

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

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA PILOTO AUTOMÁTICO EN LA LABOR DE SURQUEO DE CAÑA  
DE AZÚCAR; INGENIO SAN DIEGO (2012-2014)  
ESTUDIO DE CASO

**CHRISTIAN OMAR RODRIGUEZ ORTIZ**  
CARNET 20141-06

ESCUINTLA, OCTUBRE DE 2018  
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

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

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA PILOTO AUTOMÁTICO EN LA LABOR DE SURQUEO DE CAÑA  
DE AZÚCAR; INGENIO SAN DIEGO (2012-2014)  
ESTUDIO DE CASO

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

POR  
**CHRISTIAN OMAR RODRIGUEZ ORTIZ**

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

ESCUINTLA, OCTUBRE DE 2018  
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.  
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO  
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO  
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.  
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS  
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

## **AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS**

DECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ  
SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA  
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

**NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**  
ING. JORGE ALFREDO CARDONA ORELLANA

**TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN**  
MGTR. ADÁN OBISPO RODAS CIFUENTES  
MGTR. RICARDO ARMANDO MORALES RAMÍREZ  
ING. OSCAR ROLANDO SALAZAR CUQUE

Escuintla, 01 de Octubre de 2018.

Miembros  
Consejo de la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas  
Universidad Rafael Landívar  
Guatemala

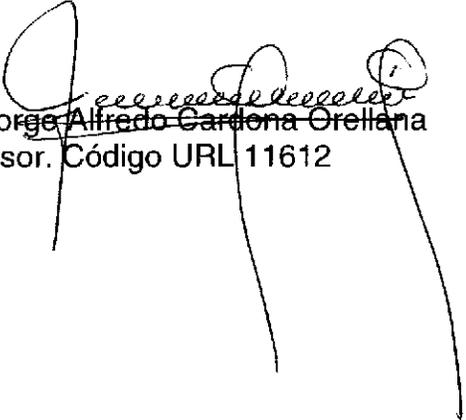
Estimados Profesionales:

Por este medio informo a ustedes que he asesorado en la elaboración de su informe final de trabajo de graduación, al estudiante: Christian Omar Rodríguez Ortiz, carné 2014106, titulado: "Implementación de sistema piloto automático en la labor de surqueo de caña de azúcar; Ingenio San Diego (2012-2014)".

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

Sin otro particular,

Atentamente:

  
Ing. Agr. Jorge Alfredo Cardona Orellana  
Asesor. Código URL 11612



### Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Estudio de Caso del estudiante CHRISTIAN OMAR RODRIGUEZ ORTIZ, Carnet 20141-06 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES, de la Sede de Escuintla, que consta en el Acta No. 06169-2018 de fecha 22 de septiembre de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA PILOTO AUTOMÁTICO EN LA LABOR DE SURQUEO DE CAÑA DE AZÚCAR; INGENIO SAN DIEGO (2012-2014)

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

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 25 días del mes de octubre del año 2018.



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

## **AGRADECIMIENTOS**

A:

Dios que me dio la vida, la sabiduría y la fuerza de poder superarme.

La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas por ser parte de mi formación.

La Sede de Escuintla, de Ciencias Ambientales y agrícolas por darme la oportunidad de seguir mi carrera profesional.

Mi familia por estar a mi lado en todo momento.

## **DEDICATORIA**

A:

Dios: Quien siempre me da su infinito amor, fortaleza para superar las diferentes etapas de la vida y me bendice con las personas que me rodean.

Mi madre: Hilda Nohemí Ortiz Vasquez, quien siempre se ha dedicado a guiarme de la forma correcta, acompañado de su amor incondicional.

Mi Esposa e Hijos: Mariela Barrios de Rodriguez y mis hijos Krista, Hilda y José Julián, quienes han sido la fuerza que me ha impulsado a seguir adelante.

Mis hermanos: Pahola y Julio, quienes me han acompañado siempre y me han apoyado en todo momento.

La memoria de mi Padre: **+** Julio Humberto Rodriguez Figueroa, quien sembró en mí, las bases de los buenos valores y principios.

# ÍNDICE

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
2.1.1 Clasificación taxonómica de la caña de azúcar.....	3
2.1.2 Importancia del cultivo de caña de azúcar.....	3
2.1.3 Morfología de la caña de azúcar.....	4
2.1.3.1. Raíz.....	4
2.1.3.2. Tallo.....	4
2.1.3.3. Hoja.....	4
2.1.3.4. Flor.....	5
2.1.4. Requerimientos climáticos y edáficos.....	5
2.2. Surqueo o Surcado.....	6
2.2.1. Calibración del implemento.....	6
2.3. Sistema de Control de Dirección por GPS.....	7
2.3.1. Segmento espacial o subsistema satelital.....	9
2.3.2. Segmento de control o subsistema de control.....	9
2.3.3. Segmento de usuario o subsistema del usuario.....	9
2.3.4. Antecedentes de la utilización de sistemas GPS en América Latina.....	10
2.3.5. Ventajas de sistemas GPS.....	12
2.3.6. Libros de base de datos.....	12
2.3.7. Mapeo y récord.....	13
2.3.8. Características.....	13
2.4. Agricultura de Precisión.....	13
3. CONTEXTO.....	16
5. OBJETIVOS.....	20

5.1.	General .....	20
5.2.	Específicos .....	20
6.	Metodología .....	21
6.1.	Diseño de Instrumentos y Procedimientos .....	21
6.2.	Procesos de Recolección de datos .....	21
6.3.	Variables de estudio .....	21
6.4.	Análisis de la Información .....	22
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	23
7.1.	Intervención.....	23
7.2.	Resultados de las Variables de Estudio.....	24
7.2.1.	Promedio de horas por hectárea trabajada (surcada).....	24
7.2.2.	Eficiencia de operación (Ha/hr) .....	25
7.2.3.	Costo unitario de la hectárea surcada .....	27
7.2.4.	Análisis económico de la labor de surcado .....	29
8.	CONCLUSIONES.....	30
9.	RECOMENDACIONES .....	31
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	32
11.	ANEXOS.....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
Tabla 1. Promedio de horas de labor por unidad de área surcada durante la zafra 12/13 y 13/14 utilizando sistema de piloto automático y sistema convencional.....	24
Tabla 2. Promedio de hectáreas surcadas por hora durante la zafra 12/13 y 13/14 utilizando sistema de piloto automático y sistema convencional.....	26
Tabla 3. Costo unitario de hectárea surcada durante la zafra 12/13 y 13/14 utilizando sistema de piloto automático y sistema convencional.....	27
Tabla 4. Costo unitario de hectárea surcada durante la zafra 12/13 y 13/14 utilizando sistema de piloto automático y sistema convencional.....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
Figura 1. Surcador de tres cuerpos, sistema convencional.....	6
Figura 2. Promedio de horas de surcado por hectárea utilizando el sistema de piloto automático y convencional, en la zafra 12/13 y 13/14. ....	25
Figura 3. Promedio de hectáreas surcadas por hora utilizando el sistema de piloto automático y convencional, en la zafra 12/13 y 13/14. ....	26
Figura 4. Costos unitarios por hectárea utilizando el sistema de piloto automático y convencional, en la zafra 12/13 y 13/14. ....	28

## **Implementación de sistema piloto automático en la labor de surqueo en el cultivo de la caña de azúcar; Ingenio San Diego (2012-2014)**

### **Resumen**

El ingenio San Diego posee una extensión de 15,200 hectáreas y en la zafra 2012-2013 se mecanizaron 2,701 hectáreas para siembras. El ingenio tiene como propósito optimizar los recursos existentes, la aplicación de nuevas tecnologías que le permitan, la reducción de costos y aumento de la producción. Uno de estos recursos es la maquinaria agrícola, por este motivo busca la mejora continua en el proceso de preparación de suelos, por lo que se ha implementado un programa de agricultura de precisión. Se presenta como una herramienta viable, como parte del objetivo de maximizar los recursos existentes en el campo y generar las máximas ganancias en las labores productivas, pero es necesario concretizar los resultados obtenidos hasta ahora. Con el presente estudio de caso se documentó la información de utilización de este sistema en las labores de siembra de caña de azúcar en ingenio San Diego, para comparar la eficiencia, costo por unidad de área, rentabilidad y las ventajas. Se comparó la información del surqueo convencional, contra el surqueo utilizando el sistema de piloto automático, dando como resultado en la zafra 13/14, la eficiencia de hectáreas surcadas por hora en el sistema de piloto automático es de 1.62 hectáreas por hora y el sistema convencional es de 0.96 hectáreas por hora; el costo por hectárea del sistema de piloto automático es de Q 199.55, mientras el sistema convencional tiene un costo de Q 281.39, lo cual representa un ahorro de Q 81.84 por hectárea al utilizar el sistema de piloto automático.

# 1. INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar constituye un rubro importante en la economía nacional. La agroindustria azucarera de Guatemala ha venido creciendo permanentemente desde 1960 hasta llegar a ubicar a Guatemala como el quinto país exportador de azúcar a nivel mundial, el segundo en Latinoamérica y el tercer lugar en productividad en el ámbito mundial. Genera alrededor de 65,000 empleos directos y 350,000 empleos indirectos. El azúcar para la zafra 2009/2010 representó el 10.25% del PIB de las exportaciones totales del país, 20.80% de las exportaciones agrícolas y generó US\$ 493 millones de divisas, las cuales son la base para el intercambio económico del país que incluyen alimentos, contribuyendo a la seguridad alimentaria (Melgar, 2012).

El Banco de Guatemala reporta un crecimiento del 4.1% registrado por el producto interno bruto en el cuarto trimestre del 2015, del cual el 18.1% lo representa la Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca. (Banguat, 2016)

El ingenio San Diego posee una extensión productiva de 15,000 hectáreas y en la zafra 2013-2014 se mecanizaron 6,000 hectáreas para siembras y renovaciones. El ingenio tiene como propósito el optimizar los recursos para mecanización agrícola existentes, así como la aplicación de nuevas tecnologías y métodos que le permitan, la reducción de costos y aumento sostenible de la producción. Uno de estos recursos es la maquinaria agrícola, por este motivo busca la mejora continua en el proceso de preparación de suelos para el cultivo de la caña de azúcar, por lo que se ha implementado un programa de maquinaria y equipo agrícola bajo el concepto de Agricultura de Precisión.

Por lo anteriormente mencionado, se realizó este estudio de caso donde se recopilaron y analizaron datos relacionados con la labor de surqueo bajo el sistema de mecanización utilizando la tecnología de Piloto Automático. El objetivo, documentar la información de la utilización de este sistema en las labores de siembra en el cultivo de caña de azúcar en el ingenio San Diego, para comparar la eficiencia, costo por unidad de área, rentabilidad y las ventajas del sistema.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Caña de Azúcar

La caña de azúcar es uno de los cultivos más viejos en el mundo, se cree que empezó hace unos 3,000 años como un tipo de césped en la isla de Nueva Guinea y de allí se extendió a Borneo, Sumatra e India. Estudios realizados por investigadores sobre el origen de la caña de azúcar, reportan y concuerdan que *Saccharum spontaneum*, *S. sinense* y *S. barberi* se desarrollaron en el área de Birmania, China, e India en el Asia meridional. Las formas relativamente jugosas de las dos últimas especies fueron utilizadas en los comienzos del cultivo y procesamiento de la caña de azúcar en la India y China. Cuando dichas especies se extendieron a otras regiones sufrieron de alguna forma diversos cruzamientos con otras gramíneas, apareciendo las especies *S. robustum* y *S. officinarum* en las islas del sureste de Indonesia, y en el área de Nueva Guinea respectivamente. La caña se extendió de forma muy lenta, y llega al sur de España 773 d. de J.C. y Sicilia (950 d. de J. C.). La ruta hacia el oeste continuo y la caña llega a Madeira y a las islas canarias en 1420 (Korich, 2010).

Cristóbal Colon introdujo la caña en América en su segundo viaje (1493) a la isla de La Española, cañas que no prosperaron; tan sólo en 1501 fueron introducidas plantas que sí crecieron, el éxito de las plantaciones de azúcar en Santo Domingo llevó a su cultivo a lo largo del Caribe y América del sur. Se le atribuye a Pedro de Alvarado la introducción de la caña de azúcar a Guatemala. Los primeros trapiches se establecieron en San Jerónimo, Baja Verapaz. Luego se extendió hasta el sur, desde Antigua Guatemala hasta Escuintla y Santa Rosa, donde todavía existen ruinas de las construcciones que predominaron durante la dominación española (Korich, 2010).

El desarrollo de la industria azucarera en Guatemala se incrementó a partir de 1932, cuando se estableció el consorcio azucarero. Entonces la producción era de 25,000 toneladas de azúcar blanca y se elaboraba en doce ingenios: Pantaleón, Concepción, El Baúl, El Salto, Palo Gordo, Mirandilla, Tululá, Santa Teresa, San Diego, Los Cerritos, Santa Cecilia y Mauricio. Actualmente los Ingenios que permanecen operando son: El Pilar y Tululá en el departamento de Retalhuleu, Palo Gordo en Suchitepéquez, Santa Teresa en Guatemala, La Sonrisa en Santa Rosa y Pantaleón; Santa Ana, Concepción, Madre Tierra, La Unión, Magdalena y Trinidad en Escuintla. La caña de azúcar se cultiva en la costa sur de Guatemala, en una superficie de 180,000 hectáreas. Los suelos son

derivados de ceniza volcánica con distintos grados de meteorización y con ciertas características especiales como la alta fijación de fósforo, particularmente en suelos andisoles, los cuales representan el 25% de los suelos usados para la producción de caña de azúcar. La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) es una gramínea tropical de la familia Poaceae; un pasto gigante emparentado con el sorgo y el maíz en cuyo tallo se forma y acumula un jugo rico en sacarosa compuesto que al ser extraído y cristalizado en el ingenio forma el azúcar. La sacarosa es sintetizada por la caña gracias a la energía tomada del sol durante la fotosíntesis. El tronco de la caña de azúcar está compuesto por una parte sólida llamada fibra y una parte líquida, el jugo, que contiene agua y sacarosa. En ambas partes también se encuentran otras sustancias en cantidades muy pequeñas (Korich, 2010).

### **2.1.1 Clasificación taxonómica de la caña de azúcar**

La clasificación taxonómica de la caña de azúcar según Cifuentes (2009) es la siguiente:

División:	Embryophita
Subdivisión:	Angiospermae
Clase:	Monocotyledoneae
Orden:	Glumiflorae
Familia:	Gramineae
Tribu:	Andropogonae
Subtribu:	Saccharae
Género:	Saccharum
Especie:	<i>Saccharum officinarum</i>

### **2.1.2 Importancia del cultivo de caña de azúcar**

El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala ha evolucionado a través de los años, ubicándose como una de las actividades agrícolas más importantes del país, tanto por la magnitud del área sembrada, como por los índices de eficiencia logrados en el país. La agroindustria genera más de 350,000 empleos directos e indirectos, beneficiando a comercializadoras, banca y proveedores de servicios (Cifuentes, 2009).

### **2.1.3 Morfología de la caña de azúcar**

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es una Poaceae tropical, un pasto gigante emparentado con el sorgo y el maíz en cuyo tallo se forma y acumula un jugo rico en sacarosa, compuesto que al ser extraído y cristalizado forma lo que conocemos como azúcar (Cifuentes, 2009).

#### **2.1.3.1. Raíz**

El sistema radicular proporciona anclaje, absorbe agua y minerales y almacena materiales de reserva. La raíz primaria está ubicada en el embrión. Las raíces que se originan en el tallo, en la banda de raíces o la zona cercana al entrenudo, son adventicias. Las raíces pueden ser primordiales y permanentes (Cifuentes, 2009).

#### **2.1.3.2. Tallo**

Es el órgano de mayor importancia (desde el punto de vista económico), debido a que en él se almacenan los carbohidratos producto de la fotosíntesis de la planta. Posteriormente, por medio del proceso industrial se obtienen la sacarosa y otros derivados como la melaza, bagazo y cachaza. El tallo se forma al momento de germinar las yemas. Entonces se produce un primer eje (tallo primario) con sus respectivos nudos y entrenudos. Del tallo primario, a su vez, germinan yemas basales que producen nuevos brotes denominados tallos secundarios; de estos brotan más yemas basales y se originan los tallos terciarios y así sucesivamente, hasta constituir una aglomeración o macollamiento. Los tallos están formados por nudos y entrenudos. En cada nudo está inserta una hoja, las hojas están distribuidas en forma alterna, en cuya axila se encuentra la yema. En el extremo distal del tallo se halla el meristemo apical (Cifuentes, 2009).

#### **2.1.3.3. Hoja**

La hoja es un órgano especializado, cuya principal función es la de llevar a cabo la fotosíntesis, que es el proceso mediante el cual los cloroplastos convierten la energía lumínica en energía química. También las hojas cumplen un papel importante en el proceso de la respiración celular, en la transpiración y en el intercambio gaseoso. El proceso inverso, conocido como respiración, es el gasto de la energía almacenada, que la planta utiliza para llevar a cabo diferentes procesos

metabólicos. La lámina foliar de la caña de azúcar es ligeramente asimétrica; en ella se encuentran las estomas, que son células especializadas de la epidermis, constan de dos células oclusivas y un poro entre ellas. Por medio de esta estructura se realiza el intercambio gaseoso con el medio ambiente; el número es mayor en la cara abaxial (envés) que en la adaxial (haz) (Cifuentes, 2009).

#### **2.1.3.4. Flor**

El tipo de inflorescencia de la caña de azúcar es una panícula abierta, cuya forma, color tamaño y ramificación dependen de la variedad. La inflorescencia se aparece cuando una serie de condiciones ambientales y fisiológicas favorables se presentan. La formación de la flor tiene aspectos positivos y negativos. La principal ventaja es que constituye una fuente de material para trabajar en los programas de mejoramiento varietal. Una de las desventajas agronómicas es la paralización del crecimiento, asociado generalmente con la formación de corcho, aspecto que es indeseable en la caña de azúcar, ya que disminuye el rendimiento (Cifuentes, 2009).

#### **2.1.4. Requerimientos climáticos y edáficos**

La temperatura, la humedad y la luminosidad, son los principales factores del clima que controlan el desarrollo de la caña. La caña de azúcar es una planta tropical y se desarrolla mejor en lugares calientes (28 °C) y soleados. Cuando prevalecen temperaturas altas la caña de azúcar alcanza un gran crecimiento vegetativo y bajo estas condiciones la fotosíntesis se desplaza hacia la producción de carbohidratos de alto peso molecular, como la celulosa y otras materias que constituyen el follaje y el soporte fibroso del tallo. Se tienen reportes que a bajas temperaturas todas las variedades de caña tienen una menor eficiencia y menor proporción de desarrollo. La caña de azúcar se cultiva con éxito en la mayoría de los suelos, estos deben contener materia orgánica y presentar buen drenaje, tanto externo como interno y un pH que oscile entre 5.5 a 7.8. Su óptimo desarrollo se logra en un rango altitudinal que va desde el nivel del mar (10-20 msnm) hasta los 800 msnm (Cifuentes, 2009).

## 2.2. Surqueo o Surcado

El surcado consiste en abrir surcos paralelos, distribuidos en línea recta o siguiendo curvas previamente diseñadas y establecidas por el proceso de diseño agrícola, a distancias de 1.50 m ó 1.75 m, y a profundidades de 0.15 ó 0.25 m en labranza convencional, y de 0.25 a 0.35 m para siembras de humedad. El propósito es preparar una cama de suelo, en el que la semilla pueda acomodarse, germinar, emerger adecuadamente y permitir el desarrollo del cultivo (García, Villatoro, Díaz, & Sandoval, 2014).

En adición al surcado, puede aplicarse fertilizantes granulados, a base de fósforo y/o potasio, e insecticida para el control de plagas del suelo, adaptando tolvas y mecanismos de descarga sobre la estructura de los surcadores. Esta labor puede hacerse con surcadores de dos, tres o hasta cuatro cuerpos, montados sobre una barra portaherramientas de tipo integral. La potencia requerida depende del tamaño y componentes del equipo utilizado, de la profundidad a la que se trabaje, de la velocidad de operación. La velocidad de operación en el campo es de 6 a 10 km por hora, en condiciones normales (García et al., 2014). La figura 1 muestra un surcador de tres cuerpos convencional con equipo para aplicar fertilizante e insecticida.



**Figura 1.** Surcador de tres cuerpos, sistema convencional

### 2.2.1. Calibración del implemento

De acuerdo a García et al., (2014), los pasos para la calibración del surcador son los siguientes:

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

### **2.3. Sistema de Control de Dirección por GPS**

Por medio de señales satelitales y sensores colocados en el tractor, el sistema piloto automático controla la dirección del tractor de forma automática con una precisión de +/- 2.5 cm. El sistema piloto automático es un sistema desarrollado por Trimble Navigation, para controlar la dirección del tractor de forma automática. Ahora cualquier operador puede hacer trabajos de precisión aun de noche con la misma velocidad, precisión y seguridad que de día, facilitándole su trabajo y ayudándolo a aumentar el rendimiento de su maquinaria al menos en un 100% (Sistemas Avanzados Láser y GPS, S.A., 2015).

La Agricultura de Precisión es un concepto que se basa en la introducción de los sistemas de posicionamiento global (GPS) y los sistemas de información global (GIS) en las operaciones agrícolas. Los sistemas GPS agrícolas funcionan como guía precisa en operaciones terrestres en tractores y aéreas en helicópteros y aviones. Sirven también para coleccionar información para el

levantamiento de mapas y en otras aplicaciones como siembra y cosecha mecanizada (Korich, 2010).

En este sistema los operadores al entrar al polígono a trabajar marcan punto A y punto B para trazar una línea guía. Después aprietan el botón automático y no tocan el volante hasta el otro lado de la cabecera. Al ir sobre la cabecera y apretar el automático, el tractor entrará solo en la pasada que más cerca le quede, permitiendo abrir medios en trabajos donde de forma tradicional sería imposible (Sistemas Avanzados Láser y GPS, S.A., 2015).

Los sistemas GPS RTK que permiten trabajar con precisión de +/- 2.5 cm y poder regresar a la misma línea todo el tiempo, permite sembrar, trasplantar, surcar, cultivar con gran precisión, hasta sistemas DGPS que permiten trabajar con precisión de 20 cm. pasada a pasada pero no se puede regresar a la misma línea como para trabajar en siembra de granos, marca de melgas, preparación de tierras y otros. Con el Piloto automático se han encontrado rendimientos en el uso del tractor del doble o más, aumento en el número de surcos por parcela en un 8% y reducción de mano de obra de deshierbe hasta en un 50% (Sistemas Avanzados Láser y GPS, S.A., 2015).

Los Sistemas de Información Geográfica (GIS) cuentan con tres componentes básicos:

- Programas de computadora
- Datos
- Personal (soporte técnico)

Con la información (datos) levantada en el campo utilizando el GPS, es posible la generación de mapas de los diferentes parámetros de suelo a través del SIG. Analizando la información de estos mapas de rendimiento, se encuentran diferencias significativas de producción en las distintas zonas del campo, incluso en parcelas con apariencia “homogéneas”, lo que indica que si éstas pudieran recibir un trato diferencial, podrían conseguirse sin lugar a dudas mejoras en la producción. El sistema GPS fue concebido originalmente como auxiliar para la navegación de las fuerzas militares de EEUU y expone que este sistema posee tres subsistemas o segmentos que lo componen (Korich, 2010).

### **2.3.1. Segmento espacial o subsistema satelital**

Está constituido por 24 satélites operativos de la constelación NAVSTAR (GPS), los cuales se hayan distribuidos en seis órbitas elípticas, los satélites tienen un período de casi 12 horas y orbitan aproximadamente a 20,000 km de altitud. La configuración de la constelación asegura que siempre haya un mínimo de cuatro satélites visibles desde cualquier punto de la tierra. Los satélites emiten un código pseudo aleatorio (PRN) en su señal mediante el cual son identificados por sus receptores (Korich, 2010).

### **2.3.2. Segmento de control o subsistema de control**

Controlan la información de los satélites y pueden corregir aumentando o disminuyendo el error (Korich, 2010).

### **2.3.3. Segmento de usuario o subsistema del usuario**

Por último, el segmento usuario que es el que realiza su trabajo con base en la información recibida. La señal posee diferentes fuentes de error que en mayor o menor medida le dan precisión al dato que obtiene el usuario en su trabajo (Korich, 2010).

Las fuentes de error en las mediciones pueden deberse a:

- a. Relojes atómicos (están en los satélites).
- b. Errores de órbita (puede ser controlada desde el segmento de control).
- c. Receptores de GPS (mayor o menor calidad)
- d. Atmósfera terrestre (ionosfera de 400 km y troposfera de 80 km de espesor).
- e. Multitrayectoria (cobertizos o árboles que interfieren la señal que debe llegar al receptor GPS),
- f. Geometría satelital (ubicación de los satélites).
- g. Disponibilidad selectiva (inducida por el departamento de defensa de los EE.UU. desde el segmento de control).

El funcionamiento de los banderilleros satelitales se basa en el Sistema de Posicionamiento Global GPS, mediante el cual la maquinaria de aplicación de productos químicos o fertilizantes está

ubicada en tiempo real en un lugar del espacio constantemente. Los tipos de receptores GPS utilizados en la agricultura de precisión poseen las siguientes características: a. Sin corrección diferencial de señal (autónomos). Error típico 6 m pero puede llegar a 20 m. b. Con corrección diferencial de señal (en tiempo real o de post proceso). Error que va desde 0.5 cm. a no más de 1 m.

Para algunas aplicaciones como el uso de banderilleros satelitales no se pueden usar GPS autónomos (de mano) dado que el error es muy significativo, se deberían usar GPS con señal correctora o receptores de GPS que posean un software interno que calculan el error que es inducido por la ionosfera (pero en tiempo real); tampoco sería útil para banderilleros satelitales GPS que calculan el error en post proceso, dado que la maquinaria debe aplicar en el preciso momento que va avanzando (Korich, 2010).

#### **2.3.4. Antecedentes de la utilización de sistemas GPS en América Latina**

En Argentina los sistemas GPS son utilizados en pulverización, fertilización o en sembradoras de grano fino de gran ancho de labor. Básicamente todo el software de banderilleros satelitales cuenta con las mismas funciones para la aplicación y uso en campo, los cuales son muy completos y contemplan todas las situaciones que se pueden presentar durante el trabajo. La empresa colombiana Calima S.A., aplica agricultura de precisión basada en tecnología GPS, para el monitoreo y fumigación aérea de las plantaciones (Korich, 2010).

Para aumentar la eficiencia en el monitoreo, Calima S.A. optó en el 2009 por la utilización de un sistema GPS de precisión para la recolección de información geográfica en tiempo real y el levantamiento de mapas y procesamiento de la información. Este sistema incorpora un receptor GPS de radiofaro, de onda integrada, antena de radiofaro, recolectores de datos y software para el procesamiento de la información en un sistema de información geográfica. El sistema utiliza ondas de radiofaro emitidas por un transmisor, de propiedad de Calima, situado a una distancia de 300 km (Korich, 2010).

Las ventajas de esta tecnología con respecto al método tradicional son evidentes. Con la utilización del GPS, el empleado puede cubrir hasta 61.11 hectáreas por semana. La información generada

puede ser procesada fácilmente en el mismo día, permitiendo la visualización del área recorrida por el trabajador con el fin de garantizar que el área asignada fue cubierta. La incorporación de tecnología GPS de precisión en las plantaciones de plátano y banano, permitió a Calima obtener beneficios en el corto plazo, tales como: un posicionamiento de precisión de aproximadamente 15 centímetros en post-proceso (Korich, 2010).

La posibilidad de seguimiento del tiempo de iniciación y terminación del trabajo de campo y la determinación del área cubierta por el trabajador; la presentación visual de la información, facilitando así su comprensión; la posibilidad de contar con información rápida, eficiente y confiable; la determinación precisa de áreas problemas y sus coordenadas y, finalmente, la optimización de los recursos humanos (Korich, 2010).

La utilización de un sistema de precisión GPS permite la recolección y el registro de información geográfica de interés para los productores, esta información incluye: ubicación exacta de los lotes de la plantación, cables de la red eléctrica, carreteras, empacadoras, canales de drenaje, árboles y otros obstáculos, así como sistemas de riego (Korich, 2010).

El sistema permite además determinar las áreas totales y localizar con exactitud los linderos de los lotes. La tecnología de GPS utiliza un sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS) en tiempo real, con una precisión de 1 - 3 metros rms (error medio cuadrático), para guiar la aeronave y permite la aplicación precisa de los agroquímicos, prestándose además para otras aplicaciones de posicionamiento de precisión, incluyendo la captura de información geográfica y fotogrametría. Esta tecnología ha permitido mantener un excelente control y reducir los costos en los programas fitosanitarios (Korich, 2010).

En Guatemala la Compañía Bananera Independiente Guatemalteca (COBIGUA), incorporó el Sistema Flying Flagman (Banderillero Aéreo) para su control de fumigación aérea a mediados de 1995. Durante la fase de seminario-demostración del proyecto plaguicidas Chile-Canadá que se llevó a cabo en Chile en el año de 1999, se hicieron comparaciones de precisión de la línea de vuelo durante aplicaciones de rocío simuladas con y sin el Sistema GPS marca AG-NAV®2, las que mostraron con claridad el potencial para uniformidad de aplicación mejorada en topografía

compleja (por ejemplo, en terrenos montañosos o cerros) al usar la guía del sistema DGPS. Los resultados indicaron reducciones potenciales de hasta un 50% en el uso de pesticida al mantener la precisión de la línea de vuelo, eliminando de esta manera áreas de sobre aplicación (Korich, 2010).

La segunda fase de este programa de transferencia de tecnología proporcionó la oportunidad de asistir a empresas forestales para evaluar y optimizar el uso de la tecnología DGPS durante la primera estación de uso operacional en operaciones de pulverización en Chile. El enfoque de esta fase más allá del entrenar al piloto y de evaluar el equipo, fue discutir sobre la unión del Sistema de posicionamiento Global (DGPS) con las bases de datos del sistema de Información Geográfica (GIS), y una introducción al análisis post-aplicación de los programas de atomización aérea. Este informe documenta el análisis de datos recolectados durante varios tratamientos de pulverización hechos durante el comienzo del periodo del programa operacional de insecticidas (Korich, 2010).

### **2.3.5. Ventajas de sistemas GPS**

Permite trabajar día y noche, trabajos de precisión como el surcado, siembra, trasplante, colocación de cinta de riego, y otros pueden ser realizados las 24 horas del día. Mejora la eficiencia en el uso de la maquinaria, ya que al usar piloto automático se han encontrado aumentos en el rendimiento de los tractores del 100 al 200%, incrementando la utilización de la inversión más que nunca. Maximiza el área de cada parcela al poder trabajar con máxima precisión; cada surco quedará a la misma distancia, alineado y perfectamente recto, por lo que se utiliza cada rincón de las parcelas. Mejora la precisión y velocidad, ya que el sistema permite al operador preocuparse en el trabajo que está realizando y no en dirigir el tractor, trabajando a mayores velocidades y manteniendo la precisión (Sistemas Avanzados Láser y GPS, S.A., 2015).

### **2.3.6. Libros de base de datos**

El software proporciona guardar la información del lote y soluciones empresariales. Integra sus registros financieros para prever las declaraciones detalladas de campos de la empresa. Permite comparar fácilmente el costo de producción para cada empresa y tomar decisiones claves para mejorar la rentabilidad del establecimiento. El software ofrece un inventario automatizado de seguimiento para suministros, o cultivos y cosecha (Sistemas Avanzados Láser y GPS, S.A., 2015).

### **2.3.7. Mapeo y récord**

El software proporciona un registro de mantenimiento de campo, mapeo y análisis de soluciones para los productores y proveedores de servicios. Los beneficios de realizar mapeo, es crear una capa para cada año de la empresa agrícola, permitiendo integrar la información financiera con los mapas de precisión. Los costos pueden ser introducidos manualmente en cada entrada, por lo que es fácil de averiguar qué sectores de sus campos están produciendo y cuáles son las prácticas de agricultura de precisión que son más rentables (Sistemas Avanzados Láser y GPS, S.A., 2015).

### **2.3.8. Características**

La Interface de Usuario Simple permite el manejo de datos simples de usar con estructura de Cliente, Campo, Lote y Trabajo. El registro de Campo permite ingresar registros de campos mientras los recorre y visualizar histórico de cultivos, aplicaciones de químicos, labranzas, rendimiento y más. El mapeo y registro de datos permite mapear límites de lotes, líneas de drenaje, cabeceras, desagües y otros puntos de interés. La dosis de aplicación variable permite controlar la dosis de aplicación variable de uno o más productos usando mapas de prescripción (Sistemas Avanzados Láser y GPS, S.A., 2015).

## **2.4. Agricultura de Precisión**

Desde un punto de vista agronómico, la agricultura de precisión se define como la aplicación de tecnologías y principios para administrar la variabilidad local y temporal asociada con todos los aspectos de la producción agrícola, a fin de mejorar el rendimiento de los cultivos, la rentabilidad y la calidad del medio ambiente. Aunque esto sea correcto, puede resultar difícil aplicar esta definición de libro de texto a sus operaciones agrícolas diarias. La agricultura de precisión se define más fácilmente como el proceso de poner el producto adecuado, la cantidad adecuada, en el lugar adecuado y en el momento adecuado (Trimble, 2012).

Los productos, software y soluciones de agricultura de precisión pueden ayudar a los agricultores en cada paso del proceso agrícola: desde la preparación del terreno hasta la plantación, administración de nutrientes, gestión de plagas y fases de cosecha de un ciclo de cultivo. Hay

innumerables estudios universitarios e investigaciones agronómicas que demuestran que la eficiencia mejora cuando se agregan sistemas de agricultura de precisión a una operación agrícola. Aun así, mucha gente sigue preguntando si el costo de la inversión en sistemas de agricultura de precisión es rentable al compararse con los beneficios obtenidos una vez que los sistemas se integran en el establecimiento agrícola (Trimble, 2012).

Aunque la medida de la efectividad varía entre lugares, los sistemas de agricultura de precisión son potentes herramientas que multiplican las ventajas de las prácticas agrícolas modernas. Consideremos el uso de nitrógeno en un cultivo. Al agregar un sistema de control de insumos para cultivos, el agricultor puede saber dónde ha aplicado ya nitrógeno y eliminar la sobre-aplicación. Al agregar un mapa de prescripción y soluciones, el agricultor puede variar la cantidad de nitrógeno a aplicar en el lote en tiempo real. Esto se traduce en un ahorro de tiempo en el campo, un uso más eficaz del nitrógeno y un mejor rendimiento de los cultivos (Trimble, 2012).

La industria de la agricultura de precisión sigue explorando nuevos y emocionantes territorios gracias a innovaciones revolucionarias tales como la introducción de la telemática. La telemática permite que un operador siga desde la oficina del establecimiento agrícola el movimiento de un vehículo y las horas de servicio que hace en el campo. Esto permite maximizar el uso de combustible y organizar la gestión de flotas y los programas de mantenimiento a través de la transferencia de información en tiempo real. Aunque pueda parecer que la telemática es sólo para establecimientos muy grandes, la base de esta tecnología permite ahorrar tiempo y personal incluso a operaciones agrícolas de muy poca envergadura. Pero la telemática es simplemente una de las muchas fronteras nuevas en el campo de la agricultura de precisión. La dedicación a la creación de soluciones de agricultura de precisión que simplifiquen las operaciones y aumenten el rendimiento de los establecimientos de todo el mundo, hacen que se tengan planeadas muchas mejoras y nuevas innovaciones para el futuro (Trimble, 2012).

La Agricultura de Precisión es considerada como un Sistema Alternativo Sostenible, utilizado en la producción agropecuaria, mediante el cual se emplean diferentes métodos o herramientas tecnológicas, como por ejemplo, los Sistemas de Posicionamiento Geoespacial –GPS- y la Electrónica, con el propósito de recopilar información en tiempo real sobre lo que sucede o puede suceder en los suelos y en los cultivos, para proceder de esa forma a la toma de decisiones en el

futuro, que permitan el incremento de los rendimientos, la disminución de los costos de producción y la reducción de los impactos ambientales. El Sistema de Posicionamiento Global originalmente llamado NAVSTAR, es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) el cual que permite determinar en todo el mundo la posición de una persona, un vehículo o una nave, con una desviación de cuatro metros. El sistema fue desarrollado e instalado, y actualmente es operado, por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. La antigua Unión Soviética tenía un sistema similar llamado GLONASS, ahora gestionado por la Federación Rusa. Actualmente la Unión Europea intenta lanzar su propio sistema de posicionamiento por satélite, denominado Galileo (Cifuentes, 2009).

El GPS funciona mediante una red de satélites (24 satélites) que se encuentran orbitando alrededor de la tierra. Cuando se desea determinar la posición, el aparato que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo cuatro satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la posición y el reloj de cada uno de ellos. En base a estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el retraso de las señales, es decir, la distancia al satélite. Por triangulación calcula la posición en que éste se encuentra (Cifuentes, 2009).

### 3. CONTEXTO

El ingenio San Diego es una empresa que produce azúcar inocua, de alta calidad, para brindar una mejor atención y satisfacción del mercado y de los clientes mejorando la eficiencia de los procesos de producción y la rentabilidad de la empresa. Su misión es ser un grupo empresarial guatemalteco, guiado por principios claros, que transforman la caña de azúcar en productos energéticos que proporcionan bienestar. Con su equipo profesional, buscan y desarrollan oportunidades de crecimiento integral y alta rentabilidad. Generan un mejor nivel de vida para todos los miembros de la organización y confirman el compromiso por un mejor país. La Visión es ubicar a la empresa dentro de los tres ingenios más eficientes y de más bajos costos de la región centroamericana. Su política de gestión es producir azúcar inocua de alta calidad, aplicando y cumpliendo estándares internacionales, requisitos legales y de sus clientes, mejorando continuamente los niveles de productividad y optimizando los recursos disponibles. (<http://www.sandiego.com.gt>, 2017)

Su historia se remonta al año 1887, cuando se inicia la producción artesanal de azúcar en pilón, y a partir de 1901, la de azúcar centrifugada. En 1943, la familia Vila Betoret adquirió esta finca. En esa época se producían 750 toneladas de azúcar anualmente. A partir de 1958, la administración del ingenio la asume don Fraternal Vila Betoret, quien incansablemente ha impulsado el crecimiento de la organización. El primer reto que se fijó fue la construcción de un nuevo ingenio, más grande y moderno, meta alcanzada en 1965. En ese año el nuevo ingenio inició operaciones con una molienda de 800 toneladas diarias de caña que produjeron 750 toneladas diarias de azúcar. (<http://www.sandiego.com.gt>, 2017)

En la zafra 1965-66 se produjeron 7,093 toneladas y un año después, en la temporada 1966-67, 12,687 toneladas de azúcar. En el año 1974, se incorporó a la administración una nueva generación de directores, quienes impulsaron con entusiasmo nuevos proyectos. Uno de los más importantes fue la adquisición del ingenio Trinidad, en 1987, con el objetivo de aumentar el área de producción de azúcar de caña. En la primera zafra del ingenio Trinidad, del año 1988-89, se produjeron 2.2 toneladas de azúcar. Gracias al trabajo honesto y responsable, a la dedicación diaria, al cuidado de los recursos, a la estrecha unidad familiar y al empeño de sus colaboradores, se han alcanzado importantes metas en pocos años. A la fecha, ambos ingenios conforman la corporación

San Diego y producen durante la zafra anual más de 350,000 toneladas de azúcar. (<http://www.sandiego.com.gt>, 2017)

La principal actividad de la corporación San Diego es la producción y comercialización de azúcar de caña en el mercado nacional e internacional. También incluye la venta de melaza y durante los últimos años, los proyectos de cogeneración de energía eléctrica ocupan un lugar prioritario dentro de los planes de expansión de la corporación. De esta forma, se contribuye al desarrollo económico del país, crea fuentes de trabajo e invierte recurso en proyectos sociales de educación, salud y desarrollo de las comunidades cercanas a sus centros de operación. (<http://www.sandiego.com.gt>, 2017)

El ingenio produce azúcar blanca de la más alta calidad para el mercado local, con un color ICUMSA, que está dentro del rango de 200 a 300 unidades de color. Dentro de los sub-productos tienen la melaza o miel final que se exporta para la producción de alcohol. Producen azúcar cruda para exportación al mercado mundial. Otro de los sub-productos de la fabricación de azúcar es la generación de energía eléctrica que se vende en la red nacional. (<http://www.sandiego.com.gt>, 2017)

En el ingenio el surqueo como parte de la mecanización agrícola en la preparación del suelo para el cultivo de caña de azúcar, es una actividad que se está tecnificando constantemente, debido a adaptación de distanciamientos de siembra para la optimización del área productiva. Es de esta manera que desde el año 2012 a la fecha, el ingenio ha hecho uso del sistema de piloto automático en las labores de surqueo dentro de la preparación de suelos para la siembra de caña de azúcar. (<http://www.sandiego.com.gt>, 2017)

En el transcurso del proceso de implementación de los sistemas de control de dirección por GPS, se ha generado información relacionada con la eficiencia en las labores de surqueo en cuanto a tiempo por unidad de área trabajada y costos de operación en diferentes fincas de la administración. No obstante, es necesario recopilarla y analizarla, a efecto de documentar la utilización del sistema de piloto automático en la labor de surqueo, para la siembra de caña de azúcar, en el ingenio San Diego, durante el periodo 2013 al 2015. (<http://www.sandiego.com.gt>, 2017)

En consecuencia, se realizó un estudio de caso para analizar el sistema Piloto automático en la labor de surqueo, en el área productiva del ingenio, ubicada en la zona oriental de la zona cañera del pacífico sur de Guatemala, comprendida desde Siquinalá Escuintla, hasta Placetas Chiquimulilla. Ésta cuenta con una extensión de 15,200 hectáreas, compuesta por siete zonas productivas, ubicada entre las coordenadas geográficas 91° 50' 00" - 90° 10' 00" longitud oeste y 14° 33' 00" - 13° 50' 00" latitud norte. (<http://www.sandiego.com.gt>, 2017)

La fisiografía de la región corresponde a un paisaje natural de planicie de pie de monte y forma un plano inclinado, que se inicia con pendientes de 7 a 25 por ciento cerca de la cadena montañosa, con relieve ondulado o de lomerío y va descendiendo suavemente hacia la costa del Pacífico con relieve plano, el estrato en que se encuentra inicia en el estrato medio entre 100 y 300 msnm; el estrato bajo entre 40 y 100 msnm y el estrato litoral se localiza entre 0 y 40 msnm. (<http://www.sandiego.com.gt>, 2017)

Las lluvias en la zona se distribuyen en dos estaciones: época lluviosa (o invierno) que ocurre entre mayo y octubre; en tanto que junio y septiembre registran la mayor precipitación también, pero existe un período de canícula de 15 días entre julio y agosto. La época no lluviosa (o verano) se marca entre octubre y mayo; lo cual coincide con el período de zafra. (<http://www.sandiego.com.gt>, 2017)

Las características mineralógicas y granulométricas de los materiales varían de un lugar a otro, según su localización geográfica considerada básicamente en relación con las distancias al cono volcánico. La alófana es el mineral predominante en los suelos de las partes alta y media, en tanto que en las partes más bajas hay presencia de haloisita y arcilla tipo 2:1 probablemente esmectita, en estas partes bajas al occidente y oriente de la región. Los grupos de suelos predominantes en la zona cañera son los Mollisoles secos, que ocupan el 37.1 por ciento del área, seguido por los suelos Entisoles, que tienen baja retención de agua por la presencia de capas de arena en el perfil con el 19.9 por ciento. Otros suelos importantes son los suelos Andisoles, profundos, bien drenados; los suelos Mollisoles profundos de alta fertilidad y los Andisoles superficiales que ocupan el 13.4, 8.4 y 7.6 por ciento del área respectivamente. (<http://www.sandiego.com.gt>, 2017)

#### **4. JUSTIFICACIÓN**

El Ingenio San Diego está en expansión territorial, incrementando anualmente las áreas productivas. La expansión de la siembra del cultivo de caña ha generado que las labores de preparación de suelos se conviertan en una labor de importancia, y en la que es necesario realizar un análisis de la labor de surqueo para optimizar el recurso con el que se cuenta, reducir costos de producción y reducir el tiempo para las labores en campo.

La agricultura de precisión para el uso óptimo de los insumos, en la búsqueda de la eficiencia productiva; es probablemente el avance más significativo de la agricultura desde el advenimiento de la mecanización. Se presenta como una herramienta viable, como parte del objetivo de maximizar los recursos existentes en el campo y generar las máximas ganancias en las labores productivas, pero es necesario concretizar los resultados obtenidos hasta ahora. El análisis sobre rentabilidad que conlleva la implementación de los sistemas de piloto automático en las labores de surqueo, en comparación a la labor convencional, es de importancia, y generará información válida para el seguimiento de esta tecnología en el ingenio San Diego.

Con el presente informe se proveerá de información que demuestre la eficiencia del sistema de piloto automático en labores de surqueo versus el surqueo convencional, lo cual servirá de base para tomar la decisión de incrementar el área a surcar con el sistema de piloto automático en el ingenio San Diego.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Establecer el efecto de la implementación del sistema de Piloto Automático en la labor de surqueo para la siembra de caña de azúcar, en el ingenio San Diego, durante el periodo 2012 al 2014.

### **5.2. Específicos**

- Medir la eficiencia de operación de la labor de surqueo de forma convencional.
- Medir la eficiencia de operación de surqueo con el sistema de piloto automático.
- Determinar el costo por hectárea de surqueo con el sistema de piloto automático.
- Determinar el costo por hectárea del surqueo de forma convencional.

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1. Diseño de Instrumentos y Procedimientos

Se procedió a recopilar información de la labor de surqueo del ingenio San Diego en el periodo comprendido del año 2012 al 2014, utilizando el surqueo convencional, labor de surqueo con el sistema de piloto automático, para esto se tomó en cuenta datos de lotes y fincas en las que se realizaron labores de surqueo, fechas y horas de trabajo, implementos utilizados, los distanciamientos entre hileras y los datos de costos de producción por hectárea.

### 6.2. Procesos de Recolección de datos

La recolección de datos se obtuvo de la base de datos de las labores de preparación de suelos para siembra del 2012 al 2014, que se llevaron en la empresa tomando en cuenta, las fincas y lotes, los distanciamientos de surco creados, tipos de maquinaria utilizada y los costos de la labor.

### 6.3. Variables de estudio

- **Promedio de horas por hectárea trabajada (surcada).** Tomando en cuenta el historial de lotes mecanizados y las fechas en que se realizó la labor, se realizó un análisis del promedio de horas por hectárea que requiere cada labor.
- **Eficiencia de operación (Ha/hr).** Se realizó una análisis de la eficiencia en cuanto a tiempo en horas utilizadas para realizar la labor de surcado.
- **Costo unitario de la hectárea surcada.** Se realizó un análisis de los costos que conlleva cada tipo de surcado.
- **Análisis económico de la labor de surcado.** se realizó un análisis económico de la labor de surcado, estimando la rentabilidad de cada sistema y la utilidad neta por hectárea.

#### **6.4 Análisis de la Información**

Se comparó la información del surqueo convencional, contra el surqueo utilizando el sistema de piloto automático, realizando un análisis de medias estadísticas de costos por unidad de área surqueada y representarlo por medio de gráficas de barras, diferenciando el tiempo efectivo en cada labor; se realizó un análisis económico de la labor de surcado, tomando en cuenta la determinación de la rentabilidad y la utilidad neta por hectárea, para establecer la conveniencia de la constante implementación de la tecnología del piloto automático.

## **7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **7.1. Intervención**

El constante desarrollo tecnológico es inevitable dentro de los procesos productivos de la agroindustria azucarera, dentro de los mismos la utilización de sistemas de agricultura de precisión en las labores mecanizadas de surqueo fue implementado en el Ingenio San Diego en el año 2012, con el objetivo de realizar las labores con mayor eficiencia y reducción de costos.

La utilización del sistema de piloto automático en el Ingenio San Diego, tuvo sus inicios en la zafra 12/13, en la cual se realizaron las primeras pruebas en labores como preparación de tierras; todo esto tuvo lugar debido a la renovación de maquinaria agrícola que realizó el ingenio a principios del año 2013, y se contó con la oportunidad de implementar este sistema.

Se inició con un tractor Case Magnum 180 hp, al que fue implementado el sistema GPS RTK marca TRIMBLE, que cuenta con una antena base que se coloca en un punto de referencia en el lote para autocorrección, y se instaló el sistema de piloto automático en el tractor descrito anteriormente, que cuenta con antena, navegador y pantalla de mando.

Luego se procedió a realizar capacitaciones a los operadores de surqueo, que fue proporcionada por la empresa TECUN S.A., en donde los operadores se capacitaron para realizar la colocación, calibración y colocación de la antena base y configuración del software del sistema en la pantalla de navegación del tractor.

Las primeras áreas donde se utilizó el sistema de piloto automático, fueron en la zona media, baja y litoral; ya que era un sistema nuevo, se tuvieron problemas en la preparación debido a una mala calibración, lo que provocó la contratación de asesoría de una empresa de origen costarricense llamada INTAGRI, que cuenta con una amplia experiencia en el manejo de este tipo de sistemas. Durante la zafra 12/13 se utilizó el sistema en un tractor Case MX 180 hp, que realizó una óptima labor, razón que dio lugar a seguir utilizando el sistema. En la zafra 13/14 se implementó el sistema en dos tractores más marca John Deere 8245R de 245 hp, que se utilizan en la labor de surqueo.

## 7.2. Resultados de las Variables de Estudio

La eficiencia en las labores de surqueo del cultivo de caña de azúcar, se ve influenciada por la implementación del sistema de piloto automático en los tractores que se utilizan en el surqueo, de acuerdo al análisis realizado.

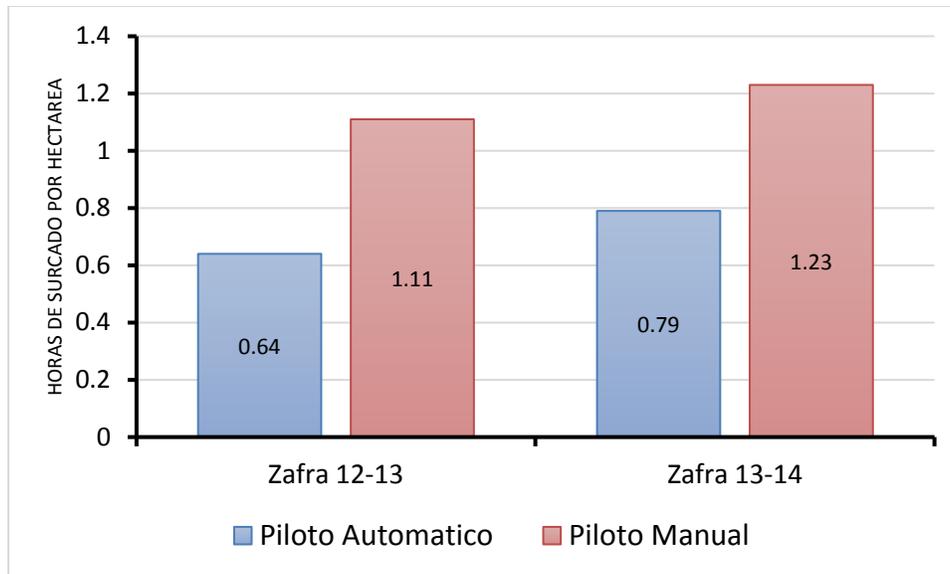
### 7.2.1. Promedio de horas por hectárea trabajada (surcada).

En la tabla 1 se puede observar el tiempo promedio que se utiliza para surquear una hectárea utilizando el sistema de piloto automático en comparación al sistema convencional.

*Tabla 1.* Promedio de horas de labor por unidad de área surcada durante la zafra 12/13 y 13/14 utilizando sistema de piloto automático y sistema convencional.

Sistema	Zafra	Área (Ha)	Horas	Promedio hrs/Ha	Diferencia hrs/ha	Diferencia %
Piloto automático	12/13	2264.62	1346.50	0.64	0.47	42
Convencional		436.96	464.50	1.11		
Piloto automático	13/14	2060.32	1378.10	0.79	0.44	36
Convencional		53.77	63.00	1.23		

En la tabla 1 se observa el promedio de horas de labor por unidad de área, el cual se obtiene de la sumatoria total de horas necesarias para realizar el surcado, divididas en la sumatoria de áreas surcadas por zafra; y se muestra que existe una reducción en el tiempo de surcado por unidad de área de 0.47 hrs en la zafra 12/13 y 0.44 hrs en la zafra 13/14, lo cual indica que la labor de surcado con piloto automático aumenta el área trabajada por día, optimizando el uso del tractor en el campo.



*Figura 2.* Promedio de horas de surcado por hectárea utilizando el sistema de piloto automático y convencional, en la zafra 12/13 y 13/14.

En la figura 2 se observa que el promedio de horas de labor por unidad de área es menor en el sistema de piloto automático en comparación con el sistema convencional, además se observa que los promedios son mayores en la zafra 13/14 con respecto a la zafra 12/13, esto es provocado por el cambio de maquinaria utilizada, debido a que durante la zafra 12/13 se utilizó un tractor Case MX 180 hp que realizaba la labor de surqueo a una profundidad de 15-25 cm; a diferencia de la zafra 13/14 donde se utilizó dos tractores John Deere 8245R de 245 hp que realizan la labor de surqueo a una profundidad de 25-35 cm, que aumenta el promedio de horas laboradas por unidad de área.

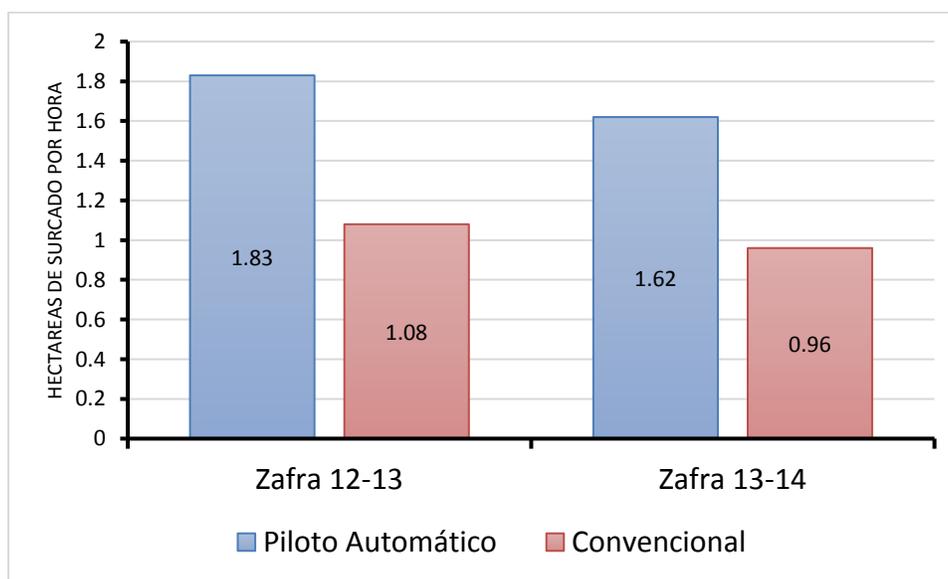
### **7.2.2. Eficiencia de operación (Ha/hr)**

En la tabla 2 se observa las hectáreas surcadas por hora utilizando el sistema de piloto automático en comparación al sistema convencional.

*Tabla 2.* Promedio de hectáreas surcadas por hora durante la zafra 12/13 y 13/14 utilizando sistema de piloto automático y sistema convencional.

Sistema	Zafra	Área (ha)	Horas	Promedio hectárea/hora	Diferencia hectárea/hora	Diferencia %
Piloto automático	12/13	2264.62	1346.50	1.831	0.75	69
Convencional		436.96	464.50	1.082		
Piloto automático	13/14	2060.32	1378.10	1.62	0.66	41
Convencional		53.77	63.00	0.96		

En la tabla 2 se observa el promedio de hectáreas surcadas por hora, el cual se obtiene de la sumatoria total de área surcada por zafra, dividida entre el número de horas necesarias para realizar dicha labor; y se muestra que existe un aumento en las hectáreas surcadas por hora, de 0.75 hectáreas en la zafra 12/13 y 0.66 hectáreas en la zafra 13/14, lo que implica que utilizando el sistema de piloto automático, se aumenta la eficiencia de trabajo por cada tractor, ya que realizara mayor cantidad de área surcada en un determinado tiempo.



*Figura 3.* Promedio de hectáreas surcadas por hora utilizando el sistema de piloto automático y convencional, en la zafra 12/13 y 13/14.

El la figura 3 se observa que el promedio hectáreas surcadas por hora es mayor en el sistema de piloto automático en comparación con el sistema convencional, además se observa que los promedios son mayores en la zafra 12/13 con respecto a la zafra 13/14, esto es provocado por el cambio de maquinaria utilizada, debido a que durante la zafra 12/13 se utilizó un tractor Case MX

180 hp que realizaba la labor de surqueo a una profundidad de 15-25 cm; a diferencia de la zafra 13/14 donde se utilizó dos tractores John Deere 8245R de 245 hp que realizan la labor de surqueo a una profundidad de 25-35 cm, que aumenta el promedio de horas laboradas por hectárea; para la labor de surqueo convencional se utilizó un tractor CASE IH MX 210 de 210 hp.

### 7.2.3. Costo unitario de la hectárea surcada

En la tabla 3 se puede observar costo unitario por hectárea surcada utilizando el sistema de piloto automático en comparación al sistema convencional.

Tabla 3. Costo unitario de hectárea surcada durante la zafra 12/13 y 13/14 utilizando sistema de piloto automático y sistema convencional.

Sistema	Área (ha)	Costo mano obra (Q)	Costo maquinaria (Q)	Costo total (Q)	Costo unitario (Q)	Diferencia (Q)	Diferencia %
Piloto automático 12/13	2264.62	15,098.41	275,818.21	290,916.62	128.46	194.36	60
Convencional 12/13	436.96	10,687.71	130,372.86	141,060.57	322.82		
Piloto automático 13/14	2060.32	40,244.30	370,893.59	411,137.89	199.55	81.84	29
Convencional 13/14	53.77	10,637.60	4,492.57	15,130.17	281.39		

En la tabla 3 se observa la sumatoria de costos de mano de obra tanto del sistema de piloto automático como del sistema convencional, así como el costo de maquinaria, lo cual genera el costo total. Así también se muestra el costo unitario por hectárea surcada, que reflejan un menor costo unitario en la labor donde se utilizó el sistema de piloto automático, siendo este una economía de Q 194.36 en la zafra 12/13 y Q 81.81 en la zafra 13/14, lo cual coincide con la eficiencia en las hectáreas por hora, demostrando en temas de costo el beneficio superior del sistema de piloto automático en comparación al sistema convencional. En el cuadro también se observa que las hectáreas surcadas con el sistema convencional en la zafra 13/14 son escasas, esto es debido a que en el Ingenio San Diego, al observar que existe una eficiencia clara sobre ambos sistemas de surqueo, han optado por realizar esta labor en mayor cantidad con el sistema de piloto automático.

El costo referido a la mano de obra es el costo de los salarios de los pilotos de la maquinaria de acuerdo a las hectáreas laboradas. El costo de la maquinaria refleja el costo de producción en función a las hectáreas laboradas. Se observa que las áreas laboradas de cada sistema y de cada zafra son distintas, esto es debido a que el sistema de piloto automático es más eficiente y trabajo mayor área en cada zafra.

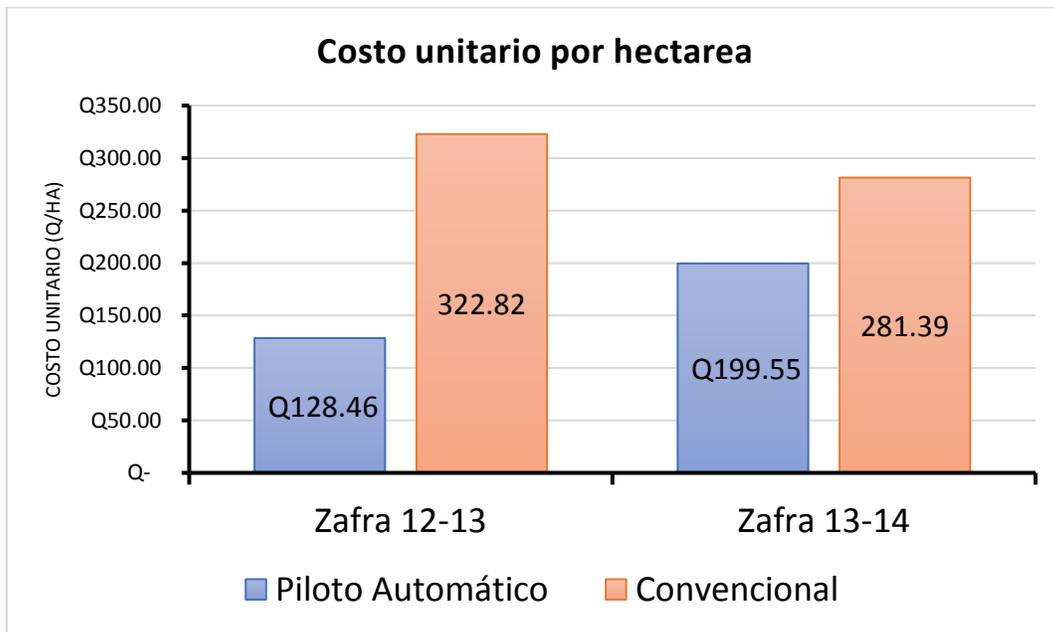


Figura 4. Costos unitarios por hectárea utilizando el sistema de piloto automático y convencional, en la zafra 12/13 y 13/14.

En la figura 4 se observa que el costo unitario por hectárea es menor utilizando el sistema de piloto automático; el incremento en el costo unitario del sistema de piloto automático de la zafra 12/13 y la zafra 13/14 es provocado por el cambio de maquinaria utilizada, debido a que durante la zafra 12/13 se utilizó un tractor Case MX 180 hp el cual realizaba la labor de surqueo a una profundidad de 15-25cm; a diferencia de la zafra 13/14 donde se utilizó dos tractores John Deere 8245R de 245 hp los cuales realizan la labor de surqueo a una profundidad de 25-35cm, lo cual aumenta la dificultad y el consumo de combustible de los tractores; el costo unitario en el sistema convencional entre las zafra 12/13 y 13/14 decreció, sin embargo, el sistema de piloto automático es más económico.

#### 7.2.4. Análisis económico de la labor de surcado

En la tabla 4 se observa los datos de rentabilidad y utilidad neta por hectárea surcada utilizando el sistema de piloto automático en comparación al sistema convencional.

Tabla 4. Costo unitario de hectárea surcada durante la zafra 12/13 y 13/14 utilizando sistema de piloto automático y sistema convencional.

Sistema	Costo unitario (Q)		Costo unitario promedio (Q)	Diferencia de costo unitario (Q)	Rentabilidad (%)	Utilidad neta (Q)
	zafra 12/13	zafra 13/14				
Piloto Automático	128.46	199.55	164.01	138.09	184	138.09
Convencional	322.82	281.39	302.10			

En la tabla 4 se muestra la rentabilidad de la implementación del sistema de piloto automático en la labor de surqueo que corresponde a un 184% lo cual genera una utilidad neta de Q 138.09 por hectárea, partiendo del costo promedio de Q 302.00 que se gastó en la labor de surcado convencional durante la zafra 12-13 y 13-14. En las renovaciones de las áreas de ingenio San Diego. Estos datos indican que al implementar el sistema de piloto automático existe una diferencia de costos de Q 138.09.

## 8. CONCLUSIONES

- El promedio de horas de surcado por hectárea presenta una reducción en el tiempo de 0.47 hrs, lo que representa una diferencia de 42 % en la zafra 12/13, y 0.44 hrs en la zafra 13/14 con una diferencia del 36 %. Esto indica que la labor de surcado con piloto automático aumenta el área trabajada por día, optimizando el uso del tractor en el campo.
- El promedio de hectáreas surcadas por hora muestra que existe un aumento de 0.75 has/hr con una diferencia de 69 % en la zafra 12/13; así mismo se observa un incremento de 0.66 has/hr en la zafra 13/14 con una diferencia incremental de 41 % de eficiencia, lo que implica que utilizando el sistema de piloto automático, se aumenta la eficiencia de trabajo por cada tractor, que realizará mayor cantidad de área surcada en un determinado tiempo.
- El costo unitario por hectárea surcada es menor en la labor donde se utilizó el sistema de piloto automático, aportando una reducción económica de Q 194.36 por hectárea en la zafra 12/13 equivalente al 60 % del costo unitario, y Q 81.81 por hectárea en la zafra 13/14 equivalente al 29 % del costo unitario, que coincide con la eficiencia en las hectáreas por hora, demostrando en temas de costos el mayor beneficio del Sistema de Piloto Automático en comparación al Sistema Convencional.
- La rentabilidad de la implementación del sistema de piloto automático en la labor de surqueo, corresponde a 184%, lo que genera una utilidad neta de Q 138.09 por hectárea, partiendo del costo unitario por hectárea de Q302.10 realizado con la labor de surqueo convencional en el Ingenio San Diego; estos datos indican que con la implementación del sistema de piloto automático, existe una diferencia de costos de Q 138.09 por hectárea.

## **9. RECOMENDACIONES**

- Implementar el sistema de piloto automático en todas las labores de surqueo en la preparación de suelos del Ingenio San Diego y otros ingenios.
- Realizar un análisis de otras labores mecanizadas utilizando el sistema de piloto automático para verificar su rentabilidad y eficiencia.
- Para la labor de surqueo con sistema de piloto automático se recomienda utilizar un tractor John Deere 8245R de 245 hp.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banguat. (27 de Enero de 2016). [https://www.banguat.gob.gt/cuentasnac/4T\\_2015\\_JM.PDF](https://www.banguat.gob.gt/cuentasnac/4T_2015_JM.PDF).
- Cifuentes, E. (2009). SISTEMATIZACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL USO DE GPS EN LA APLICACIÓN DE MADURANTES EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L. Poaceae) EN EL INGENIO CONCEPCIÓN, ESCUINTLA, ESCUINTLA, GUATEMALA. Guatemala.
- García, J., Villatoro, B., Díaz, F., & Sandoval, G. (2014). Preparación de suelos para la siembra de caña de azúcar. Guatemala: CENGICAÑA.
- Korich, D. (2010). IMPLEMENTACION DEL SISTEMA GPS TRIMFLIGHT 3 EN LA ASPERSIÓN AÉREA DE AGROQUÍMICOS EN CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum* L., Poaceae), INGENIO PANTALEÓN, ESCUINTLA, GUATEMALA. GUATEMALA.
- Melgar, M. (2012). Desarrollo tecnológico de la agroindustria azucarera y perspectivas. En CENGICAÑA, M. Melgar, A. Meneses, H. Orozco, O. Pérez, & R. Espinosa (Edits.), El cultivo de caña de azúcar en Guatemala (págs. 1-32). Guatemala: Artemis Edinter.
- San\_Diego. (2017). <http://www.sandiego.com.gt>. Obtenido de <http://www.sandiego.com.gt/about.php>
- Sistemas Avanzados Láser y GPS, S.A. (12 de febrero de 2015). Sistema AgGPS Autopilot. Obtenido de [www.laserygps.com](http://www.laserygps.com): <https://www.laserygps.com/Folletos/Folleto%20Autopilot.pdf>
- Trimble. (2012). Agricultura de precision de trimble. *Portafolio de productos agricolas de Trimble*, 0-17.

## ANEXOS



Anexo 1. Tractor con surqueador de marcadores utilizado en el sistema convencional.



Anexo 2. Tractor con barra surqueadora, utilizando el Sistema de Piloto Automático

