ.**

Titulado:

**EVALUACION DE DOS TECNICAS DE PREPARACION DEL SUELO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum*) EN EL INGENIO PANTALEON S.A., SIQUINALA, ESCUINTLA, GUATEMALA.**

Al respecto, me permito manifestarle que dicha investigación es un valioso aporte para el sector agroexportador del país y cumple con los requerimientos de investigación establecidos por la Universidad de San Carlos de Guatemala y la Carrera de Agronomía, por lo que **RECOMIENDO SU PUBLICACION**

Sin otro particular:

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**

  
Ing. Agr. Jorge Luis Rodríguez  
**REVISOR**

Registro de Personal 8144  
Colegiado Activo 844

Jorge Luis Rodríguez  
INGENIERO AGRÓNOMO  
Colegiado No. 844



*Centro Universitario de Occidente  
División de Ciencia y Tecnología*

El infrascrito **DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGIA** \_\_\_\_\_  
Del Centro Universitario de Occidente ha tenido a la vista la **CERTIFICACIÓN DEL ACTA DE GRADUACIÓN** No. 009-AGR-2015 de fecha trece de agosto del año dos mil quince del (la) estudiante: MARIO EFRAÍN LÓPEZ DÍAZ con Carné No 200931881 emitida por el Coordinador de la Carrera de AGRONOMIA, por lo que se **AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN** titulado: “EVALUACIÓN DE DOS TÉCNICAS DE PREPARACIÓN DEL SUELO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*), EN EL INGENIO PANTALEÓN S.A., SIQUINALÁ, ESCUINTLA, GUATEMALA.”

Quetzaltenango, 14 de agosto de 2015.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'D. A. Sánchez'.



Lic. Q.F. Aroldo Roberto Méndez Sánchez  
Director de División de Ciencia y Tecnología

## **ACTO QUE DEDICO**

### **A DIOS**

A Dios todo poderoso por darme salud, paciencia y sabiduría en cada momento y etapa de mi vida para alcanzar mis metas propuestas y por permitirme obtener este triunfo.

### **A MIS PADRES**

David Rodolfo López, Nydia Díaz, Por cada consejo y sacrificio para brindarme apoyo incondicional a lo largo de mi formación personal y profesional, siendo el motor que me impulso para alcanzar este éxito.

### **A MIS HERMANOS**

Ninive Esther López Díaz, Alexis Josué Sac Gómez, Gracias por sus muestras de apoyo y cariño en mi vida.

### **A MIS TIOS**

Patricia, Flor, Leopoldo, Felisa por sus consejos, apoyo y alegrías en mi vida, dándome el impulso para lograr este éxito.

### **A MIS ABUELOS**

Rosalina Samayoa Tintí  
Luis Rodolfo Díaz Bustamante Q.E.P.D.  
Mercedes Pacas Q.E.P.D.  
Venancio López Q.E.P.D.

Por sus sabios consejos, inculcarme valores, muestras de apoyo y cariño a lo largo de mi vida y mi formación académica, siempre los llevé en mi corazón para alcanzar este éxito.

### **A MIS AMIGOS**

Fredy Rodríguez Anzueto, Samuel Mendoza Hernández, por todo su apoyo a lo largo de los años y su invaluable amistad.

### **A MIS COMPAÑEROS**

Por su apoyo y haber compartido grandes momentos a lo largo de los años universitarios, especialmente a: Chejo, Luis, Wicho, Pablo, Joachin, Ivania, Raul, Josy, Angélica, Salomon, por demostrarme su amistad.

## AGRADECIMIENTO

Al claustro de maestros de la carrera de Agronomía del Centro Universitario de Occidente, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por los conocimientos aportados a mi formación profesional

Ingenio Pantaleón S.A., a cada integrante del Departamento de Ingeniería Agrícola, por darme la oportunidad de ser parte de tan digna empresa, por su apoyo durante mi EPS y mi formación profesional.

**Ing. Agr. Jesús de León Wannam**, por su valiosa asesoría en la realización de la presente investigación.

**Ing. Agr. Jorge Luis Rodríguez**, por la revisión final del presente trabajo, por su amistad y siempre creer en mí.

**Ing. Agr. Carlos Gutiérrez**, por su valiosa asesoría durante la realización de EPS.

**Ing. Agr. Omar Tuchan Ruano**, por su paciencia, apoyo y colaboración en el desarrollo de EPS.

Familia Rodríguez Anzueto por su invaluable y desinteresado apoyo hacia mi persona, por las muestras de amistad y afecto, altamente agradecido con cada uno de ustedes.

Familia Alvarado Toledo por su amistad y muestras de cariño en mi vida.

Mis padrinos, Ana Rosa López y Alejandro Vicente, por su apoyo incondicional a lo largo de mi formación profesional.

Todas las personas y amigos que me han apoyado a lo largo de mi vida y mi formación profesional, les agradezco de todo corazón.

**EVALUACION DE DOS TECNICAS DE PREPARACION DEL SUELO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum*) EN EL INGENIO PANTALEON S.A., SIQUINALA, ESCUINTLA, GUATEMALA.**

## INDICE

Tema	Página
<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>1.1 Objetivos</b> .....	5
<b>1.1.1 General</b> .....	5
<b>1.1.2. Específicos</b> .....	5
<b>1.2. Hipótesis</b> .....	6
<b>2. MARCO TEORICO</b> .....	7
2.1 Cultivo de la caña de azúcar. ....	7
2.2 Origen del cultivo.....	7
2.3 Descripción de la planta .....	7
2.4 Contenido de nutrientes .....	8
2.5 Elementos básicos del cultivo .....	8
2.5.1 Técnicas de cultivo .....	8
2.5.2 Requerimientos nutricionales .....	9
2.5.3 Requerimientos del suelo. ....	10
2.6 Rendimiento de caña de azúcar.....	11
2.7 Principales enfermedades y plagas del cultivo de la caña de azúcar.....	12
2.8 Proceso de cultivo .....	14
2.9 Preparación del suelo.....	18
2.9.1 Técnica tradicional.....	18
2.9.2 Técnica de reducción de pasos.....	19
<b>3. MATERIALES Y METODOLOGIA</b> .....	23
3.1 Marco referencial.....	23
3.2 Metodología.....	23
3.2.1 Descripción de la investigación .....	23
3.2.2 Diseño experimental.....	24
3.2.3 Descripción de los tratamientos.....	24
3.2.3 Modelo matemático .....	25
3.2.4 Croquis del ensayo de campo. ....	25
3.2.5 Unidad experimental.....	27
3.2.6 Variables de respuesta.....	27
3.2.7 Manejo agronómico.....	30
3.2.8 Análisis de la Investigación .....	32
3.2.9 Recursos. ....	33
<b>4. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.</b> .....	35
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	52
<b>6. RECOMENDACIONES.</b> .....	54
<b>7. BIBLIOGRAFIA</b> .....	55
7.1 E - Grafías .....	55
<b>8. CRONOGRAMA</b> .....	59
<b>9. ANEXOS</b> .....	60

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1 Modelo matemático .....	25
Figura 2: Ubicación de finca San Bonifacio, área de pruebas de las técnicas tradicionales y reducción de pasos.....	25
Figura 3 Ubicación de finca San Antonio La Paz, área de pruebas de las técnicas tradicionales y reducción de pasos.....	26
Figura 4 Formula costos variables .....	32
Figura 5 Profundidad secuencia tradicional y reducción de pasos.....	37
Figura 6 Técnica tradicional y técnica de reducción de pasos, compactación. ....	40
Figura 7 Rastro arado con rodos, primer volteo con rodos en la prueba de reducción de pasos.....	58
Figura 8 Segundo paso de volteo, rastro arado con rodos.....	58
Figura 9 Mediciones de compactación, segundo pasó de volteo de rastro arado con rodo. ....	59
Figura 10 Mediciones de profundidad, segundo pasó de volteo rodos. ....	59
Figura 11 Primero y segundo paso de volteo, rastro arado con rodos. ....	60
Figura 12 Rastro arado con rodos.....	60
Figura 13 Diseño de muestro de 23 lecturas en 1 hectárea tipo zigzag. ....	61

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Contenido nutricional en la caña de azúcar por cada 100 gramos. ....	8
Cuadro 2: Rendimiento de caña de azúcar toneladas por hectáreas. ....	11
Cuadro 3: Factor de pérdida para las principales plagas, determinados en ensayos de investigación en CENGICAÑA-CAÑAMIP. ....	19
Cuadro 4: Estimación de índice de daño para cada plaga, el cual está considerado en la estimación del Nivel del daño económico, utilizando el programa de CENGICAÑA. ....	20
Cuadro 5: Tratamiento 1: Testigo relativo. ....	24
Cuadro 6: Tratamiento 2: Técnica Reducción de pasos. ....	24
Cuadro 7: Recurso de operación. ....	33
Cuadro 8: Recursos humanos. ....	33
Cuadro 9: Sumatoria de recursos. ....	34
Cuadro 10: Datos de conformidad agrícola. ....	35
Cuadro 11: Mediciones de profundidad en las técnicas tradicional de rastro arado y reducción de pasos. ....	36
Cuadro 12: Resultados de prueba t apareada InfoStat profundidad. ....	36
Cuadro 13 Análisis de varianza diferencia de significancia profundidad. ....	37
Cuadro 14: Mediciones de compactación en las técnicas tradicional de rastro arado y reducción de pasos. ....	38
Cuadro 15: Resultado de prueba t apareada para la variable compactación. ....	39
Cuadro 16: Resultado de prueba t apareada para la variable compactación. ....	40
Cuadro 17: Muestreo de gallina ciega. ....	42
Cuadro 18: Resultado de prueba de T apareada con InfoStat gallina ciega. ....	43
Cuadro 19: Análisis de varianza, muestro larva de Gallina Ciega. ....	43
Cuadro 20: Control de gusano alambre. ....	45
Cuadro 21: Resultado de prueba de T apareada en InfoStat gusano de alambre. ....	46
Cuadro 22: Análisis de varianza, muestro larva de gusano alambre. ....	46
Cuadro 23: Costos fijos, precios de operación de tractores por caballaje e implementos. ....	47
Cuadro 24. Costo final de la operación ejecutado en la investigación. ....	48
Cuadro 25: Análisis de Costos variables. ....	48
Cuadro 26: Ahorro de costos. ....	49
Cuadro 27: Cuadro de comparación de costos de operación por fincas. ....	50

## RESUMEN

El estudio que se presenta en el documento, se realizó en la fincas San Bonifacio y San Antonio La Paz, de la empresa Ingenio Pantaleón S.A., en el municipio de Siquinalá, Escuintla, y consistió en la evaluación de dos técnicas de preparación de suelos para la reducción de costos de operación, en el manejo agrícola para el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). El objetivo de la investigación se basó en la identificación de alternativas para la reducción de costos de operación durante la fase de preparación y adecuación mecanizada de suelos en el cultivo de caña de azúcar, específicamente en el ingenio Pantaleón, para lo que se tomó como base la experiencia empírica del personal.

La investigación, se enfocó en la eliminación de la operación denominada paso de pulido, durante la utilización de la maquinaria agrícola para la preparación del suelo, por observarse empíricamente, por empleados del ingenio, que esta medida podría generar ahorro de costos en la fase de preparación del suelo, tomándose como testigo relativo la técnica tradicional de preparación del suelo.

Durante el experimento, se ejecutaron las secuencias de las técnicas tradicional y reducción de pasos, utilizando el diseño experimental de t apareada, mediante la que se evaluaron datos estadísticos de aspectos físicos del suelo, tomando las medias de profundidad alcanzada expresada en centímetros, las medias de compactación expresadas en libras por pulgada cuadrada (psi) y el control de plagas del suelo, mediante el conteo de larvas de gallina ciega y gusano alambre por metro cuadrado expuestas.

Con base a los resultados obtenidos al finalizar la investigación, se obtuvo que con relación a la variable aspectos físicos del suelo, ambos tratamientos son semejantes estadísticamente, alcanzando la profundidad requerida y la compactación que el cultivo necesita con ambas técnicas de preparación de suelos. En cuanto al control de las plagas del suelo, con el uso de la técnica de reducción de pasos, se pudo observar una mínima exposición de larvas a nivel del suelo, el cual supera el umbral económico y requiere de un control químico que genera un costo adicional, no compensando este con el ahorro que se genera con la eliminación de pasos en la secuencia de preparación del suelo, mientras que el testigo relativo, la técnica tradicional cumple con la eliminación de plagas, al estar bajo el nivel de daño económico.

El resultado obtenido de la investigación, tras la ejecución de ambas técnicas, demuestra que para el proceso de preparación de suelos en el cultivo de la caña de azúcar, la rentabilidad económica de la técnica de reducción de pasos es 18.61% superior, en comparación a la técnica tradicional, eliminando el paso de rastra pulidora, generando reducción de gastos. Derivándose como recomendación general el uso de la técnica de reducción de pasos, en lugares donde el gusano de alambre y la gallina ciega, tengan baja incidencia, y para lugares con mayor incidencia se recomienda la técnica tradicional de preparación del suelo.

## 1. INTRODUCCIÓN

Guatemala es el tercer país en exportación de azúcar a nivel mundial, así como uno de los más eficientes productores de este cultivo. Durante el proceso de producción de la caña, su industrialización y comercialización de sus derivados, se genera gran cantidad de empleos y se dinamizan los mercados locales por la disponibilidad de recursos económicos derivados del pago a los trabajadores y la adquisición de bienes y servicios a empresas del lugar, por lo que el cultivo constituye en una de las fuentes de desarrollo económico más relevantes del país, razón por la cual los estudios enfocados en la innovación tecnológica en el área agronómica de la caña resultan de gran interés para la industria y el país.

La exportación de azúcar aumentó 19.25% en el 2011, la temporada de producción terminó en mayo en donde se esperaban alcanzar 2.3 millones de toneladas métricas de azúcar. De la totalidad de la producción azucarera en el mercado local se consume alrededor del 30%, pero en 2012 llegará a un 35%, porque la industria ha requerido un mayor consumo por la producción de aguas gaseosas, dulces y galletas. (23)

La presente investigación, se desarrolló en las fincas San Bonifacio y San Antonio La Paz en los municipios de Siquinalá y Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla, durante los meses de noviembre y diciembre del año 2014, con el apoyo de los departamentos de Ingeniería Agrícola y el área de Adecuación y Preparación de Suelos del ingenio Pantaleón. Para establecer la posibilidad de cambiar el proceso tradicional de preparación del suelo por la técnica de ahorro de pasos, se evaluaron algunas variables importantes en las que incide este proceso, siendo estas: a) Variables físicas: en particular la profundidad y compactación del suelo, por ser las que más inciden en el éxito del cultivo, b) El control de plagas: considerando al gusano de alambre y a la gallina ciega, por ser las que más afectan al cultivo en el área de estudio y sobre las cuales la técnica de preparación del suelo tiene incidencia al controlar sus poblaciones mediante su exposición física a la radiación solar y a los depredadores naturales, y c) Los costos de producción, debido a que empíricamente se había calculado que la nueva técnica los reducía.

A continuación se presentan diversos estudios efectuados en Guatemala, relacionados con el cultivo de la caña de azúcar, con el propósito de identificar vacíos en la investigación científica vinculada al cultivo y fundamentar la investigación, desde la parte conceptual y metodológica. Las investigaciones aparecen citadas en orden cronológico, presentando una síntesis de la información más relevante.

Esquit (2004), elaboró la investigación titulada: Análisis técnico-económico de un sistema de riego por pivote central y un módulo de riego por aspersión móvil en el cultivo de caña de azúcar. Como objetivo general estableció: “analizar técnica y económicamente la inversión en equipos de riego de aspersión portátil y sistemas de riego de pivote central”; obteniendo como resultado principal que “el sistema de riego de aspersión móvil no se diseña para requerimiento de agua en máxima demanda del cultivo, mientras que el sistema de riego de pivote central fijo si puede abastecer las evapotranspiraciones

máximas del cultivo”, recomendando que “en función de las ventajas que ofrece el sistema de riego de pivote central, por los bajos costos de combustible, mano de obra y de operación de riego, se recomienda su uso para riego en el cultivo de caña de azúcar. (06)

Como puede observarse, la conclusión y la recomendación principal se orientan a recomendar el cambio tecnológico en los sistemas de riego en el cultivo de la caña de azúcar, lo que representa que el tratamiento evaluado, obtuvo mejores resultados que el testigo utilizado.

Martínez (2007) en su estudio denominado: Contribución a la eficiencia en la producción de caña de azúcar, presenta como objetivo general: “caracterizar el manejo agronómico del cultivo de la caña de azúcar”, llegando a la conclusión que “las fases del manejo agronómico del cultivo de la caña de azúcar son: manejo del cultivo post-cosecha y cosecha”, señalando como principales limitantes: “la pérdida de caña en el transporte y la brotación tardía debido al tapado mecanizado”. (20)

Se considera que la tesis abarca el tema desde una perspectiva muy superficial, señalando aspectos que han sido observados empíricamente, pero que no se explican a profundidad, por lo que su aporte al desarrollo del cultivo es muy limitado.

Solares (2012), en el estudio: Proceso de implementación del corte verde en un frente de cosecha mecanizada de caña de azúcar, plantea como objetivo general “dar a conocer los impactos de la implementación del corte mecanizado en verde de la caña de azúcar”, utiliza como variables principales la eficiencia de cosechadoras en corte verde y quemado, niveles de molienda de caña verde y quemada, obteniendo como resultados que en “los lotes cosechados mecanizadamente en verde se obtuvo una disminución de la eficiencia de las máquinas de un 23% con respecto al corte quemado,” considerando “un plan de expansión de operación de molienda con corte en verde mecanizado”, llegando a la conclusión que “existió un 22.8% de disminución de eficiencia por corte en verde y la operación en fábrica no manifestó cambios operáticos importantes”, por lo que recomienda “dar seguimiento a la productividad en campo con el corte verde mecanizado para evaluar si los residuos dejados en campo afectaran a la producción y futuras secuencias de labores”. (27)

Este antecedente evalúa el corte en verde de la caña de azúcar, estableciendo que se reduce la eficiencia de la maquinaria agrícola al utilizar el producto aún verde, por lo que se relaciona con el estudio contenido en el presente documento desde el punto de vista de la utilización de la tecnología en el cultivo de la caña de azúcar y el estudio de su efectividad.

En el ingenio Pantaleón se han efectuado pruebas y observaciones empíricas relacionadas con el uso de una nueva técnica mecanizada para la preparación del suelo, estableciendo que era posible ahorrar costos, mediante la reducción de la cantidad de pasos para el desarrollo de este proceso, surgiendo la idea de compararla con la técnica tradicional, de una manera sistematizada y estadística, mediante el uso de un diseño experimental, para lo

que se planteó el presente estudio que establece antecedentes relevantes para la toma de decisiones en materia de tecnología aplicada a la producción de caña de azúcar.

Derivado lo anterior, se tomó a la técnica tradicional como testigo relativo y a la técnica de ahorro de pasos, como se le denominó a la nueva técnica, como tratamiento, comparando sus resultados con relación a tres variables: 1. Parámetros físicos críticos del suelo (profundidad y compactación), 2. Control de plagas del suelo que inciden en el cultivo de caña en el ingenio Pantaleón (gallina ciega y gusano de alambre), y 3. Rentabilidad de las técnicas de preparación del suelo. El estudio evaluó, de manera científica, el potencial de la técnica de ahorro de pasos, como una opción tecnológica dentro del proceso de preparación del suelo en el cultivo de la caña de azúcar, y al mismo tiempo complementa los esfuerzos realizados por CENGICANA para el mejoramiento del cultivo y el incremento de la productividad, los análisis efectuados y las conclusiones a las que se llegaron con la presente investigación, permiten aplicar criterios profesionales diversos y dejan abiertas las posibilidades para nuevas evaluaciones e interpretaciones de los resultados, por lo que se considera que es una buena base para profundizar en los elementos analizados, desde diversas perspectivas, pero principalmente la académica, institucional, económica, científica, técnica y tecnológica.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. General:**

Identificar las diferencias de las dos técnicas de preparación de suelo para el cultivo de caña de azúcar en Guatemala.

### **1.1.2. Específicos.**

- a. Determinar la incidencia de la aplicación de las técnicas evaluadas en la profundidad y la compactación del suelo, como variables críticas para el cultivo de la caña de azúcar en el ingenio Pantaleón.
- b. Establecer el potencial de la técnica de reducción de pasos para el control de la gallina ciega y el gusano de alambre en el ingenio Pantaleón, con relación al uso de la técnica tradicional de preparación del suelo.
- c. Desarrollar un análisis económico de las técnicas evaluadas, para establecer si existen diferencias entre ambas, con relación al ahorro de costos durante la etapa de preparación del suelo en el cultivo de la caña de azúcar en el ingenio Pantaleón.

## 1.2 Hipótesis

Hipótesis de investigación.

La técnica de reducción de pasos, inducirá variaciones en la profundidad y compactación del suelo con respecto a la técnica tradicional de preparación del suelo en el cultivo de la caña de azúcar en el ingenio Pantaleón.

La técnica de reducción de pasos, inducirá condiciones de profundidad y compactación del suelo acordes a los parámetros establecidos en el ingenio Pantaleón para el cultivo de la caña de azúcar.

La técnica de reducción de pasos, provocará variaciones en el control de gallina ciega y gusano de alambre, en el cultivo de la caña de azúcar en el ingenio Pantaleón, en comparación a la técnica tradicional de preparación del suelo.

La técnica de reducción de pasos aplicada al cultivo de caña de azúcar en el ingenio Pantaleón, provocará que la exposición en el suelo de larvas de gallina ciega y gusano de alambre, sea menor a lo establecido como umbral de daño económico para ambas plagas.

La técnica de reducción de pasos, provee ahorro de costos en la preparación del suelo para el cultivo de la caña de azúcar en el ingenio Pantaleón, con relación a la técnica tradicional.

Hipótesis nulas.

La técnica de reducción de pasos, no inducirá variaciones en la profundidad y compactación del suelo con respecto a la técnica tradicional de preparación del suelo en el cultivo de la caña de azúcar en el ingenio Pantaleón.

La técnica de reducción de pasos, no inducirá condiciones de profundidad y compactación del suelo acordes a los parámetros establecidos en el ingenio Pantaleón para el cultivo de la caña de azúcar.

La técnica de reducción de pasos, no provocará variaciones en el control de gallina ciega y gusano de alambre, en el cultivo de la caña de azúcar en el ingenio Pantaleón, en comparación a la técnica tradicional de preparación del suelo.

La técnica de reducción de pasos aplicada al cultivo de caña de azúcar en el ingenio Pantaleón, no provocará que la exposición en el suelo de larvas de gallina ciega y gusano de alambre, sea menor a lo establecido como umbral de daño económico para ambas plagas.

La técnica de reducción de pasos, no proveerá ahorro de costos en la preparación del suelo para el cultivo de la caña de azúcar en el ingenio Pantaleón, con relación a la técnica tradicional.

## 2 MARCO TEORICO

### 2.1 Cultivo de la caña de azúcar.

Aspectos generales de la caña de azúcar

Clasificación botánica del cultivo de la caña de azúcar

<b>Reino:</b>	Plantae
<b>División:</b>	Magnoliophyta
<b>Clase:</b>	Liliopsida
<b>Subclase:</b>	Commelinidae
<b>Orden:</b>	Poales
<b>Familia:</b>	Poaceae
<b>Subfamilia:</b>	Panicoideae
<b>Tribu:</b>	Andropogoneae
<b>Género:</b>	Saccharum
<b>Especie:</b>	S. officinarum.

### 2.2 Origen del cultivo

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 más en concreto a la zona costera entre las ciudades de Málaga y Motril, siendo esta franja la única zona de Europa donde arraigó. Posteriormente los españoles llevaron la planta, primero a las islas Canarias, y luego a América. La primera que se llevó a América fue por Pedro de Atienza en el segundo viaje de Colón la Isla Española. Así, este cultivo se desarrolló en países como El Salvador, Cuba, Guatemala, Brasil, México, Argentina, Perú, Ecuador, República Dominicana, Colombia y Venezuela, que se encuentran entre los mayores productores de azúcar del mundo.(18)

### 2.3 Descripción de la planta

La caña de azúcar, es una planta cespitosa, con tallos de hasta 5 ó 6 metros de altura y 2-5 cm diámetro, con numerosos entrenudos alargados vegetativamente, dulces, jugosos y duros, desnudo abajo. Vainas glabras o pelosas; lígula de 2-4 mm; láminas 1-2 m x 2-6 cm, glabras o la costilla media pelosa. Inflorescencia en panícula de entre 25-50 cm; pedúnculo glabro o densamente puberulento; eje glabro o peloso; entrenudo del raquis de 5 mm, glabros. Espiguillas 3-4 mm, agudas, contricomas de hasta 7 mm; gluma inferior glabra; lema inferior ciliada en la parte superior; lema superior y arista generalmente ausentes; posee 3 anteras de un diámetro entre 1.5-2 milímetros. (18)

## 2.4 Contenido de nutrientes

Cuadro 1: Contenido nutricional en la caña de azúcar por cada 100 gramos.

Nutrientes	Cantidad
Energía	70
Proteína	0.10
Grasa Total (g)	0.10
Colesterol (mg)	-
Glúcidos	18.10
Fibra (gl)	0
Calcio (mg)	4
Hierro (mg)	30
Yodo ( $\mu\text{g}$ )	-
Vitamina A (mg)	0
Vitamina C (mg)	3
Vitamina D ( $\mu\text{g}$ )	-
Vitamina E (mg)	0
Vitamina B12 ( $\mu\text{g}$ )	-
Folato ( $\mu\text{g}$ )	0

Fuete: Base de datos internacional de composición de alimentos. (11)

## 2.5 Elementos básicos del cultivo

### 2.5.1 Técnicas de cultivo

La caña de azúcar se propaga a partir de cortes o trozos de hasta 1 m de largo, que se plantan en surcos. Los brotes salen a partir de yemas en estas secciones del tallo, se pueden obtener cinco a seis cosechas antes de replantar. La 'planta caña' es el nuevo cultivo que se cosecha a aproximadamente un año después de la plantación (se cosecha a principios de la estación lluviosa – septiembre a noviembre) o más comúnmente a los 18 meses de plantar (se cosecha en el período seco – julio, agosto). Luego de cortar, se planta un cultivo de 'caña soca' a partir de nuevos brotes que crecen de tocones de las plantas cosechadas. Los cultivos de caña soca se cosechan a intervalos anuales principalmente en las estaciones secas. La aplicación cuidadosa de fertilizante nitrogenado resulta crítica para los altos rindes del azúcar. Demasiado fertilizante fomenta el crecimiento de las hojas en lugar del almacenamiento de azúcar. La maduración se da naturalmente en los períodos secos más fríos. De lo contrario, se la acelera reteniendo el nitrógeno y el riego y aplicando un madurador químico como por ejemplo trinexapac, sulfometuron o glifosat. (4)

## 2.5.2 Requerimientos nutricionales

El abonamiento con nitrógeno y el potasio debe realizarse dos o tres meses después de la germinación de la caña, en forma fraccionada, especialmente en zonas de alta precipitación. El nitrógeno constituye el elemento de mayor importancia en la productividad. Su aplicación ha producido una respuesta positiva en todas las pruebas realizadas sin embargo, debe adicionarse en dosis óptimas, ya que dosis excesivas y tardías pueden afectar la calidad de los jugos, lo que redundará en rendimientos bajos, especialmente en variedades de ciclo vegetativo corto (10-12 meses). Una buena disponibilidad de este nutrimento favorece un buen crecimiento, coloración verde y alto vigor. Por el contrario, cuando hay deficiencia las hojas son de color amarillento, hay retardo del crecimiento, muerte de las hojas viejas, menor número y diámetro de los tallos molederos. (3)

La caña de azúcar, en sus primeras semanas de crecimiento absorbe y acumula un exceso de nitrógeno, necesario para macollar y el desarrollo vegetativo, razón por la cual se recomienda aplicar el nitrógeno al inicio del crecimiento (dos a cinco meses, dependiendo del ciclo). La cantidad requerida depende de la duración del ciclo vegetativo de la caña. Para cañas de ciclo de doce meses se recomienda una dosis promedio de nitrógeno de 100 kg/ha, equivalente a siete sacos de Nitrato de Amonio; para cañas de ciclo de dieciocho meses, la dosis es de 150 kg N/ha (11 sacos de Nitro de Amonio). En ambos casos, toda la dosis se suministra en dos aplicaciones. Para cañas de veinticuatro meses, la dosis es 200 kg N/ha, cantidad que se aplica en dos épocas y en partes iguales, la primera a los dos o tres meses y la otra a los cinco meses después de la germinación. En términos generales las dosis de nitrógeno recomendadas son menores para la caña planta y aumentan por los cortes. Se puede utilizar con eficiencia cualquier fertilizante nitrogenado. Los más recomendados son: Urea (46% N), Sulfato de Amonio (21% de N y 24% de S), Nitrato de Amonio (33% de N) y las fórmulas 26-0-26, 20-3-20, 15-3-31. La aplicación de potasio a la caña es muy importante ya que los requerimientos del cultivo por este nutrimento son mayores que los de los otros elementos. Se recomienda entre 80 y 200 kg K<sub>2</sub>O/ha, sin embargo, la cantidad a adicionar dependerá de la concentración de potasio existente en el suelo. Generalmente, este nutrimento se aplica junto con el nitrógeno cuando se utilizan las fórmulas completas. (3)

Una vez realizada la primera corta, para caña soca el programa de fertilización se basará fundamentalmente en nitrógeno y potasio. Para cañas de ciclo de doce meses, se aplican en promedio 100 kg N/ha (siete sacos de Nutrán o quince sacos de 20-3-20) en dos aplicaciones, dos y tres meses después de la corta. Para cañas de dieciocho meses se recomienda 150 kg N/ha, en dos aplicaciones, a los dos y cuatro meses después de la corta y para cañas de veinticuatro meses, 200 kg N/ha en dos aplicaciones entre los dos y cinco meses después de la corta. (3)

### 2.5.3 Requerimientos del suelo.

El suelo es el medio para el crecimiento de la planta. Proporciona nutrientes, agua y anclaje a las plantas en crecimiento. La manutención de condiciones físicas, químicas y biológicas adecuadas en el suelo, es necesaria para lograr mayor crecimiento, rendimiento y calidad de la caña de azúcar. La caña de azúcar no exige ningún tipo específico de suelo y puede ser cultivada exitosamente en diversos tipos de suelo, desde los arenosos a los franco-arcillosos y arcillosos. (21)

Las condiciones ideales de suelo para el cultivo de la caña de azúcar son: suelo bien drenado, profundo, franco, con una densidad aparente de 1.1 a 1.2 g/cm<sup>3</sup> (1.3 - 1.4 g/cm<sup>3</sup> en suelos arenosos), con un adecuado equilibrio entre los poros de distintos tamaños, con porosidad total superior al 50%; una capa freática bajo los 1.5 a 2 m desde la superficie y una capacidad de retención de la humedad disponible del 15% o superior (15 cm por metro de profundidad del suelo). (21)

#### a. Suelos

Según Simmons (y), C; Tarano, JM; Pinto JH. (1959), todos los departamentos realizan sus labores en Áreas de la Corporación Pantaleón Concepción, Según Simomns, 1959, los suelos corresponden a la serie Guacalate y Siquinalá. La serie Guacalate está desarrollada sobre un material original de ceniza volcánica, con una inclinación y drenaje interno moderado. El color es café oscuro de textura franca o franca arcillosa, el espesor aproximado es de 25 a 40 centímetros. El color del subsuelo es café y amarillento oscuro.

La serie Siquinalá está desarrollada sobre material de Toba, con relieve levemente inclinado, con drenaje rápido. Su coloración es gris oscuro y su textura franco con un espesor de 25 a 40 centímetros. Estos suelos son muy pocos profundos y son derivados a partir de un lodo volcánico conocido técnicamente como Lahar que está zona se llama Talpetate. Este suelo tiene un pH que varía de 5 a 5.5 con fertilidad media y un alto contenido de materia orgánica. (25)

#### b. Aspectos climáticos

Para que la caña de azúcar complete satisfactoriamente las distintas fases (germinación desarrollo y maduración) debe contar con las condiciones climáticas favorables, así mismo las condiciones del suelo deben ser las mejores y adecuadas a las características de las variedades utilizadas. (22)

#### c. Temperatura:

Para la germinación y el desarrollo de la caña de azúcar el rango adecuado es de 22 a 33 grados centígrados, valores inferiores o superiores reducen el crecimiento, lo cual puede ser apreciado en diferentes intensidades según las variedades. En la fase de maduración se hace beneficioso para la producción cuando hay variaciones marcadas de temperatura diurnas y nocturnas (días calientes con noches frescas), si esta condición se presentada e 4

a 6 semanas antes de la cosecha, favorece la maduración y el proceso de concentración de azúcares en los tallos. (22)

d. Humedad:

El suministro de agua, ya sea natural o mediante riego, es necesario durante todo el periodo de crecimiento en promedio mensual de 150 mm a 180 mm o 1200 mm a 1500mm anuales distribuido uniformemente en todo el periodo de crecimiento vegetativo. La demanda de agua se incrementa en los últimos meses debido al alto crecimiento y engrosamiento de los tallos, denominado gran periodo de crecimiento, existiendo para ello un aumento de transpiración. (22)

e. Radiación:

Es una planta que asimila muy bien la radiación solar, teniendo una eficiencia cercana a 2% de conversión de la energía incidente en biomasa. La radiación solar es la principal fuente de energía para la caña. (22)

f. Vientos:

Los vientos muy fuertes, mayores a 40 km/h reducen el crecimiento y afectan el rendimiento, esto debido a que aumentan la evapotranspiración deshidratando el cultivo, dañan las hojas, quebrando nervaduras centrales e incluso quiebra los tallos. (22)

2.6 Rendimiento de caña de azúcar.

El cultivo industrial, el rendimiento medio varía entre 60 y 100 toneladas por hectárea, ya sea un cultivo irrigado o no. Una vez que la caña ha sido tratada, el rendimiento en azúcar podrá alcanzar de 6 a 8 toneladas por hectárea para los cultivos pluviales y de 8 a 11 toneladas por hectárea en cultivo irrigado. (17)

Cuadro 2: Rendimiento de caña de azúcar toneladas por hectáreas.

<b>Rendimientos sucesivos</b>		
	<b>Cultivo pluvial</b>	<b>Cultivo irrigado</b>
Cultivo de 12 meses	60	95
Cultivo de 18 meses	100	120
1era germinación	75	100
2da germinación	65	95
3era germinación	60	85
4ta germinación	60	75
5ta germinación	---	70
Media por hectárea cosechada	65-75	90-95

Fuente: LAMECA, La caña de azúcar.

Productos obtenidos de la caña de azúcar.

De la caña de azúcar se obtienen, mediante diversos procedimientos de transformación, varios productos alimenticios y otros subproductos no alimenticios de interés agrícola o industrial. (24)

Los derivados alimenticios de la caña se pueden clasificar en dos grupos, según la transformación que han experimentado: no refinados y refinados. Los derivados no refinados son las melazas de caña, la panela y el azúcar mascabado. Los derivados refinados, son el azúcar blanco y los azúcares morenos. (24)

En función del estado de transformación de la caña de azúcar, varían las cualidades nutricionales del derivado de la caña. Así, cada producto tiene sus propias proporciones de nutrientes: vitaminas, minerales y oligoelementos, proteínas, fibras y azúcares. (24)

El principal azúcar presente en los derivados de la caña es la sacarosa, aunque también se encuentren presentes otros azúcares sencillos. Los procesos de transformación del azúcar buscan maximizar el contenido de la sacarosa en el producto obtenido. Esto se consigue con la eliminación de las "impurezas" de la caña de azúcar, que son básicamente el resto de sustancias que no sean sacarosa. Con lo cual, las impurezas de la caña incluyen el resto de nutrientes. De modo que cuanto más refinado es el producto, menos nutrientes y más sacarosa contiene. (24)

## 2.7 Principales enfermedades y plagas del cultivo de la caña de azúcar

Gallina ciega (*Phyllophaga spp*):

Hernández (2007) indica que las larvas de la familia Scarabaeidae (Coleóptera) se conocen como Gallina Ciega, se alimenta de las raíces de las plantas, especialmente de las gramíneas, y los adultos son los llamados escarabajos o ronrones de mayo.

Los adultos se alimentan de hojas, brotes tiernos, botones y néctar de las flores. Para los rizófagos estrictos, la materia orgánica puede actuar como un fago-estimulante y como un atrayente para alimentarse de las raíces de las plantas y causar daño. El daño que causan las larvas de Gallina Ciega en las raíces, se manifiesta con mayor intensidad en los meses de agosto, septiembre y octubre, que es cuando la larva se encuentra en el tercer estadio. (El más voraz), dura mucho tiempo y está adaptada a condiciones ambientales adversas (14).

Gusano alambre (*Agriote sp*):

Características y descripción Comúnmente se conoce a las larvas de la familia Elateridae (Coleóptera) como gusanos alambre, nombrados así porque son de cuerpo duro, alargado, cilíndrico y de color café-rojizo, lo cual los asemeja aún pedazo de alambre de cobre o bronce. Los gusanos alambre llegan a ser tan perjudiciales que destruyen completamente

las semillas e impiden su germinación; atacan las raíces, pueden barrenar las partes subterráneas del tallo de las plántulas y facilitan la entrada de enfermedades en las plantas atacadas. (14)

Hernández (2007) indica que los ingenios azucareros del país efectúan un control químico utilizando diferentes insecticidas como: (Carbofuran) Curater, (Carbofuran) Furadan, (Aldicarb) Temik, entre otros.

El mosaico.

Es causada por el virus del mosaico común de la caña de azúcar (ScMV) y afecta las hojas de tallos maduros produciendo decoloraciones de la lámina foliar. La siembra de variedades resistentes y las labores de cultivo constituyen las mejores medidas de control. (10)

Síndrome de la hoja amarilla.

Causada por un virus del género Polerovirus. Los síntomas de la afección se caracterizan por el amarillamiento de la nervadura central de la hoja, el cual se extiende progresivamente a toda la lámina foliar comenzando desde la punta (parte distal) hacia la base. El control requiere una estrategia integral que involucra el empleo de variedades resistentes y la selección de material sano de siembra. (10)

La roya

Producida por el hongo *Puccinia melanocephala*, este produce muchas manchitas alargadas en las hojas por el as y el envés, por lo que las hojas no crecen y los tallos son delgados, por lo que baja la producción. La siembra de variedades resistentes es la mejor medida de control. (10)

Raya clorótica

Se identifica por la presencia de bandas amarillas, cuyos márgenes son irregulares, en hojas adultas las rayas son continuas y en estados avanzados se produce la necrosis del centro de la lesión. En algunos casos se puede observar en el nudo, una raya roja que lo atraviesa. Afecta la germinación y el rebrote, disminuyendo la población de tallos. Se ha observado generalmente en la variedad PR67-1070 y PR61-632, bajo condiciones de mal drenaje. El tratamiento térmico de la semilla con agua caliente (PRE 10 min. 50 C reposo de 8-12 horas + 51 C 1 hora), elimina la enfermedad. (10)

## 2.8 Proceso de cultivo

### Preparación del Suelo

La adaptación de cada suelo en particular, a los requerimientos de la caña de azúcar, se logra mediante una adecuada preparación, en la cual se deben satisfacer al menos, los siguientes objetivos: (8)

- Destruir e incorporar al suelo las malezas y/o los residuos de cosechas anteriores.
- Romper y descompactar el suelo para facilitar la penetración del agua y de las raíces.
- Mejorar la estructura del suelo.
- Destruir los grandes terrones que pueden afectar posteriores labores al cultivo.
- Mejorar y facilitar la distribución del agua de riego.
- Drenar los excedentes de agua de lluvia o de riego.
- Proveer un adecuado lecho donde los esquejes puedan ser tapados uniformemente y donde puedan disponer de adecuadas condiciones de humedad y aireación. (8)

No hay la menor duda, acerca de las ventajas que se obtienen cuando se ejecutan las labores de labranza; que tanto el suelo como el cultivo requieren. Para alcanzar o al menos acercarse a ese objetivo, es muy importante que esa labranza se aproxime lo más posible a los requerimientos del cultivo, causando el menor daño posible al suelo; lo que se logra mediante la consideración de 3 aspectos muy importantes en la ejecución de la labor. (8)

- Profundidad de corte y de descompactación de suelo, según la posición de los estratos duros del perfil.
- Movimiento de tierra, de acuerdo al relieve y las características del suelo.
- Grado de desmenuzación del suelo, según el cultivo y las características de su material de siembra. No es posible describir una preparación de suelo que pudiera denominarse como clásica para caña de azúcar; por lo tanto, sólo se enumeran y describe una serie de labores, que de acuerdo a las características y al estado en que se encuentra el suelo al momento de realizar su preparación, se aplicarán según el criterio del interesado. (8)

### Siembra

Las semillas son esquejes o trozos de tallo con 2 o más yemas. La longitud de los esquejes depende del número de yemas, generalmente 3 yemas, y de la longitud de los entrenudos, que varía con la variedad de caña y con el tratamiento recibido por el cultivo de donde proviene. La siembra es una de las operaciones más importantes del cultivo, pues el carácter semipermanente de la caña de azúcar, determina que cualquier falla cometida en la ejecución de esta labor, afectará la germinación y en consecuencia, la producción y la rentabilidad de la explotación durante todo el período de varios años, que transcurre entre una siembra y otra en el mismo terreno. No deben escatimarse gastos y/o esfuerzos necesarios para el logro de una buena siembra y en consecuencia, de una buena germinación. (8)

La operación de siembra comprende las siguientes labores: surcado del terreno; colocación del fertilizante y de los esquejes en el fondo del surco; tapado con una capa de tierra, no más de 3 centímetros y aplicación del primer riego o "riego de asiento". La siembra puede hacerse en forma manual o con máquinas sembradoras. En el país la mayoría de las cañas se siembran a mano, pero debido a la continua reducción en la disponibilidad de mano de obra, la mecanización de esta labor se ha venido incrementando considerablemente. En el caso de la siembra mecanizada, el equipo sembrador por lo general: surca el terreno, repica la "semilla", la coloca junto con el fertilizante en el fondo del surco y la tapa en una sola operación. (8)

## Riego

La caña de azúcar es un cultivo que permanece en el campo durante los 12 meses del año, por consiguiente, requiere la aplicación complementaria de agua, al menos durante el período seco. La demanda de agua del cultivo varía mucho, según su edad y su estado o fase del ciclo de desarrollo. El suministro de agua de riego, por lo tanto debe ajustarse a los requerimientos de la planta ya los objetivos perseguidos con el cultivo: la mayor producción de azúcar al menor costo posible. (8)

## Germinación.

Inmediatamente después de la siembra, se aplica el primer riego o "riego de asiento", cuyo objetivo es humedecer y poner el suelo en íntimo contacto con el esqueje, para que aproveche al máximo la humedad y temperatura del medio. Con el primer riego siempre hay arrastre de suelo, especialmente, si el trazo del fondo del surco de siembra es muy pendiente e irregular y si el suelo quedó muy desmenuzado debido a una excesiva labor de labranza. Si hay mucho arrastre, los esquejes pueden quedar descubiertos en las partes altas de los surcos y "tapiados", con una costra de espesor variable de suelo, en las bajas. (8)

No obstante, que la demanda de agua del cultivo durante el período de germinación es muy baja, debido a que las plantas apenas inician su desarrollo y que su capacidad transpirante y zona de exploración radicular son muy reducidas; el riego hay que hacerlo a intervalos muy cortos, 8 a 10 días según el suelo, a fin de mantener con un alto contenido de humedad la capa o costra de suelo que cubre el esqueje, evitando así, su excesivo endurecimiento y su efecto obstaculizador de la emergencia del brote. (8)

Durante este período, a menos de que se tenga un dispositivo que permita la aplicación de pequeñas láminas de agua, como un sistema de riego por aspersión, hará un gran desperdicio de agua de riego; pues como ya se señaló, los riegos son muy frecuentes y las demandas del cultivo muy bajas. (8)

## Crecimiento.

Después de los 40 días de la siembra, el cultivo ya prácticamente ha completado la fase de germinación o brotación y ha entrado en la de encepamiento y de rápido crecimiento,

incrementando su demanda de agua, a medida que aumenta su cobertura y su capacidad transpirante con el número de tallos y el mayor tamaño de los mismos. (8)

El período de crecimiento se extiende hasta aproximadamente los nueve meses de edad del cultivo y la de unos cinco a seis milímetros por día. No es posible establecer en forma general, ni la lámina de agua aplicada en cada riego, ni el intervalo entre riegos. La lámina aplicable, dependerá de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, según sus características físicas; del contenido de humedad del suelo al momento de regar y de la profundidad a mojar, según la zona de exploración radicular: unos setenta a noventa centímetros con el cultivo a pleno desarrollo. El intervalo de riego, dependerá de la capacidad de agua útil del suelo y de la demanda diaria del cultivo, según su grado de desarrollo y las condiciones climáticas del medio. (8)

Maduración.

Después de los 9 meses de edad, debe iniciarse el período de preparación del cultivo para la cosecha, a fin de llevar a la factoría una materia prima de óptima calidad azucarera, sin detrimento del tonelaje de caña; lo cual es posible, mediante el manipuleo de ciertos factores, como son: sequía moderada y hambre de nitrógeno, que obligan a la planta a restringir su proceso de crecimiento o de formación de tejidos ya favorecer el de maduración o de acumulación de los azúcares producidos. El hambre de nitrógeno, se consigue aplicando la totalidad de este nutriente antes de los 4 meses de edad del cultivo. (8)

La sequía moderada, se logra mediante control de riego a través de:

- Reducción de la lámina de agua aplicada en cada riego.
- Alargamiento del intervalo de riego.
- Suspensión total del riego durante un cierto período pre-cosecha. (8)

Cualquiera que sea el método de control de riego utilizado para madurar la caña, es muy importante conocer el comportamiento de las variedades de que se dispone y de las condiciones ambientales que las rodean. (8)

Las variedades de caña por su contenido de humedad antes de iniciar el período de maduración, se clasifican como: de alta, de media y de baja humedad; las de alta humedad maduran bien, pero requieren mayor castigo de sequía; las de baja, pueden fácilmente sobre madurarse y deteriorarse, si se tratan como las de altos niveles de humedad. (8)

En las épocas de clima más fuerte, de mayor evapotranspiración, la maduración se incrementa y el período de maduración se acorta, iniciándose violentamente los procesos de fermentación y deterioro de la caña. Para estas épocas es indispensable el uso de las variedades de alta humedad, más difíciles de madurar y el establecimiento de un eficiente programa de maduración y de cosecha. (8)

En conclusión, el riego durante este período, debe encajar dentro de un programa general de maduración y de cosecha escalonado de los diferentes tablones de la finca; el cual debe considerar: variedades, épocas de siembra y lo de cosecha, variaciones climáticas (evapotranspiración), topografía y tipo de suelo, fertilización, etc. (8)

### Aporques

Es una práctica cultural de poco uso en el país, a pesar de las muchas ventajas que representa, entre ellas: menos caña caída, reducción del número de chupones o brotes tardíos que llegan inmaduros a la cosecha; restricción de la excesiva brotación de tallos superfluos durante el período de gran encepamiento, los cuales no llegan a cosecha pero que compiten por luz, agua y nutrientes en la época de mayor demanda del cultivo; reducción en las caídas de producción entre ciclos, lo que permite una mayor persistencia o duración del período productivo de cada reposición del cultivo; mayor eficiencia del riego, etc. (8)

Por otra parte, está demostrado el efecto beneficioso del aporque, en relación a los problemas del excesivo encharcamiento al pie de la planta en zonas de alta precipitación y/o de limitaciones en el drenaje superficial. Al igual que su efecto sobre la cosecha mecanizada, con cañas menos acamadas, menos caídas, de tamaño más uniforme y de más fácil corte a ras de tierra, debido a la eliminación del surco de siembra. (8)

La oportunidad de efectuar el aporque, depende del desarrollo y el encepamiento alcanzado por el cultivo: unos 50 a 60 centímetros de altura y de 15 a 20 brotes por metro lineal de surco; lo que se consigue en la plantilla, entre los 60 y 90 días después de la siembra, dependiendo de la variedad utilizada. El aporque debe ser seguido por un riego. (8)

Con el aporque deben evitarse los entresurcos profundos, solo lo necesario para conducir bien el agua de riego y/o de drenaje y para facilitar el corte a ras de tierra de los tallos con las cuchillas de los equipos de cosecha mecanizada. Esta profundidad no debe sobrepasar los 25 centímetros, la cual llega considerablemente reducida al momento de la cosecha, de acuerdo al tipo de suelo, precipitación, riego, etc. Para efectuar esta labor, pueden utilizarse discos aporcadores o surcadoras, similares a las utilizadas para los surcos de siembra. (8)

### Abonamiento.

El abonamiento de la plantilla puede fraccionarse en 2 ó en 3 aplicaciones. La primera se hace al momento de la siembra, aplicando la totalidad de la dosis del fósforo y una parte de la del nitrógeno. Si se da tribuye solo en 2 partes, la segunda y última porción se aplicará entre los 2 y 3 meses, aproximadamente con el octavo riego según el programa de labores propuesto. En esta oportunidad iría la totalidad del potasio y el remanente del nitrógeno. Si la distribución es en 3 partes, entre 1.5 y 2 meses se aplicaría la segunda porción: la mitad del potasio y la mitad de lo que resta del nitrógeno. La tercera y última aplicación se haría entre los 3 y 3.5 meses. La última aplicación puede hacerse en forma mecanizada con la operación de aporque. (8)

## Cosecha

Es una labor costosa y difícil. De la oportunidad de su ejecución, depende el aprovechamiento o el desperdicio de azúcar producido durante todo un ciclo del cultivo. Ella comprende: el corte, el alza y el acarreo de la caña hasta el patio del central o factoría, operaciones que deben efectuarse en forma muy sincronizada, para que la caña sea cortada y entregada para su beneficio, antes de que inicie los procesos de deterioro o degradación de los azúcares. (8)

La cosecha hay que hacerla cuando la planta alcance su óptimo estado de madurez, su máximo contenido de azúcar recuperable y su mínimo de humedad, sin que este secado llegue a producir el desdoblamiento del azúcar almacenado en la planta, ni a afectar la brotación del próximo ciclo del cultivo. Estos objetivos se alcanzan, con la preparación del cultivo para la cosecha, a través de un eficiente control del riego durante el período de maduración. (8)

Las razones con que se destacó la importancia de una eficiente operación de siembra, sobre la producción y la rentabilidad del cultivo de la caña de azúcar, son válidos para justificar la ejecución de una eficiente labor de cosecha, en la que se reduzca al mínimo los daños a la cepa y así garantizar una buena geminación o brotación de la próxima soca. (8)

## Fertilización nitrogenada

Es importante fertilizar en época, aún con suelos secos. La mayor efectividad de fertilización de cañas socas en secano se registra desde octubre hasta mediados de noviembre. Cuando se dispone de riego, este período puede adelantarse entre 15 y 20 días. En caña planta se hace a fines de noviembre. (5)

## Fertilización fosfórica

Es de gran importancia realizar un análisis de suelo previo. Con valores de más de 25 partes por millón de fósforo obtenido en el análisis de suelos, no es recomendable fertilizar. Cuando el suelo tiene entre 13 y 25 ppm, la dosis recomendable es de 20 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por hectárea y por año. Con valores menores a 13 ppm, es de 30 a 35P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/año. Existen otras fuentes de fósforo en el mercado, por lo que conviene referir el valor a kg deP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha para comparar entre los diversos productos comerciales. (5)

## 2.9 Preparación del suelo

### 2.9.1 Técnica tradicional

Esta técnica se basa en la serie de cinco pasos denominada secuencia que se utiliza para la preparación y adecuación de suelos para el cultivo de la caña de azúcar, siendo estos: primer paso de rastro arado, segundo paso de rastro arado, primer paso de rastra pulidora, segundo paso de rastra pulidora, paso de surqueo, preparando y adecuando el suelo para el cultivo de la caña de azúcar brindando los requerimientos físicos del suelo siendo

profundidad y descompactación del suelo, realizando controles culturales de plagas como la gallina ciega y gusano alambre.

### 2.9.2 Técnica de reducción de pasos

Consiste en la modificación de la secuencia para el proceso de adecuación de suelos con la finalidad de reducir costos y brindar al cultivo las características físicas del suelo favorables, para el desarrollo radicular del cultivo, proporcionando los elementos básicos como agua, nutrientes y aire, el control de plagas como la gallina ciega y gusano alambre de manera cultural tras el paso de volteo, con el rodo instalado permite realizar el paso de pulido mullendo los excesos o aglomerados de suelo unidos por agua, compactados por previas cosechas y otros efectos de composición natural, adecuando la cama de siembra para el cultivo de la caña de azúcar, facilitando las condiciones adecuadas para el paso de surqueo.

Cuadro 3: Factor de pérdida para las principales plagas, determinados en ensayos de investigación en CENGICAÑA-CAÑAMIP.

Plaga	Factor de pérdida (b) expresado en		Fuente de referencia	Época de medición
	Rend. Caña	Rendimiento azúcar		
Chinche salivosa ( <i>aeneolamia spp</i> )	8.21 tm/ha/1 adul/tallo	12.82 Lb Az/tm/1 adult/tallo	Márquez et al. 2001	Edad crítica entre 6-8 meses de edad del cultivo
Gallina ciega ( <i>Phyllophaga ssp</i> )	0.62 tm/ha/1 larva/m <sup>2</sup>		Márquez y Ralda 2005 Márquez y Sandoval 2003	Elongación y Cosecha
Rata de campo ( <i>sigmodon hispidus</i> )	0.50 tm/ha/1% infest	4.82 Lb Az/tm/1% i.i 0.1928 Lb Az/tm/1% infest	Estrada et al, 1996 Memoria I simposio Nacional de plagas Márquez et al, 2002	Cosecha
Barrenador de tallo ( <i>Diatraea ssp</i> )	No significativo	0.69 Lb Az/tc/1% i.i	Carrillo. E; Juárez L. 1996	Elongación y Cosecha
Chiche Hedionda ( <i>Scaptocois talpa</i> )	0.053 tm/ha/insecto		Márquez et al, 2004	Macollamiento y elongación

Fuente: CENGICAÑA-CANAMIP (19)

Cuadro 4: Estimación de índice de daño para cada plaga, el cual está considerado en la estimación del Nivel del daño económico, utilizando el programa de CENGICAÑA. .

Plaga	Componente	Estimación	Índice de daño
Chinche salivosa ( <i>aeneolamia spp</i> )	TCH	(8.21 tm/ha/1 adult/tallo) x (252 Lb Az/tm) = 2,069 Lb Az/ha/1 adult/tallo	3.223 Lb Az/ha/1 adult/tallo
	Azúcar	(12.82 Lb Az/ha/1 adult/tallo x (90 tm/ha) = 1,154 Lb Az/ha/1 adult/tallo	
Gallina ciega ( <i>Phyllophaga ssp</i> )	TCH	(0.62 tm/ha/1 larva/m <sup>2</sup> ) x (252Lb Az/tm caña) = 156 Lb Az/ha/1 larva/m <sup>2</sup>	156 Lb Az/ha/1 larva/m <sup>2</sup>
Rata de campo ( <i>sigmodon hispidus</i> )	TCH	(0.50 tm/ha/1% infest) x (252 Lb Az/tm) = 126 Lb Az/ha/1% de infest	143 Lb Az/ha/1% infest
	Azúcar	(4.82 Lb Az/tm/1% i.i) x (90tm/ha) (434 Lb Az/ha/1% i.i) x (0.04 & i.i/11% infest) = 17.36 Lb Az/ha/1% infest	
Barrenador de tallo ( <i>Diatraea ssp</i> )	Azúcar	(0.69 Lb Az/tc/1% i.i) x (99 tc/ha)	68.31 Lb Az/ha/1% i.i
Chiche Hedionda ( <i>Scaptocois talpa</i> )	TCH	(0.053 tm/ha/insecto) x (252 Lb Az/tm)	13.4 Lb Az/ha/1 insecto/m <sup>2</sup>
		= 13.4 Lb Az/ha/1 insect/m <sup>2</sup>	

Fuente: CENGICAÑA-CAÑAMIP (19)

La profundidad y compactación del suelo como aspectos que afectan al desarrollo de los cultivos.

a. La profundidad

Un suelo debe tener condiciones favorables para recibir, almacenar y hacer aprovechable el agua para las plantas, a una profundidad de por lo menos del susodicho metro. En un suelo profundo las plantas resisten mejor la sequía, ya que a más profundidad mayor capacidad de retención de humedad. De igual manera, la planta puede usar los nutrimentos almacenados en los horizontes profundos del subsuelo, si éstos están al alcance de las raíces. (15)

Cualquiera de las siguientes condiciones puede limitar la penetración de las raíces en el suelo:

- Roca dura sana
- Cascajo (pedregosidad abundante)
- Agua (nivel, napa o manto freático cercano a la superficie)
- Cama de piedra. (15)

Con vistas a planificar su uso, los suelos pueden clasificarse en cuatro grupos de acuerdo con su profundidad efectiva:

- Suelos profundos tienen un metro o más hasta llegar a una capa limitante.
- Moderadamente profundos tienen menos de un metro pero más de 0.60 m.
- Suelos poco profundos tienen menos de un metro pero más de 0.60 m.
- Suelos someros tienen menos de 0.25 m. (15)

#### b. Compactación

La compactación del suelo corresponde a la pérdida de volumen que experimenta una determinada masa de suelo, debido a fuerzas externas que actúan sobre él. Estas fuerzas externas, en la actividad agrícola, tienen su origen principalmente en: (2)

- Implementos de labranza del suelo.
- Cargas producidas por los neumáticos de tractores e implementos de arrastre.
- Pisoteo de animales. (2)

En condiciones naturales se pueden encontrar en el suelo, horizontes con diferentes grados de compactación, lo que se explica por las condiciones que dominaron durante la formación y la evolución del suelo. Sin embargo, es bajo condiciones de intensivo uso agrícola que este fenómeno se acelera y llega a producir serios problemas en el desarrollo de las plantas cultivadas. (2)

La compactación del suelo produce un aumento en su densidad (densidad aparente), aumenta su resistencia mecánica, destruye y debilita su estructuración. Todo esto hace disminuir la porosidad total y la macroporosidad (porosidad de aireación) del suelo. Los efectos que la compactación produce, se traducen en un menor desarrollo del sistema radical de las plantas y, por lo tanto, un menor desarrollo de la planta en su conjunto, lo que redundará en una menor producción. (2)

De los factores mencionados, son dos los que van a tener un efecto directo sobre el crecimiento de las raíces, estos son:

- Aumento de la resistencia mecánica del suelo.
- Disminución de la macroporosidad del suelo. (2)

El aumento de la resistencia mecánica del suelo va a restringir el crecimiento de las raíces a espacios de menor resistencia, tales como los que se ubican entre las estructuras (terrones), en cavidades formadas por la fauna del suelo (lombrices) y en espacios que se producen por la descomposición de restos orgánicos gruesos (raíces muertas). Esta situación va a producir un patrón de crecimiento característico de raíces aplanadas, ubicadas en fisuras del suelo, con una escasa exploración del volumen total del suelo. (2)

La disminución de la macroporosidad del suelo va a producir una baja capacidad de aireación y oxigenación del suelo, lo que va a producir una disminución de la actividad de

las raíces y, consecuentemente, un menor crecimiento de éstas, un menor volumen de suelo explorado, una menor absorción de agua y nutrientes. Este efecto se agrava cuando se riega en forma excesiva, llegando a producirse la muerte de las raíces por asfixia. Esto debido a que los escasos macroporos que pueden airear el suelo van a permanecer llenos de agua gran parte del tiempo. (2)

Análisis económico con base en los costos variables.

Como su nombre lo indica, el costo variable hace referencia a los costos de producción que varían dependiendo del nivel de producción. Todo aquel costo que aumenta o disminuye según aumente o disminuya la producción, se conoce como costo variable. Un ejemplo claro de costo variable es la materia prima, puesto que entre más unidades se produzcan de un bien determinado, más materia prima se requiere, o caso contrario, entre menos unidades se produzcan, menos materia prima se requiere. (12)

Igual sucede con los envases y empaques, puesto que su cantidad depende directamente de las cantidades de bienes producidos. El costo variable es importante, puesto que este permite maximizar los recursos de la empresa, puesto que esta sólo requerirá de los costos que estrictamente requiera la producción, según su nivel. Los costos de producción de una empresa, será más eficiente entre mayor sea el porcentaje de costos variables. (12)

### 3 MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Marco referencial

La evaluación se llevó a cabo en el cañal El Playon lotes (604, 608, 6012), cañal Platanares y Mozotero lote (701), cañal Viñas lote (1603), cañal Aurora lotes (3502,3506), de la finca San Bonifacio de la zona agrícola Pantaleón, al Norte con el casco San Bonifacio, al Sur con el cañal Las Flores, al Oeste con el Rio Pantaleón y al Este con el cañal pertenecientes al municipio de Siquinalá y en la Finca San Antonio La Paz lotes (201, 207, 301, 501), al Norte con finca El Baúl, al Sur finca Camantulul, al Este con finca El Jordan y al Oeste con finca Xata, perteneciente a la zona agrícola El Baúl del municipio de Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, las cuales se encuentran ubicadas en la zona centro y Oeste del Ingenio Pantaleón.

Según Holdridge (2015), con relación a zonas de vida, la finca Pantaleón 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 850 m sobre el nivel del mar, formada especialmente por una serie de valles de aluvión, estrechamente interconectados.

Respecto al clima, este es muy cálido, en los meses de marzo a julio son los de mayor temperatura, llegando hasta los 32 y 35 grados Celsius, los demás meses restantes son relativamente cálidos llegando a una temperatura de 25° C. Los vientos predominantes son con sentido noreste sudeste, relativamente moderados con una velocidad 19 Km/hora. Su precipitación pluvial y humedad relativa media anual alcanza los 2,000 milímetros cúbicos. Los meses más lluviosos son desde el mes de mayo a noviembre y los más secos desde diciembre a abril. (26)

#### 3.2 Metodología

##### 3.2.1 Descripción de la investigación

Se evaluaron dos técnicas de preparación de suelos, siendo estas la técnica tradicional y la técnica de reducción de pasos, para comprobar las respuestas del cultivo a las variables profundidad y compactación, control de gallina ciega y gusano de alambre en el suelo, y el ahorro de costos de la técnica de reducción de pasos con respecto a la técnica tradicional de preparación del suelo.

La evaluación en campo, tuvo una duración dentro de los meses de noviembre y diciembre, durante la zafra 2014 – 2015, realizando la toma de datos en el transcurso del mes de diciembre del año 2014.

### 3.2.2 Diseño experimental

Se utilizó el diseño experimental de T apareada con dos tratamientos, en el cual se eligieron dos parcelas lo más similares posible, evaluando los pasos de volteo rastro arado y rastro arado con rodos, tomando como datos de evaluación las variables sujetas a estudio, dicha operación se realizó en un área total de 116.78 hectáreas.

### 3.2.3 Descripción de los tratamientos.

Testigo relativo: Técnica tradicional de preparación del suelo

El testigo relativo, fue la técnica tradicional de preparación del suelo, esta sirvió como parámetro para medir las variables evaluadas. La descripción de la técnica se encuentra desarrollada en el capítulo proceso del cultivo.

A continuación, se presenta un cuadro en el que se resumen las fases de las que constó la técnica tradicional:

Cuadro 5: Tratamiento 1: Testigo relativo.

T1	1er paso rastro arado
	2do paso rastro arado
	1er paso rastra liviana
	2do paso rastra liviana
	Surqueo con o sin fertilizante

Fuente: Elaboración propia. 2015.

### Técnica de reducción de pasos

Este tratamiento consistió en reducir la cantidad de pasos de preparación mecanizada del suelo de 5 a 3 pasos, evaluándose las variables sujetas a estudio.

La técnica aplicada consistió en la modificación de la secuencia para el proceso de adecuación de suelos con la finalidad de reducir costos y brindar al cultivo las características físicas del suelo favorables, para el desarrollo radicular del cultivo, proporcionando los elementos básicos como agua, nutrientes y aire, el control de plagas como la gallina ciega y gusano alambre de manera cultural tras el paso de volteo. A continuación se presenta un cuadro con el esquema de la técnica:

Cuadro 6: Tratamiento 2: Técnica reducción de pasos.

T2	1er paso rastro arado con rodo
	2do paso rastro arado con rodo
	Surqueo con o sin fertilizante

Fuente: Elaboración propia. 2015.

### 3.2.3 Modelo matemático

Figura 1 Modelo matemático

$$t = \frac{\bar{d}}{\frac{\sigma d}{\sqrt{N}}}$$

t = valor estadístico del procedimiento.

$\bar{d}$  = Valor promedio o media aritmética de las diferencias entre los momentos antes y después.

sd = desviación estándar de las diferencias entre los momentos antes y después.

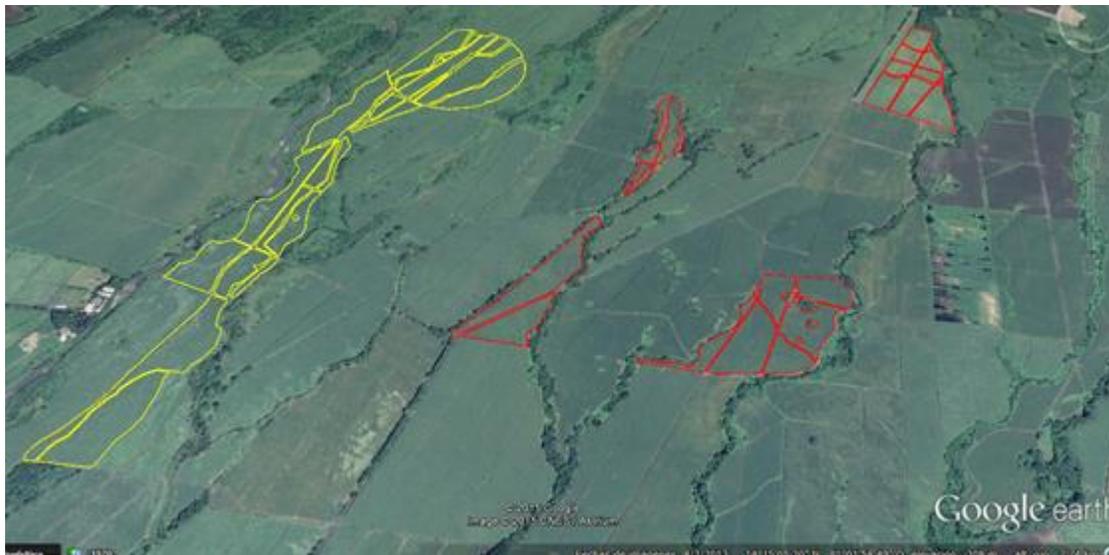
N = tamaño de la muestra.

Fuente: Elaboración propia. 2015.

### 3.2.4 Croquis del ensayo de campo.

La ejecución de la técnica tradicional y técnica de reducción se realizó en las fincas San Bonifacio y San Antonio La Paz, las cuales fueron georeferenciadas por medio de archivos tipo .kmz proporcionadas por el área de diseño agrícola del ingenio Pantaleón, sobre la plataforma de Google Earth las cuales se representan en las figuras 4 y 5.

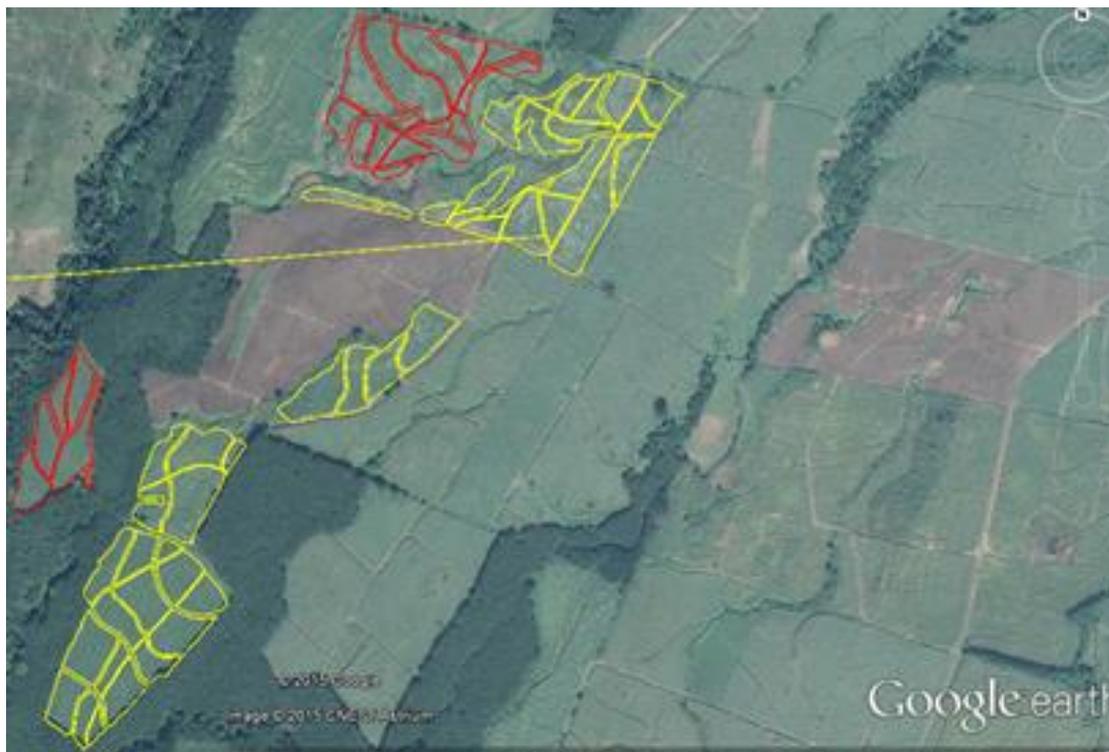
Figura 2: Ubicación de finca San Bonifacio, área de pruebas de las técnicas tradicionales y reducción de pasos.



Fuente. Google Earth y archivo .kmz por diseño agrícola Mario López 2014.

En la figura 2 se encuentran delimitadas las hectáreas trabajadas en la finca San Bonifacio siendo estas, la técnica tradicional con el perímetro de color rojo y la técnica de reducción de pasos con el perímetro de color amarillo.

Figura 3 Ubicación de finca San Antonio La Paz, área de pruebas de las técnicas tradicionales y reducción de pasos.



Fuente. Google Earth y archivo .kmz por diseño agrícola Mario López 2014.

En la figura 3 se encuentran delimitadas las hectáreas trabajadas en la finca San Antonio La Paz siendo estas, la técnica tradicional con el perímetro de color rojo y la técnica de reducción de pasos con el perímetro de color amarillo.

### 3.2.5 Unidad experimental.

Los tratamientos evaluados, se sometieron a evaluación en un área total de 116.58 hectáreas, designándose para cada técnica 58.29 hectáreas cultivadas con caña de azúcar.

La parcela neta utilizada fue de 116.58 hectáreas, mientras que la parcela bruta: 466.32 hectáreas. Se aclara que la parcela bruta es mayor debido a que según el criterio del ingenio Pantaleón, el área de esta se determina sumando las áreas en las que se aplica algún tipo de labor de preparación del suelo.

### 3.2.6 Variables de respuesta.

Aspectos físicos del suelo.

El área o departamento de conformidad agrícola del ingenio Pantaleón es una unidad técnica administrativa encargada de establecer parámetros relativos al cultivo. Para el presente caso, establece una serie de requerimientos mínimos para el correcto desarrollo

fenológico del cultivo de la caña de azúcar, con relación a la profundidad y compactación del suelo tras la labor de segundo paso de volteo, ejecutado con rastro arado, por ser variables importantes para el desarrollo del cultivo.

Profundidad del suelo:

Un suelo debe tener condiciones favorables para recibir, almacenar y hacer aprovechable el agua para las plantas, a una profundidad de por lo menos del susodicho metro. En un suelo profundo las plantas resisten mejor la sequía, ya que a más profundidad mayor capacidad de retención de humedad. De igual manera, la planta puede usar los nutrientes almacenados en los horizontes profundos del subsuelo, si éstos están al alcance de las raíces. (15)

De acuerdo con el departamento de conformidad agrícola antes citado, la toma de profundidad alcanzada en la preparación de suelos, tras el segundo paso de volteo, se debe realizar por medio del profundímetro, este mide la distancia expresada en centímetros que el suelo presenta, desde la superficie hacia la parte inferior del mismo, la medición se debe ejecutar de manera aleatoria y representativa al área trabajada, determinando que se encuentre dentro de los rangos de 25 a 35 centímetros de profundidad, que propiciara la cama adecuada para el cultivo de la caña de azúcar. En el estudio se siguió el proceso establecido anteriormente para ambas técnicas, es decir la tradicional y la de reducción de pasos. Con relación al muestreo al que se hace referencia, se utilizó el siguiente procedimiento: (3)

- Fórmula para el cálculo del tamaño de la muestra:

Tamaño de muestra = Área total/número de muestras

En donde:

- El área total, es la multiplicación de 100 por 100 metros equivalente de una hectárea.
- Numero de muestras: es el 5% representativo al tamaño de la muestra equivalente a 23 tomas.

Obteniéndose que para el área sujeta a estudio, la muestra debe conformarse por 23 unidades muestrales distribuidas en zigzag (Figura 13) para cada técnica sujeta a estudio, consistiendo cada unidad muestral en un punto ubicación física del terreno en el que debe utilizarse el profundímetro para obtener el dato de profundidad en centímetros.

- Ubicación de las unidades muestrales:

La ubicación de las unidades muestrales en el terreno, se determinó de la siguiente manera:

En base al tamaño de la muestra, se distribuye de manera aleatoria con el método de zigzag con la finalidad realizar una toma de datos significativa al tamaño del área.

- Procedimiento para toma de la muestra:

Determinada la cantidad y ubicación de las unidades muestrales, se utilizó el profundímetro para determinar la profundidad del suelo derivada de la aplicación de las técnicas de preparación del suelo sujetas a investigación, esta se determinó en centímetros de profundidad, en cada punto de muestreo, dividiéndose los resultados por lote y efectuándose un promedio del valor captado, sometiendo estos datos al análisis estadístico, para determinar si la profundidad medida se encontraba dentro del rango de los 25 a 35 centímetros establecidos como aceptables por el ingenio Pantaleón.

### Compactación del suelo

La compactación del suelo corresponde a la pérdida de volumen que experimenta una determinada masa de suelo, debido a fuerzas externas que actúan sobre él. Estas fuerzas externas, en la actividad agrícola, tienen su origen principalmente en: (2)

Para determinar la compactación del suelo, se utilizó la misma fórmula para determinar el tamaño de la muestra explicada para la profundidad, la ubicación de las muestras fue la misma y el procedimiento similar.

Las variaciones en el procedimiento para medir la compactación, respecto al utilizado para determinar la profundidad, son el uso de un instrumento distinto, en este caso el penetrómetro y los parámetros utilizados, que para el caso de la compactación, el departamento de conformidad del ingenio Pantaleón, estableció que el suelo debe tener una resistencia no mayor a 200psi, medidas con penetrómetro, el cual tiene un medidor de presión expresado en libras por pulgada cuadrada, el muestreo se llevó de manera aleatoria y representativa, tras el segundo paso de volteo, con la finalidad de obtener una cama adecuada para el correcto desarrollo del cultivo de la caña de azúcar, al igual que con la profundidad, medidas en la misma etapa de preparación del suelo.

### Control de plagas del suelo a través de su preparación mecanizada.

La preparación mecanizada del suelo, a través de las técnicas sujetas a estudio, provee control de plagas que se encuentran en el suelo en estado larvario y de pupa al momento de realizar las labores. En el presente estudio, se centró en el control de dos plagas: 1. La gallina ciega y 2. El gusano de alambre, debido a que son las que más afectan al cultivo de la caña de azúcar y que por ser plagas del suelo que afectan al sistema radicular de la planta, se encuentran ubicadas en el mismo al momento de efectuar la preparación del suelo, por lo que pueden ser susceptibles de control cultural, al exponer a nivel de suelo, dichas plagas a predadores, o a la deshidratación generada por el sol.

Para el presente estudio, se determinó el control de plagas derivado de ambas técnicas de preparación del suelo, comparando estadísticamente los resultados obtenidos entre técnicas, así como los resultados de cada técnica con el nivel de presencia de la plaga en el suelo considerado dentro del rango de aceptación económica, es decir nivel de daño económico (cantidad de plaga presente en el cultivo que puede ser tolerada sin aplicar un

método de control específico, debido a que el daño que causa tiene repercusiones económicas menores a las de la aplicación del tratamiento de control).

Los niveles de daño económico establecido para la gallina ciega y el gusano de alambre en el cultivo de caña de azúcar en Guatemala, son los siguientes:

- Para gallina ciega: 1 larva por metro cuadrado, pierde 0.62 toneladas métricas por hectárea.
- Para gusano de alambre: 1 larva por metro cuadrado, pierde 0.40 toneladas métricas por hectárea.

La presencia de ambas plagas en el suelo, fue medida en cantidad de larvas por metro cuadrado.

Determinación del tamaño de la muestra:

La fórmula para determinar el tamaño de la muestra, es decir la cantidad de unidades muestrales, fue la misma para ambas plagas del suelo, siendo la siguiente:

Tamaño de muestra = Área total/número de muestras

En donde:

- El área total, es la multiplicación de 100 por 100 metros equivalente de una hectárea.
- Numero de muestras: es el 5% representativo al tamaño de la muestra equivalente a 23 tomas.

Ubicación de unidades muestrales:

La ubicación de las unidades muestrales en el terreno, se determinó de la siguiente manera:

En base al tamaño de la muestra, se distribuye de manera aleatoria con el método de zigzag con la finalidad de realizar una toma de datos significativa al tamaño del área.

Procedimiento para la toma de la muestra:

Para el muestreo de gallina ciega y gusano alambre, se ejecutó el procedimiento con el apoyo de personal del área de preparación de suelos, cuantificando la presencia de estas plagas a nivel de suelo, tras el primer paso de las secuencias tradicional y reducción de pasos de preparación de suelos, con un método de muestreo tipo zigzag, con un mínimo de 23 tomas de datos, el cual fue representativo al área de una hectárea, con una dimensión de 1mt X 1mt por muestra.

### 3.2.7 Manejo agronómico del cultivo

#### Preparación de suelos.

Para la preparación del suelo antes de la siembra de caña, se realizan las labores mínimas aplicando conceptos de conservación del suelo.

Con la preparación de tierras se desarrollan las labores de labranza mecanizada necesarias para disponer los suelos para la siembra de la caña de azúcar. Esta tiene una secuencia de labores que se planifica en función de las características del suelo tal como: Textura, composición del perfil del suelo, contenido de humedad, presencia de plagas del suelo y malezas, presencia y profundidad de capas compactadas, edad y altura del cultivo anterior en caso de ser una renovación del cultivo. Los pasos de la preparación de suelos inician con el subsuelo, esta consiste en eliminar la compactación, producida por el paso de la maquinaria pesada que transita por suelos húmedos y las capas endurecidas, permitiendo que las labores subsiguientes se lleven a efecto con óptima profundidad, para permitir buen desarrollo radicular a la planta. (16)

#### Siembra.

Es realizada en forma manual y semi - mecánica. Es importante considerar las variedades de caña a sembrar y la cantidad del área que será sembrada cada mes. La siembra o renovación de plantaciones se realiza cuando la productividad de los lotes de la caña disminuye su producción a niveles en que es rentable renovar. La semilla germinara entre los 20 días posteriores a la siembra. (16)

#### Riego.

La caña de azúcar en Guatemala necesita la aplicación de riego para mantener a la planta con el agua suficiente para su buen desarrollo vegetativo durante los meses de sequía (enero a mayo). Utilizamos el riego por gravedad, compuestas, impulso y aspersión, siendo el sistema más eficiente el de aspersión, utilizando tecnología de desplazamientos frontales o pivotes transportables. (16)

#### Control de malezas.

La caña de azúcar, tiene una gran competencia de malezas por los nutrientes, agua, luz y espacio en los campos, para ello utilizamos diversos métodos de control apoyados con equipos mecánicos y control biológico. (16)

#### Fertilización.

La fertilización, consiste en aplicar al suelo los nutrientes que la planta necesita para su buen desarrollo. Se utilizan diversas mezclas que responden a los requerimientos de la planta en las diversas unidades de manejo. Los principales elementos en la fertilización son: el nitrógeno, el fósforo, el potasio y el azufre en dosis variables. (16)

Aplicación de madurantes.

Los productos químicos utilizados como maduración, permiten uniformizar la maduración de los tallos en los campos y como consecuencia planificar mejor la cosecha, además de incrementar el porcentaje de sacarosa por tonelada. (16)

Se aplica al 100% de los campos a cosechar en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero, dependiendo de la madurez natural y en los campos a cosechar en los meses de marzo y abril. (16)

Cosecha.

La época de cosecha se inicia a mediados de noviembre y termina a finales de abril, época seca en Guatemala, el cultivo es cosechado a los 12 meses de edad cuando alcanza la mayor concentración de azúcar. El corte manual se realiza en un 75% del área y para ello utilizamos el machete australiano, con un diseño ergonómico que permite menor cansancio en el cortador y mejor calidad en la actividad de corte. En la caña cosechada manualmente es importante controlar el porcentaje de impurezas (tierra, hojas, tallos inmaduros) que reducen la capacidad de recuperación de azúcar en el proceso industrial. En el corte manual el cortador tiene un promedio de 6 toneladas por día (cortando caña quemada), la política del Ingenio Pantaleón prohíbe la contratación de mano de obra infantil y mujeres para el corte de caña manual. (16)

Un 25% de la caña es cosechada en forma mecánica. Las cosechadoras permiten realizar la labor más fácilmente, aunque tiene el inconveniente de entregar producto de inferior calidad al realizado manualmente. El corte en verde es posible utilizando esta maquinaria, sin encarecer los costos de operación. (16)

Alce.

La caña cosechada manualmente es alzada las 24 horas del día. Esta labor es realizada inmediatamente después del corte. Para tener la menor cantidad de horas la caña en campo. Cada hora que la materia prima esté en el campo después de iniciado el proceso de cosecha pierde azúcar y no deben de pasar más de 36 horas desde el inicio del proceso hasta su molienda de fábrica. (16)

Transporte.

Para el transporte de caña se utilizan cabezales que dependiendo de la ruta pueden halas de 2 a tres jaulas cañeras. (16)

### 3.2.8 Análisis de la Investigación

#### Análisis de varianza F de Fisher

Existe una distribución F diferente para cada combinación de tamaño de muestra y número de muestras. Por tanto, existe una distribución F que se aplica cuando se toman cinco muestras de seis observaciones cada una, al igual que una distribución F diferente para cinco muestras de siete observaciones cada una. A propósito de esto, el número de distribuciones de muestreo diferentes es tan grande que sería poco práctico hacer una extensa tabulación de distribuciones. Por tanto, como se hizo en el caso de la distribución t, solamente se tabulan los valores que más comúnmente se utilizan. En el caso de la distribución F, los valores críticos para los niveles 0,05 y 0,01 generalmente se proporcionan para determinadas combinaciones de tamaños de muestra y número de muestras. (28)

#### Análisis de costos variables.

Se utilizó el método de costos variables, el cual hace referencia a los costos de producción que varían dependiendo del nivel de producción, tomando los costos totales y los costos fijos y determinar el ahorro que produce la técnica de reducción de pasos sobre la técnica tradicional en la preparación de suelos, para el cultivo de la caña de azúcar del ingenio Pantaleón.

Los costos fijos proporcionados por el coordinador del área de preparación de suelos, está constituido por los costos de operación de la maquinaria necesaria para ejecutar labores de volteo, pulido y surqueo establecidos por el departamento de ingeniería agrícola del ingenio Pantaleón.

Los costos finales es el resultado de las hectáreas producidas por el área de preparación de suelos, multiplicando cada paso de volteo, pulido y surqueo por los costos fijos de operación, ejecutando una regla de tres, determinando el costo por operación (cuadro 7), los costos están expresados en dólares americanos.

Figura 4 Formula costos variables

$$CV=CT-CF$$

Fuente: Elaboración propia 2015

### 3.2.9 Recursos.

#### a. Recurso de operación

El proceso de ejecución de las secuencias a evaluar, técnica tradicional y reducción de pasos, se proporcionó el costo de la inversión en el proceso de preparación de suelos siendo estos únicamente los costos fijos de tractor e implemento. El proyecto fue financiado por el Ingenio Pantaleón S.A.

Cuadro 7: Recurso de operación.

Maquinaria	USD tractor/hora	Horas trabajadas	Total hora trabajadas
J.D. 8345 4WD	74.48	90	6703.2
J.D. 8245 4WD	48.98	188.1	9213.138
Rastro arado	20.15	391.85	7895.7775
Rastra pulidora	31	48.1	1491.1
Surqueador	13.83	161.5	2233.545
Total final	188.44	879.55	27536.7605

Fuente: Área de preparación de suelo

En el cuadro 7 se observa los costos fijos que maneja el área de preparación y adecuación de suelos en el Ingenio Pantaleón, por costos de maquinaria expresados en dólares norteamericanos.

#### b. Recursos humanos

Cuadro 8: Recursos humanos.

Recursos humanos	Hora salarial	Horas	Total
Operador	7.57	303.15	2294.8455
Ayudante	4.73	303.15	1433.8995
Coordinador	47.34	24	1136.16
Supervisor	18.93	40	757.2
Asesor	5.68	100	568
Estudiante	5.68	500	2840
Sumatoria	89.93	1270.3	9030.105

Fuente: Elaboración propia 2015

En el cuadro 8 se puede apreciar un estimado del recurso humano invertido durante la ejecución y elaboración de la investigación, en la cual se observa en las columnas, el costo por hora multiplicado por las horas totales.

c. Recursos de insumos y servicios.

Cuadro 9: Sumatoria de recursos.

	Total
Recursos de operación	31055
Recursos humanos	9030
Recurso económico	40085

Fuente: Elaboración propia 2015

En el cuadro 9 se observa la sumatoria final de los recursos utilizados para la ejecución de la investigación, tomando en cuenta los recursos de operación a nivel de campo y los recursos humanos.

#### 4. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.

Aspectos físicos del suelo.

Profundidad.

Las lecturas de profundidad de las técnicas comparadas en el presente estudio, fueron tomadas durante los meses de noviembre y diciembre del 2014 con el acompañamiento del área de conformidad agrícola del Ingenio Pantaleón S.A. que se encargada de establecer y aplicar los estándares en la empresa agroindustrial.

Cuadro 10: Datos de conformidad agrícola.

gt01	25929	110002	San Antonio la paz I y II	201	221	conforme	25.75
gt01	25930	110002	San Antonio la paz I y II	207	221	conforme	25.5
gt01	25969	110002	San Antonio la paz I y II	301	221	conforme	25.42
gt01	25926	110002	San Antonio la paz I y II	401	221	conforme	25.79
gt01	26456	110002	San Bonifacio	604	221	conforme	24.75
gt01	26804	110002	San Bonifacio	608	221	conforme	26.4
gt01	26452	110002	San Bonifacio	612	221	conforme	25.67
gt01	26340	110002	San Bonifacio	701	221	conforme	25.87
gt01	26341	110002	San Bonifacio	1603	221	conforme	25.42
gt01	26344	110002	San Bonifacio	3502	221	conforme	25.88
gt01	26342	110002	San Bonifacio	3506	221	conforme	25.88

Fuente: Ingeniería Agrícola. 2014.

En el cuadro 10, se observa el resumen de los resultados de los muestreos de profundidad del suelo al aplicar la técnica de reducción de pasos y la técnica tradicional, resultados que aparecen completos en el cuadro 11 del presente documento. Se muestra la información dividida por lotes y la valoración de los datos efectuada por el área de calidad y conformidad agrícola del ingenio Pantaleón, manifestando que estos se encuentran conformes con los parámetros establecidos, es decir entre el rango de 25 a 35 centímetros para ambas técnicas.

Cuadro 11: Mediciones de profundidad en las técnicas tradicional de rastro arado y reducción de pasos.

No.	Profundidad del suelo en centímetros/ Técnica tradicional	Conformidad/ No Conformidad con los parámetros	Profundidad del suelo en centímetros/ Técnica de reducción de pasos	Conformidad/ No Conformidad con los parámetros
1	24.75	Conforme	25.87	Conforme
2	26.4	Conforme	25.42	Conforme
3	25.67	Conforme	25.88	Conforme
4	25.75	Conforme	25.79	Conforme
5	25.5	Conforme	25.42	Conforme

Observaciones: parámetro de conformidad: entre 25 a 35 centímetros

Fuente: Elaboración propia 2015

De lo anterior se establece que ambas técnicas proveen una profundidad adecuada, es decir, dentro de los rangos establecidos como aceptables para el cultivo, proveyendo las condiciones óptimas para el desarrollo radicular de las plantas de caña de azúcar, permitiendo la emergencia de los brotes, contribuyendo a la captación e infiltración del agua, la absorción de nutrientes y la estabilidad física de las plantas de caña de azúcar en su etapa madura, aspectos que proveen una cosecha adecuada, de lo que se deriva que siendo iguales los resultados entre las técnicas evaluadas, se puede aplicar una u otra para el cultivo de la caña de azúcar si la variable profundidad fuese la crítica o como parte de las variables que interactúan para hacer posible una cosecha exitosa.

Como complemento de lo anterior, en la cuadro 11 que se presenta a continuación, se observan las mediciones obtenidas a nivel de campo en ambas técnicas y el análisis estadístico a través de la prueba de T para muestras apareadas, del que se puede determinar que las técnicas evaluadas, son semejantes o estadísticamente iguales. Además, se puede observar, que la mediase encuentra dentro del rango aceptable o de conformidad (dentro del parámetro de 25cms a 35cms de profundidad), por lo que para el caso de la variable evaluada, se acepta la hipótesis nula planteada, en el sentido de que la técnica de reducción de pasos, no induce variaciones en la profundidad del suelo con respecto a la técnica tradicional de preparación del suelo en el cultivo de la caña de azúcar en el ingenio Pantaleón.

Cuadro 12 Resultados de prueba t apareada InfoStat profundidad. .

Prueba de t (muestras apareadas)										
Obs (1)	Obs (2)	N	media (dif)	Media (1)	Media (2)	DE (dif)	LI (95%)	LS (95%)	T	Bilateral
R. Pasos	Tratamientos	5	0.06	25.68	25.61	0.75	- 0.87	0-99	0.18	0.8629

Fuente: Elaboración propia 2015

Análisis de varianza:

La variable profundidad, se sometió a un análisis de significancia por medio de la herramienta infostat (programa estadístico), la cual generó el siguiente resultado de las medias evaluadas entre las técnicas de reducción de pasos y tradicional.

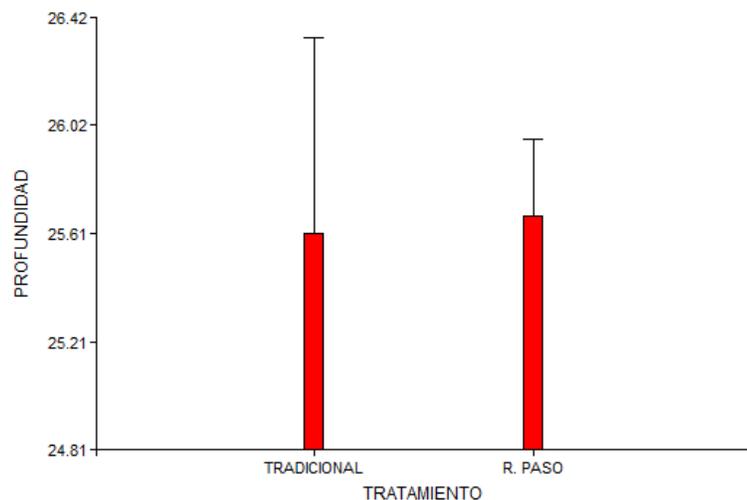
Cuadro 15 Análisis de varianza diferencia de significancia profundidad. .

<b>Análisis de la varianza</b>					
Variable	N	R2	R2	Aj	CV
Profundidad	10	0.01	0	0	1.75
<b>(SC Tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.01	1	0.01	0.05	0.8276
TRATAMIENTO	0.01	1	0.01	0.05	0.8276
Error	1.62	8	0.20		
Total	1.63	9			
<b>Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.65573</b>					
Error: 0.2021 gl=8					
TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.		
R. Pasos	25.68	5	0.20	A	
TRADICIONAL	25.61	5	0.20	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )					

Fuente: Elaboración propia, utilizando el paquete estadístico Infostat. 2015

Con base en la información anterior, se elaboró la siguiente gráfica, en la que se reflejan los resultados obtenidos de la profundidad para ambas técnicas, expresada en centímetros.

Figura 5 Profundidad secuencia tradicional y reducción de pasos.



Fuente: Elaboración propia 2015

En la figura 5, se observan los resultados del análisis de varianza generados por la herramienta InfoStat, indicando que entre las medias de profundidad, no existe diferencia significativa, debido a que ambas técnicas sujetas a la investigación en la preparación del suelo mecanizado cumplen con los parámetros de profundidad establecidos por el área de conformidad agrícola del ingenio Pantaleón, información que apoya las conclusiones emanadas de los análisis descritos con anterioridad.

En la figura 5, se observa que no existe estadísticamente diferencia significativa en el análisis de varianza, la gráfica indica que con la técnica de reducción de pasos se obtiene menor media de profundidad, pero que las diferencias no son significativas estadísticamente, favoreciendo las condiciones físicas del suelo para el paso de surqueo, proporcionando las condiciones adecuadas para el desarrollo fenológico del cultivo de la caña de azúcar.

En conclusión, las técnicas sometidas a investigación son estadísticamente iguales, respecto a la variable evaluada, cumpliendo con los parámetros establecidos por el departamento de conformidad agrícola, siendo efectivos ambos tratamientos para lograr la profundidad óptima para el cultivo de la caña de azúcar.

#### Compactación

Con relación a la variable compactación del suelo, esta fue medida para ambas técnicas evaluadas tras la ejecución del segundo paso de volteo en la preparación del suelo mecanizado, se utilizó como parámetro general que la compactación ideal del suelo debe estar bajo los 200 psi. Las medias fueron sometidas al análisis estadístico por medio de la herramienta InfoStat, obteniéndose los resultados que se presentan a continuación:

Cuadro 14 Medias de las mediciones de compactación en la técnica tradicional y la técnica de reducción de pasos

N o.	Compactación del suelo medida en PSI/ Técnica tradicional	Conformidad / no conformidad	Compactación del suelo medida en PSI/ Técnica reducción de pasos	Conformidad/ no conformidad
1	185	Conforme	175	Conforme
2	175	Conforme	180	Conforme
3	175	Conforme	185	Conforme
4	180	Conforme	164	Conforme
5	185	Conforme	170	Conforme

Fuente: Elaboración propia 2015

Observaciones: La compactación debe ser menor a 200 PSI para ser la adecuada o ser conforme.

En el cuadro 14 se observan las mediciones de compactación expresadas en libras por pulgada cuadrada (PSI), obtenidas a nivel de campo con el método de muestreo tipo zigzag en los lotes donde se aplicaron las técnicas de reducción de pasos y técnica tradicional, estableciéndose que la compactación medida en los suelos donde se aplicaron ambas técnicas, se encuentra por debajo del parámetro permisible, establecido por el área de conformidad agrícola del ingenio Pantaleón, siendo menor a 200 psi, por lo que se aceptan la hipótesis nula planteada que indica que “la técnica de reducción de pasos, no induce variaciones en la compactación del suelo con respecto a la técnica tradicional de preparación del suelo en el cultivo de la caña de azúcar en el ingenio Pantaleón” y la hipótesis de investigación que establece que “la técnica de reducción de pasos, inducirá condiciones de profundidad y compactación del suelo acordes a los parámetros establecidos en el ingenio Pantaleón para el cultivo de la caña de azúcar”.

Lo anteriormente expresado, se apoya también en el análisis estadístico efectuado, mediante prueba de T y el análisis de varianza, cuyos resultados se presentan a continuación:

Cuadro 15 Resultado de prueba t apareada para la variable compactación

Prueba de t (muestras apareadas)										
Obs (1)	Obs (2)	N	Media (dif)	Media (1)	Media (2)	DE (dif)	LI (95%)	LS (95%)	T	Bilatera I
R. Pasos	Tratamientos	5	5.20	180.00	174.80	11.95	- 9.63	20.03	0.97	0.3855

Fuente: Elaboración propia 2015

En el cuadro 15, se presenta el resultado de la prueba de T para el análisis de las mediciones de compactación, mediante la que se determina estadísticamente que no existe diferencia significativa entre las técnicas evaluadas, aseveración que se comprueba al efectuarla prueba de medias de Fisher que se muestra en la cuadro14.

También se establece que las medias para ambas técnicas, se encuentran dentro del parámetro de 200 PSI, establecido por el departamento de conformidad agrícola del ingenio Pantaleón para el cultivo de la caña de azúcar en el proceso de preparación de suelo mecanizado.

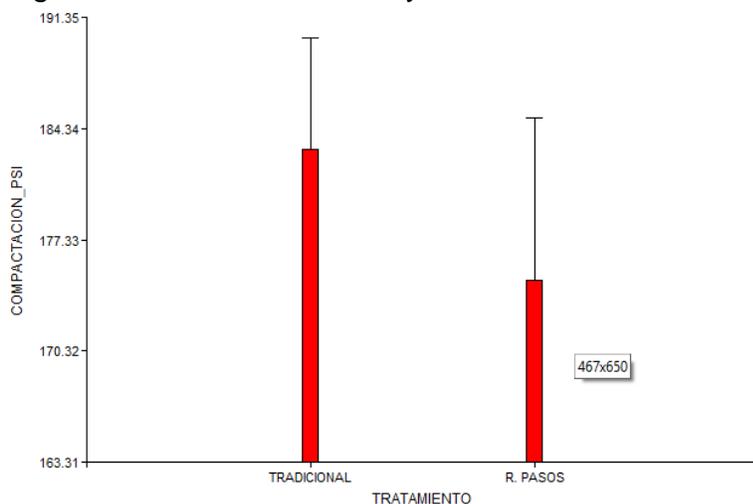
Cuadro 16 Resultado de prueba t apareada para la variable compactación.

<b>Análisis de la varianza</b>					
Variable	N	R2	R2	Aj	CV
Profundidad	10	0.30	0	.21	3.96
<b>(SC Tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	168.10	1	168.10	3.36	0.1044
TRATAMIENTO	168.10	1	168.10	3.36	0.1044
Error	400.80	8	50.10		
Total	568.90	9			
<b>Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.65573</b>					
Error: 50.1000 gl=8					
TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.		
R. Pasos	183.00	5	3.17	A	
TRADICIONAL	174.80	5	3.17	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )					

Fuente: Elaboración propia 2015

En la cuadro 16, se observa el resultado generado por la herramienta InfoStat, sometiéndolas medias de compactación de suelos de las técnicas evaluadas, obteniendo como resultado, que las medias estadísticamente evaluadas no son significativamente diferentes, expresando que ambas técnicas son iguales, en cuanto a las características físicas en la preparación del suelo. Se puede observar también que las medias de ambas técnicas cumplen con los parámetros establecidos por el departamento de conformidad agrícola del ingenio Pantaleón. Lo expresado aquí se puede observar gráficamente a continuación:

Figura 6 Técnica tradicional y técnica de reducción de pasos, compactación.



Fuente: Elaboración propia 2015

La técnica de reducción de pasos, según la figura 6, en base a las mediciones de compactación a nivel de campo con el penetrómetro, presenta menor compactación del suelo tras el segundo paso de volteo, expresando mejor resultado en las medias evaluadas, estableciendo las condiciones adecuadas para el paso de surqueo y proporcionando mejores condiciones edáficas para el desarrollo del cultivo de la caña de azúcar, por lo que cumple con los requerimientos establecidos por el departamento de conformidad agrícola del ingenio.

La técnica tradicional, en base a los resultados obtenidos a nivel de campo, con una presión menor a 200psi, cumplió con los parámetros establecidos por el departamento de conformidad agrícola, proporcionando las condiciones edáficas necesarias para el correcto desarrollo del cultivo de la caña de azúcar, no existiendo diferencia significativa con la técnica de reducción de pasos sometida a investigación en la preparación del suelo mecanizado.

Se concluye que estadísticamente no existe diferencia significativa, cumpliendo con el parámetro establecido por el departamento de conformidad agrícola del ingenio Pantaleón, propiciando una cama de suelo adecuada, fomentando la aeración, la infiltración de agua y nutrientes necesarios para el correcto desarrollo del cultivo de la caña de azúcar, por lo que se establece que para lograr una compactación adecuada, la técnica de reducción de pasos puede sustituir a la técnica tradicional, por obtener mejores resultados en sus medias y por ser estadísticamente iguales.

Control de plagas del suelo.

Control de gallina ciega.

Los muestreos realizados tras el paso de volteo en las técnicas de reducción de pasos y la técnica tradicional, por el método zigzag para la preparación del suelo mecanizado en el ingenio Pantaleón se presentan en el cuadro 17, los cuales se sometieron a la evaluación estadística de t apareada con la finalidad de identificar diferencias significativas entre ambas técnicas.

Los resultados se presentan mostrando la cantidad de larvas de gallina ciega expuestas mediante el uso de ambas técnicas, aspecto que se considera relevante, debido a que es útil para el control de esta plaga del suelo al exponerla a las condiciones climáticas que le son perjudiciales y a organismos que se alimentan de esta plaga.

Cuadro 17: Muestreo de gallina ciega.

No	Cantidad de larvas de gallina ciega expuestas mediante el uso de la técnica tradicional	Cantidad de larvas de gallina ciega expuestas mediante el uso de la técnica de reducción de pasos
1	3	1
2	3	0
3	2	0
4	3	2
5	2	0
6	1	1
7	2	0
8	1	0
9	1	1
10	1	1
11	2	1
12	1	0
13	1	1
14	1	0
15	1	2
16	1	0
17	2	1
18	1	1
19	3	1
20	3	0
21	3	1
22	3	0
23	3	0

Fuente: Elaboración propia 2015

Como se observa en el cuadro 17 reflejando el muestreo de gallina ciega a nivel de campo tras el primer paso de volteo en las técnicas de reducción de pasos y técnica tradicional, se determina el número de larvas expuestas en la preparación del suelo mecanizado para el cultivo de la caña de azúcar del ingenio Pantaleón.

Los datos del muestreo de plaga a nivel de campo se sometieron a un análisis de varianza para determinar si existe diferencia significativa entre ambas técnicas evaluadas, la exposición de esta plaga fue cuantificados en un área de 1 metro cuadrado y 23 muestras por hectárea representando a un 5% del total del área, durante los meses de noviembre y diciembre del año 2014.

Cuadro 18 Resultado de prueba de T apareada con InfoStat gallina ciega. .

Prueba de t (muestras apareadas)										
Obs (1)	Obs (2)	N	Media (dif)	Media (1)	Media (2)	DE (dif)	LI (95%)	LS (95%)	T	Bilatera I
TRADICIONAL	R. PASOS	23	1.30	1.91	0.61	1.15	0.81	1.80	5.46	<0.0001

Fuente: Elaboración propia 2015

En la cuadro 18, con base al resultado obtenido tras el análisis estadístico de la prueba de T apareada, se determina que no existe semejanza entre las técnicas de reducción de pasos y la técnica tradicional. Se puede observar que la técnica tradicional, es superior a la técnica de reducción de pasos, esta última genera que la exposición de larvas de gallina ciega de sea menor, lo que genera un proceso ineficiente para el control de la plaga, obteniendo como resultado baja exposición al sol y la eliminación de la misma por medio de predadores en el proceso de preparación de suelos.

Esta aseveración, se comprueba al efectuar el análisis de varianza, como a continuación se presenta:

Cuadro 19 Análisis de varianza, muestro larva de Gallina Ciega. .

<b>(SC Tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	19.57	1	19.57	31.53	<0.0001
TRATAMIENTO	19.57	1	19.57	31.53	<0.0001
Error	27.30	44	50.10		
Total	46.87	44			
<b>Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.65573</b>					
Error: 50.1000 gl=8					
TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.		
R. Pasos	1.91	23	0.16	A	
TRADICIONAL	0.61	23	0.16		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )					

Fuente: Elaboración propia 2015

En la cuadro 19, observamos que los resultados de análisis de varianza, indican que si existe diferencia significativa, debido a que la técnica de reducción de pasos no cumple con la exposición de larvas de la plaga de gallina ciega, obteniendo mejores resultados la técnica tradicional en el control cultural de la plaga de gallina ciega.

La técnica de reducción de pasos, genera costos adicionales si se decide aplicar otros métodos de control de la plaga, como el control químico, superando el umbral económico en el cultivo de la caña de azúcar, por lo que se acepta la hipótesis de investigación planteada que establece que “la técnica de reducción de pasos, provocará variaciones en el control de gallina ciega y gusano de alambre, en el cultivo de la caña de azúcar en el ingenio Pantaleón, en comparación a la técnica tradicional de preparación del suelo”, siendo esta variación negativa para el cultivo, por lo que en función de control de plagas, no se recomienda utilizar la técnica de reducción de pasos, por no contribuir al control de la plaga de gallina ciega, exceptuando que las poblaciones de gallina ciega sean poco numerosas o que no exista la plaga en el contexto territorial del cultivo, ya que la presencia a nivel de suelo provoca que la planta sea afectada en el sistema radicular, limitando la absorción de agua y nutrientes, afectando la carga de glucosa en el tallo en el cultivo de la caña de azúcar.

### Control de gusano de alambre

Los muestreos realizados tras el paso de volteo en las técnicas de reducción de pasos y la técnica tradicional, por el método zigzag que se presentan en el cuadro 20, los cuales se sometieron a la evaluación estadística de t apareada con la finalidad de identificar diferencias significativas entre ambas técnicas, utilizando las 23 tomas de manera aleatoria representativos al área a un 5%, con una dimensión de un 1 metro cuadrado por muestra, cuantificando la exposición a nivel de suelo en el proceso de preparación de suelos en el ingenio Pantaleón.

Los resultados se presentan mostrando la cantidad de larvas de gusano de alambre expuestas mediante el uso de ambas técnicas, aspecto que se considera relevante, debido a que es útil para el control de esta plaga del suelo al exponerla a las condiciones climáticas que le son perjudiciales y a organismos que se alimentan de esta plaga.

Se divide en las técnicas evaluadas por columna, enumerando las filas por la cantidad de muestras tomadas a nivel de campo durante la ejecución de las secuencias tras el primer paso de volteo con los implementos de rastro arado y rastro arado con rodos en el proceso de preparación de suelos mecanizados del ingenio Pantaleón para el cultivo de la caña de azúcar, durante los meses de noviembre y diciembre del año 2014.

Cuadro 20: Control de gusano alambre

N.	Cantidad de larvas de gusano de alambre expuestas mediante el uso de la técnica tradicional	Cantidad de larvas de gusano de alambre expuestas mediante el uso de la técnica tradicional
1	1	0
2	2	0
3	2	0
4	1	0
5	2	0
6	2	1
7	1	0
8	1	1
9	2	1
10	2	0
11	3	1
12	2	0
13	2	1
14	3	1
15	1	1
16	1	1
17	2	0
18	1	1
19	2	0
20	1	0
21	1	0
22	1	1
23	1	0

Fuente: Elaboración propia 2015

En el cuadro 20 se observan 23 muestras por el número de larvas expuestas por la técnica evaluada a nivel de suelo, obtenidas a nivel de campo en las áreas evaluadas de las fincas del ingenio Pantaleón, ejecutadas al finalizar el primer paso de volteo en las técnicas de reducción de pasos y la técnica tradicional en el proceso de preparación de suelos.

Se determinó que la técnica evaluada es la que ejecuto menor exposición de larvas de la plaga de guano de alambre, limitando una correcta eliminación de la plaga por medio del control cultural, limitando la presencia de la plaga a nivel de suelo para ser controladas por condiciones adversas o depredadores para el control de la misma, presentando mejor resultado la técnica tradicional en la preparación del suelo mecanizado para el cultivo de la caña de azúcar.

Cuadro 21 Resultado de prueba de T apareada en InfoStat gusano de alambre

Prueba de t (muestras apareadas)										
Obs (1)	Obs (2)	N	media (dif)	Media (1)	Media (2)	DE (dif)	LI (95%)	LS (95%)	T	Bilateral
TRADICIONAL	R. PASOS	23	1.17	1.61	0.43	0.65	0.89	1.46	8.66	<0.0001

Fuente: Elaboración propia 2015

El resultado de la evaluación estadística de T apareada que se observa en la cuadro 21, se determina que no existe semejanza entre la técnica de reducción de pasos y la técnica tradicional en el control cultural de la plaga de gusano de alambre. Se observa que el testigo relativo genera mejor exposición de larvas de la plaga a nivel de suelo ante la técnica evaluada, reflejando ineficiencia para el control de la misma, obteniendo como resultado baja exposición a condiciones atmosféricas adversas y la eliminación de la misma por medio de predadores en el proceso de preparación de suelos para el cultivo de la caña de azúcar.

Esta aseveración, se comprueba al efectuar el análisis de varianza, como a continuación se presenta:

Cuadro 22 Análisis de varianza, nuestro larva de gusano alambre

<b>(SC Tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15.85	1	15.85	40.71	<0.0001
TRATAMIENTO	15.85	1	15.85	40.71	<0.0001
Error	17.13	44	50.10		
Total	32.98	45			
<b>Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.65573</b>					
Error: 0.3893 gl=8					
TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.		
R. Pasos	1.61	23	0.13	A	
TRADICIONAL	0.43	23	0.13		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )					

Fuente: Elaboración propia 2015

Tras el análisis del diseño de T apareada como se observa en la cuadro 22, se ejecutó el análisis de varianza por medio de la herramienta de Infostat en las técnicas de reducción de pasos y técnica tradicional de la plaga de gusano de alambre, verificando la eficiencia para la exposición de la plaga para ambas técnicas, determinando estadísticamente que son

significativamente diferentes, ya que la técnica a evaluar presento problemas con la exposición de la plaga. La técnica tradicional tras el primer paso de rastro arado, en base al muestro, se determinó que la exposición de la plaga de gusano de alambre es eliminada por medio del control cultural ejecutado en el proceso de preparación del suelo para el cultivo de la caña de azúcar, resultando la técnica sometida a evaluación con una mínima de exposición de larvas de la plagas, debido a problemas mecánicos en la modificación del implemento, no ejecutando la exposición de larvas a nivel de suelo, enterrándolo y alejándolo de cualquier tipo de depredar, o deshidratación al ambiente.

La técnica de reducción de pasos, genera costos adicionales si se decide aplicar otros métodos de control de la plaga, como el control químico, superando el umbral económico en el cultivo de la caña de azúcar, por lo que se rechaza la hipótesis de investigación planteada que establece que “La técnica de reducción de pasos aplicada al cultivo de caña de azúcar en el ingenio Pantaleón, no provocará que la exposición en el suelo de larvas de gallina ciega y gusano de alambre, sea menor a lo establecido como umbral de daño económico para ambas plagas”, siendo esta variación negativa para el cultivo, por lo que en función de control de plagas, no se recomienda utilizar la técnica de reducción de pasos, por no contribuir al control de la plaga de gusano de alambre, exceptuando que las poblaciones de la plaga, sean poco numerosas o que no exista la plaga en el contexto territorial del cultivo, ya que la presencia a nivel de suelo provoca que la planta sea afectada en el sistema radicular, limitando la absorción de agua y nutrientes, afectando la carga de glucosa en el tallo en el cultivo de la caña de azúcar.

Ahorro de costos, técnica de reducción de pasos.

El costo de las operaciones ejecutadas durante la evaluación de las técnicas de reducción y técnica tradicional, se sometieron a un análisis de costos variables, en el cual se tomaron en cuenta los costos fijos que se observan en el cuadro 23 y las hectáreas realizadas por el área de preparación de suelos, con la finalidad de determinar el costo por hectárea convirtiéndose en los costos finales con la finalidad de identificar los costos variables por medio de la formula (Figura 4), todo expresado en Dólares (USD)

Cuadro 23: Costos fijos, precios de operación de tractores por caballaje e implementos.

Maquinaria	USD tractor/hora
J.D. 8345 4WD	74.48
J.D. 8245 4WD	48.98
Rastro arado	20.15
Rastra pulidora	31
Surqueador	13.83
Total	188.44

Fuente: Elaboración propia 2015

En el cuadro 23 se observa el costo por operación de las pasos que perteneces a las secuencias que estructuran las técnicas de reducción de pasos y técnica tradicional, donde se especifica el costo total expresado en dólares de cada técnica evaluada, en la preparación del suelo mecanizado del ingenio Pantaleón, durante los meses de noviembre y diciembre del año 2014.

Cuadro 24. Costo final de las operaciones ejecutadas en la investigación.

Secuencia	Labor				
	1r. Volteo	2do Volteo	1ra Pulida	Surqueo	Total
Reducción de pasos	3501.31	4154.257		2512.4	10167.97
Secuencia tradicional	4241.119	3534.43	2079.48	2638.02	12493.05
Costo Final					22661.02

Fuente: Elaboración propia 2015

En el cuadro 24 se observa el resultado de los costos por laboren cada columna, las cuales fueron sometidas las hectáreas trabajadas durante la investigación multiplicadas por los costos fijos de operación, observándose el ahorro en el paso de pulida en la técnica de reducción de pasos, las sumatorias de costos de las secuencias por técnicas y las sumatorias totales del costo de la ejecución de las técnicas evaluadas expresados en dólares americanos, obteniendo los costos finales para el proceso de preparación de suelos en el cultivo de la caña de azúcar del ingenio Pantaleón.

En base a la fórmula de la figura 6, se ejecutó el análisis económico, cuadro 17, utilizando el resultado de los costos fijos y finales, cuadros 23 y 24, determinado en las técnicas de reducción de pasos y técnica tradicional los costos variables en el proceso de preparación de suelos para el cultivo de la caña de azúcar en el ingenio Pantaleón.

Cuadro 25: Análisis de Costos variables.

USD	COSTOS VARIABLES	COSTO FINAL	COSTO FIJO
\$	22,472.58	22661.02	188.44

Fuente: Elaboración propia 2015

En el cuadro 25 se observa el costo fijo siendo el resultado de las sumatorias del costo del tractor e implemento por hora utilizada, el costo final son en la multiplicación de las hectáreas trabajadas por los costos fijos (cuadro 21) de las técnicas de reducción de pasos y la técnica tradicional expresada en dólares (USD), obteniendo como resultado un total de USD 22,476.58, de costos variables, los cuales se consolida en función a las hectáreas realizadas y las horas que requirieron en el proceso de preparación y adecuación de suelos.

## Ahorro económico

El ahorro se determinó por medio de la operación matemática de regla de tres que tiene la técnica de reducción de pasos sobre la técnica tradicional en el proceso de preparación de suelo en el cultivo de la caña de azúcar del ingenio Pantaleón, la cual se observa en el cuadro 26 con la finalidad de indicar el porcentaje de ahorro que existe entre la técnica evaluada y el testigo relativo.

Cuadro 26: Ahorro de costos.

Ahorro de costos	
Técnica Tradicional	\$ 12493.05
Técnica Reducción de pasos	\$ 10167.97
Ahorro	\$ 2325.08
%	\$ 18.61

Fuente: Elaboración propia 2015

En el cuadro 26 se observan los costos de la técnica tradicional y reducción de pasos expresada en dólares americanos, tras la ejecución de las hectáreas programadas, por medio de la operación matemática regla de tres, expresa una reducción de operación del 18.61% por sobre la técnica tradicional, consecuencia de la eliminación del paso de pulida en la secuencia sometida a evaluación, concluyendo que la técnica de reducción de pasos reduce sus costos de operación con la eliminación de hectáreas en la preparación del suelo para el cultivo de la caña de azúcar del ingenio Pantaleón .

Cuadro 27 Cuadro de comparación de costos de operación por fincas.

<b>Finca San Bonifacio</b>		<b>Lote</b>	<b>USD</b>	<b>Ha totales</b>	<b>Ha Física</b>	<b>Finca San Antonio</b>		<b>Lote</b>	<b>USD</b>	<b>Ha totales</b>	<b>Ha Física</b>
10004		701	2.359,83	44,22	14,56	604	1.878,19	32,17	8,1		
		1603	920,10	14,46	4,73	608	2.430,91	49	10,92		
		3502	1.307,67	24,81	8,27	612	4.891,41	99,42	25,19		
		3506	2.603,27	42,06	14,03		9.200,50	180,59	44,21		
			7.190,86	125,55	41,59		<b>CU</b>	<b>50,947</b>	<b>208,109</b>	<b>1269</b>	
			<b>CU</b>	<b>57,275</b>	<b>172,9</b>						
10686		102	2.488,88	33,65	11,86	201	1.271,04	19,72	11,52		
		301	771,71	13,29	4,43	207	2.021,51	34,24	18,15		
			3.260,59	46,94	16,29		3.292,55	53,96	29,67		
			<b>CU</b>	<b>69,463</b>	<b>200,16</b>		<b>CU</b>	<b>61,018</b>	<b>110,972</b>	<b>1941</b>	
			10167.97	117.38	352.85		12493.05	111.97	4.480.753		

Fuente: Elaboración propia 2015

#### Descripción de tabla

- Finca: Número correlativo y nombre de finca, ingenio Pantaleón.  
 Lote: Número correlativo de lote, ingenio Pantaleón  
 Ha totales: Hectáreas totales ejecutadas por técnica.  
 Ha físicas: Hectáreas por lote ejecutadas por técnica.  
 USD: Costo de hectáreas expresado en dólares americanos.  
 CU: Costo Unitario de hectáreas expresado en dólares americanos.

En el cuadro 27 se pueden observar los costos de operaciones de manera detallada por finca, hectáreas totales las cuales están determinadas por la sumatoria de hectáreas físicas multiplicadas por pasos realizados por cada secuencia de las técnicas de reducción de pasos y técnica tradicional en el proceso de preparación de suelos para el cultivo de la caña de azúcar del ingenio Pantaleón durante los meses de noviembre y diciembre del año 2014.

## 5. CONCLUSIONES

- Conclusiones relativas a la profundidad y compactación del suelo

1. Con base en los resultados del estudio, se estableció que la profundidad y la compactación del suelo, producidas al utilizar la técnica tradicional de preparación del suelo y la técnica de reducción de pasos, son estadísticamente iguales, por lo que se rechaza la hipótesis de investigación planteada y en consecuencia se acepta la hipótesis nula que establece que “la técnica de reducción de pasos, no inducirá variaciones en la profundidad y compactación del suelo con respecto a la técnica tradicional de preparación del suelo en el cultivo de la caña de azúcar en el ingenio Pantaleón”.

2. De lo expuesto se deriva que la técnica de reducción de pasos puede ser utilizada en sustitución a la técnica tradicional, si lo que se busca es obtener una profundidad y compactación similar a esta última, debido a que presentan los mismos resultados en cuanto a variables físicas críticas del suelo evaluadas.

3. Al comparar los resultados obtenidos en la aplicación de la técnica evaluada y el testigo relativo con los parámetros establecidos por el departamento de conformidad agrícola del ingenio Pantaleón, para profundidad y compactación del suelo, se concluye que la profundidad y compactación producidas por ambas técnicas se encuentran dentro de los parámetros considerados como idóneos por el ingenio Pantaleón, es decir, dentro de los 25 a 35 centímetros de profundidad y menor a 200 psi de compactación, por lo que para el caso de ambas variables se puede aplicar cualquiera de las dos técnicas evaluadas para la preparación del suelo en el cultivo de caña de azúcar en el contexto territorial, climático y edáfico en el que se efectuó el estudio.

4. En consecuencia de lo anterior, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación planteada en el sentido que “la técnica de reducción de pasos, inducirá condiciones de profundidad y compactación del suelo, acordes a los parámetros establecidos en el ingenio Pantaleón, para el cultivo de la caña de azúcar”.

- Conclusiones vinculadas al control de gallina ciega y gusano de alambre

5. Respecto a las variables evaluadas vinculadas al control en el suelo de gallina ciega y gusano de alambre, en el cultivo de caña de azúcar en el ingenio Pantaleón, se obtienen las siguientes conclusiones:

6. La técnica evaluada no es tan efectiva como el testigo relativo para el control de gallina ciega y gusano de alambre, debido a que al efectuar el análisis estadístico se determinó que la técnica tradicional realiza mejor control de ambas plagas, en comparación con la técnica de reducción de pasos, por lo que se rechaza la hipótesis nula planteada y se acepta la hipótesis de investigación cuyo enunciado es el siguiente “la técnica de reducción de pasos, provocará variaciones en el control de gallina ciega y gusano de alambre, en el cultivo de la caña de azúcar en el ingenio Pantaleón, en comparación a la técnica tradicional de preparación del suelo”, estableciéndose que para condiciones edáficas de

presencia de gallina ciega y gusano de alambre en el cultivo de caña de azúcar, es preferible utilizar la técnica tradicional a la técnica de reducción de pasos, por ser la primera más efectiva para el control de ambas plagas.

7. Respecto al resultado obtenido de comparar la presencia en el suelo de larvas de gallina ciega y gusano de alambre, derivada de la aplicación de la técnica de reducción de pasos, con relación a los parámetros establecidos como umbral de daño económico para ambas plagas, se rechaza la hipótesis de investigación planteada, aceptando la hipótesis nula, debido a que “la técnica de reducción de pasos aplicada al cultivo de caña de azúcar en el ingenio Pantaleón, no provocará que la presencia en el suelo de larvas de gallina ciega y gusano de alambre, sea menor a lo establecido como umbral de daño económico para ambas plagas”.

8. Acorde a lo anterior, se establece que ésta técnica no es recomendable para su aplicación cuando exista alta presencia de gallina ciega y gusano de alambre o cuando se considere que no es posible su control con la técnica evaluada, debido a que la aplicación de la misma provocará que se incurra en costos adicionales para la eliminación de ambas plagas del suelo.

- Conclusiones relacionadas con el análisis económico

Del análisis económico efectuado al testigo relativo y a la técnica evaluada, se derivan las siguientes conclusiones:

9. Al comparar los costos de la aplicación de la técnica tradicional con los de la técnica de reducción de pasos, se establece que esta última, generó un ahorro en el uso de maquinaria en la preparación del suelo en el ingenio Pantaleón, siendo este del 18.61%, por lo que se rechaza la hipótesis nula formulada y se acepta la hipótesis de investigación que indica que “la técnica de reducción de pasos, provee ahorro de costos en la preparación del suelo para el cultivo de la caña de azúcar en el ingenio Pantaleón, con relación a la técnica tradicional”.

10. Con base en lo concluido, se establece a la vez que en términos económicos de operación de maquinaria, representa un ahorro de costos de operación la técnica de reducción de pasos sobre la tradicional, en la preparación del suelo mecanizado para el cultivo de la caña de azúcar, por lo que debe considerarse como una alternativa viable bajo ciertas condiciones.

- Conclusión general

11. De lo expresado anteriormente, se concluye que la técnica de reducción de pasos se debe aplicar cuando no exista gallina ciega o gusano de alambre en el suelo del cultivo o si existiendo presencia de estas plagas se considere que sus poblaciones puedan ser controladas mediante el uso de la técnica, de lo contrario, no debe aplicarse la reducción de pasos en preparación del suelo para el cultivo de la caña de azúcar, porque se incurrirá en mayores costos para el control de las mismas mediante otros métodos adicionales.

## 6 RECOMENDACIONES.

1. Al sector productor de la caña de azúcar en Guatemala se recomienda: investigar e implementar nuevas técnicas de preparación de suelos, para el mejoramiento tecnológico en la producción de la caña de azúcar, contribuyendo con información a nivel de campo y experiencias en la utilización de maquinaria agrícola, elementos que pueden mejorar la producción y rendimiento del cultivo en el área de preparación de suelos.
2. A la empresa agroindustrial del ingenio Pantaleón, con base a la evidencia aportada por el presente estudio, se recomienda: no utilizar la técnica de reducción de pasos en el proceso de adecuación y preparación de suelos para el cultivo de la caña de azúcar, debido a la ineficiencia en la exposición a nivel de suelos de las plagas de gallina ciega y gusano alambre, mismas que superan el umbral de daño económico en el cultivo, elevando los costos de producción y afectando el rendimiento del mismo, con la excepción de sitios en los que la incidencia de ambas plagas sea mínima o no exista presencia de las mismas.
3. A la carrera de agronomía se recomienda: dar seguimiento al estudio, exhortando a estudiantes para que efectúan investigaciones que profundicen en la técnica de reducción de pasos, en contextos y cultivos en los que la incidencia de plagas no sobrepase el umbral económico del cultivo, puesto que se demostró que la eficiencia para alcanzar la profundidad y compactación adecuadas es igual a la secuencia tradicional, en el proceso de adecuación y preparación de suelos para el cultivo de la caña de azúcar, y con relación a costos, esta produce ahorro, por lo que resulta importante darle seguimiento a la investigación antes de descartar su uso.
4. Al productor agrícola que ejecuta labores de preparación de suelos mecanizada: se recomienda, utilizar la técnica de reducción de pasos donde la incidencia de gallina ciega y gusano alambre sea baja, o el control de las plagas no supere el umbral económico del cultivo a trabajar, haciendo esta recomendación con fundamentos estadísticos en cuanto a la profundidad y la descompactación, generando un ahorro significativo con la eliminación del paso de pulida.

## 7 BIBLIOGRAFIA

1. Campollo, P. S. 1999. Fundamentos de mecanización agrícola para caña de azúcar. Ingenio Pantaleón. Guatemala. 43 p.

### 7.1 E - Grafías

2. Abcagro, Toda la agricultura chilena en internet. (En línea), Chile, La compactación de los suelos agrícolas, consultado el 09 de junio del 2015 Disponible en: [http://www.abcagro.com/riego/compactacion\\_suelos.asp](http://www.abcagro.com/riego/compactacion_suelos.asp)

3. Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. 1991, consultado el 12 de junio 2015. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/tec-cana.pdf>

4. Cardona, L. 2012. My proyecto. El proyecto de biología, la caña de azúcar, (en línea). Consultado 24 de mayo 2015. Disponible en <http://myproyectodebiologia.blogspot.com/2012/08/la-cana-de-azucar.html>

5. EEAOC, (Estación experimental agroindustrial obispo colombres), Fertilización en caña de azúcar, (en línea), consultado 19 de marzo 2015, disponible en <http://www.eeaoc.org.ar/contenidos/3/2/8>

6. Esquit, V.E. (2004) ANALISIS TÉCNICO-ECONOMICO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR PIVOTE CENTRAL Y UN MODULO DE RIEGO POR ASPERSION MOVIL EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR. Consultado 27 de marzo 2015. Disponible en [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_2057.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2057.pdf)

7. Eugenia, M. 2013, muestreos de suelo. Instituto nacional de tecnología agropecuaria. Consultado 20 de mayo 2015. Disponible en <http://inta.gov.ar/documentos/muestreo-de-suelos-1>

8. FONAIAP (Fondo de investigaciones agropecuarias), Pedro, N. 1986, El suelo y su manejo en caña de azúcar, (en línea), consultado 16 de marzo 2015, disponible en [http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_tec/FonaiapDivulga/fd20/texto/suelo.htm](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd20/texto/suelo.htm)

9. FUNDACAÑA (Fundación azucarera para el desarrollo, la productividad y la investigación), Edson, E. Principales insectos plagas de la caña de azúcar, (en línea), consultado 20 de marzo 2015, disponible en <http://fundacana.blogspot.com/2009/11/principales-insectos-plagas-de-la-cana.html>

10. FUNDACAÑA (Fundación azucarera para el desarrollo, la productividad y la investigación), Edson, E. Principales enfermedades de la caña de azúcar, (en línea), consultado 20 de marzo 2015, disponible en <http://fundacana.blogspot.com/2009/11/principales-enfermedades-de-la-cana-de.html>

11. FUNIBER (Fundación universitaria iberonamericana). 2005. Composición nutricional. Base de datos internacional de composicional nutricional. Caña de azúcar. Ecuador. Consultado 31 de marzo 2015. Disponible en <http://composicionnutricional.com/alimentos/CANA-DE-AZUCAR-5>
12. Gerencie, 2010, Costos variables. (en línea). Consultado el 11 de junio 2015, disponible en <http://www.gerencie.com/costo-variable.html>
13. Google earth. Recuperado de <https://www.google.com/earth> el 02 de febrero de 2014.
14. Hernández, J.E. (2007) RECOMENDACIONES PARA DISMINUIR LA POBLACIÓN DE PLAGAS DE LA RAÍZ EN CAÑA DE AZUCAR. Consultado 15 de marzo 2015, Disponible en [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_1814.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1814.pdf)
15. Ibáñez, J.J., 2007, Profundidad efectiva y Capacidades de Uso del Suelo, (en línea), consultado 26 de marzo 2015, disponible en <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/03/14/61286>
16. Ingenio Pantaleón. 2015. Productos y exportación. Agrícola. consultado 28 de marzo 2015, (en línea), disponible en [http://pantaleon.swproyectos.com.php5-18.dfw1-2.websitetestlink.com/sites/default/files/popup2/pop\\_up.html](http://pantaleon.swproyectos.com.php5-18.dfw1-2.websitetestlink.com/sites/default/files/popup2/pop_up.html)
17. LAMECA (La Mediateca del Caribe), 1999, la caña de azúcar, (en línea), consultado 18 de junio 2015, disponible en [http://www.lameca.org/dossiers/canne/4\\_esp.htm](http://www.lameca.org/dossiers/canne/4_esp.htm)
18. Lorenzo, N.M. (2015). La caña de azúcar, consultado el 30 de junio 2015, disponible en: <http://canadeazucar.galeon.com/>
19. Márquez, J.M.; López, E. Programa MIP-CENGICAÑA, Nivel de daño económico para las plagas de importancia en caña de azúcar y su estimación con base en un programa diseñado por CENGICAÑA (Centro de investigación de la Caña de Azúcar), consultado el 25 de marzo 2015, disponible en <http://www.cengicana.org/publicaciones/manejo-rata/Concepto del Nivel de Dano Economico.30.pdf>
20. Martínez, J.S. (2007) CONTRIBUCIÓN A LA EFICIENCIA EN LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR. Consultado 27 de marzo 2015. Disponible en [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_2312.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2312.pdf)
21. NETAFIM (Riego por goteo, aspersión y micro-aspersión), 1999, Requerimientos del suelo, cultivo de la caña de azúcar, (en línea), consultado 6 de junio 2015, disponible en [http://www.sugarcane crops.com/s/soil\\_requirement/](http://www.sugarcane crops.com/s/soil_requirement/)

22. Nito, A. 2009, requerimientos edáfico y climático, cultivo de la caña de azúcar, (en línea), consultado 01 de junio 2015, disponible en [http://www.aiscosolutions.com/makeitsugar/?page\\_id=26](http://www.aiscosolutions.com/makeitsugar/?page_id=26)
23. Robles, E. 2012, El azúcar en Guatemala, su producción y explotación, (en línea), consultado 19 de marzo 2015, disponible en [http://www.deguate.com/artman/publish/produccion-guatemala/El-azucar-en-guatemala-su-produccion-y-exportacion.shtml#.VYiJxPI\\_Okr](http://www.deguate.com/artman/publish/produccion-guatemala/El-azucar-en-guatemala-su-produccion-y-exportacion.shtml#.VYiJxPI_Okr)
24. Sánchez, M. 2013, Del azúcar refinado y los derivados de la caña de azúcar, Azúcar Nutrición, (en línea), consultado 25 de marzo 2015, disponible en <http://cientomasuno.blogspot.com/2013/03/del-azucar-y-los-derivados-de-la-cana.html>
25. Simmons, C; Tarano, JM; Pinto JH. 1959. Clasificación y reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José Pineda Ibarra. 1000p. Consultado 10 de junio 2015. Disponible en <http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/maps/LatinAmerica Atlas/Meeting2010/08Sep/14 Guatemala.pdf>
26. Sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge. (2015). Wikipedia, La enciclopedia libre. Consultado 05 junio 2015. Disponible en <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Sistema de clasificaci%C3%B3n de zonas de vida de Holdridge&oldid=82886434>.
27. Solares, J.H. (2012), Proceso de implementación del corte verde en un frente de cosecha mecanizada de caña de azúcar. Consultado 27 de marzo 2015. Disponible en <http://biblio3.url.edu.gt/Tesis/2012/06/04/Solares-Jorge.pdf>
28. SUÁREZ, Mario, (2012), Inter aprendizaje de Probabilidades y Estadística Inferencial. Consultado el 20 de febrero 2015. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos91/prueba-hipotesis-f-fisher-empleando-excel-y-winstats/prueba-hipotesis-f-fisher-empleando-excel-y-winstats.shtml#ixzz3hssMSk3P>

## 8 CRONOGRAMA

		PROYECTO DE INVESTIGACION 2014-2015													
MES		JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO
ACTIVIDADES	OBSERVACION														
	SELECCIÓN DEL TEMA														
	SELECCIÓN DEL AREA														
	REVISION BIBLIOGRAFICA														
	ENTREGA DEL ANTEPROYECTO														
	APROBACION DEL PROYECTO														
	VISITA DE CAMPO														
	MUESTREOS DE SUELO														
	MUESTREOS DE PLAGAS														
	TOMA DE DATOS Y TABULACION														
	ANALISIS DE DATOS														
TRABAJO FINAL															

## 9 ANEXOS

Figura 7 Rastro arado con rodos, primer volteo con rodos en la prueba de reducción de pasos



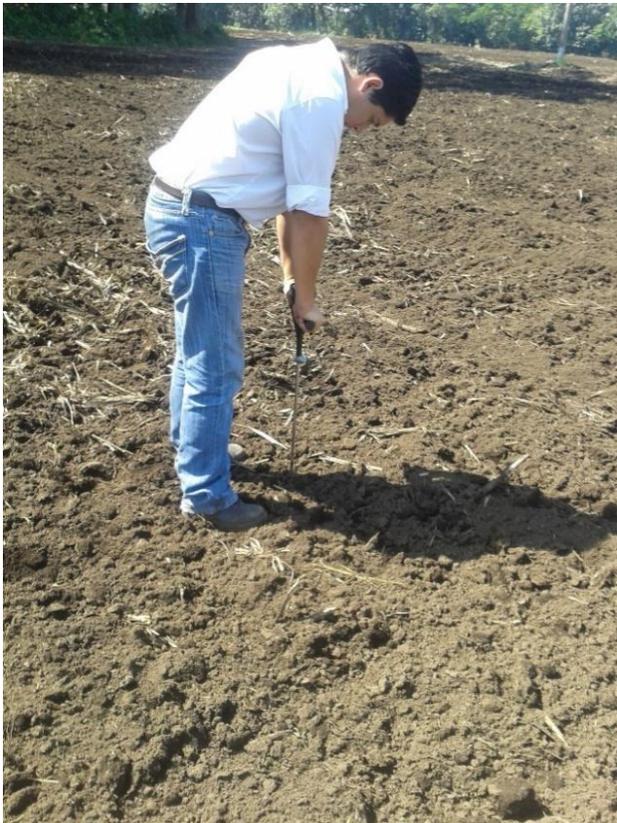
Fuente: Mario López 2014

Figura 8 Segundo paso de volteo, rastro arado con rodos.



Fuente: Mario López 2014

Figura 9 Mediciones de compactación, segundo pasó de volteo de rastro arado con rodo.



Fuente: Mario López 2014

Figura 10 Mediciones de profundidad, segundo pasó de volteo rodos.



Fuente: Mario López 2014

Figura 11 Primero y segundo paso de volteo, rastro arado con rodos.



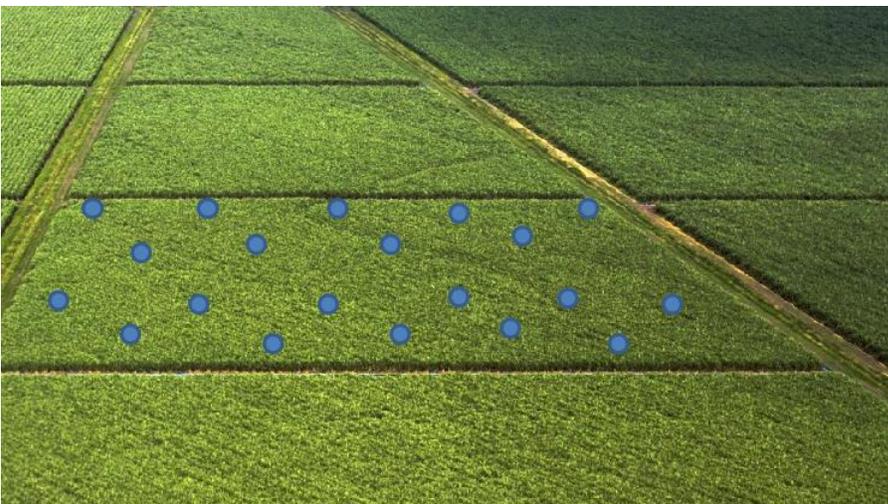
Fuente: Mario López. 2014.

Figura 12 Rastro arado con rodos



Fuente: Mario López 2014

Figura 13 Diseño de muestro de 23 lecturas en 1 hectárea tipo zigzag.



Fuente: Método zigzag, muestreo de suelos (7)