

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN

INFORME FINAL DE DIAGNÓSTICO, INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS PRESTADOS EN  
EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, INGENIO TRINIDAD,  
CORPORACIÓN SAN DIEGO, MASAGUA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.

KENNY ROLANDO BARRENO CASTILLO

Guatemala, septiembre de 2017



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

INFORME FINAL DE DIAGNÓSTICO, INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS PRESTADOS EN  
EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, INGENIO TRINIDAD,  
CORPORACIÓN SAN DIEGO, MASAGUA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE  
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR  
KENNY ROLANDO BARRENO CASTILLO  
EN  
EL ACTO DE INVESTIDURA COMO  
INGENIERO AGRÓNOMO  
EN  
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA  
EN  
EL GRADO ACADÉMICO DE  
LICENCIADO

Guatemala, septiembre de 2017



RECTOR

Dr. CARLOS GUILLERMO ALVARADO CEREZO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López
VOCAL PRIMERO	Dr. Tomás Antonio Padilla Cámara
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. M.A. César Linneo García Contreras
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. M. Sc. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO	Per. Agr. Walfer Yasmany Godoy Santos
VOCAL QUINTO	Per. Cont. Neydi Yasmine Juracán Morales
SECRETARIO	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

Guatemala, septiembre de 2017.



Guatemala, septiembre de 2017

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación:

INFORME FINAL DE DIAGNÓSTICO, INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS PRESTADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, INGENIO TRINIDAD, CORPORACIÓN SAN DIEGO, MASAGUA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.

Como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de licenciado.

Esperando que el mismo cumpla con los requisitos necesarios para su aprobación me es grato suscribirme,

Atentamente

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

KENNY ROLANDO BARRENO CASTILLO





## ACTO QUE DEDICO

A Dios:

Porque en su infinita gracia nos permite culminar nuestras metas.

Mis padres:

Bonifacia Castillo y Pedro Barreno, por ser el mejor ejemplo de lucha, por ser personas incansables, por ese apoyo incondicional, amor, entrega y dedicación. Este triunfo es gracias a ustedes y para ustedes.

Mi esposa e hijo:

Mi esposa Jennifer Leal, por su amor y amistad, su apoyo incondicional, comprensión y dedicación. Gracias a Dios por tu vida en mi vida. Y a mi hijo por ser el mejor regalo y bendición que Dios ha dado a mi vida. Los amo.

Mis Abuelos:

Calixto Castillo (†) y Candelaria Ochoa, gracias por el amor, el cariño y apoyo que me brindaron desde mi niñez.

Mis hermanos(as):

Mildred, Yonathan y Edwin, por su apoyo, comprensión y por ser piezas importantes del motor de mi vida. Con su nobleza, sinceridad y cariño.

Mi sobrina:

Iliana tu eres el regalo que El Señor ha traído a nuestras vidas para llenarlas de alegría.

La Familia Leal Salguero:

Por abrirme las puertas de su hogar y de su corazón, gracias por su amistad y apoyo.

Mis Amigos(as):

Gracias por su amistad, apoyo y siempre alentarme a seguir adelante, deseo ser de bendición para sus vidas.

TESIS QUE DEDICO

A:

DIOS

MI FAMILIA (Gracias a ustedes estoy acá)

MI FACULTAD DE AGRONOMÍA

## AGRADECIMIENTO

A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía; por instruirme y formarme como profesional; a mis catedráticos por su paciencia y por desarrollar ese don tan especial de enseñar (Ing. Juan Herrera, Ing. Alejandro Gil, Ing. Willy Quintana, Ing. Waldemar Nufio), porque gracias a ellos y sus conocimientos ahora llevo bases firmes de honestidad y perseverancia; logrando así ejercer la profesión que amo.

Corporación San Diego por darme la oportunidad de realizar mi ejercicio profesional supervisado y darme la oportunidad de adquirir experiencia y sabiduría (Personal administrativo, personal de campo e investigadores: Ing. Otto Castro, Héctor Monterroso.



## ÍNDICE GENERAL

Página

### CAPÍTULO I

<b>DIAGNÓSTICO DE LAS LABORES Y ACTIVIDADES QUE REALIZA EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DEL INGENIO TRINIDAD, CORPORACIÓN SAN DIEGO, MASAGUA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A. ....</b>		<b>1</b>
1.1	INTRODUCCIÓN .....	3
1.2	OBJETIVOS .....	4
1.2.1	Objetivo General.....	4
1.2.2	Objetivos Específicos .....	4
1.3	METODOLOGÍA.....	4
1.3.1	Plan de diagnóstico .....	4
1.3.2	Recopilación de Información.....	5
1.3.3	Análisis de la información .....	5
1.3.4	Elaboración del diagnóstico .....	5
1.4	INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA .....	5
1.4.1	Marco referencial .....	5
1.4.1.1	Ubicación Geográfica .....	5
1.4.1.2	Características de la distribución de las zonas .....	6
1.4.1.3	Características climáticas.....	10
1.4.2	Descripción de la Empresa .....	10
1.4.2.1	Misión de la corporación .....	11
1.4.2.2	Visión de la corporación .....	11
1.4.2.3	Departamentos y Áreas de la empresa .....	11
1.4.3	Organización de la empresa .....	13
1.5	ÁREA DE CAMPO .....	14
1.5.1	Generalidades del área de campo .....	14
1.5.2	Organización de los departamentos .....	14
1.5.3	Organización del departamento .....	15
1.5.4	Funciones básicas del departamento .....	15
1.5.5	Funciones del equipo de trabajo .....	16

	Página
1.5.5.1 Jefe del departamento .....	16
1.5.5.2 Asistente del departamento .....	17
1.5.5.3 Supervisor del departamento.....	18
1.5.5.4 Caporal de riego .....	18
1.5.5.5 Personal operativo.....	19
1.5.6 Información general de mapas .....	19
1.6 DIAGNÓSTICO DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA .....	20
1.6.1 Análisis FODA.....	20
1.6.2 Estrategias del análisis de la matriz FODA, de forma analítica.....	22
1.6.3 Priorización de problemas .....	23
1.7 REFERENCIAS .....	24

## 2 CAPÍTULO II

<b>EFECTO DE CUATRO PROGRAMACIONES DE RIEGO EN CAÑA DE AZÚCAR (SACCHARUM OFFICINARUM L.), BAJO LAS CONDICIONES DE MASAGUA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A. ....</b>	<b>25</b>
2.1 PRESENTACIÓN.....	27
2.2 MARCO TEÓRICO .....	28
2.2.1 Marco conceptual.....	28
2.2.2 Marco referencial .....	63
2.3 OBJETIVOS.....	71
2.3.1 Objetivo General .....	71
2.3.2 Objetivos Específicos .....	71
2.4 HIPÓTESIS.....	71
2.5 METODOLOGÍA .....	72
2.5.1 Adecuación del terreno .....	72
2.5.2 Preparación de suelos.....	72
2.5.3 Siembra.....	72
2.5.4 Fertilización.....	73
2.5.5 Control de malezas .....	73
2.5.6 Plagas y enfermedades.....	73

	Página
2.5.7 Manejo del riego .....	73
2.5.7.1 Uso del cenirrómetro .....	74
2.5.7.2 Balance hídrico .....	76
2.5.8 Cosecha .....	77
2.5.9 Desarrollo del ensayo .....	77
2.5.9.1 Estratos altitudinales de la zona cañera en Guatemala .....	77
2.5.9.2 Fases fenológicas de la caña de azúcar .....	78
2.5.9.3 Tratamientos evaluados .....	78
2.5.9.4 Análisis estadístico.....	79
2.5.9.5 Distribución de los tratamientos .....	79
2.5.10 Variables de respuesta .....	80
2.5.10.1 Puntos de muestreo .....	81
2.5.10.2 Altura .....	81
2.5.10.3 Altura de mamones .....	82
2.5.10.4 Diámetro del tallo .....	82
2.5.10.5 Largo de Entrenudos.....	83
2.6 RESULTADOS .....	84
2.6.1 Altura de tallos moledero .....	85
2.6.2 Densidad de población .....	86
2.6.3 Diámetro y largo de entrenudos medios .....	87
2.6.4 Toneladas de caña por hectárea .....	88
2.6.5 Toneladas de azúcar por hectárea .....	89
2.7 CONCLUSIONES.....	91
2.8 RECOMENDACIONES .....	92
2.9 REFERENCIAS.....	93
2.10 ANEXOS.....	95
2.10.1 Análisis de suelo.....	95
2.10.2 Población.....	96
2.10.2.1 Comportamiento de la población Tallos/ML.....	96
2.10.2.2 Análisis estadístico para la población.....	96

	Página
2.10.3 Altura de tallos molederos .....	97
2.10.3.1 Muestreo- fenología de caña de azúcar:comportamiento del crecimiento.	97
2.10.3.2 Análisis estadístico para la altura.....	97
2.10.4 Diámetro y largo de los entre nudos medios .....	98
2.10.4.1 Muestreo fenología de caña de azúcar:comportamiento del crecimiento del diámetro y largo de los entrenudos medios. ....	98
2.10.4.2 Análisis estadístico de diámetro de entrenudos .....	98
2.10.4.3 Análisis estadístico largo de entrenudos.....	99
2.10.5 Toneladas de caña y azúcar por hectárea .....	100
2.10.5.1 Comportamiento de la producción en toneladas de caña por ha (TCH) y toneladas de azúcar por ha. (TAH).....	100
2.10.5.2 Análisis estadístico de TCH.....	101
2.10.5.3 Análisis estadístico de TAH .....	101
<b>3 CAPÍTULO III</b>	
<b>SERVICIOS PRESTADOS AL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DEL</b>	
<b>INGENIO TRINIDAD, CORPORACION SAN DIEGO, MASAGUA, ESCUINTLA,</b>	
<b>GUATEMALA, C.A. ....</b>	<b>103</b>
3.1 RESPUESTA AL AGUA DE LA CAÑA DE AZUCAR (SACCHARUM OFFICINARUM L.), BAJO LAS CONDICIONES DE MASAGUA ESCUINTLA .....	105
3.1.1 Antecedentes .....	105
3.1.2 Objetivos .....	106
3.1.2.1 General.....	106
3.1.2.2 Específicos .....	106
3.1.3 Metodología .....	106
3.1.3.1 Labores agrícolas en el cultivo de caña de azúcar .....	106
Adecuación del terreno .....	106
Preparación de suelos .....	106
Siembra .....	106
Fertilización .....	107
Control de malezas .....	107



	Página
Plagas y enfermedades.....	107
Riego .....	108
Cosecha.....	108
3.1.4 Desarrollo del ensayo .....	109
3.1.4.1 Variables de respuesta.....	110
3.1.4.2 Puntos de muestreo .....	111
3.1.4.3 Manejo del riego.....	113
3.1.4.4 Análisis estadístico.....	114
3.1.5 Resultados.....	114
3.1.5.1 Balance hídrico .....	114
3.1.5.2 Elaboración del Cenirrómetro.....	116
3.1.5.3 Altura de tallos moledero.....	117
3.1.5.4 Población .....	118
3.1.5.5 Diámetro y largo de entrenudos medios.....	119
3.1.5.6 Toneladas de caña por hectárea .....	120
3.1.5.7 Toneladas de azúcar por hectárea .....	121
3.1.6 Resumen de resultados .....	123
3.1.7 Conclusiones .....	126
3.1.8 Recomendaciones .....	127
3.2 DESARROLLO Y VALIDACIÓN DEL PROCESO DE RIEGO.....	128
3.2.1 Antecedentes.....	128
3.2.2 Objetivos .....	129
3.2.2.1 General .....	129
3.2.2.2 Específicos:.....	129
3.2.3 Metodología.....	129
3.2.3.1 Toma de datos a partir de las boletas de control .....	129
3.2.4 Resultados.....	130
3.2.5 Toma de datos a partir de las boletas de control .....	133
3.2.5.1 Proceso de riego .....	134
3.2.5.2 Normas para la actividad de riego por aspersion:.....	135

3.2.5.3	CONTROL DE LOS REGISTROS .....	136
3.2.6	Referencias.....	137
3.2.7	ANEXOS .....	139

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Organigrama de la Corporación San Diego .....	13
Figura 2 Organigrama área de campo .....	14
Figura 3 Organigrama del departamento de Ingeniería Agrícola .....	15
Figura 4 Sistema radicular de la caña de azúcar .....	29
Figura 5 Tallos de la caña y su diferenciación .....	30
Figura 6 Componentes morfológicos que identifican el nudo y el entrenudo del tallo .....	31
Figura 7 Partes de la hoja de la caña .....	32
Figura 8 Fases fenológicas de la caña de azúcar .....	33
Figura 9 Representación esquemática de los componentes del balance hídrico .....	45
Figura 10 Representación esquemática del concepto de lámina de agua .....	47
Figura 11 Representación esquemática del tanque Cenirrómetro con las líneas de marcación. ....	49
Figura 12 Ubicación geográfica del experimento. ....	64
Figura 13 Mapa de clasificación de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala.....	66
Figura 14 Mapa de clasificación de uso de la tierra del municipio de Masagua, Escuintla	66
Figura 15 Mapa de los principales afluentes hídricos del municipio de Masagua, Escuintla. ....	67
Figura 16 Mapa de las zonas de vida del municipio de Masagua, Escuintla. ....	68
Figura 17 Variedad CP-722086 .....	70
Figura 18 Balance hídrico.....	76
Figura 19 Diseño de campo utilizado en los ensayos para evaluar la respuesta de la caña al agua.....	80
Figura 20 Forma utilizada para toma los puntos de muestreo .....	81
Figura 21 Forma utilizada para toma de datos (altura tallos molederos).....	81
Figura 22 Forma utilizada para toma de datos (altura mamones). ....	82

	Página
Figura 23. Forma utilizada para toma de datos (diámetro) .....	82
Figura 24 Forma utilizada para toma de datos (largo de entrenudos) .....	83
Figura 25 Comportamiento del crecimiento en la altura de tallos molederos .....	85
Figura 26 Tasa de crecimiento en la altura de tallos molederos .....	85
Figura 27 Comportamiento de la densidad de población de tallos. ....	86
Figura 28 Comportamiento entrenudos medios.....	88
Figura 29 Toneladas de caña por hectárea.....	89
Figura 30 Rendimiento de TAH.....	90
Figura 31A Análisis estadístico de población de tallos .....	96
Figura 32A Análisis estadístico de altura.....	97
Figura 33A Análisis estadístico de diámetro de entrenudos .....	98
Figura 34A Análisis estadístico de largo de entrenudos .....	99
Figura 35A Análisis estadístico de TCH .....	101
Figura 36A Análisis estadístico de TAH .....	101
Figura 37 Diseño de campo utilizado en los ensayos para evaluar la caña al agua. ....	110
Figura 38 Forma utilizada para toma de los puntos de muestreo .....	111
Figura 39 Forma utilizada para toma de datos (altura tallos molederos) .....	111
Figura 40 Forma utilizada para toma de datos (altura mamones) .....	112
Figura 41 Forma utilizada para toma de datos (diámetro) .....	113
Figura 42 Forma utilizada para toma de datos (largo de entrenudos) .....	113
Figura 43 Balance Hídrico.....	115
Figura 44 Comportamiento del crecimiento en la altura de tallos molederos .....	117
Figura 45 Comportamiento de la población de tallos.....	118
Figura 46 Comportamiento del diámetro de los entrenudos medios.....	119
Figura 47 Comportamiento entrenudos medios.....	120
Figura 48 Toneladas de caña por hectárea.....	121
Figura 49 Rendimiento de TAH.....	122
Figura 50A Boleta para entrega y recepción de equipo de riego. ....	139
Figura 51A Boleta para la evaluación del riego .....	140

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1 Fincas de la zona uno (1).....	6
Cuadro 2 Fincas de la zona dos (2) .....	7
Cuadro 3 Fincas de la zona tres (3).....	8
Cuadro 4 Fincas zona cuatro (4) .....	9
Cuadro 5 Matriz FODA .....	20
Cuadro 6 Análisis de la matriz FODA .....	21
Cuadro 7 Tamaño del poro con relación al tipo de agua.....	40
Cuadro 8 Descripción de la variedad CP-722086 .....	69
Cuadro 9 Elaboración del Cenirrómetro.....	75
Cuadro 10 Estratos altitudinales de la zona cañera en Guatemala.....	78
Cuadro 11 Tratamientos evaluados en el segundo tercio de corte .....	79
Cuadro 12 Eficiencias de uso del agua y producción obtenida en el experimento de respuesta de la caña al agua. ....	84
Cuadro 13A Resultados de análisis de suelos.....	95
Cuadro 14A Muestreo del comportamiento de la población de tallos.....	96
Cuadro 15A Resultados de muestreos del comportamiento de la altura .....	97
Cuadro 16A Resultados de muestreos del comportamiento de la altura .....	98
Cuadro 17A Comportamiento en la producción TCH y TAH .....	100
Cuadro 18 Tratamientos evaluados en el segundo tercio de corte .....	109
Cuadro 19 Elaboración del cenirrómetro .....	116
Cuadro 20 Eficiencias de uso del agua y producción obtenida en el experimento de respuesta de la caña al agua. ....	125
Cuadro 21 Responsabilidades y autoridad .....	131
Cuadro 22 Control de los registros .....	136

INFORME FINAL DE DIAGNÓSTICO, INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS PRESTADOS EN  
EL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA, INGENIO TRINIDAD,  
CORPORACIÓN SAN DIEGO, MASAGUA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.

RESUMEN

El riego en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), está asociado al incremento de la producción, es justificable la inversión de recurso económico y tiempo para el desarrollo de investigación y evaluación del funcionamiento adecuado de los sistemas en busca de una utilización adecuada del recurso hídrico.

El informe está dividido en tres capítulos. Capítulo Uno o Fase de Diagnóstico, en el cual los recursos de observación y reconocimiento del Departamento de Ingeniería Agrícola, en especial el área de riegos, se planteó e identificó de manera jerárquica y participativa algunos de los principales problemas mediante el método de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas –FODA-. Identificando a) inadecuada aplicación de lámina de riego y b) frecuencia de riego inapropiada.

Como Fortaleza; los asistentes y supervisores de campo poseen experiencia en el tema de riego y manejo de software de dibujo, así como la Certificación ISO 9001-2000. Debilidad; No se cuenta con un jefe directo a cargo del departamento, falta de personal para la elaboración de mapas temáticos. Oportunidad; expansión de la corporación San Diego y obtener nuevas tecnologías e investigación. Amenazas; daños provocados por fenómenos atmosféricos en su mayoría en invierno y daños ocasionados al equipo de riego por falta de capacitación a los operadores.

Capítulo Dos o Investigación, este capítulo se enfoca a la determinación de la fase fenológica que responda de manera adecuada a la aplicación de riego, en condiciones de un suelo franco arenoso, identificando dos momentos importantes a) fase de elongación, debido al momento de mayor respuesta al riego y b) fase inicial o de emergencia, debido al aumento en el porcentaje de individuos por metro lineal.

Posteriormente se identificó que el manejo de riego no es el mismo para todos los tipos de suelo. En los suelos arenosos se debe aplicar una lámina pequeña en repuesta a un periodo de corto tiempo, mientras que en un suelo con mejores características se puede aplicar una lámina grande para poder regresar a regar en un intervalo mayor de tiempo.

Capitulo Tres o Fase de Servicios, en éste se desarrolló de manera simultánea un ensayo similar a la investigación para determinar la respuesta de la caña al riego en condiciones de un suelo arenoso, los ensayos fueron evaluados de manera independiente a lo largo de su ciclo fenológico.

La lámina neta aplicada en cada riego, equivalente a la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA); este valor fue calculado en función de la capacidad del sistema de riego y capacidad de almacenamiento del suelo, además se utilizó un sistema innovador en estas condiciones, denominado tanque cenirrometro el cual permitió establecer una frecuencia de riego.

Los resultados obtenidos en la investigación con la variedad CP 722086, primer corte, indican que el efecto al riego en términos de producción de toneladas de caña por hectárea es alta en suelos de la clase franco arenoso. En este ensayo, la respuesta del cultivo a la aplicación del agua fue de 38 t/ha de caña, que equivalen a un incremento del 35 % con respecto a la producción del testigo sin riego.

En el servicio se evaluó la respuesta del agua a la caña variedad CP 881165, primer corte, los resultados indican que la respuesta al riego en términos de la producción de caña por hectárea es alta en suelos de la clase arenosa. En este ensayo, la respuesta del cultivo a la aplicación del agua fue de 29 t/ha de caña, que equivalen a un incremento de 63% con respecto a la producción del testigo sin riego.

El segundo servicio realizado en el Departamento de Ingeniería Agrícola se propuso un programa de evaluación, recuperación y análisis de datos obtenidos a partir boletas de control de riego, definiendo las responsabilidades de cada uno de los colaboradores en el proceso, todo esto con la finalidad de generar información que permita el análisis y posteriormente el planteamiento de soluciones para los principales tiempos perdidos que afectan los distintos sistemas de riego.









## 1.1 INTRODUCCIÓN

El departamento de Ingeniería Agrícola se encuentra ubicado dentro de la Corporación San Diego, la cual es un grupo de empresas, que se dedican a la producción de azúcar proveniente específicamente de la caña. El departamento se dedica a las actividades de diseño y ejecución de sistemas de riesgos y drenajes, con el fin de hacer eficientes los procesos de riego.

Debido a la importancia que tiene este departamento dentro de las empresas, se planteó la realización del Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía –EPSA- para describir la situación actual del mismo, realizando el presente diagnóstico, donde se identificaron cada una de las áreas, sus problemáticas y las que fueron resueltas a lo largo del periodo de ejecución del EPSA mediante los servicios que se realizaron dentro de la empresa.

En el diagnóstico se elaboró un análisis de la matriz FODA (fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades) donde se determinó que existía poca información e investigación acerca de los métodos de riego que se utilizan. Sabiendo que el riego influye en la productividad de un área específica, es justificable la inversión de recurso económico/tiempo. Para lo cual se implementaron parcelas de experimentación.

Se realizó un reconocimiento de las actividades que se realizan dentro del departamento, su organización, las funciones y responsabilidades de cada integrante. Observando que la capacitación del personal que maneja los equipos de riego es poca. Por lo que se sugirió la implementación de un itinerario de servicios al equipo y capacitación hacia el personal.

Encontrando de igual manera la falta de investigación en la determinación del momento adecuado para la iniciación y la cantidad de agua a regar. Planteando la iniciativa de nuevas investigaciones para mejorar las medidas de control en la calidad de riego que se aplican en los diferentes equipos de campo.

Se determinó que en el departamento de ingeniería agrícola se cuenta con tecnología en los sistemas de riego, pero no existe una evaluación a dichos sistemas. Para lo cual se planteó un modelo de boleta de evaluación a los sistemas y así determinar la eficiencia de los mismos.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

- Conocer la situación actual del Departamento de Ingeniería Agrícola, Ingenio Trinidad, Corporación San Diego

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Describir la estructura organizacional del Departamento de Ingeniería Agrícola.
- Desarrollar el documento del proceso riego efectuado actualmente en la corporación.

## **1.3 METODOLOGÍA**

Para la elaboración del diagnóstico al Departamento de Ingeniería Agrícola de la Corporación San Diego se empleó la siguiente metodología:

### **1.3.1 Plan de diagnóstico**

Durante la fase del plan de diagnóstico se describió la metodología y los pasos a seguir para la elaboración del presente diagnóstico.

### **1.3.2 Recopilación de Información**

La principal fuente de información de las actividades que se realizan dentro del departamento y el estado actual, se obtiene mediante el reconocimiento de las actividades que se realizan dentro del mismo están: supervisión de riegos y canales de conducción, elaboración y trazo de mapas, mantenimiento y acondicionamiento de nuevos equipos de riego, su organización, las funciones y responsabilidades de cada integrante del departamento.

Mediante la observación y toma de notas en las actividades diarias que se realizan dentro del departamento se procedió a la identificación de los servicios a realizar.

### **1.3.3 Análisis de la información**

Posterior a la recopilación de información esta fue analizada y ordenada de manera jerárquica, ya que de esta manera se pudo priorizar los servicios a presentar a la Corporación San Diego, Ingenio Trinidad.

### **1.3.4 Elaboración del diagnóstico**

Dentro de esta fase se llevó a cabo la construcción del presente documento.

## **1.4 INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA**

### **1.4.1 Marco referencial**

#### **1.4.1.1 Ubicación Geográfica**

El Ingenio Trinidad, forma parte de la Corporación San Diego, se localiza en el municipio de Masagua, jurisdicción del departamento de Escuintla, bajo las coordenadas geográficas latitud Norte 14° 9´ 1", longitud Oeste 90° 50´21.94"

El municipio de Masagua se ubica a una distancia 12 de kilómetros de su cabecera departamento Escuintla y a una distancia de 71 kilómetros de la ciudad capital, el acceso

puede realizarse por la carretera interoceánica 3 o CA- 9 y luego de pasar el pueblo se encuentra un cruce de donde hay 7 kilómetros para llegar a la entrada del ingenio. (CIM, 2009).

Se encuentra ubicada en la zona de vida de Bosque Muy Húmedo Subtropical, dicha zona tiene las características de poseer terrenos planos que tienen suelos de buena calidad. (INSIVUMEH, 1982).

#### 1.4.1.2 Características de la distribución de las zonas

El ingenio posee un área de cultivo de alrededor de 11500 hectáreas. Estas están subdivididas en cinco zonas, las cuales están comprendidas dentro de los tres estratos del cultivo.

Las zonas se encuentran divididas posteriormente en cada uno de los principales cascos de las mismas.

La zona uno comprende las fincas que se localizan en la zona de Siquinala, aldea el rodeo y la parte alta de Masagua en donde podemos mencionar las siguientes fincas:

**Cuadro 1 Fincas de la zona uno (1)**

Nombre de la finca	Área en Ha
Lorena	290.28
San Fernando Lourdes	135.91
Montijo	76.16
San Eduardo	52.83
San Rafael	37.34
Costa Brava	598.47
Inquietud Pezarossi	89.80
La Isla	205.97
San Jorge	383.29
<b>Total</b>	<b>1870.5</b>

Fuente: elaboración propia

La zona dos, comprende fincas en el área de Guanagazapa y algunas en la zona este del municipio de Masagua, dentro de las mismas podemos mencionar:

**Cuadro 2 Fincas de la zona dos (2)**

Nombre de la finca	Área en Ha
La Toma	57.43
Trapichito	7.01
Santa Eligia	68.80
El Pantanal	63.49
Mercedez	248.80
Villa Aura	28.13
Santa Fe	27.16
Agropecuaria La Luz	368.38
Rivera Linda	54.40
Rancho virginia	41.87
María Linda	19.00
Dolores	371.47
Esperanza San Diego	243.72
Esperanza Rosales	167.32
Tepeyac	23.92
Las Flores	21.83
Las Flores 2	7.23
Parcela Brito	5.44
<b>Total</b>	<b>1825.40</b>

Fuente: elaboración propia

La zona número tres se encuentra en la parte central del municipio de Masagua, acá esta la mayor cantidad de área cultivada por el ingenio comprendiendo las fincas descritas en el cuadro 3.

**Cuadro 3 Fincas de la zona tres (3)**

Nombre de la finca	Área en Ha
Belem	755.26
La Esperanza	50.99
Génova	47.08
San Ángel	62.27
Parcela 90	12.45
Parcela Casados	6.89
Berlin	19.5
La Virgen	84.04
Los Castaños	96.95
Naranjo Villavicencio	367.80
Parcela Solis	13.01
Rancho Amelia	13.52
Parcela santizo	12.67
Parcela 1 (Vasquez)	12.43
Parcela 3 (Giron)	13.54
Parcela 64 (El Cerrito)	8.97
Parcela A-32	13.32
Parcela 131	13.67
Parcela 208	12.5
Naranjo San Diego	1,049.10
San Cayetano	439.11
Nonoito	81.2
Palmeras	163.06
Panorama	219.29
Horizonte	87.1
Las Violetas	50.41
El Roble	63.52
Mariuky	45.09
Juan Abad	11.61
Mariuky 2	36.9
El Boton Dorado	56.35
El Tesoro	17.56
San Antonio Las Brisas	9.55
<b>Total</b>	<b>3946.75</b>

Fuente: elaboración propia



Dentro de la zona número cuatro se encuentran las fincas más cercanas al mar siendo esta la segunda zona en cuanto a área se refiere, pudiendo localizar las siguientes fincas.

**Cuadro 4 Fincas zona cuatro (4)**

Nombre de la finca	Área en Ha
Variedades	95.89
El Recuerdo	38.89
Altamira	16.15
Tasmania	327.52
Monte Video	7.57
La Golondrina	38.20
Laguna Blanca	409.55
Maria Laura	414.86
El Refugio	89.53
Venecia	102.46
Tierra Linda	21.93
El Relicario	321.33
Palestina	130.61
Bonanza Sierra	18.13
Las Palmas Sierra	19.00
Primavera	72.84
Primavera Sierra	18.69
Santa Cecilia 1	104.61
Santa Cecilia 2	41.22
Brisas del Sur	131.14
Arcadia	126.39
Monte Maria	62.62
Santa Elena	498.68
San Carlos	162.53
Santa Monica 2	10.79
Santa Monica	17.50
El Triunfo	60.42
Magnolia	17.91
<b>Total</b>	<b>3376.96</b>

Fuente: elaboración propia

La zona número cinco es la zona de reciente crecimiento y se encuentra en el área de las Lisas, Santa Rosa, en ella se estuvo arrendando tierra para continuar con el crecimiento de la zona de producción del ingenio el área aproximada es de 700 ha.

#### 1.4.1.3 Características climáticas

Las zonas de manera general se caracterizan por mantener una precipitación que varía entre 2,000 y 3,500 milímetros, con una temperatura que varía de 15 y 36 grados centígrados siendo los meses más cálidos marzo y abril.

En general el clima es cálido con temperatura promedio de 24.80 \* C y su precipitación pluvial promedio de 3,500 milímetros al año distribuidos de mayo a octubre siendo junio y septiembre los meses más lluviosos.

La humedad relativa es del 70.30% y la evaporación a la intemperie es de 4.16 milímetros por día. Los vientos de las mañanas corren en dirección Noreste y por las tardes en una dirección Suroeste. (CIM, 2009).

### 1.4.2 Descripción de la Empresa

La Corporación San Diego era un grupo de empresas de administración familiar, cuya principal actividad era la producción de azúcar, a partir de caña, para el mercado de Guatemala y los mercados internacionales en una relación de 44% y 56% respectivamente.

Sus operaciones incluían dos ingenios azucareros ubicados dentro del departamento de Escuintla, distante a unos 70 kilómetros hacia el sur de Ciudad de Guatemala. La más antigua empresa de la Corporación era el Ingenio San Diego. San Diego fue fundado en 1890 y fue adquirido el 7 de octubre de 1943 por los hermanos Julio, Antonio y Fraternal Vila Betoret, fundadores de la Corporación, con una producción en ese entonces de tan sólo 10,000 quintales por zafra.

En el año 1984 se adquirió el Ingenio Trinidad, el que iniciaba sus operaciones a nivel industrial en 1985, con una producción inicial de 22 mil quintales por zafra. La producción total de azúcar de la zafra 2005-2006 fue de 2,2 millones de quintales distribuidos en: Ingenio Trinidad 1,09 millones de quintales (49%) e Ingenio San Diego 1,12 millones de quintales (51%)

En la zafra 2009-2010 la cantidad de quintales de azúcar se vio incrementada enormemente alcanzando cifras aproximadas de 8.7 millones de quintales de azúcar entre ambos ingenios, para la zafra 2010-2011 se procedió al desmantelado y reacondicionamiento del Ingenio San Diego, en el área aledaña al Ingenio Trinidad y de esta manera formando un solo ingenio más grande y eficiente en función de la cercanía al área de cultivo, las coordenadas de ubicación son: latitud Norte 14° 9' 1", longitud Oeste 90° 50' 21.94", cuenta con un área total de cultivo para el año 2011 alrededor de 11500 Ha de las cuales el 49.94 % corresponde al área bajo riego.

#### 1.4.2.1 Misión de la corporación

Es un grupo empresarial guatemalteco, guiado por principios claros, que transforma la caña de azúcar en productos energéticos que proporcionen bienestar. Con un equipo profesional, se busca y desarrolla oportunidades de crecimiento integral y alta rentabilidad. Genera un mejor nivel de vida para todos los miembros de la organización y confirma el compromiso por un mejor país.

#### 1.4.2.2 Visión de la corporación

Ubicarse dentro de los tres ingenios más eficientes y de más bajos costos de la región centroamericana.

#### 1.4.2.3 Departamentos y Áreas de la empresa

La corporación se encuentra organizada en áreas y luego en departamentos siendo estos los siguientes:

Gerente de general.

Área de fábrica.

Superintendente de fábrica.

Departamento de contabilidad

Departamento de producción

Departamento de compras

Departamento de informática

Área de campo

Gerente de campo.

Superintendente de campo.

Jefes de zona

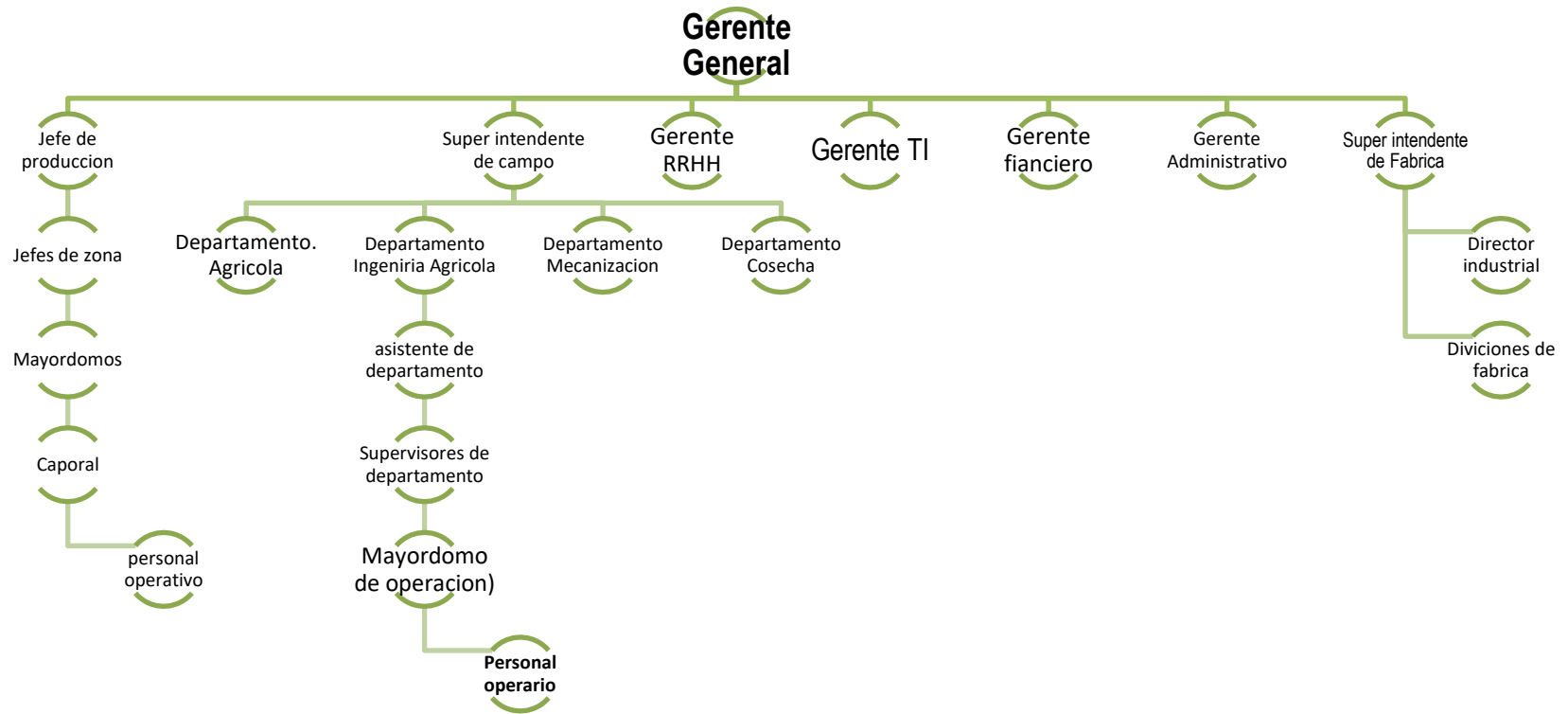
Departamento agrícola

Departamento de mecanización

Departamento de ingeniería agrícola

Departamento de cosecha.

1.4.3 Organización de la empresa



Fuente: elaboración propia

**Figura 1 Organigrama de la Corporación San Diego**

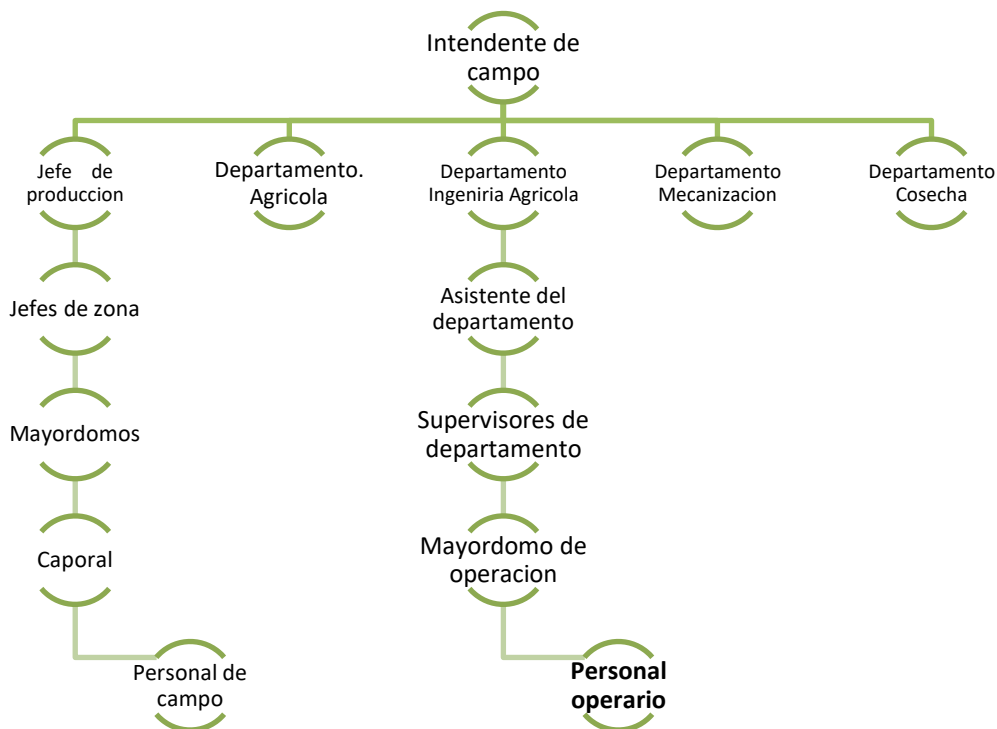
## 1.5 ÁREA DE CAMPO

### 1.5.1 Generalidades del área de campo

El área de campo es la encargada de producir la materia prima que será procesada y posteriormente transformada ya sea en azúcar o en algún sub producto de la misma. El gerente de campo tiene a su cargo el departamento agrícola, mecanización, ingeniería agrícola y cosecha, quienes son los encargados de todas las actividades a realizar en el proceso de cultivo de la caña. Con la ayuda del súper intendente de campo, se encarga de la planificación y ejecución de todas las actividades en las distintas zonas de cultivo.

### 1.5.2 Organización de los departamentos

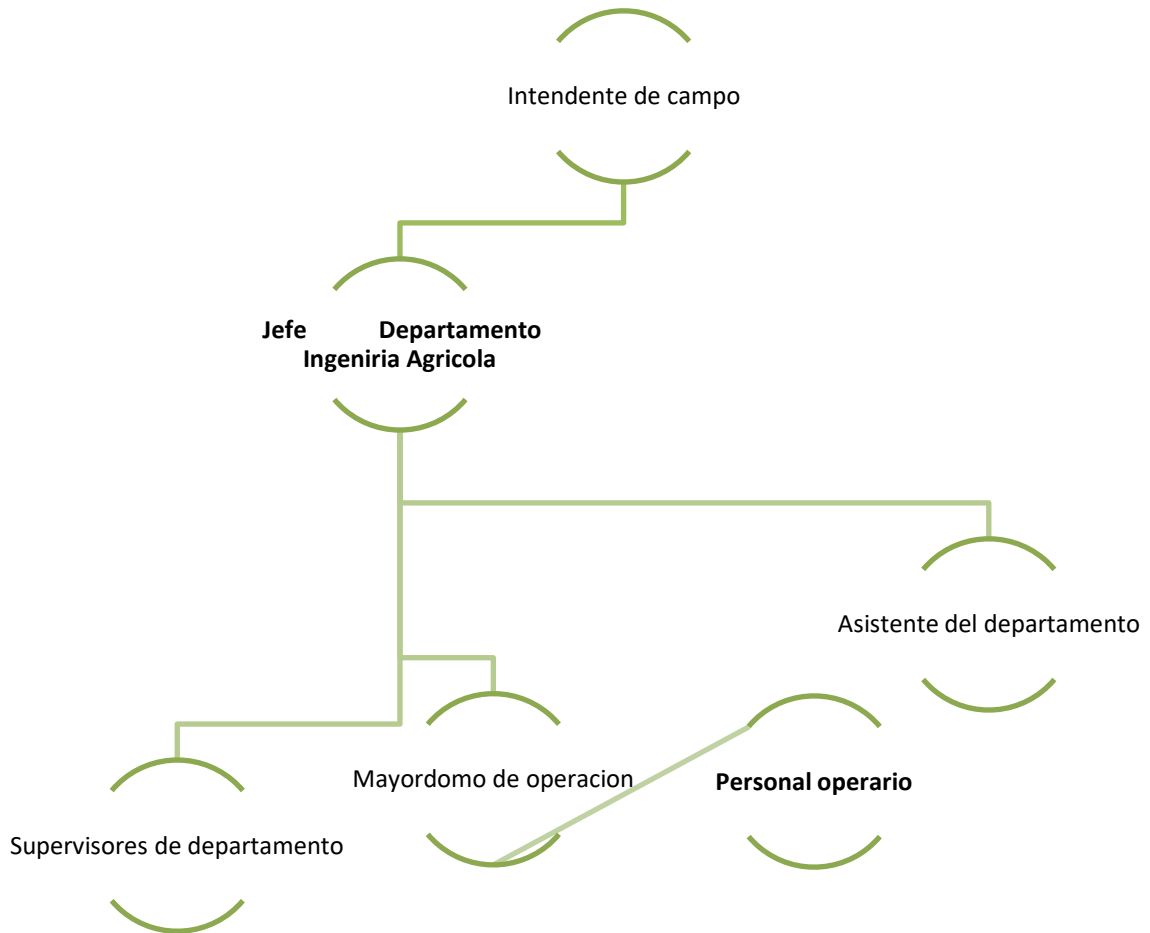
Los departamentos son parte de campo, cada departamento consta de sus propios supervisores de campo y respectivos auxiliares.



Fuente: elaboración propia

**Figura 2 Organigrama área de campo**

### 1.5.3 Organización del departamento



Fuente: elaboración propia

**Figura 3 Organigrama del Departamento de Ingeniería Agrícola**

### 1.5.4 Funciones básicas del departamento

- Diseño y ejecución de proyectos de riego y drenaje de acuerdo al plan de trabajo y proyectos de otras áreas.
- Generación de planos en base a remediciones (actualización) o áreas nuevas así como sus trazos.

- Evaluar la operación de riego en cada zona respecto a la calidad y eficiencia, así como la generación de la información y su respectiva validación.
- Plantear el programa de las áreas a regar en coordinación con las jefaturas de cada zona según la disponibilidad y capacidad de los recursos.
- Mantenimiento y reparación de los equipos y accesorios de riego verificando que se realice en el momento oportuno y con la calidad que se requiere.
- Seguimiento y control del programa anual del mantenimiento y reparación de los equipos en coordinación con otras áreas.

### **1.5.5 Funciones del equipo de trabajo**

#### **1.5.5.1 Jefe del departamento**

- Programa las capacitaciones al personal de cada zona sobre el uso y manejo adecuado de los equipos de riegos y drenajes.
- Elabora el plan de trabajo diario para cada zona.
- Revisa la programación de revisión del equipo de las diferentes zonas.
- Evalúa y presenta los controles estadísticos del departamento de Ingeniería Agrícola.
- Revisa la información consolidada para generar reportes diarios, semanales, mensuales, anuales y dar seguimiento del presupuesto anual.
- Supervisa proyectos de riego, drenaje, según lo establecido en el plan de trabajo.
- Llevar controles de las operaciones de riego con respecto a la calidad, eficiencia, cuidado del equipo y consumo de insumos, así como la fuente de agua que abastecen.
- Participa en el comité de riegos en Cengicaña para transferir y aplicar la tecnología vigente.
- Recopila la información de los equipos de riegos y drenajes para evaluar su eficiencia y capacidad.
- Realiza el mantenimiento, reparación y evaluación de la operación de los equipos de riegos y drenajes.



- Evalúa la calidad de las diferentes fuentes de agua de la empresa con fines de aplicación y determinar su tratamiento.
- Elabora y da seguimiento al presupuesto del área, con la finalidad de eficientar el uso del recurso.
- Supervisa y evalúa permanentemente el rendimiento de las labores para llevar a cabo acciones correctivas oportunas para optimizarlas.
- Programa y ejecuta los programas de riego.
- Manejo de sistemas de información geográfica.

#### 1.5.5.2 Asistente del departamento

- Diseña y ejecuta los proyectos de riego y drenaje según lo establecido en el plan de trabajo. Así como a otras áreas que se les da el servicio.
- Realiza la remediación de áreas, actualiza los planos y diseña los proyectos y ejecución de obra civil.
- Revisa la reparación del equipo de riego.
- Consolida la información para generar reportes, diarios, semanales, mensuales, anuales y da seguimiento del presupuesto anual.
- Coordina en cada zona por cada finca, proyecto de riego, drenaje según lo establecido en el plan de trabajo.
- Responsable de medir los rendimientos de los equipos, recopilando la información y validándola con los involucrados para tomar decisiones semanalmente sobre los mismos y así realizar las correcciones respectivas
- Evalúa la operación de riego de cada zona con respecto a la calidad, eficiencia, cuidado del equipo y consumo de insumos, así como la fuente de agua que abastecen
- Capacita permanente al personal en cada zona, asignando a la actividad y su evolución en el desempeño.
- Participa en el comité de riegos en Cengicaña para transferir y aplicar la tecnología vigente.
- Elabora el presupuesto del área que le corresponde.

### 1.5.5.3 Supervisor del departamento

Riego por aspersion:

- Revisa los reportes que se generan en las fincas (zonas)
- Confirma los inventarios de cada equipo en una forma periódica
- Revisa la aplicación del riego
- Lleva el control las áreas regadas.
- Coordina con el personal de fincas y caporal de riego las labores necesarias
- Recopila y reporta la información generada por las fincas (zonas)
- Responsable de verificar el estado y mantenimiento del equipo y accesorios

Riego por gravedad

- Confirma el área regada.
- Coordina la ejecución del riego con el caporal asignado y responsable de las fincas
- Lleva el control de las áreas regadas
- Realiza mediciones y aforos de caudales periódicamente
- Realiza e informa los rendimientos del personal asignado a la labor
- Drenajes y topografía
- Participa en el levantamiento altimetría, con nivel electrónico y óptico.
- Supervisa la construcción canales y drenajes.

### 1.5.5.4 Caporal de riego

Riego por aspersion:

- Genera reportes del área de riego.
- Reporta los desperfectos de los equipos de riego.
- Revisa las condiciones con que se estará ejecutando la labor e informa.
- Verifica los avances según el programa.
- Constata que los equipos asignados estén en funcionando, en buen estado, sean bien utilizados y completos como se asignaron a cada equipo de trabajo en las fincas.

Riego por Gravedad

- Verifica la información y áreas que están reportando como regadas.
- Revisa e informa de los rendimientos del personal asignado a la labor.

#### 1.5.5.5 Personal operativo

- Encargado de realizar todas las actividades varias a desarrollarse dentro del
- departamento tales como: aplicación del riego, levantamiento topográfico, trazo de canales etc.

#### **1.5.6 Información general de mapas**

Dentro de la base de datos de campo de la Corporación San Diego, se cuenta con fácil acceso a la matriz general de mapas actualizados en formato pdf, y se cuenta con la base de datos en formato autocad para poder actualizar y modificar dichos planos, dentro del departamento se cuenta con personal de campo encargado del levantamiento y actualización de esta base de datos.

Es muy importante recalcar que al estar en el sistema tanto los jefes de zona, mayordomos y supervisores tiene acceso a dicha información para poder diseñar la forma de acceso a las fincas, procesos de riego, trazo de drenajes, trazo de surcos y procesos de cosecha en forma general.

## 1.6 DIAGNÓSTICO DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA

### 1.6.1 Análisis FODA

**Cuadro 5 Matriz FODA**

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Los asistentes y supervisores de campo poseen experiencia en el tema de riego y manejo de software de dibujo</li> <li>→ Fácil acceso a la información actualizada de las diferentes fincas.</li> <li>→ Fácil acceso a las fincas de la corporación.</li> <li>→ Certificación ISO 9001-2000.</li> <li>→ Se cuenta con aparatos y software actualizados y modernos.</li> <li>→ Se cuenta con varios supervisores de campo.</li> <li>→ Se cuenta con apoyo para invertir en nuevos sistemas de riego.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ No se cuenta con un jefe directo a cargo del departamento.</li> <li>→ Falta de instrumentos para mediciones climáticas las fincas.</li> <li>→ Falta de personal para la elaboración de los mapas temáticos.</li> <li>→ Falta de cuadrillas para la realización de medidas topográficas</li> <li>→ Poca investigación en la determinación del momento adecuado para la iniciación y la cantidad de agua a regar.</li> </ul>
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Expansión de la corporación San Diego.</li> <li>→ Existe la capacidad y la disponibilidad de obtener nuevas tecnologías.</li> <li>→ Investigaciones y estudios enfocados al manejo y rendimiento de la caña de azúcar (Saccharum Officinarum).</li> <li>→ Disponibilidad de capacitación del personal a nivel superior.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Daños provocados por fenómenos atmosféricos en su mayoría en invierno.</li> <li>→ Tiempo perdido en la acción de respuesta a la compra de los repuestos necesarios.</li> <li>→ Robo de combustible por parte del personal operativo.</li> <li>→ Daño ocasionado al equipo de riego por falta de capacitación a los operadores.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia

**Cuadro 6 Análisis de la matriz FODA**

Factores internos Factores externos	Fortalezas	Debilidades
Oportunidades	<p>FO (maxi-maxi)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Construir y desarrollar las relaciones entre los distintos integrantes del equipo de trabajo.</li> <li>⇒ Actualizar los software y distintos equipos utilizados dentro del departamento para la realización de mediciones.</li> <li>⇒ Darle un adecuado mantenimiento a las vías de acceso de las fincas de la corporación.</li> <li>⇒ Motivar al personal a la realización de las investigaciones.</li> </ul>	<p>DO (mini-maxi)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Recomendar la pronta contratación del personal de dibujo y topografía del departamento.</li> <li>⇒ Mejorar las estaciones meteorológicas de las fincas.</li> <li>⇒ Aumentar la cantidad de investigaciones a realizar dentro del periodo de riego.</li> </ul>
Amenazas	<p>FA (maxi-mini)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Capacitar y enseñar adecuadamente al personal de la de campo y supervisores, para evitar desperfectos en los aparatos de medición y el equipo de computación.</li> <li>⇒ Crear planes de contingencia adecuados de acción rápida para minimizar los daños a las áreas de cultivo.</li> <li>⇒ Capacitar al personal en áreas de interés de cada persona a manera de motivar el desarrollo profesional en distintas áreas.</li> </ul>	<p>DA (mini-mini)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Realizar reuniones entre el personal para mejorar las relaciones y el desarrollo del departamento.</li> <li>⇒ Planteamiento de medidas de control en la calidad del riego que se aplica en los diferentes equipos.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia

### 1.6.2 Estrategias del análisis de la matriz FODA, de forma analítica

- Estrategia FO (maxi-maxi):

Es muy importante mejorar no solo el equipo de mediciones sino también capacitar al personal que lo utilizara para de esta manera evitar daños y aprovechar de mejor manera los recursos.

Además es importante mejorar la relación interna para que de esta manera el desarrollo sea en conjunto y al estar apoyados la empresa caminar de una mejor manera desde todos los puntos de vista para alcanzar los objetivos y las metas en un corto, mediano y largo plazo.

- Estrategia FA (maxi-mini):

Mediante la implementación de un plan de contingencia adecuado se puede evitar un gran número de pérdidas ya que como sabemos es más viable prevenir que reparar, por esto un itinerario de servicios al equipo y capacitación hacia las personas que lo realizan, podemos minimizar los costos de reparación de los equipos.

- Estrategia DO (mini-maxi):

Mediante la coordinación entre supervisores y asistente se puede generar oportunamente los listados de repuestos e insumos necesarios para la época de riego y el proceso planes de mitigación para el invierno.

Es de vital importancia la contratación de un jefe para el departamento, ya que en la situación actual los asistentes tienen todo su tiempo saturado ya sea en supervisión, mantenimiento de equipo o en la elaboración de planos para las diferentes áreas dejando poco tiempo para la evaluación de los sistemas existentes y para la elaboración de nuevos proyectos.

- Estrategia DA (mini-mini):

Concientizar y hacer que los trabajadores se sientan parte de la empresa, es una forma para poder mitigar los daños ocasionados a los equipos de riego y así minimizar los robos de combustible debido a la inconformidad, además es muy importante manejar un reacondicionamiento salarial para poder mitigar este fenómeno que no solo causa pérdidas por el robo de combustible, si no de tiempo y en si afectando el cultivo a regar.

### 1.6.3 Priorización de problemas

1. Dentro de la Corporación San Diego, se cuenta con varios tipos de riego que van desde el más sencillo podría mencionarse el riego por gravedad hasta sistemas complejos de riego por aspersión mecanizados, es necesario una pronta evaluación de la cantidad de lámina que está siendo aplicada y en sí de la forma de operación de los sistemas. Por ello se procederá a la elaboración del documento de proceso de riego y posteriormente a la formulación y validación de cada uno de los sub procesos, dentro de estos podemos mencionar:
  - Riego por gravedad.
  - Riego por aspersión mediante cañones.
  - Riego por aspersión mecanizado (pivote central, avance frontal y universal).
2. El riego de forma general se puede ver transformado en dinero y como este influye en el crecimiento, desarrollo y productividad de un área específica, para ello se hace necesario el diagnóstico y observación del comportamiento de las zonas bajo riego constante, mediante la implementación de parcelas a las que se toma los datos de crecimiento y posteriormente se realiza un análisis pre cosecha para estimar su productividad.
3. El manejo de riego no es el mismo para todos los tipos de suelo, en los suelos arenosos se debe aplicar una lámina pequeña en repuesta a un periodo de corto tiempo, mientras que en un suelo con mejores características se puede aplicar una lámina grande para poder regresar a regar en un aproximado de 15 a días, para poder determinar la respuesta la caña se montarán ensayos en ambas condiciones los que serán evaluados de manera independiente a lo largo de su ciclo fenológico.
4. El aporte capilar en la zona litoral se espera que en principio sea alto y con ello poder economizar al momento de iniciar el riego en esta zona, para poder determinar el momento adecuado de riego se procederá a la implementación de pozos de observación los que serán colocados dentro de los terrenos que se encuentren cercanos al nivel del mar.

## 1.7 REFERENCIAS

1. CIM (Centro de Información Municipal, Masagua, Escuintla, Guatemala). 2009. Mapas de la región (en línea). Escuintla, Guatemala. Consultado 1 abr. 2011. Disponible en <http://www.inforpressca.com/masagua/>
2. IGN (Instituto Geográfico Nacional, Guatemala). 1972. Atlas nacional de Guatemala. Guatemala. 96 p.
3. \_\_\_\_\_. 1982. Mapa topográfico de la república de Guatemala: hoja Amatitlán, no. 2059-II. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
4. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Guatemala). 1982. Tarjetas de registro climatológicas de la estación meteorológica de Amatitlán 1982. Guatemala. Sin Publicar.
5. López, VG; Grande J; Gonzáles, B. 2006. Guía para la elaboración de Plan de Diagnostico en el Ejercicio Profesional Supervisado. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. s.p.
6. Simmons, CS; Tárano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra. 1000 p.







## 2.1 PRESENTACIÓN

En la Finca Panorama de la Corporación San Diego – Trinidad; se realizó una investigación para evaluar la respuesta de la caña variedad CP-722086, al déficit hídrico en distintas etapas fenológicas y en suelo de textura Arenoso Franco. El experimento requirió de 0.55 ha sin veta de arena, realizando la siembra el 05 de febrero de 2011 y cosechando el 12 de diciembre del mismo año (10 meses de edad), época comprendida dentro del segundo tercio de corte. Los balances hídricos requirieron la aplicación de riego en el periodo de febrero a mayo y de noviembre al corte.

Se evaluaron cuatro tratamientos en el experimento; testigo (sin riego o T1); sin déficit hídrico (riego en todo el ciclo o T2); con riego en etapa de macollamiento y elongación (déficit hídrico en pre-corte o T3); y con riego en etapa de pre-corte (déficit hídrico en macollamiento y elongación o T4). La lámina de agua rápidamente aprovechable del suelo (LARA) es equivalente a la lámina de agua neta aplicada en cada riego, esta fue de 102.55 mm durante todo el ciclo, a partir de los 21 días después del corte.

Dadas las condiciones del lugar se seleccionó el diseño estadístico de bloques al azar con la gradiente veta de arena, de esta manera se obtuvo cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Las variables que se midieron fueron toneladas de caña por hectárea (TCH), toneladas de azúcar por hectárea (TAH), densidad de población (tallos/metro lineal), y altura de tallos molederos.

Los resultados de producción de caña y azúcar obtenidos en el ensayo fueron para el tratamiento T1 sin riego, 111.10 TCH y 4.12 TAH; para el tratamiento T2 riego en todo el ciclo, 145.31 TCH y 5.55 TAH; para el tratamiento T3 riego en etapa de macollamiento (31-75 dds) y elongación (76-240 dds), 133.61 TCH y 6.66 TAH; para el tratamiento T4 riego en etapa de pre-corte (241-310dds), 104.54 TCH y 4.43 TAH. Se determinó que el riego aumento la producción en 38 TCH y 2.54 TAH equivalentes a un 35 % y 38 % respectivamente, con relación al tratamiento testigo T1. No se obtuvo diferencia significativa entre los tratamientos evaluados, a la hora de realizar el análisis estadístico.

## 2.2 MARCO TEÓRICO

### 2.2.1 Marco conceptual

Clasificación botánica

Reino: plantae

Phylum: tracheophyta

Subphylum: pteropsida

División: magnoliophyta

Clase: liliopsida

Subclase: commelinidae

Orden: cyperales

Familia: poaceae

Tribu: andropogoneae

Género: saccharum

Especie: *Saccharum officinarum* L.

La *S. officinarum* corresponde a las cañas cultivadas hoy en día y se considera que fue domesticada a partir de *S. robustum*, cada una de ellas tiene sus propias características que las identifican de manera específica, considerando que el número de cromosomas es variable dentro de cada especie, lo cual ha incidido en una variación genética amplia en sus progenie, sido utilizadas en cruces entre las mismas especies. Los clones comerciales de caña de azúcar son derivados de las combinaciones entre las dos especies anteriores (Osorio, 2007).

Morfología

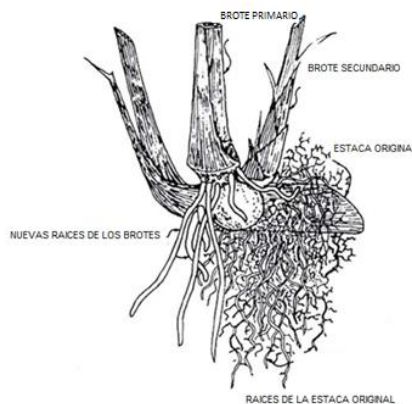
Según datos reportados por la flora de Guatemala, no existe evidencia de muestras recogidas que puedan considerarse como especies nativas de la región, sin embargo, la planta se cultiva ampliamente en las regiones tropicales de todo el mundo.

La caña se considera como planta perenne, con tallos erectos o ascendentes de una altura máxima de 4 m, glabros, posee nudos cortos, envolturas superpuestas, redondeado, pubescentes o suavemente pubescentes, densamente veloso en la parte alta, las hojas inferiores tienden a tener un porte sobre el tallo ; lígula de color marrón oscuro, truncadas, finamente ciliada a unos 5 mm de largo, hojas alargadas, amplio con nervio medio prominente, agudamente aserrados, densamente pubescente o vellosa en la superficie superior en la base; panículas muy grande, densa, las ramas caídas de largo, espiguillas de 4-5 mm de largo. (Stanley, 1958)

Es muy importante poder reconocer las principales características de la planta para diferenciar una especie o una variedad de otra. De esta manera se puede centrar la atención en aquellas características de interés para el desarrollo del cultivo, es importante no olvidar que la planta se comporta como un ente complejo y se debe brindar cuidado y atención a todo el sistema ya que el desarrollo de un órgano se ve influenciado por el cuidado general que se le brinde al cultivo (CENICAÑA, 1995).

#### Sistema radicular de la caña de azúcar

Constituye la parte subterránea del eje de la planta; es el órgano sostén y el medio para la absorción de nutrientes y agua del suelo. En la planta de caña se distinguen dos tipos de raíces, como se muestra en la figura 4.



Fuente: Olalla, Valero & Santa, 1992

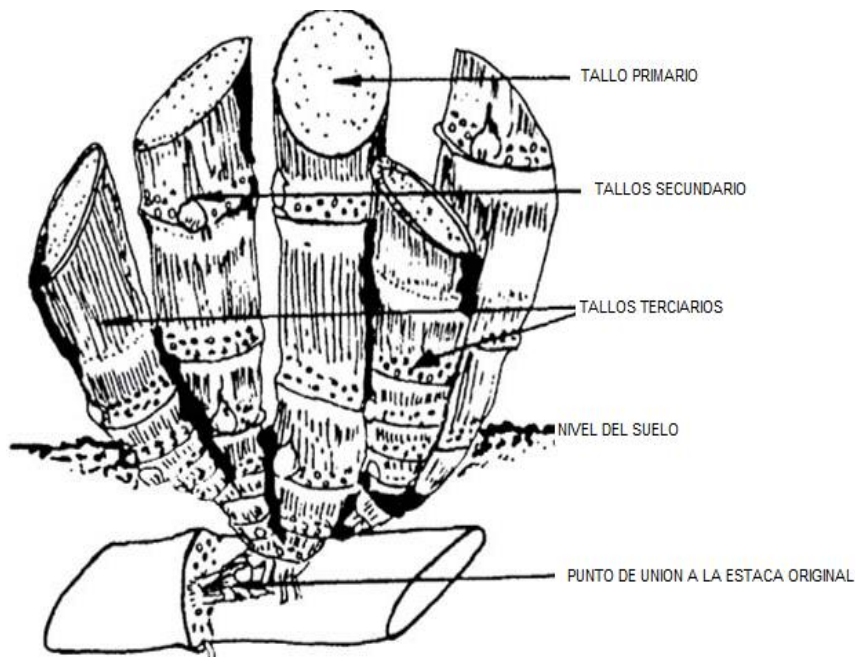
**Figura 4 Sistema radicular de la caña de azúcar**

Raíces primordiales: corresponden a las raíces de la estaca original de siembra; son delgadas, muy ramificadas y su período de vida llega hasta los tres meses de edad (Osorio, 2007).

Raíces permanentes: brotan de los anillos de crecimiento de los nuevos brotes, son numerosas, gruesas, de rápido crecimiento y su proliferación avanza con el desarrollo de la planta. Su cantidad, longitud y edad dependen de la variedad y de las condiciones de suelo y humedad. La raíz de la caña es fasciculada (Osorio, 2007).

### El tallo

Es el órgano más importante de la planta de la caña, puesto que allí se almacenan los azúcares; el número, el diámetro, el color y el hábito de crecimiento dependen de la variedad. La longitud de los tallos, en gran parte depende de las condiciones ambientales de la zona y del manejo que se le dé a la variedad. Los tallos pueden ser primarios, secundarios o terciarios. Las partes constitutivas del tallo se presentan en la figura 5, al igual que sus componentes morfológicos (Osorio, 2007).



Fuente: Olalla, Valero & Santa, 1992

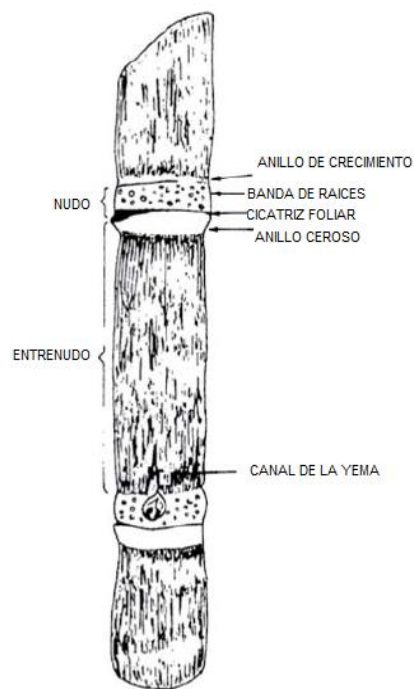
**Figura 5 Tallos de la caña y su diferenciación**

### El nudo

Es la porción dura y más fibrosa del tallo que separa dos entrenudos vecinos. El nudo, a su vez, se encuentra conformado por el anillo de crecimiento, la banda de raíces, la cicatriz foliar, el nudo propiamente dicho, la yema y el anillo ceroso. La forma de la yema y su pubescencia son diferentes en cada variedad y por tanto, muy usados para su identificación, según se puede observar en la figura 6 (Osorio, 2007).

### El entrenudo

Es la porción del tallo localizada entre dos nudos. El diámetro, el color, la forma y la longitud cambian con la variedad. El color es regulado por factores genéticos, cuya expresión puede ser influenciada por condiciones del medio ambiente. Sus formas más comunes son cilíndricas, en forma de barril, constreñido, cuneiforme y curvado como lo indica la figura 6 (Osorio, 2007).



Fuente: Olalla, Valero & Santa, 1992

**Figura 6 Componentes morfológicos que identifican el nudo y el entrenudo del tallo**

## Hoja

Se origina en los nudos y se distribuye en posiciones alternas a lo largo del tallo.

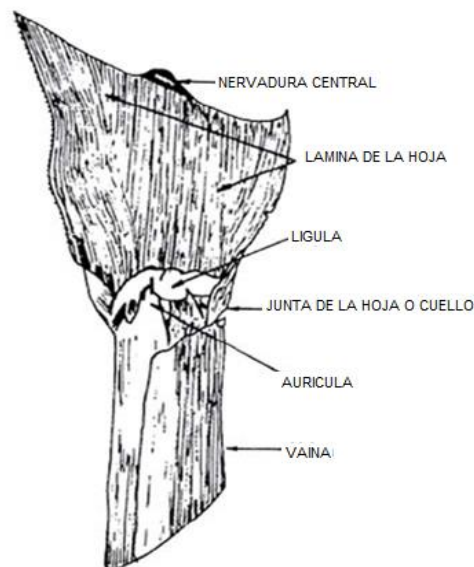
Cada hoja está formada por la lámina foliar y por la vaina y la yagua. La unión entre estas dos partes se conoce con el nombre de lígula, en cuyo extremo existe una aurícula con pubescencia variable (Osorio, 2007).

### Lámina foliar

Es la parte más importante para el proceso de fotosíntesis, su disposición en la planta difiere con las variedades. La lámina foliar es recorrida en toda su longitud por la nervadura central y los bordes presentan protuberancias en forma aserrada. El color de las hojas, dependiendo de la variedad, puede variar desde verde claro a verde más oscuro. La longitud y el ancho también dependen de la variedad.

### Yagua o vaina

Es de forma tubular, envuelve el tallo y es más ancha en la base. Puede tener presencia o ausencia de pelos urticantes en cantidad y longitud que cambian con las variedades (Osorio, 2007), (figura 7).



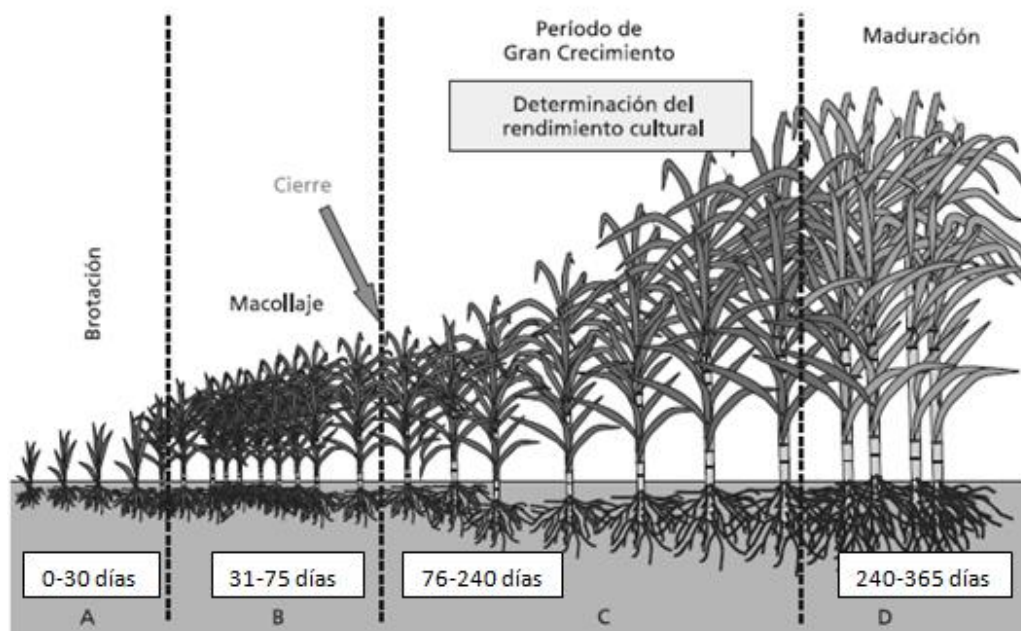
Fuente: Olalla, Valero & Santa, 1992

**Figura 7 Partes de la hoja de la caña**



## Fases fenológicas de la caña de azúcar

Las fases fenológicas de la caña de azúcar se refieren a las fases que caracterizan el desarrollo y crecimiento de la caña, las cuales van desde su brotación hasta la maduración; la duración de las fases depende de la variedad de caña y de la ubicación del cultivo. En general en Guatemala el ciclo del cultivo de la caña de azúcar dura de 10 a 12 meses (figura 8).



Fuente: Juárez & Muñoz, 1997

**Figura 8 Fases fenológicas de la caña de azúcar**

- Fase A: Emergencia y establecimiento de la población inicial de tallos

Esta fase comprende desde la siembra hasta los 30 días después de siembra (dds). Entre los principales sucesos fenológicos que definen esta fase, se destaca la emergencia y el mantenimiento temporal (etapa de estabilización) de tallos primarios, caracterizados por mantener una altura mínima mientras incrementa el número de hojas verdes por tallo.

Se manifiesta el desenvolvimiento del brote a partir de la yema lateral en la superficie, el cual emerge de 20 dds a 30 dds, y el desenvolvimiento de la raíz hacia abajo, donde el enraizamiento inicial ocurre entre los 14 a 21 días después de la emergencia. Durante esta fase aparecen sus yemas foliares primarias (Van Dillewijn, 1952).

- Fase B: Macollaje y Cierre

El Macollamiento es una fase de gran importancia en la definición del rendimiento, en su transcurso se establece el número potencial de órganos cosechables, los cuales van de los 31 dds a los 75 dds., iniciando con el apareamiento de dos colmos. Su principal característica es el rápido aumento de la población total de tallos, la altura media de la población se mantiene estable hasta la mitad de esta fase, para luego registrarse un drástico cambio en el ritmo de elongación, que coincide con la finalización del macollamiento y el cierre del cañaveral.

Durante esta fase ocurre la generación del sistema radicular adventicio y definitivo. (Van Dillewijn, 1952).

- Fase C: Elongación (Crecimiento)

El nombre tradicional de esta fase es el de Período de Gran Crecimiento, ya que se destacan los incrementos notables en altura, peso fresco de los tallos y la expansión del área foliar. La caña puede llegar a una altura de hasta 3m en esta fase, que va de los 76 dds a los 240 dds.

Con el Cierre del cañaveral (finalización de la fase anterior) se desencadena una condición de severa competencia que deriva en la muerte de tallos, por lo que ocurre una disminución significativa de la población establecida al término del Macollamiento.

Los porcentajes de mortalidad registrados pueden variar entre un 25 % y 70 %, resultando el porcentaje de mortalidad más frecuente entre un 45 % - 50 %. Esta variabilidad depende de la influencia de numerosos factores genéticos, ambientales y de manejo.

Posteriormente la población muestra una estabilización hasta la cosecha, quedando así definido el número final de tallos molederos. Además, se inicia el almacenamiento de azúcar en los entrenudos que van completando su desarrollo. En esta fase el cultivo expresa la máxima respuesta a los factores ambientales y de manejo. (Van Dillewijn, 1952).

- Fase D: Maduración y Finalización

En esta fase se define el contenido final de sacarosa en los tallos y la producción de azúcar por unidad de área. Su ocurrencia se relaciona con una progresiva disminución del ritmo de elongación caulinar y el mantenimiento temporal de un área foliar fotosintéticamente activa, esta fase va desde los 241 dds, hasta los 365 dds. (Van Dillewijn, 1952).

## **Riego**

El riego dentro de la agroindustria azucarera es uno de los factores importantes ya que la aplicación de este se ve reflejada en la cantidad de toneladas métricas que se puedan llegar a producir, además se puede reflejar grandes pérdidas en el manejo y cuidado de la soca al no aplicar un buen riego.

Sandoval (Sandoval, 1983), define al riego como la aplicación artificial de agua al perfil del suelo con el propósito de suplir la cantidad necesaria para que los cultivos produzcan en forma permanente y económica.

El objetivo fundamental del riego es mejorar las condiciones y la calidad de vida de la sociedad, ello implica perfeccionar las condiciones económicas y sociales de los beneficiarios, así como el ambiente en el cual se desenvuelven sus actividades.

El manejo integrado del recurso hídrico debe ser una herramienta muy importante durante la aplicación del agua ya que debe hacerse de manera oportuna y en aplicar la cantidad adecuada.

El carácter altamente intensivo de explotación de la tierra da origen a una gran intensidad de producción y aumenta drásticamente la densidad de la población, no solo por la subdivisión de la propiedad, sino por las actividades comerciales y de servicio que ello conlleva (Razuri, 1988).

#### Aspectos negativos del riego

El desviar el curso de las aguas o extraerla del subsuelo, para una vez regulada conducirla a través de canales o tuberías y finalmente derramarla sobre la superficie del terreno, o bien contrariamente, controlar la inundación natural provenientes de áreas adyacentes o los excesos de precipitación local, esto representa una drástica intervención del hombre en lo que se podría llamar el orden natural y el balance hidrológico (Razuri, 1988).

#### Relación agua – suelo – planta

De Santa (Olalla, Valero & Santa, 1992), indica que el suelo juega un papel importante en el proceso de evapotranspiración a través de factores como el espesor del estrato activo, el calor superficial, la capacidad y conductividad hídrica, la rugosidad, etc.

Grassi, en Métodos de riego indica que las características físicas y en especial la textura del suelo, tienen una gran influencia en la profundidad de enraizamiento. Los suelos de textura gruesa permiten una mayor profundización de las raíces que los suelos de textura fina.

En suelos arcillosos el espesor de la capa de raíces puede ser la mitad de lo que es común en un suelo con condiciones medias. (Grassi, 1984)

La profundidad de enraizamiento está relacionada también con el tamaño del cultivo dependiendo de la especie y el lapso de vida de los mismos. Gardner, menciona que muy pocas plantas pueden soportar una falta de agua durante un largo período en el cual se encuentran en estado de reposo vegetativo, pero la vuelta a su vida activa solo se puede realizar en presencia de agua (Romero, 1978).

Así mismo De Santa Olalla Mañas, menciona que la mayor parte de los procesos fisiológicos que realizan los vegetales están influidos directa o indirectamente por el abastecimiento de agua. La zona de la raíz con mayor eficacia en la absorción del agua es la zona pilífera, ya que en ella existe un xilema diferenciado y epidermis, prácticamente sin suberificar, provista de abundantes pelos radiculares que aumentan enormemente la superficie de contacto con el suelo (Olalla, Valero & Santa, 1992).

Menciona Grassi, que el agua no es igualmente aprovechable por el cultivo en todo el rango que cubre su disponibilidad en el suelo; a medida que disminuye su contenido hídrico aumenta el esfuerzo que el cultivo requiere para extraer agua (Grassi, 1984).

### **Propiedades físicas del suelo relacionadas con el riego**

#### Textura

Se define la textura como la proporción relativa de arena, limo y arcilla contenida en el suelo. Determina en gran parte la retención de agua, el movimiento de agua en el suelo y la cantidad de agua disponible a las plantas. Estos aspectos influyen directamente en la cantidad de agua a ser aplicada en un riego, la frecuencia o intervalo de riego, el tiempo de riego y también contribuye a decidir qué método de riego es el más adecuado a usar y algunas especificaciones del sistema (Sandoval, 1983).

## Estructura

La estructura es la agregación de las partículas primarias del suelo (arena, limo y arcilla), en partículas compuestas o en grupos de partículas primarias que están separados de los grupos adyacentes por debilidad de las superficies (Foth, 1986).

La estructura afecta básicamente la velocidad de infiltración del agua, característica que es determinante en el cálculo del tiempo necesario para aplicar una lámina de riego. Otro aspecto agronómico afectado es la profundidad de penetración de raíces, la cual tiene relación con la profundidad a regar (Sandoval, 1983).

La estructura laminar y masiva tiene un movimiento del agua muy lento que puede llegar a limitar el uso de métodos de riego como el de aspersión por producir encharcamiento, siendo difícil la aplicación de riego (Sandoval, 1983).

Las estructuras en bloques y prismática tienen un movimiento del agua moderado, comparado con la granular que tiene un movimiento rápido, no presentando normalmente problemas para riego y siendo estos últimos tres tipos de estructuras las más favorables para la relación agua-suelo-planta.

## Densidad aparente

La densidad aparente se refiere al peso por unidad de volumen de suelo secado en horno, por lo común expresado en gramos por centímetro cúbico (Foth, 1986).

La densidad aparente depende básicamente de la textura del suelo, pero puede ser modificada por la compactación, cuando se compacta un suelo aumenta su densidad aparente porque se reduce el espacio entre las partículas del suelo disminuyendo el volumen del espacio poroso (Sandoval, 1983).

La densidad aparente es una propiedad del suelo de gran importancia para el diseño y operación de sistemas de riego debido a que es necesaria para calcular la cantidad de agua (lámina o volumen), a aplicar en un riego.

#### Velocidad de infiltración

La infiltración es una de las características del suelo más importantes para el diseño, operación y evaluación de sistemas de riego por aspersion y superficiales, por lo cual se hace necesario obtener información confiable de esta propiedad. Su determinación puede efectuarse en el suelo usando muestras alteradas, pero se considera conveniente efectuarla con métodos de campo que no alteran el estado natural del suelo, dando resultados más confiables (Sandoval, 1983). La infiltración es el movimiento de agua desde la superficie del suelo hacia el interior del mismo que tiene lugar después de una lluvia o riego.

#### Medición de la infiltración

El método del infiltro-metro de doble cilindro es considerado como el más versátil y el más adecuado para diseñar, operar y evaluar sistemas de riego de inundación total y aspersion (Sandoval, 1983).

#### Factores que afectan la infiltración

Los factores que afectan la velocidad de infiltración son aquellos que afectan las propiedades físicas del suelo y el tipo de cobertura vegetal. Entre los factores más importantes están:

- i. Sellamiento superficial.
- v. Materia orgánica y rotación de cultivos.
- vi. Sales del suelo y del agua.
- vii. Sedimentos en el agua de riego.
- viii. Perfil del suelo.

La velocidad de infiltración o penetración del agua en el suelo es una función de muchas variables, entre las cuales cabe mencionar como más relevantes: textura, estructura, grado de compactación y de agrietamiento del suelo; además tipo de cultivo, labores culturales, calidad del agua y sello superficial (Grassi, 1998).

### Porosidad

Foth (Foth, 1986) y Sandoval (Sandoval, 1977), definen a la porosidad como el porcentaje del volumen total del suelo que está ocupado por poros. La porosidad influye en la capacidad de retención de agua, movimiento del aire y del agua, y el crecimiento del sistema radicular de las plantas (Grassi, 1984).

### Humedades en el suelo

En el cuadro 7, se presentan las distintas clases de agua que se encuentran en el suelo, clasificadas según el diámetro del poro. Las cuatro (4) clases de agua que aparecen en dicho cuadro, se describen sucintamente.

**Cuadro 7 Tamaño del poro con relación al tipo de agua**

Clase de agua	Diámetro del poro en mm	Diámetro o partículas que conforman los poros
Agua higroscópica	No rellena poros	-----
Agua capilar	$D = 0.008$	$0.05 < D$ Limo y arcilla
Agua gravitacional	$0.008 < D > 0.05$	$0.05 < D > 0.02$ Arena fina
Agua gravitacional de evacuación rápida	$D > 0.05$	$D > 0.02$ Arena media

Fuente: Olalla, Valero & Santa, 1992

Agua estructural, está contenida en los minerales del suelo (hidrómica, óxidos hidratados, etc.), solamente son liberados en procesos edáficos.



Agua higroscópica, es agua inmóvil, es removida solamente por calentamiento o sequía prolongada.

Agua capilar, es agua retenida en los micro poros por fuerza de capilaridad, el agua de los capilares mayores puede percolar, pero no puede drenar fuera del perfil.

Agua gravitacional, es agua retenida en los macro poros y puede drenar fuera del perfil (Olalla, Valero & Santa, 1992).

#### Absorción de agua

El sistema radical de las plantas no solamente sirve como medio de anclaje al suelo sino también como un medio eficaz para la absorción de nutrientes y agua.

La absorción de agua se realiza en la epidermis de la raíz y especialmente en los pelos absorbentes, desde donde el agua pasa a través de las células corticales al tejido del xilema, encargado de transportar la savia bruta hacia las hojas para ser usada en el proceso de fotosíntesis.

Durante las horas de alta demanda de evaporación de la atmósfera, el agua en el suelo que circunda las raíces se absorbe tan rápidamente que se agota. En ese momento el flujo de agua desde el suelo hacia la raíz depende del gradiente hidráulico entre el suelo, la parte exterior de la raíz y de la conductividad capilar del suelo. Las plantas también pueden elongar sus raíces para entrar en contacto con el suelo húmedo, algunas entre 3 mm y 60 mm por día (Torres, Cruz V., & Villegas, 2004).

#### Transpiración

La mayor parte del agua absorbida por las plantas es liberada a la atmósfera en forma de vapor y solamente entre 1 % y 2 % es utilizada para la formación de los tejidos.

La fotosíntesis es un proceso que ocurre en las hojas de las plantas en presencia de la energía solar que permite combinar el anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) con el agua para producir carbohidratos. En la epidermis de las hojas se encuentran unos pequeños orificios denominados estomas que se cierran y abren dependiendo de la luminosidad y disponibilidad de agua en la hoja. La cutícula foliar es impermeable al agua y al CO<sub>2</sub>; por consiguiente, el vapor de agua y otros gases de intercambio entre la hoja y la atmósfera deben pasar a través de las estomas. El aparato estomático incluye el orificio del estoma y las células de guardia (Torres, Cruz V., & Villegas, 2004)

La absorción de CO<sub>2</sub> desde la atmósfera se realiza por difusión a través de la pared celular en el interior de la hoja, para lo cual es necesario que el CO<sub>2</sub> entre primero en la hoja por difusión. El tejido interno de la hoja o empalizada está formado por las células esponjosas del mesófilo, donde el agua se evapora formando un ambiente saturado de agua que se comunica con la atmósfera cuando están abiertos los estomas. La absorción de CO<sub>2</sub> para la fotosíntesis es un proceso que necesariamente va acompañado por la pérdida de agua en forma de vapor por transpiración.

Se plantea entonces un dilema sobre cómo maximizar la producción de los cultivos aplicando la menor cantidad de agua de riego. Para optimizar la absorción de CO<sub>2</sub> se necesita que los estomas estén completamente abiertos, hecho que permite al mismo tiempo una mayor pérdida de agua por transpiración. La apertura de los estomas está controlada por la disponibilidad de agua en el suelo y por factores ambientales que controlan los procesos de difusión y evaporación.

#### Evapotranspiración (Et)

El consumo total de agua de la caña varía considerablemente entre los diferentes países cañicultores, debido a diferencias en los ciclos de cultivo. Por lo general, el consumo de agua por año oscila entre 1200 mm y 1500 mm, registrando los mayores valores en las zonas subtropicales donde el verano es intenso y por consiguiente la demanda de evaporación de la atmósfera es mayor que en el trópico. (Torres, Cruz V., & Villegas, 2004)

El consumo diario de agua de una planta es conocido también como evapotranspiración o uso consuntivo y corresponde al proceso combinado del agua perdida por evaporación directa desde la superficie del suelo y la absorbida por las raíces, que posteriormente se pierde casi en su totalidad por transpiración a través de la superficie de las hojas. La evapotranspiración es afectada por factores del suelo, la planta y el clima. Cuando el contenido de humedad del suelo es alto, las plantas pueden transpirar a su máxima capacidad; en ese momento la evapotranspiración obtenida se conoce como evapotranspiración potencial (Etp). Se han registrado valores máximos de Etp que varían entre 3.7 mm/día en Colombia y 15.7 mm/día en Ayr, Australia.

En las zonas subtropicales de Argentina, Sudáfrica y Australia los cultivos están cerca al nivel del mar y durante el verano la temperatura es alta; por consiguiente, la demanda valorativa es mayor y se pueden registrar valores diarios de evapotranspiración entre 7 y 15 mm/día.

En las condiciones de campo de los cultivos comerciales la humedad del suelo es variable y puede bajar hasta niveles intermedios entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente. En esos casos la planta evapotranspira a una tasa inferior a la potencial, la cual es conocida como evapotranspiración actual (Et) y se utiliza para asignar los requerimientos de agua de las plantas.

En los suelos de textura fina y en condiciones húmedas la evaporación desde la superficie del suelo puede ser alta antes del cierre del cultivo, posteriormente, cuando hay 100 % de cobertura vegetal la evaporación desde el suelo es mínima y el cultivo pierde agua esencialmente por transpiración.

## Programación de riegos

La programación de los riegos de la caña se venía realizando en la mayoría de los casos de manera empírica y sin tener en cuenta las relaciones suelo agua- planta, lo cual involucra el riesgo de aplicar un número excesivo de riegos o someter el cultivo a déficits de humedad que pueden afectar la producción. La implementación de la programación de los riegos por balance hídrico en las regiones semi húmedas es más difícil que en las regiones secas debido a la posibilidad de recibir precipitación antes o después de la fecha programada del riego. Lo anterior casi siempre hace que el agricultor tenga una posición de indiferencia con respecto a la necesidad de programar los riegos adecuadamente.

La programación de los riegos está dirigida a dar respuesta a dos preguntas que afrontan los regadores en el campo: ¿cuándo regar?, ¿cuánto aplicar?

Para determinar el momento oportuno para la aplicación de los riegos se puede tomar la misma planta de caña como un indicador fisiológico. Es así como la apertura de los estomas, la temperatura de las hojas, el índice de humedad de Clements y la apariencia del cultivo han sido usados como una referencia para programar los riegos. Los métodos más conocidos se basan en el seguimiento de la humedad del suelo por medio de la apreciación de la humedad al tacto, mediciones del potencial métrico usando tensiómetros, determinaciones gravimétricas directas o indirectas con el uso de bloques de resistencia eléctrica, celdas de nylon y sonda de neutrones.

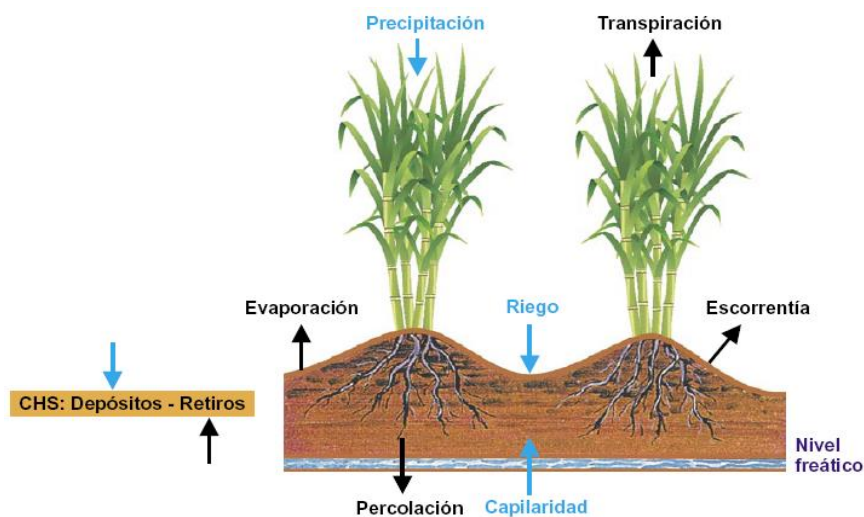
Actualmente se cuenta con nuevos equipos como el TDR (Time Domain Reflectometer), el FDM (Frequency Domain Meter), el Diviner 2000 y tensiómetros de estado sólido. El uso de las anteriores metodologías implica lecturas periódicas de los parámetros de evaluación y, en algunos casos, equipos especializados y costosos que las hace poco atractivas para su uso en el campo (Torres, Cruz V., & Villegas, 2004)

En sus inicios, la programación de los riegos para la caña de azúcar a nivel mundial se realizaba con base en determinaciones gravimétricas, lecturas de tensiómetros y bloques

de yeso; últimamente, los requerimientos de riego han sido estimados a partir de la evaporación del tanque Clase A. Los factores climáticos que afectan la evaporación del agua en una superficie de agua libre son los mismos que controlan la transpiración desde la superficie de las hojas, siempre y cuando exista en el suelo una buena disponibilidad de agua para la planta. Por lo tanto, la evaporación del tanque Clase A es un buen estimativo de la evapotranspiración actual ( $E_t$ ) de la caña y ha sido usada con éxito en Hawái, Sudáfrica, Taiwán y Colombia. La evaporación del tanque Clase A se convierte en evapotranspiración actual al multiplicarla por un factor  $K$  que depende de la edad del cultivo y las condiciones del suelo.

### Balance hídrico

El balance hídrico es similar a una contabilidad del agua en el suelo, donde se comparan las ganancias y las pérdidas de humedad. El suelo aumenta su contenido de humedad cuando ocurre un evento de precipitación ( $P$ ) o cuando se le aplica agua artificialmente por medio del riego ( $R$ ). En campo también ocurren ganancias de humedad por contribución del nivel freático ( $NF$ ), escorrentía ( $E_s$ ) y por flujo sub superficial desde áreas cercanas. Las pérdidas de humedad del suelo se deben al agua que transpira la caña ( $Tr$ ), la cual se pierde por evaporación desde la superficie del suelo ( $E_v$ ), las pérdidas por percolación profunda ( $P_p$ ) y las pérdidas por escorrentía ( $P_e$ ) (figura 9).



Fuente: Torres, Cruz V., & Villegas, 2004

**Figura 9 Representación esquemática de los componentes del balance hídrico**

El balance entre las ganancias y las pérdidas de humedad determina los cambios en la humedad del suelo (CHS) durante un período definido.

Al expresar el balance de humedad en forma aritmética se tiene:

$$\text{CHS} = \text{GANANCIAS} - \text{PÉRDIDAS}$$

$$\text{CHS} = (P + R + \text{NF}) - (\text{Ev} + \text{Tr} + \text{Pp} + \text{Pe}) \quad (1)$$

En la ecuación (1), al combinar el agua perdida por evaporación (Ev) y la transpirada por las plantas se obtiene la evapotranspiración actual (Et) que permite transformar la ecuación así:  $\text{CHS} = (P + R + \text{NF}) - (\text{Et} + \text{Pp} + \text{Pe})$  (2)

En zonas donde el nivel freático está profundo, el aporte de agua capilar es mínimo (NF=0). Presumiendo que no existen pérdidas por percolación profunda ni por escorrentía, la ecuación (2) se puede simplificar de la siguiente forma:

$$\text{CHS} = P + R - \text{Et} \quad (3)$$

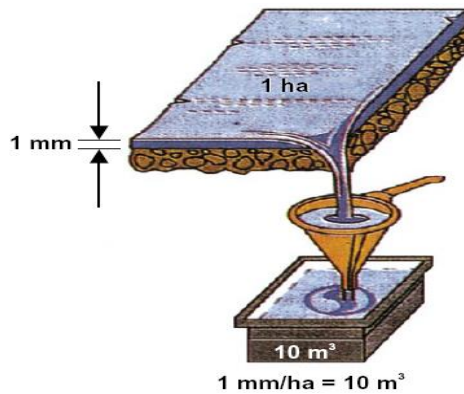
El contenido de humedad del suelo y los otros parámetros incluidos en la ecuación del balance hídrico generalmente se expresan en términos de lámina de agua, definida como la profundidad de agua que se alcanzaría al colocar un volumen dado de agua en una superficie que es impermeable. Así, una lámina de 1 mm de profundidad se obtiene al verter 1 litro de agua en una superficie de 1 m<sup>2</sup>, lo cual equivale a decir que tenemos un volumen de agua de 10 m<sup>3</sup>/ha (Torres, Cruz V., & Villegas, 2004), (figura 10).

El cambio ocurrido en el contenido de humedad del suelo en un período determinado se puede estimar a partir del contenido de humedad inicial (LASi) y del contenido de humedad final (LASf), expresados ambos como láminas de agua en milímetros, así:

$$\text{CHS} = \text{LASf} - \text{LASi} \quad (4)$$

Reemplazando en la ecuación (3), se obtiene:

$$LAS_f = LAS_i + \sum_{t=1}^n (P + R - Et)_t$$



Fuente: Torres, Cruz V., & Villegas, 2004

### Figura 10 Representación esquemática del concepto de lámina de agua

Durante la aplicación de la metodología de balance hídrico se debe recordar que la estimación de la evapotranspiración actual a partir de las lecturas del tanque de evaporación es válida mientras exista en el suelo un suministro adecuado de humedad para la planta. Los cálculos del balance hídrico se deben iniciar después de un riego o de un aguacero, teniendo certeza de que el perfil del suelo está a capacidad de campo. Periódicamente se debe inspeccionar la humedad del suelo para realizar los ajustes que sean necesarios (Torres, Cruz V., & Villegas, 2004).

Un programa de balance hídrico a escala comercial permite conocer de manera aproximada el agua rápidamente disponible en el suelo para cada suerte, de manera que se puedan establecer prioridades para la aplicación del riego debido a que no siempre existen la capacidad humana ni el recurso hídrico suficiente para regar simultáneamente todos los campos que de acuerdo con el balance hídrico deben ser regados.

En cuanto a la prioridad entre plantillas y socas, el orden es: plantilla, primera soca, segunda soca, etc. El método de programación de los riegos por balance hídrico ofrece ventajas en cuanto al costo del programa y el tiempo dedicado por una persona para su ejecución. Desde luego, se necesita personal calificado que comprenda las relaciones suelo-agua-

planta-atmósfera, capacitadas para tomar decisiones acertadas de manejo del agua. La precisión del balance hídrico depende de la exactitud con que se determinen las constantes de humedad del suelo y los valores de evapotranspiración actual, además del buen juicio para realizar los ajustes requeridos por la metodología.

#### Programación con el tanque Cenirrómetro

El balance de humedad en el suelo es un proceso hídrico que opera naturalmente en el campo de cultivo. Al conocer los parámetros que determinan los cambios en la humedad del suelo se pueden hacer predicciones de los cambios en la lámina de agua disponible y anticipar la fecha de riego.

En el tanque Cenirrómetro desarrollado por CENICAÑA (Torres & Cruz, 1997) se considera el suelo como un reservorio de agua para las plantas y se aprovecha el concepto del balance hídrico natural como una alternativa de carácter práctico que permite decidir, por inspección visual del nivel del agua en un recipiente plástico, el momento oportuno del riego.

Retomemos la ecuación simplificada del balance hídrico indicada antes como ecuación (5). Después de aplicar un riego, se repone la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA) y el perfil del suelo estará a capacidad de campo. Desde luego, la lámina de agua en el suelo  $LAS_i$  después del riego es igual a la LARA. Este mismo fenómeno puede ocurrir después de una lluvia fuerte. Así,

$$LAS_i = LARA \quad (6)$$

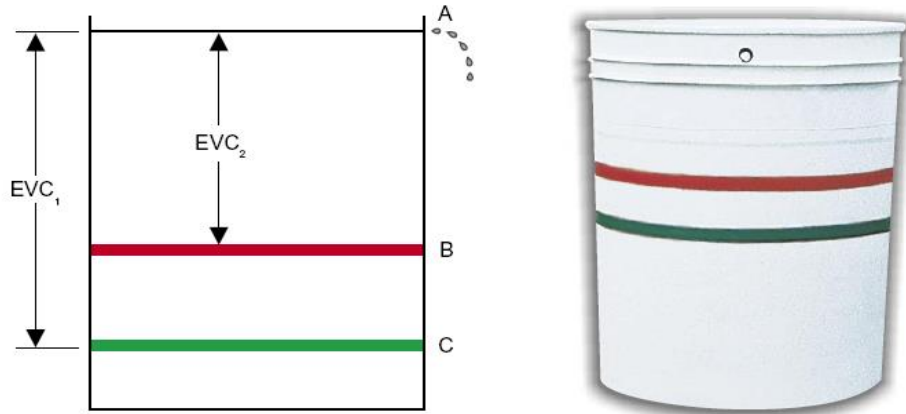
$$LAS_f = LARA + (P + R - Et)t \quad (7)$$

Después de transcurrido un tiempo la LARA disponible en el suelo se va agotando; por consiguiente, el valor de  $LAS_f$  determinado por la ecuación (7) del balance, se acerca a cero, siendo necesario regar:

$$0 = LARA + (P + R - Et)t \quad (8)$$



La evaporación del tanque Clase A está estrechamente relacionada con la evaporación registrada en el Cenirrómetro, un tanque cilíndrico de color claro (material plástico) con 26 a 30 cm de diámetro y 35 cm a 40 cm de altura (figura 11).



EVC: distancia (cm) entre el orificio vertedero de excesos (A) y las marcas de control que indican la necesidad de riego según la edad del cultivo (B: más de 4 meses de edad; C: entre 2 y 4 meses).

Fuente: Torres, Cruz V., & Villegas, 2004

**Figura 11 Representación esquemática del tanque Cenirrómetro con las líneas de marcación.**

Al despejar la LARA de la ecuación (8) se obtiene la ecuación (9), donde se puede visualizar que solamente se aplicarán riegos cuando se haya consumido toda el agua rápidamente aprovechable (LARA); o sea que  $R=0$ .

Esto indica que cuando la suma de los valores diarios de evapotranspiración menos la precipitación se acerca al valor numérico de la LARA el suelo está muy seco y es necesario aplicar riego.

$$\text{LARA} = (\text{Et} - \text{P})t \quad (9)$$

La evaporación registrada en el Cenirrómetro es 9 % superior a la medida en el tanque Clase A; la relación entre la evaporación de los tanques es lineal con un coeficiente de determinación igual a 0.99. En el tanque Cenirrómetro se involucra la edad del cultivo con el valor de K (para convertir la evaporación en evapotranspiración actual) y la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo o lámina de agua rápidamente aprovechable.

El hecho de que la precipitación sea o no efectiva está determinado por la capacidad de almacenamiento existente en el suelo cuando ocurre la precipitación.

El tanque Cenirrómetro tiene definida la máxima capacidad de almacenamiento de agua rápidamente aprovechable (LARA) por medio de un orificio que drena el exceso de agua. El riego será programado visualmente cuando el nivel del agua en el tanque se acerque a una de las dos marcas de referencia, correspondiendo la marca inferior al control para los primeros 4 meses de edad del cultivo y la marca superior al control durante el período de 4 a 10 meses (Torres, Cruz V., & Villegas, 2004).

La distancia entre el orificio vertedero de excesos y las marcas de control se calcula a partir de las siguientes relaciones:

$$EVA = C \times EVC \quad (10)$$

$$Et = EVA \times K \quad (11)$$

$$Et = (C \times EVC) \times K \quad (12)$$

En las expresiones anteriores el valor de C es igual a 0.91 y convierte la evaporación del tanque Cenirrómetro (EVC) en evaporación equivalente del tanque Clase A (EVA). El momento oportuno del riego se determina cuando la evapotranspiración acumulada menos la precipitación es equivalente a la LARA disponible en el suelo:  $LARA = \Sigma (Et - P)$ .

Ahora se tiene:

$$LARA = EVC \times C \times K \quad (13)$$

$$EVC = \frac{LARA}{C \times K} = \frac{LARA}{0.91 K} \quad (14)$$

Al remplazar la ecuación (14) en la ecuación (9) se obtiene la ecuación general del balance hídrico en el tanque Cenirrómetro, así:

$$EVC = \frac{LARA}{0.91 K} = \frac{\sum_{t=1}^n (Et - P)_t}{0.91 K} \quad (15)$$

Teniendo en cuenta el cambio de K y de la profundidad radical al pasar del período de macollamiento al de rápido crecimiento, se pueden obtener las expresiones que permiten definir las marcas del tanque Cenirrómetro: período de 2 a 4 meses (macollamiento):

$$EVC_1 = \frac{LARA_1}{0.91 \times 0.3} = 3.7 \times LARA_1 \quad (16)$$

Período de 4 a 10 meses (rápido crecimiento):

$$EVC_2 = \frac{LARA_2}{0.91 \times 0.7} = 1.6 \times LARA_2 \quad (17)$$

A partir de las ecuaciones (16) y (17) se pueden definir las marcas del Cenirrómetro, teniendo en cuenta la edad de la caña y la capacidad de retención de humedad de los suelos.

Los beneficios del tanque Cenirrómetro como un programador de riegos han sido probados ampliamente a escala experimental y comercial, lo cual nos permite recomendar su adopción. A pesar de la sencillez del Cenirrómetro, hemos observado incertidumbre para su adopción debido a la carencia de las constantes de humedad requeridas para los diferentes suelos. Además, existen diferencias físicas y locales en cada campo de cultivo que hacen cambiar algunos valores con respecto a los publicados

## Uso de poli tubulares de riego

Los poli tubulares para riego son mangueras planas de polietileno resistente a los rayos ultravioleta, de 12 in a 21 in de diámetro y con un calibre entre 0.015 in y 0.019 in, que se utilizan para conducir y aplicar agua de riego a presiones máximas entre 2 psi y 3 psi (1.4 m.c.a. - 2.1 m.c.a.).

El poli tubular que se coloca en lugar de la acequia de riego para suministrar el agua directamente a los surcos requiere un niple horizontal (tubo corto de 0.7 m) instalado en la caja de división, cuya columna de agua debe ser suficiente para superar las pérdidas de presión que ocurren en el poli tubular, sin exceder la presión máxima recomendada para el diámetro dado.

Las presiones máximas recomendadas son: 3.5 m.c.a., para 10 in; 2.3 m.c.a., para 12 in y 14 in; 1.4 m.c.a., para 16 in, 18 in y 21 in.

## Instalación

A continuación, se presentan algunas recomendaciones generales para la instalación del sistema poli tubular para riego en caña de azúcar.

La carga de presión en la estructura de entrega del agua al poli tubular debe ser un poco mayor que las pérdidas por fricción más la carga estática. En cualquier caso, su valor mínimo debe ser de 0.15 m, mientras que el máximo no puede superar la presión máxima recomendada para el diámetro. En esta estructura, para conectar el poli tubular, a 0.2 m del fondo se coloca un cilindro metálico horizontal con una longitud entre 0.7 m a 1.0 m y diámetro ligeramente menor que el del poli tubular.

Para evitar la entrada de sedimentos se recomienda construir trampas próximas a la estructura de captación de agua; y para impedir el ingreso de basura al poli tubular, colocar una rejilla removible con orificios entre 12 y 15 cm<sup>2</sup> en el sitio de entrega del agua.

Construya un surco de 10 cm de profundidad en la cabecera del campo para colocar el poli tubular y evitar que se voltee al momento del llenado. Este surco debe estar nivelado con una pendiente uniforme (0.2 % - 0.5 %) y libre de piedras y materiales que puedan romper el poli tubular.

Ensamble el poli tubular en la estructura de entrega del agua formando una capa doble en el sitio de unión y colocando bandas de caucho fabricadas con neumáticos.

Haga el llenado en forma lenta colocando previamente bandas de caucho a distancias entre 40 m y 60 m con el fin de garantizar el sostenimiento del poli tubular.

Una vez se inicia el llenado, identifique los puntos donde se producen bolsas de aire y proceda a colocar tubos pequeños de purga. En el momento que el poli tubular se pueda comprimir fácilmente hasta la mitad de su diámetro, perfórelo con un sacabocados en los puntos de entrega de agua a los surcos de cultivo iniciando desde la cabecera. A continuación, instale las compuertas.

### Manejo y almacenamiento

Los poli tubulares pueden permanecer en el campo durante el ciclo de riego del cultivo (hasta 10 meses). También pueden ser transportados entre diferentes campos, caso en el cual se deben instalar en tramos entre 60 m y 100 m de longitud (entre 30 kg y 40 kg de peso) para facilitar su manejo. Las uniones entre estos tramos deben tener 40 cm de longitud, ser rígidas y livianas, con un diámetro ligeramente menor que el del poli tubular. Estas uniones se introducen primero en el tubular extendido, sujetándolas con bandas de caucho.

En el momento de retirar los poli tubulares del campo se deben drenar completamente desacoplando los accesorios antes de proceder a enrollarlos o doblarlos para guardarlos en un lugar seco y libre del ataque de roedores.

Los bordes de los pliegues son los puntos más vulnerables, por tanto se debe tener especial cuidado en su manejo.

### **Labores agrícolas en el cultivo de caña de azúcar**

El establecimiento y manejo del cultivo de la caña de azúcar requiere de una serie de labores que va desde la adecuación del terreno, posteriormente se realiza la preparación de suelos para efectuar la siembra, se realizan los programas fitosanitarios, riego, regulación de la maduración de la caña y la floración y por último la cosecha.

#### **Adecuación del terreno**

Se define como la acción de proporcionar y acomodar las condiciones del terreno para el cultivo de caña de azúcar (Guerra, 1992).

Si el área es nueva deben eliminarse, árboles, piedras, infraestructura en desuso o cualquier otro tipo de obstáculo para la operación de la maquinaria, para ésta labor se utiliza maquinaria con buldócer, excavadoras, tractores agrícolas y camiones de volteo, al contar con el área sin obstáculos se realiza un levantamiento topográfico detallado, se elabora el plano topográfico sobre el cual se realiza el diseño de la finca en función del riego, drenaje agrícola y cosecha, para posteriormente trazar la nueva configuración de la finca .

#### **Preparación de suelos**

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 (Chaparro, 2002). 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 (Chaparro, 2002).

El subsuelo se realiza con implementos denominados subsoladores de brazos parabólicos accionados por tractores de 280 a 320 Hp, pueden realizarse uno o dos pasos de ésta labor en función del grado y magnitud de las capas compactadas.

Posterior al subsuelo se realiza uno o dos pasos de rastro arado o volteo con rastras de 16 a 24 discos de 32 in o 36 in de diámetro, la finalidad es voltear, airear y remover el suelo, incorporar los residuos vegetales y a la vez exponer huevecillos de plagas del suelo para su control, con esta labor también se rompen los rumbos formados por el subsuelo, para accionar los implementos de labranza se utilizan tractores de 280 a 320 Hp (Chaparro, 2002).

Al finalizar el volteo se realizan uno o más pasos de pulida, esta es una labor que rotura y fracciona los terrones producidos en el volteo, también destruye e incorpora residuos vegetales, y puede utilizarse también para el control de plagas del suelo al espaciar el paso del implemento entre uno y el siguiente paso, para el pulido se utilizan rastras de 64 a 66 discos de 24 in de diámetro (Chaparro, 2002).

La última labor antes de la siembra es el surqueo, consiste en abrir los surcos para depositar la semilla, una vez sembrada y tapada, los mismos surcos servirán como canales de conducción de agua para riego, estos se confeccionan distanciados 1.50 metros entre cada uno, se utilizan implementos denominados surcadores accionados con los sistemas de levante e hidráulico de tractores llanteados de 160 Hp a 170 Hp. (Chaparro, 2002).

### Establecimiento de semilleros

Esta es una etapa especial en el programa operacional de la siembra, porque permite obtener material de buena calidad, facilita una rápida germinación, buen vigor y macollamiento, una mayor homogeneidad en la plantación; una mayor vida y altas posibilidades de tener una plantación con elevada capacidad productiva (Soto, Orozco, & Ovalle, 1998).

En lo posible el área de semilleros debe estar cerca del lugar de siembra comercial para disminuir costos en transportes, además permite una mejor sincronización entre el corte de la semilla y la siembra.

Las áreas conocidas por sus altas infestaciones de roedores deben evitarse. Los suelos para semilleros, en lo posible deben ser de texturas francas, fértiles y profundos con topografía plana y de fácil drenaje. El área debe contar con facilidades para regar inmediatamente después de la siembra (Soto G. 1995).

Los semilleros de caña de azúcar se categorizan de la siguiente forma: Semillero del mejorador, semillero básico, semillero semi comercial y semillero comercial (Soto G. 1995).

La semilla del semillero del mejorador proviene de los nuevos híbridos que han pasado una serie de tamices desde la germinación de la semilla sexual hasta la selección en evaluaciones regionales, este material es genéticamente puro y libre de enfermedades sistémicas y sirve para iniciar un semillero básico. El semillero básico se establecen con semilla tratada hidro térmicamente a 51 °C por 10 minutos, luego 12 horas a temperatura ambiente y de nuevo 1 hora a 51 °C, el sistema de multiplicación puede ser por medio de plántulas provenientes de yemas extraídas o por el método de multiplicación convencional, la semilla obtenida en este semillero poseerá un 100% de pureza varietal (Soto G. , 1995).

El semillero semi comercial se establece con semilla proveniente del semillero básico, se siembra comúnmente con una densidad de 10 a 12 yemas vegetativas por metro lineal o bien por trasplante de plántulas provenientes de yemas extraídas, lo cual hace que partiendo



de una misma cantidad de semilla básica, las áreas de semillero sean diferentes, esperando así producir semilla con un 99 % de pureza varietal y niveles bajos de enfermedades sistémicas (Soto G. , 1995).

El semillero comercial se establece con semilla proveniente del semillero semi comercial, la semilla que aquí se produce deberá poseer al menos un 98 % de pureza varietal y niveles bajos de enfermedades sistémicas (Soto G.,1995).

### Siembra

La siembra se hace colocando 2 esquejes en pares o en forma alterna en el fondo del surco confeccionado durante la preparación del suelo, con una densidad de 10 a 12 yemas sanas por metro lineal (Alfaro P, R. 2000).

Durante la siembra suele realizarse una adición de fósforo, en forma de  $P_2O_5$  y cuya dosis depende de la disponibilidad en el suelo, en algunos casos los análisis de suelos indican que no es necesaria su aplicación, al mismo tiempo puede realizarse el control de plagas del suelo con aplicaciones de productos biológicos tal como hongos del género *Metharizium*.

El proceso de siembra continúa con el tapado de la semilla y posteriormente la adición de uno o dos riegos para estimular la germinación de las yemas (Soto, Orozco, & Ovalle, 1998).

### Fertilización

Esta labor se encamina a adicionar al suelo los elementos que el cultivo extraerá, la caña de azúcar es un cultivo con una capacidad considerable de extracción de nutrimentos y que varía según la fase desarrollo, durante las fases iniciales los requerimientos son bajos.

Posteriormente, una vez que comienza la formación del sistema radical y el desarrollo de la parte aérea, las necesidades se incrementan, dentro de los nutrientes mayormente absorbidos están el Nitrógeno, Fósforo Potasio, Calcio y Magnesio. La caña de azúcar extrae algunas cantidades de estos elementos para producir una tonelada de caña, los promedios de varias revisiones son los siguientes en Kilogramos por tonelada de caña:

Nitrógeno 1.09, Fósforo 0.24, Potasio 1.90, Calcio 0.37, Magnesio 0.30 y Azufre 0.41 (Soto, Orozco, & Ovalle, 1998).

El procedimiento para realizar la fertilización inicia con el muestreo y análisis de suelos para determinar las dosis de fertilizantes a aplicar, generalmente se aplica en forma mecánica con una abono cultivadora accionada con un tractor de 80 Hp a 120 Hp, generalmente la fertilización nitrogenada se realiza posterior a los 60 días después de la siembra o del corte en el caso de caña soca.

### Control de malezas

El control de malezas va dirigido a disminuir la presencia de malezas en el período crítico de competencia, el cual termina cuando la caña tiene 90 cm de altura y los tallos posean entre 8 horas y 12 horas, el período crítico se encuentra entre 15 días y 120 días en caña recién sembrada y entre 15 días y 90 días en caña soca (Soto, Orozco, & Ovalle, 1998).

El control de malezas se planifica en función de las especies y disponibilidad de agua en el suelo, de ello depende el método de control, el cual puede ser químico, manual y mecánico, si se efectúa un control químico también deben planificarse los herbicidas adecuados y su dosificación que generalmente van acompañados de productos coadyuvantes. En Guatemala se utilizan 26 grupos de herbicidas para el control de malezas (Leonardo, 1998).

En Guatemala se han identificado 55 especies importantes de malezas, las cuales han sido agrupadas en dos grandes grupos: malezas de hoja angosta, malezas de hoja ancha, dentro de esta clasificación se dividen así (Leonardo, 1998).

- Malezas de hoja angosta: o Ciperáceas: *Cyperus flavus* (Vahl.) Nees, *Cyperus odonatus* L., *Cyperus rotundus* L. o Gramíneas

Gramíneas que forman macoyas: *Anthephora hermaphrodita* (L.) Kuntze, *Cenchrus echinatus* L., *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton, *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop., *Echinochloa colonum* (L.) Link., *Eleusine indica* (L.) Gaertn, *Ixophorus unisetus* (Presl.)

Schlecht., *Leptochloa filiformis* (Lam.) Beauv, *Panicum faciculatum* Swartz, *Panicum maximum* Jacq. *P. thichoides* Swartz, *Paspalum virgatum* L. y *Sorghum halapense* (L.) Pers. Gramíneas que forman estolones: *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Brachiaria mutica* (Forsk) Stapf.

- Malezas de hoja ancha o Malezas con roseta de hojas en la base: Nombre científico no determinado, conocida como Malanguilla.

- Malezas que no forman roseta de hojas: *Anagallis arvensis* L., *Mollugo verticillata* L., *Commelina difusa* Burm. F., *Tripogandra disgrega* (Kunth) Woodson, *T. cumanensis* (Kunth).Woodson, *Tinantia erecta* Jacq., *Borreria ocymoides* (Burm.) DC, *Richardia scabra* L., *Tridas procumbens* L., *Portulaca oleracea* L., *Trianthema portulacastrum* L., *Kallstroemia máxima* L, *Euphorbia prostrata* Ait., *Dioscorea carionis* Prain & Burkell, *Merenia quinquefolia* (L.), *Ipomea nil* (L.) Roth., *I. Triloba* L o Plantas con tallo erecto: *Ageratum conyzoides* L., *Baltimora recta* L., *Melampodium divaricatum* (L. Rich ex Pers), *Melanthera nivea* (L.), *Boerhavia erecta* L., *Sida rhombifolia* L., *amaranthus spinosus* L. *Amaranthus viridis* L. *Euphorbia gramínea* Jacq., *E. heterophylla* L., *E. hirta* L., *E. hypericifolia* L., *Heliotropium indicum* L., *Hybanthus attenuatus* (Humb & Bonpl.), *Bidens pilosa* L., *Desmodium tortuosum.*, *Oxalis neaei* D.C., *Fhyllanthus niruri* L.

#### Inhibidores de la floración

En la producción comercial de caña de azúcar, la floración es un factor importante que incide en pérdidas de rendimiento, en experimentos de campo se ha determinado que la caña que florea el 35 % puede perder de un 15 % a 20 % de su rendimiento normal.

Esta reducción en el rendimiento se debe a tres implicaciones importantes (Soto, Orozco, & Ovalle, 1998):

- a. El gasto de energía que involucra el proceso, ya que la energía es tomada del tallo en forma de sacarosa cuando ésta se invierte.
- b. La formación de corcho que disminuye el peso del tallo y reduce la recuperación de sacarosa durante el procesamiento.

c. La formación de las (brotación de yemas laterales) en el último tercio del tallo, como consecuencia de la pérdida de la dominancia apical. Esto ocasiona una disminución en la calidad de los tallos y además implica un gasto de energía adicional.

Se utilizan varios métodos para modificar el proceso de la floración: Empleo de variedades que no florecen, edad del cultivo, regulación del fotoperiodo, temperatura, manejo del riego y control químico (Soto, Orozco, & Ovalle, 1998). De éstos la búsqueda de variedades que no florecen está en marcha, por otro lado, el control químico es el manejo económico y técnicamente viable se utiliza el Ethrel (Ethepon fosfonico), con el cual se ha reducido en un 19 % la floración y un 13 % el porcentaje de corcho que se cosecha durante el segundo tercio (enero – febrero).

#### Maduración de la caña de azúcar

La maduración es el proceso fisiológico por el que la producción de materia verde de la planta se reduce para dar paso a la acumulación de carbohidratos en forma de sacarosa en las células de parénquima del tallo (Soto, Orozco, & Ovalle, 1998).

Adicionalmente la maduración está gobernada por una serie de factores muy relacionados entre sí, algunos son: Variedad, humedad del suelo, temperatura, radiación solar, suelo y prácticas de cultivo. Estudios realizados en Estados Unidos con ciclos de 12 meses, determinaron que el aumento en la producción de caña en los últimos cuatro meses fue de apenas el 2 %, mientras que el contenido de sacarosa en ese mismo lapso aumentó alrededor del 200 %. Este aumento fue más alto cuando se emplearon maduradores químicos. La aplicación de maduradores químicos está dirigido a promover la maduración en cañas que se cosechan en los primeros dos tercios de la zafra, durante los meses de noviembre a febrero, su principal ventaja es la de aumentar el Brix, Pol y pureza del jugo y por lo tanto los niveles de sacarosa que en determinados casos llegan hasta un 20% en sacarosa (Soto, Orozco, & Ovalle, 1998).

Los productos más importantes utilizados como maduradores son: Fusilade (Propanoato Arílico Fluazifop P-Butil), Roundop Max y SL (Glifosato ácido fosforoso), Select y Touchdown (Glifosato trimesium) (Soto, Orozco, & Ovalle, 1998), actualmente se investiga en la utilización de productos no herbicidas que tienen un efecto sobre la maduración tal como el fosfato de potasio.

### Cosecha

Es el último paso en el proceso de producción agrícola del cultivo, esta inicia con la planeación en las cuales se toman los siguientes criterios: Estimados de producción de caña de azúcar en toneladas por hectárea, programa tentativo del inicio y finalización de operación de la fábrica, ratio de molienda en toneladas por día, capacidad del transporte, disponibilidad de mano de obra, información de análisis de madurez de la caña en el campo, tipo de cosecha y otros (Soto, Orozco, & Ovalle, 1998).

La cosecha de la caña puede dividirse según sea el tipo: cosecha manual y cosecha mecanizada que en ambos casos puede ser en verde o quemado, esto quiere decir que previo a la misma la caña puede o no quemarse. La cosecha manual se realiza por personas, conocidos como cortadores de caña, quienes pueden cortar alrededor de 6 toneladas de caña en un día de trabajo. Aproximadamente, el 94 % de la caña cosechada en Guatemala, se corta con esta metodología; el restante 6 %, se realiza con cosechadoras mecánicas que pueden cosechar hasta 800 toneladas de caña en un día.

### **Trabajos relacionados**

Resultados preliminares acerca de la función de respuesta de la caña de azúcar al agua

En un experimento en el ingenio providencia, Colombia se evaluaron cuatro tratamientos de riego que incluyen un testigo sin riego y se estimó el valor de la disminución relativa de la producción de caña de la variedad CC8592 en función del déficit relativo de agua. Evaluando la producción a los 13 meses de edad, en segundo corte. Este se realizó en un área de 5.35 ha (Yang & Torres, 1984).

Los tratamientos (T) establecidos fueron: T1: Testigo sin riego a partir del corte anterior. T2: Sin déficit de agua. T3: Sin riego entre 4 meses y 8 meses de edad del cultivo. T4: Sin riego entre 8 meses y 10 meses de edad. Los riegos se aplicaron por surco continuo hasta los 10 meses de edad de la caña y se programaron mediante el balance hídrico utilizando un factor  $K=0.3$  de 2-4 meses y  $K=0.7$  de 4-10 meses (Yang & Torres, 1984).

La lámina de agua aplicada neta total fue de 240 mm en los cinco riegos del tratamiento T2 (sin déficit de agua), de 96 mm en los dos riegos del T3 (sin riego de 4-8 meses) y de 192 mm en los cuatro riegos del T4 (sin riego de 8-10 meses) (Yang & Torres, 1984).

A partir de los 6 meses de edad se observó una población de tallos mayor en el tratamiento sin déficit de agua (T2) con respecto a los demás tratamientos. En el octavo mes y el décimo mes, en los tratamientos T2 y T4 se registraron 7000 tallos/ha más que en los tratamientos T1 y T3. En altura se observaron diferencias desde los 6 meses, con longitudes hasta de 30 cm en favor de los tratamientos sin déficit de agua (T2) o con riego hasta los ocho meses (T4). Las diferencias en altura se incrementaron a los 8 meses de edad del cultivo y a los 10 meses, cuando superaron los 60 cm (Yang & Torres, 1984).

No hubo diferencias significativas en el diámetro de los tallos entre tratamientos. En el tratamiento T4, sin riego a partir de los 8 meses, se presentó una disminución de 11 t/ha de caña, en comparación con el resultado del tratamiento sin déficit de agua (Yang & Torres, 1984).

Estos resultados con la variedad CC85-92, segundo corte, indican que la respuesta al riego en términos de la producción de caña por hectárea es alta en suelos de la familia textural franco gruesa y nivel freático profundo, cuando se presenta un período seco prolongado entre los 4 y 8 meses de edad del cultivo. En este experimento, la respuesta de la variedad, al agua, fue de 40 t/ha de caña; que equivalen a un incremento de 42 %, con respecto a la producción del testigo sin riego (Yang & Torres, 1984).

En el experimento se corroboró que la prioridad de riego, expresada como el período en el que no debe faltarle el agua al cultivo, está entre los 4 meses y los 8 meses de edad; le sigue el período comprendido entre los 8 meses y los 10 meses (Yang & Torres, 1984).

### **2.2.2 Marco referencial**

#### Ubicación geográfica del área experimental

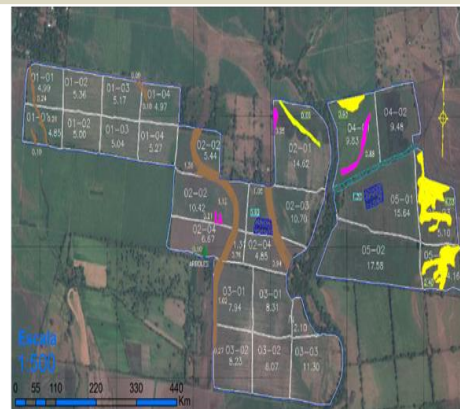
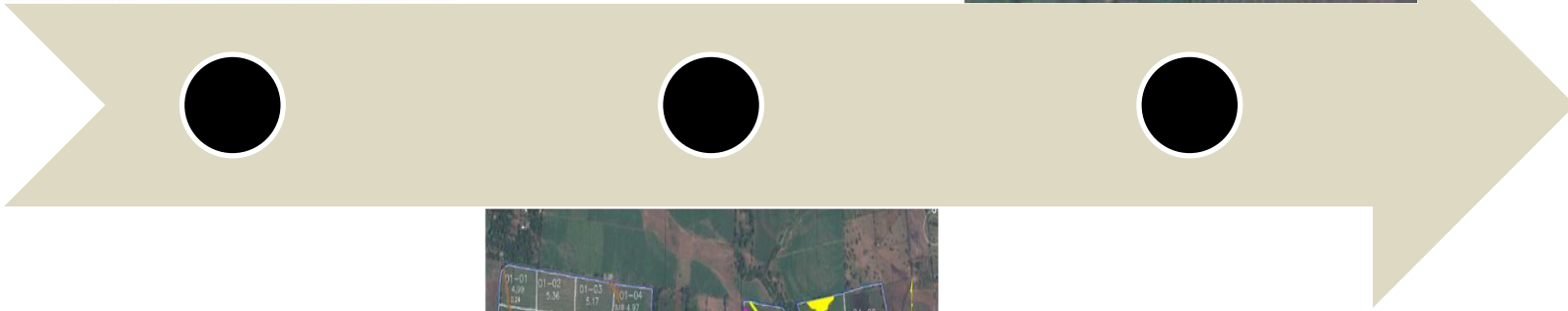
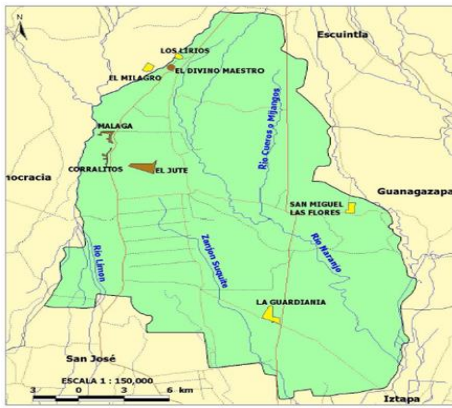
El estudio fue realizado en la finca Panorama, jurisdicción del municipio de Masagua, departamento de Escuintla, esta finca se encuentra bajo la administración de la zona 3 del Ingenio Trinidad, Corporación San Diego.

La finca se encuentra ubicada a 28 m s.n.m., geográficamente se encuentra aproximadamente a  $14^{\circ} 01' 33.2''$  latitud norte y  $90^{\circ} 51' 45.9''$  latitud oeste (figura 12).

#### Ubicación administrativa y colindancias

Masagua, es uno de los municipios del Departamento de Escuintla; desde la ciudad capital de Guatemala, se puede acceder por la ruta nacional 3 o carretera Interoceánica CA-9, que une la cabecera, Escuintla, con el Puerto de San José. Es de aclarar que esta carretera quedó marginada por la construcción de la autopista hacia Puerto Quetzal, con lo que las poblaciones quedaron sobre una ruta ahora convertida en secundaria. El ferrocarril dejó de transitar hace años (CIM, 2009).

Su cabecera municipal se ubica en los paralelos, Longitud  $90^{\circ} 51' 34''$  - Latitud  $14^{\circ} 12' 05''$ , sus colindancias son Norte Escuintla y San Vicente Pacaya, Este Guanagazapa e Iztapa, Sur San José, Oeste La Democracia.



Fuente: CIM, 2009.

**Figura 12 Ubicación geográfica del experimento.**



### Extensión

El Territorio del municipio es de 448 km<sup>2</sup> y está habitado por 32,245 personas, para una densidad poblacional de 72 habitantes/km<sup>2</sup>, inferior a la media nacional que se ubica en 117 habitantes/km<sup>2</sup>, para 2004. El idioma predominante en el municipio es el castellano, pues la población indígena es mínima, la Posee un área aproximada de 205 ha, distribuidas en varios lotes (CIM, 2009).

### Relieve

La topografía de la aldea está constituida aproximadamente por un de terrenos planos a ondulados, posicionándose a una altura promedio de 100 m s.n.m. (CIM, 2009).

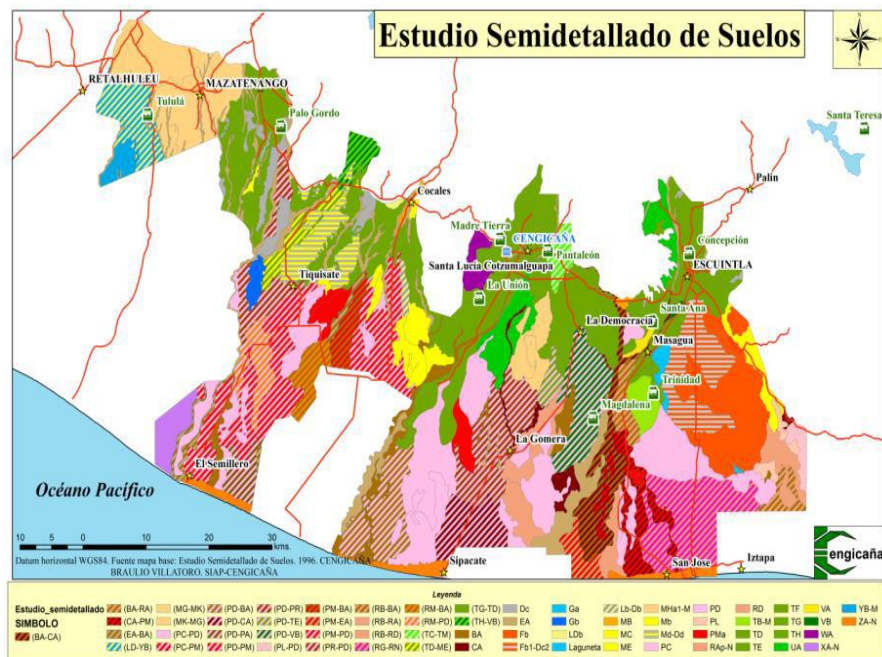
### Suelos

#### Clasificación por series

Los suelos de Finca Panorama están clasificados dentro de los de la llanura costera del pacífico. Según la clasificación taxonómica de suelos de CENGICAÑA, 2014, la finca se encuentra dentro de un suelo molliso (figura 13).

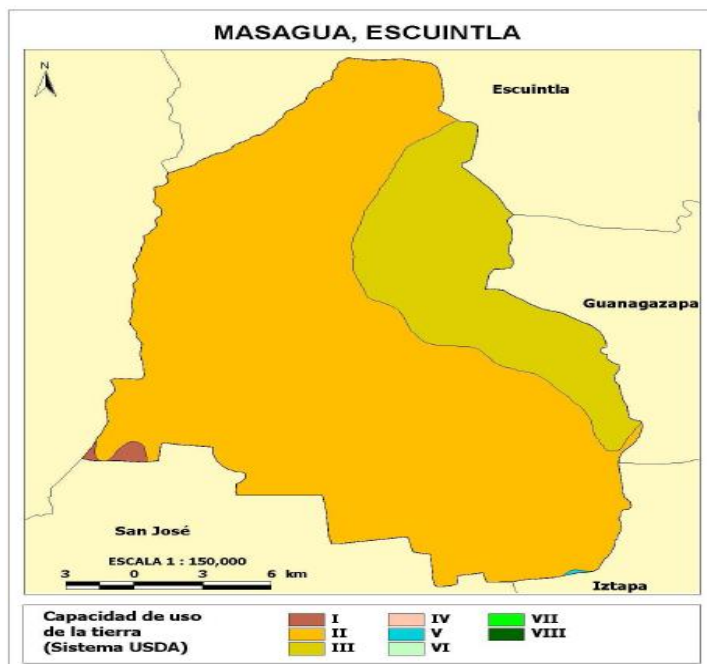
#### Clasificación por capacidad de uso

Según la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), entre los suelos de Finca Panorama se pueden encontrar dentro de la clasificación II, el cual posee las siguientes características: Los suelos tienen moderadas limitaciones que reducen la posibilidad de selección de cultivos, o requieren prácticas moderadas de conservación al cultivarlos (CIM, 2009) (figura 14).



Fuente: CENGICAÑA, 2014

Figura 13 Mapa de clasificación de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala

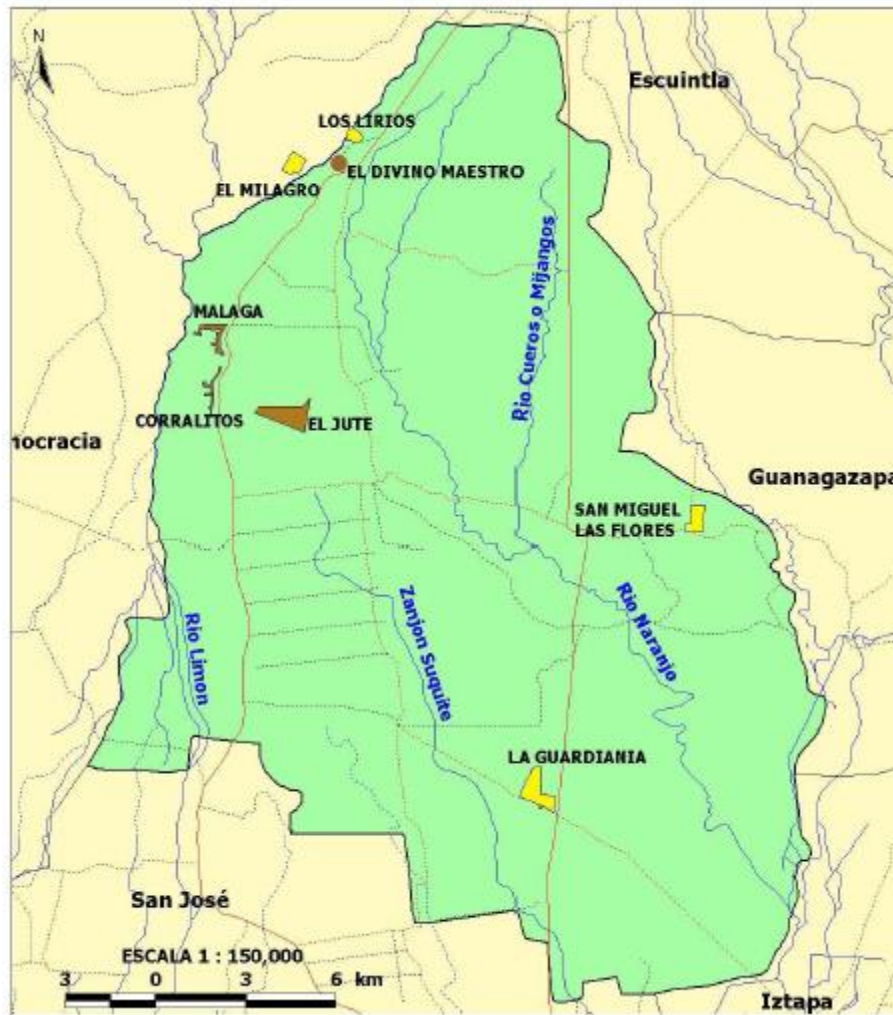


Fuente: CIM, 2009.

Figura 14 Mapa de clasificación de uso de la tierra del municipio de Masagua, Escuintla

## Hidrografía

De acuerdo al estudio realizado por el centro de investigación de la municipalidad (CIM) de Masagua, Escuintla, el municipio es atravesado por varios ríos, al oeste río limón, al este el río el naranjo y en la zona central el Zanjo el suquite, sin embargo, la Finca Panorama no es influenciada de manera directa por estos afluentes ya que el agua utilizada para el riego es extraída de una noria ubicada dentro de la finca (CIM, 2009) (figura 15).



Fuente: CIM, 2009.

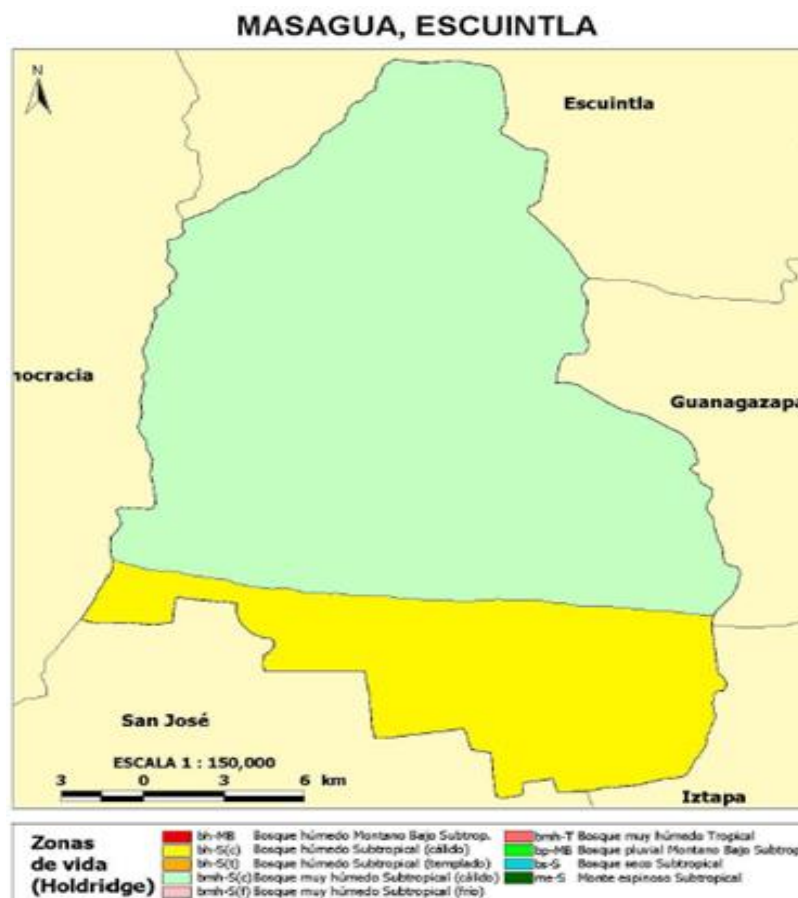
**Figura 15 Mapa de los principales afluentes hídricos del municipio de Masagua, Escuintla.**

## Clima

### Clasificación

Según la clasificación de las zonas de acuerdo al sistema de zonas de vida de Holdridge (1982), la Finca Panorama, se encuentra dentro de la zona de vida Bosque Muy Húmedo Subtropical (cálido).

La temperatura media anual para la región general del municipio de Masagua es de 27.13 °C, siendo su media máxima de 34.88 °C y la media mínima de 19.38 °C (CIM, 2009) (figura 16).



Fuente: CIM, 2009.

**Figura 16 Mapa de las zonas de vida del municipio de Masagua, Escuintla.**

### Variedad

Para este ensayo se utilizó la variedad de caña CP-722086, que se describe en el cuadro 8.

**Cuadro 8 Descripción de la variedad CP-722086**

<b>1. ASPECTO DE PLANTA</b>
Hábito de crecimiento de tallos semi erecto. Poco deshoje natural. Cantidad de follaje intermedio.
<b>2. ENTRENUDO</b>
Color verde amarillento con manchas negras. Forma de crecimiento cilíndrico y ligeramente curvado al costado de la yema.
<b>3. NUDO</b>
Forma de crecimiento obconoidal. Yema redonda con alas, de base angosta. Anillo de crecimiento protuberante.
<b>4. VAINA</b>
Desprendimiento intermedio. Color rosado y quebradiza por el centro. Presencia de afate intermedio.
<b>5. LAMINA FOLIAR</b>
Borde aserrado.
<b>6. AURÍCULA Y LÍGULA</b>
Aurícula forma transicional ascendente. Lígula generalmente deltoides con rombo.
<b>7. CUELLO</b>
Color café. Superficie semi lisa.
<b>8. OBSERVACIONES</b>
Incidencia alta a Mosaico, Raya Roja y amurallamiento Foliar.

Fuente: (Orozco, Catalán, Castro & Quemé, 2004)

Por sus características de adaptabilidad a la zona, esta variedad (figura 17), de origen estadounidense, prospera bien en suelos húmedos y bajo riego a una altitud de 0 a 220 m s.n.m. Se adapta bien a suelos francos, franco-limosos, franco arenoso y franco arcilloso profundo. A pesar de que posee una coloración verde amarillento, en los primeros estadios de desarrollo presenta tonalidades de color café. Posee buen vigor y buen cierre de calle. Su hábito de crecimiento es erecto sin embargo tiende a acamarse, aunque no en su totalidad. (Orozco, Catalán, Castro & Quemé, 2004)



Fuente: Orozco, Catalán, Castro & Quemé, 2004

**Figura 17 Variedad CP-722086**

## 2.3 OBJETIVOS

### 2.3.1 Objetivo General

- Cuantificar el efecto del déficit hídrico en los componentes de rendimiento de la caña de azúcar.

### 2.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar el efecto de aplicación de riego sobre la producción de caña de azúcar en términos de toneladas de caña por hectárea (TCH), en función de cada tratamiento a evaluar.
- Determinar la producción de toneladas de azúcar por hectárea (TAH), en función de cada tratamiento a evaluar.

## 2.4 HIPÓTESIS

Ha: El desarrollo y producción de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), es afectado por el déficit de humedad en sus diferentes etapas fenológicas.

Ho: El desarrollo y producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), no se ve afectado por el déficit de humedad en sus diferentes etapas fenológicas.

## **2.5 METODOLOGÍA**

A continuación, se presentan cada una de las fases en el manejo del estudio y las labores agrícolas utilizadas en el cultivo de caña de azúcar.

### **2.5.1 Adecuación del terreno**

Para el establecimiento del ensayo se procedió a liberar el área de piedras y troncos tratando que la topografía fuese lo más homogénea posible.

### **2.5.2 Preparación de suelos**

Se realizó un paso de sub-suelo, rastra o pulido y finalmente el surqueo a un metro cincuenta entre fondos para la siembra del cultivo.

### **2.5.3 Siembra**

Por las condiciones del área se escogió la variedad de caña CP-722086, la cual se adapta mejor a las condiciones tanto climáticas como edafológicas de la zona.

Se realizó un estaquillado a nueve metros dando por resultado en promedio de 12 yemas viables por metro lineal en una hilera doble con un 25 % de traslape.

Posteriormente se trazaron las parcelas como se muestra en la figura 16, dejando las calles sin sembrar para tener un área de contención entre los tratamientos y las repeticiones. La siembra se realizó el 05 de febrero de 2011.



#### **2.5.4 Fertilización**

Al momento de la siembra se realizó la aplicación de 4 qq/ha de 18-46-0, y a los 45 días de establecido, se realizó el ferti cultivo botando la meza y aportando 3 qq/ha de 46-0-0.

#### **2.5.5 Control de malezas**

Antes de la siembra se aplicó una mezcla de glifosato y un pre emergente (Atrazina) para garantizar el óptimo desarrollo de las plántulas al emerger y evitar la competencia por luz y alimentos. Posteriormente se realizaron las actividades de preparación del terreno en el cual luego de aprovechar el control químico se procedió a un control mecánico mediante el cual se reincorpora parte de las malezas al suelo.

A los 20 días de establecido el cultivo se realizó una aplicación de pos emergentes debido a la presencia de malezas tales como *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton Y *Cyperus* sp. A los 45 días, se realizó el ferticultivo que de igual manera que en la preparación de suelos se pretendió realizar un control mecánico al cultivo.

#### **2.5.6 Plagas y enfermedades**

Las plagas y enfermedades observadas en el ensayo no sobre pasaron el umbral económico por ello no se realizaron medidas de control.

#### **2.5.7 Manejo del riego**

Para garantizar la población en el ensayo se procedió a la aplicación de dos riegos generales de germinación y establecimiento a los 02 y 10 días después de la siembra (dds), los cuales aportaron la humedad necesaria para el establecimiento y desarrollo de las primeras plántulas.

Se procedió a brindar las condiciones según los tratamientos en cada una de las parcelas tomando en cuenta el tipo de suelo, la capacidad de campo, condiciones climáticas y se determinó las características del cenirómetro herramienta utilizada para la programación del riego.

Durante el desarrollo del ensayo se tomó en cuenta la pluviometría del área; 72 dds en la fecha dieciocho de abril se registraron 35mm; 100 dds en la fecha dieciséis de mayo se registraron 35 mm. A partir de 115 dds con fecha treinta y uno de mayo se comienza a marcar el establecimiento del invierno y a los 256 dds en la fecha diecinueve de octubre del año 2011, se marca el final de esta época.

Para aplicación de las dosis de agua requeridas en cada riego con mayor eficiencia, se utilizó el sistema de riego en mangas y compuertas. Los riegos se aplicaron con base a resultados de balance hídrico y la sincronización del cenirómetro.

#### 2.5.7.1 Uso del cenirómetro

El cenirómetro permite visualmente la programación de los riegos por balance hídrico. Este se desarrolló a partir de un modelo conceptual que considera el suelo como un reservorio de agua, el cual tiene una capacidad máxima de almacenamiento cuando está a capacidad de campo y un límite inferior cuando se agota el agua rápidamente aprovechable.

El tanque cenirómetro funciona simultáneamente como pluviómetro y evaporímetro. Para lo cual se calculó la lámina rápidamente aprovechable del agua, para relacionar este dato con la evaporación y la constante  $k_c$  del cultivo según la etapa fenológica. Desarrollando de este modo una herramienta con la cual podemos manejar el cuándo hacer efectivo el riego.

Los riegos se aplicaron por surco continuo, el número y época de riego fue determinado según tratamiento y se programaron con base al balance hídrico, calibrando el cenirómetro con una  $K_c = 0.6$  en macollamiento y  $K_c = 0.9$  en elongación.

La herramienta utilizada para llevar el control con balance hídrico fue a través de CENIRROMETRO, el que sirvió para determinar la frecuencia de los riegos, según cada tratamiento.

En el cuadro 9, se presentan los cálculos realizados para el diseño del tanque Cenirrómetro.

**Cuadro 9 Elaboración del Cenirrómetro**

ESTRATO	TEXTURA	% CC	% PMP	DAP (gr/cc)	Profundidad (cm)	LARA (mm)	Kc		LARA (mm/40 cm.) macollamiento	LARA (mm/60 cm.) elongación	EVC (mm/40 cm.) macolla	EVC (mm/60 cm.) elongación
							Macollamiento	Elongación				
0-20	Franco Limoso	43.2 5	12.0 4	1.05	20.00	65.24	0.60	0.90	75.85	102.55	71.69	47.80
20-40	Franco	49.8 5	16.6 2	0.92	20.00	61.18	0.60	0.90	Tiempo Riego		67.23	44.82
40-60	Arenoso Franco	35.4 5	13.0 2	0.99	20.00	44.50	0.60	0.90				32.60
LAA total (mm/60 cm.)						170.9 2			Total (mm)		138.93	125.22
									Total (cm)		13.89	12.52

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Las marcas realizadas en el tanque Cenirrómetro se encontraron para la fase de macollamiento en 13.89 cm, mientras que para la fase de elongación se reducía a 12.52 cm. Esto quiere decir que cuando el agua dentro del tanque alcanzaba la marca anterior, según la etapa en que se encontraba el cultivo, era el momento idóneo para la aplicación de riego con la lámina de agua que el suelo es capaz de retener es decir 75.85 mm en macollamiento y 102.55 mm en elongación.

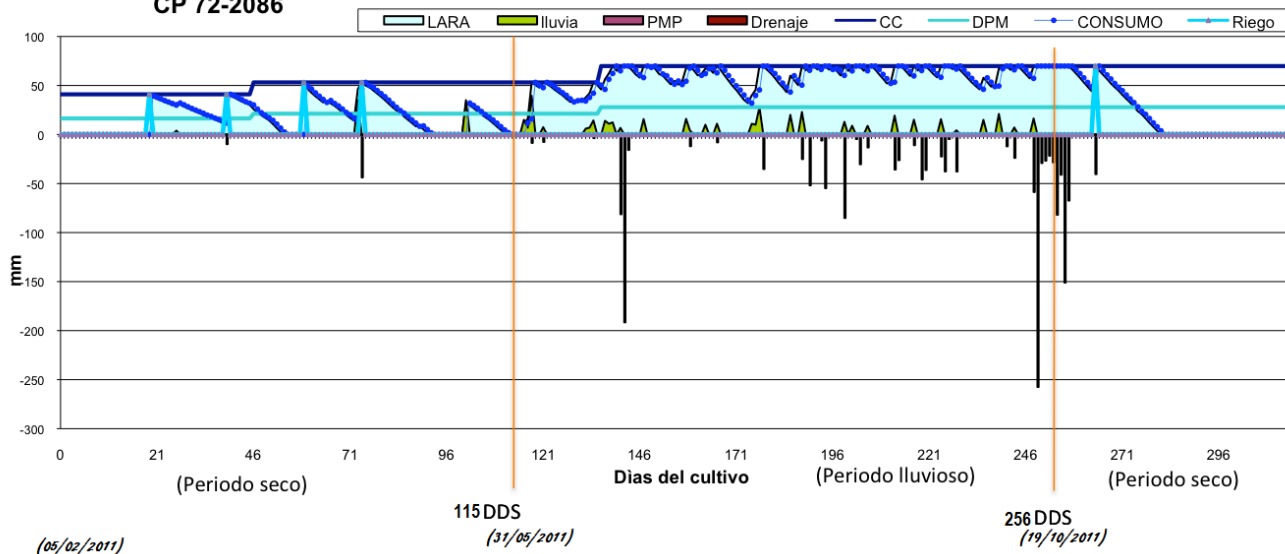
### 2.5.7.2 Balance hídrico

El balance hídrico es la herramienta utilizada para sincronizar los acontecimientos de riego tomando en cuenta los factores que entran y salen del sistema suelo-planta-agua. La lluvia jugó un papel importante influyendo en el desarrollo del cultivo y afectando a todos los tratamientos redujo un evento de riego. El invierno se logra percibir establecido a partir de los 115 dds el 31 de mayo del año 2011 hasta los 256 dds el 18 de octubre del mismo año.

Para calcular la evapotranspiración se tomaron en cuenta los registros de los últimos 10 años de las variables: Precipitación, Temperatura, Radiación global, humedad residual, velocidad del viento y evaporación. Así mismo, en cada evento de riego se midieron los caudales de agua, los tiempos y los volúmenes aplicados.

Para este caso la gráfica del balance hídrico esta conjuntamente desarrollada con las marcas del tanque cenirómetro en el cual se toma en cuenta el tipo de suelo, la capacidad de este para el almacenamiento de agua a diferentes alturas y los factores ambientales como la evapotranspiración, lluvia, drenaje y temperatura (figura 18).

**Balance Hidrico- Suelo arenoso franco  
CP 72-2086**



Fuente: Elaboración propia, 2016.

**Figura 18 Balance hídrico**

En la gráfica del balance hídrico, se puede observar claramente las marcas de cuatro riegos antes de la época de lluvia y uno después de esta. Los cuales fueron efectuados en el momento necesario, cuando la lámina de agua rápidamente aprovechable se agotaba, estos fueron distribuidos a los 58, 80, 96, 110 y 260 dds.

### **2.5.8 Cosecha**

La cosecha se realizó 280 dds, el 12 de diciembre del año 2011, dos días antes se efectuaron los muestreos pre cosecha para determinar las variables de concentración de azúcares.

Al momento de levantar el ensayo se utilizó una alzadora en la cual se acondiciono la báscula con la cual se determinó el peso de cada unidad experimental, al finalizar la toma de datos todo el material fue trasladado al ingenio para su respectiva molienda.

### **2.5.9 Desarrollo del ensayo**

Se evaluó el ensayo en un periodo catalogado en segundo tercio de corte el cual inicio el 05 de febrero de 2011, la preparación del terreno comenzó en la última semana del mes de enero del mismo año.

#### **2.5.9.1 Estratos altitudinales de la zona cañera en Guatemala**

La zona cañera del sur de Guatemala está comprendida desde la línea costera hasta el macizo montañoso, de 0 a 850 m s.n.m., localizada en la Llanura Costera del Pacífico; su extensión es de aproximadamente 210,000 hectáreas. En esta región existe variabilidad de condiciones agroecológicas; de acuerdo a esto, CENGICAÑA ha estratificado el área cultivada con caña de azúcar en zonas homogéneas, agrupadas según condiciones edafológicas y climáticas similares.

De esa manera existen 4 estratos altitudinales: alto, medio, bajo y litoral (CENGICAÑA, 2014) (ver cuadro 10).

**Cuadro 10 Estratos altitudinales de la zona cañera en Guatemala.**

Estrato	Altitud (msnm)	PP (mm/año)	T° (°C)			Radiación solar (MJ/m <sup>2</sup> /día)	Velocidad media del viento (Km/h)
			Min.	Media	Max.		
<b>Alto</b>	> 300	4100	20.2	26.2	32.2	17.7	5.2
<b>Medio</b>	100 - 300	3700	20.5	26.7	32.2	17.3	6.8
<b>Bajo</b>	40 - 100	1900	21.2	27.3	33.8	18.4	6.2
<b>Litoral</b>	< 40	1500	21.0	27.5	33.4	18.0	8.7

Fuente: CENGICAÑA, 2014.

El ensayo se ubicó en el estrato bajo o litoral de la zona cañera guatemalteca en un área aproximada total de 0.55 ha. El ensayo se llevó a cabo en un suelo Arenoso Franco.

#### 2.5.9.2 Fases fenológicas de la caña de azúcar

Las fases de desarrollo y crecimiento de la caña de azúcar, presentadas a continuación, son las que se utilizaron para este ensayo.

Fase de Emergencia y establecimiento de la población inicial de tallos de 0 a 30 dds

Fase de Macollamiento y Cierre de 31 a 75 dds

Fase de elongación (Crecimiento) de 76 a 240 dds

Fase de Maduración y Finalización (pre-corte) de 241 a 280 dds

#### 2.5.9.3 Tratamientos evaluados

Los tratamientos evaluados, según la programación de riegos utilizada en las distintas fases fenológicas de la caña de azúcar, se presentan en el cuadro 11.

**Cuadro 11 Tratamientos evaluados en el segundo tercio de corte**

No.	Tratamiento	Descripción del tratamiento
1	Con déficit hídrico. (sin riego)	Testigo.
2	Sin déficit hídrico.	Riego en todo el ciclo.
3	Con déficit hídrico en pre-corte.	Riego en macollamiento y elongación.
4	Con déficit hídrico en macollamiento y elongación.	Riego en pre-corte.

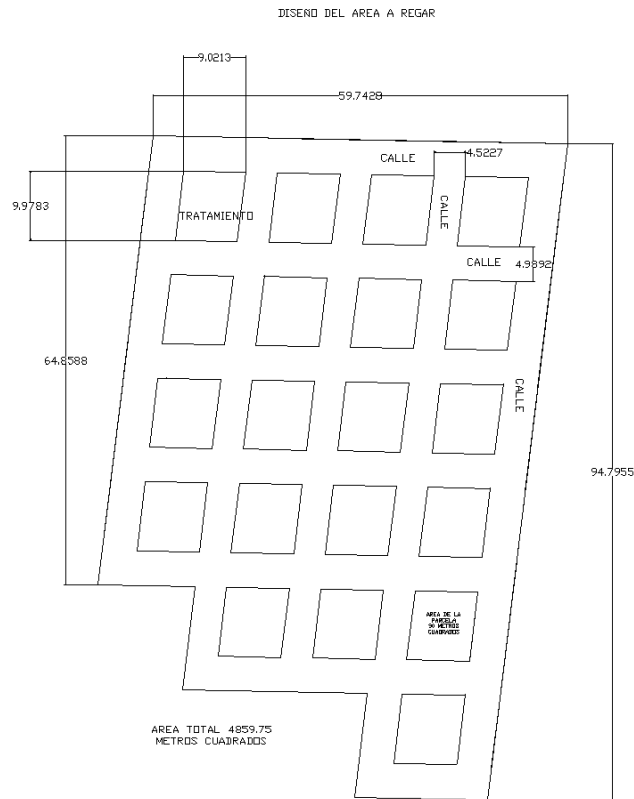
Fuente: Elaboración propia, 2016.

#### 2.5.9.4 Análisis estadístico

El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones en parcelas de 6 surcos, espaciados a 1.5 m y 10 m de longitud y cuatro tratamientos. Se utilizó una unidad experimental de 90 m<sup>2</sup>, a la par de cada unidad, se ubicaron unidades de control de humedad.

#### 2.5.9.5 Distribución de los tratamientos

El área donde se ubicó el ensayo estaba rodeada de vetas de arena y por ello fue necesaria la distribución de las parcelas de una manera asimétrica como se ilustra en la figura 19. Esto con la finalidad de proveer las mismas condiciones para todo el ensayo, ya que las vetas de arena fueron la gradiente de variación para este ensayo.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

**Figura 19** Diseño de campo utilizado en los ensayos para evaluar la respuesta de la caña al agua.

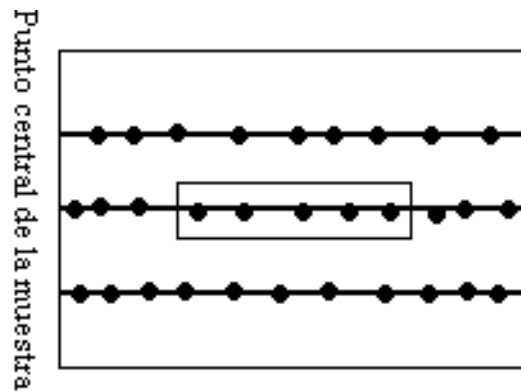
### 2.5.10 Variables de respuesta

A partir de los 45 días se llevaron a cabo mediciones de densidad de población de tallos molederos (se considera un tallo moledero cuando se tenga una altura mayor de 0.5 m), altura promedio, largo de entrenudos, diámetro, incidencia de floración y corcho. Antes de la cosecha se realizó un muestreo para definir la concentración de polisacáridos (Pol%) caña en cada uno de los tratamientos y repeticiones.



### 2.5.10.1 Puntos de muestreo

Se definieron 6 puntos de muestreo por unidad experimental, las muestras fueron representativas del lugar, dichas muestras tienen que estar identificadas con cinta de nylon, de modo que fuese visible. Se tomó un metro lineal de caña por punto de muestreo, en el cual se realizaron las mediciones de variables estas se ubicaron en los surcos centrales dejando un metro de distancia entre cada uno (figura 20).



Fuente: Castro, 2010.

**Figura 20 Forma utilizada para toma los puntos de muestreo**

### 2.5.10.2 Altura

Para la medición de los tallos se tomaron cinco tallos del surco del punto de muestreo y se midió la altura desde la base hasta el último cuello visible del tallo. Estas cañas debieron ser marcadas porque las lecturas durante el ciclo fueron tomadas en las mismas cañas seleccionadas. En el caso de que existan cañas floreadas la medición deberá realizarse a partir de la cuarta hoja visible de arriba hacia abajo, descrito en la figura 21.



Fuente: Castro, 2010.

**Figura 21 Forma utilizada para toma de datos (altura tallos molederos).**

### 2.5.10.3 Altura de mamones

La metodología de medición es la misma que la anteriormente descrita para determinar altura, a diferencia que ahora se realiza en mamones, como se muestra en la figura 22.

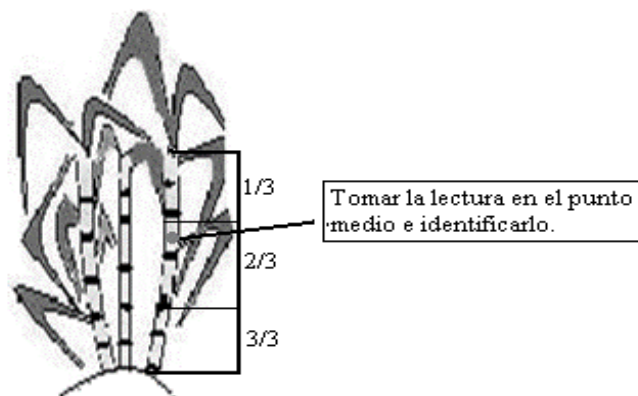


Fuente: Castro, 2010.

**Figura 22 Forma utilizada para toma de datos (altura mamones).**

### 2.5.10.4 Diámetro del tallo

Para la medición de esta variable fue necesario segmentar los 5 tallos visualmente en tres partes. Luego tomar el entrenudo medio de la parte central y realizar la medición. Además fue necesario marcar este punto para realizar las mediciones en el mismo punto durante el periodo de muestreo. Las cañas que se tomaron son las mismas 5 seleccionadas anteriormente.

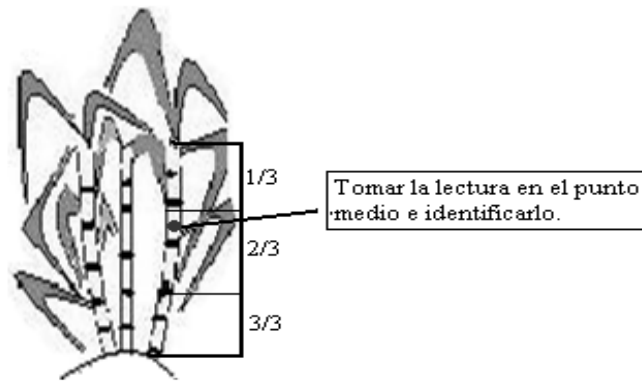


Fuente: Castro, 2010.

**Figura 23. Forma utilizada para toma de datos (diámetro).**

#### 2.5.10.5 Largo de Entrenudos

Para la medición de esta variable fue necesario segmentar los 5 tallos visualmente en tres partes. Luego se tomó el entrenudo medio de la parte central y se realizó la medición. Fue necesario marcar este punto para realizar las mediciones en el mismo punto durante el periodo de muestreo. Las cañas que se toman son las mismas 5 seleccionadas anteriormente (ver figura 24).



Fuente: Castro, 2010.

**Figura 24 Forma utilizada para toma de datos (largo de entrenudos)**

## 2.6 RESULTADOS

La respuesta de la caña al agua se determinó en términos de toneladas de caña y toneladas de azúcar por hectárea producida. Estos cálculos se presentan en el cuadro 12, donde también se describe el riego utilizado para cada tratamiento. Todos los tratamientos recibieron dos riegos en fecha 02 y 10 de febrero de 2011, para garantizar la germinación y establecimiento del cultivo.

**Cuadro 12 Eficiencias de uso del agua y producción obtenida en el experimento de respuesta de la caña al agua.**

Indicador	T1 TESTIGO, SIN RIEGO.	T2 RIEGO EN TODO EL CICLO.	T3 RIEGO EN MACOLLAMI ENTO Y ELONGACIÓ N.	T4 RIEGO EN PRE- CORTE.
Riego de germinación y establecimiento	(02dds = 102,55mm 07/02/11; 10dds = 102,55mm 15/02/11; total = 205,10mm)			
Eventos de riego (No.)	0,00	5,00	4,00	1,00
Fechas de riego (dds)	(0)	(58, 80, 96, 110, 260 dds)	(58, 80, 96, 110 dds)	(260 dds)
Lamina de riego neta (mm)	0,00	512,75	410,20	102,55
Lamina de riego total (mm)	205,10	717,85	615,30	307,65
Lluvia en época seca	(72dds = 35mm 18/04/11; 100dds = 35mm 16/05/11)			
Lamina neta total recibida por el cultivo como precipitación + riego (mm)	2364,00	2876,75	2774,20	2466,55
producción (10 meses de edad)				
Toneladas de caña por hectárea (TCH)	111.10 A	145.31 A	133.61 A	107.54 A
TCH por mes	11,11	14,53	13,36	10,75
Toneladas de azúcar por hectárea (TAH)	4.12 A	5.55 A	6.66 A	4.43 A
TAH por mes	0,41	0,56	0,67	0,44

### 2.6.1 Altura de tallos moledero

Como se puede observar en la figura 25, los tratamientos con riego en todo el ciclo T2 y con riego en macollamiento y elongación T3, son los que tienen los puntos altos en relación al tratamiento testigo sin riego T1. Al momento de elaborar el análisis estadístico se obtiene que los tratamientos no poseen diferencia significativa entre los mismos, debido a la poca diferencia entre sus valores, marcando una diferencia de 30.04 cm, únicamente; siendo aún menor la diferencia para los tratamientos T2 y T3 los cuales estuvieron sometidos a la misma cantidad de riegos en las etapas iniciales.

El detalle de los muestreos realizados y análisis estadístico se puede consultar en el anexo de este documento.

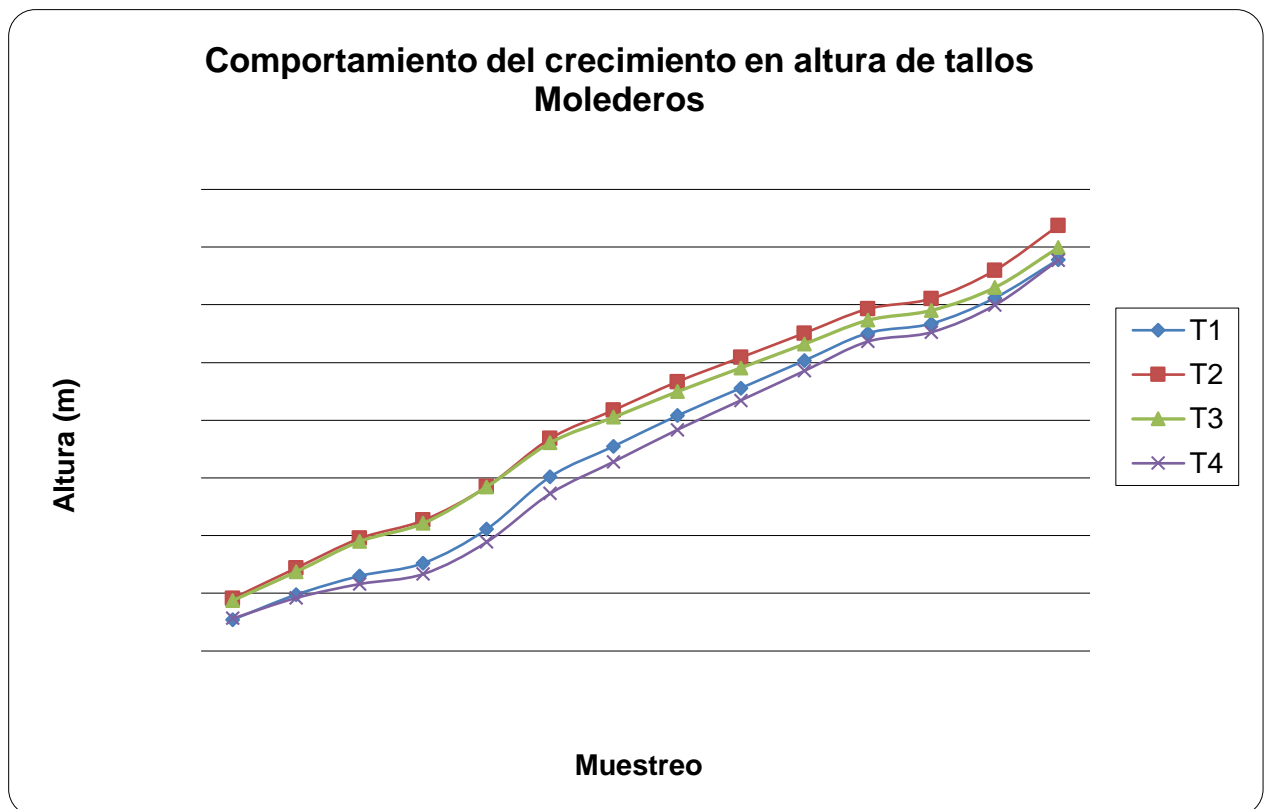
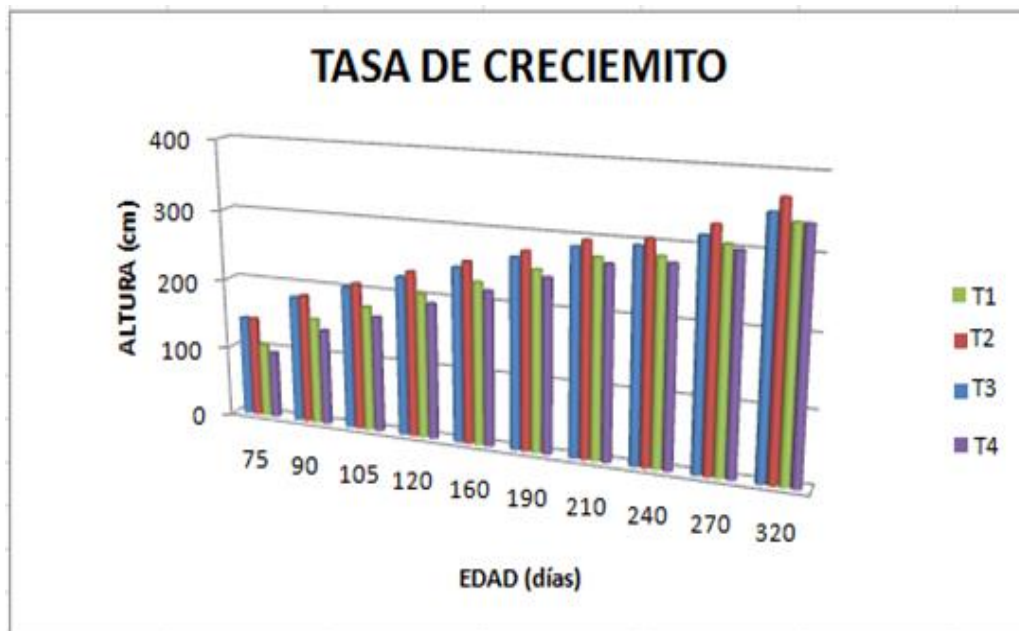


Figura 25 Comportamiento del crecimiento en la altura de tallos molederos

Figura 26 Tasa de crecimiento en la altura de tallos molederos

## 2.6.2 Densidad de población



En la figura 27, se muestra el comportamiento del número de tallos, con relación a la lámina de riego.

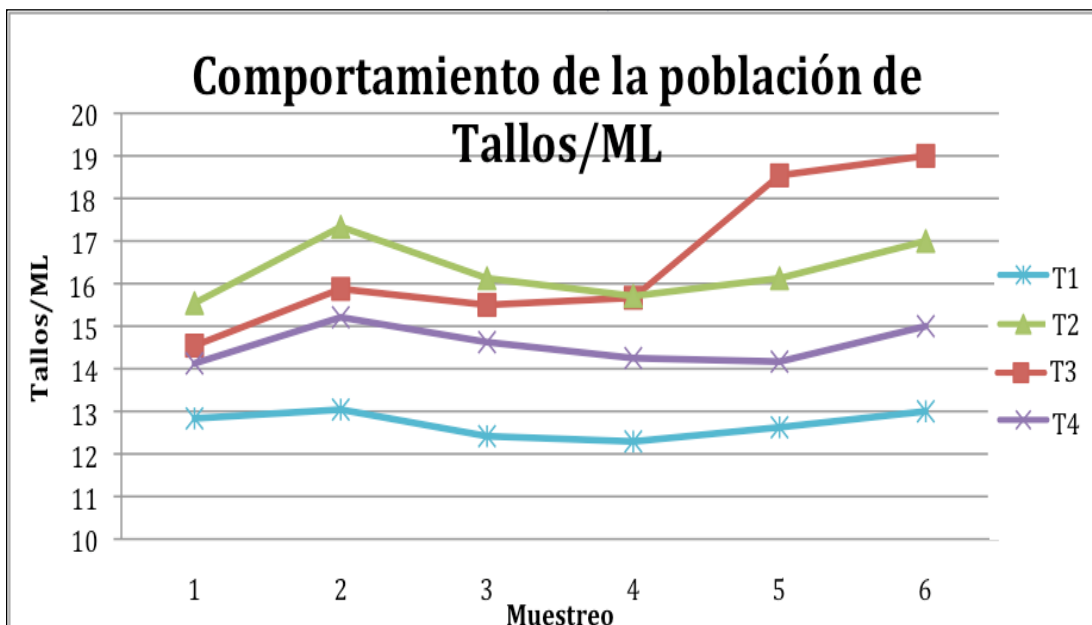


Figura 27 Comportamiento de la densidad de población de tallos.

La figura anterior, muestra que los tratamientos con riego en todo el ciclo T2 y con riego en macollamiento y elongación T3, son los que tienen los puntos altos en relación al tratamiento testigo sin riego T1. El análisis estadístico indica que los tratamientos si poseen diferencia significativa entre los mismos, dando como resultado el tratamiento con mayor número de tallos al tratamiento T3 y como resultado en la prueba de tukey dos clases de significancia.

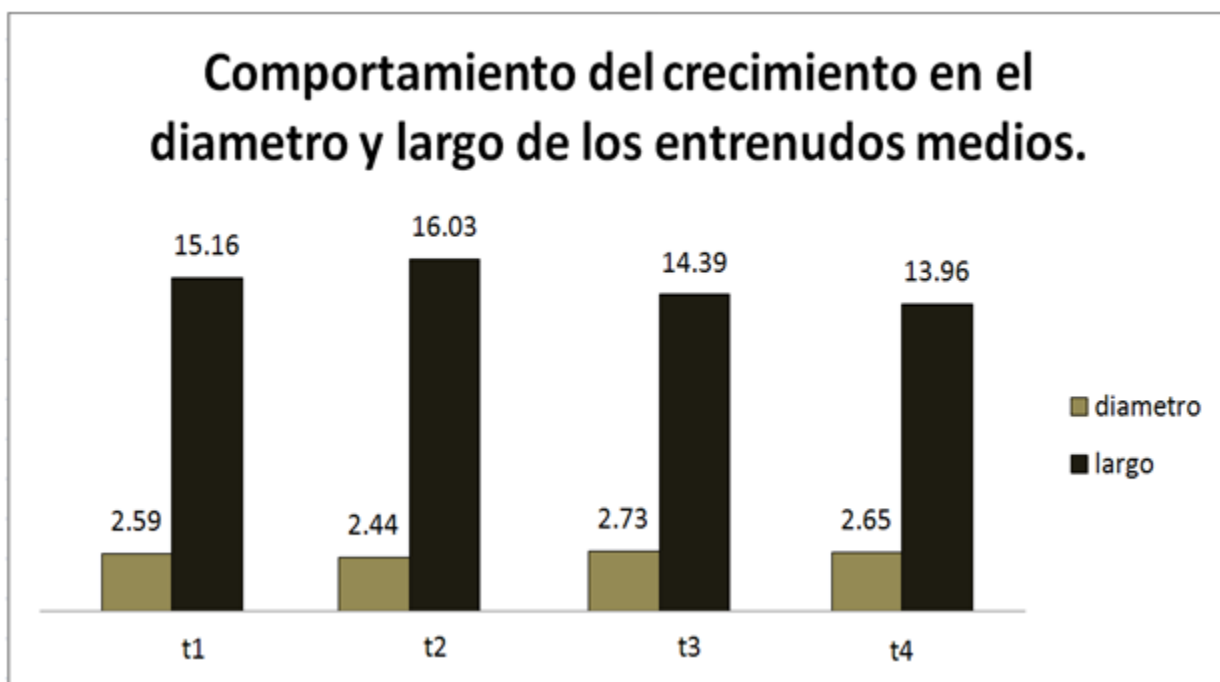
Marcando una diferencia de seis individuos con respecto al testigo, siendo de este modo al calcularlos en miles de tallos por hectárea que se puede diferenciar el tonelaje de los tratamientos.

El detalle de los muestreos realizados y análisis estadístico se puede consultar en la parte de los apéndices.

### **2.6.3 Diámetro y largo de entrenudos medios**

El resultado del análisis estadístico realizado nos indica que no existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados para el caso de diámetro y largo de entrenudos medios. Se observa, en la figura 28, que los tratamientos no poseen una diferencia marcada, manteniéndose casi constantes, debido a la poca variabilidad de sus resultados. Se marca una diferencia de 0.29 cm, únicamente en el diámetro de los entrenudos y 2.07 centímetros para el caso del largo de los entre nudos.

Esto se ve influido por el efecto ocasionado en la etapa de elongación de la planta, en la cual los tratamientos con déficit hídrico gozaban de la lluvia debido a la fecha en que se estableció el ensayo.



**Figura 28 Comportamiento entrenudos medios.**

El detalle de los muestreos realizados y análisis estadístico se puede consultar en anexos.

#### **2.6.4 Toneladas de caña por hectárea**

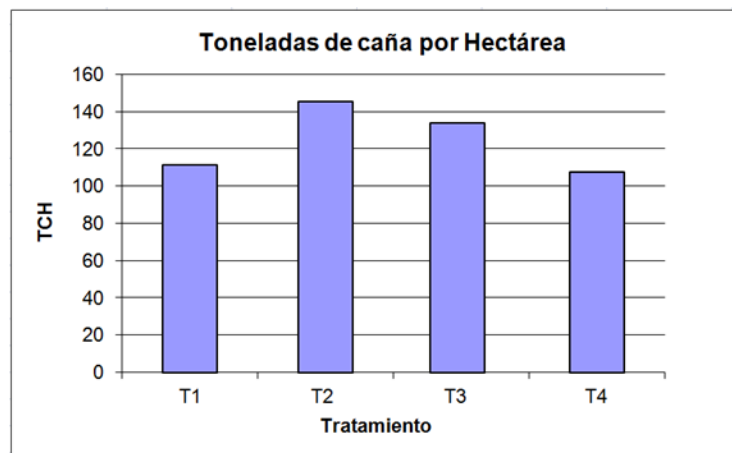
Como se puede observar en la figura 29, los tratamientos con riego en todo el ciclo T2 y con riego en macollamiento y elongación T3, son los que tienen los puntos altos en relación al tratamiento testigo sin riego T1, al momento de elaborar el análisis estadístico se obtiene que los tratamientos no poseen diferencia significativa entre los mismos debido a la poca variabilidad de sus resultados marcando una diferencia de 37.78 TCH, siendo menor la diferencia para los tratamientos T2 y T3 los cuales estuvieron sometidos a la misma cantidad de riegos en las etapas iniciales.



Considerando los resultados, obtenemos que el establecimiento de la plantilla en un suelo franco con adecuada retención de humedad y en época de siembra en segundo tercio de corte, necesita la aplicación adecuada de riego durante el establecimiento, ya que garantiza la población de tallos, logrando obtener en este caso hasta 107 TCH, como lo muestra los resultados del tratamiento con riego en pre-corte T4.

La diferencia que se marca en el tonelaje de caña por hectárea para los tratamientos T1 y T2 se puede explicar con la variable población ya que es la única que marca una diferencia significativa en el análisis de medias.

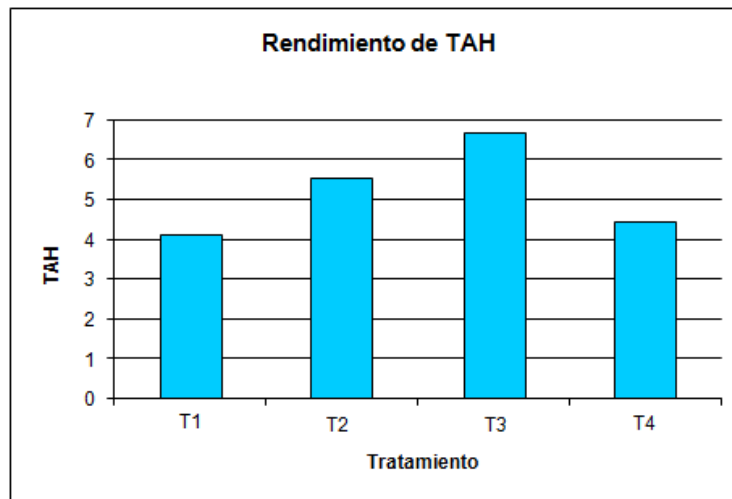
El detalle de los muestreos realizados y análisis estadístico se puede consultar en anexos.



**Figura 29 Toneladas de caña por hectárea.**

### 2.6.5 Toneladas de azúcar por hectárea

Como se puede observar la figura 30, los tratamientos T2 y T3, son los que tienen los puntos altos en relación al tratamiento testigo T1, al momento de elaborar el análisis estadístico se obtiene que los tratamientos no poseen diferencia significativa entre los mismos debido a la poca variabilidad de sus resultados marcando una diferencia de 3.88 TAH con relación al testigo, siendo aún menor la diferencia para los tratamientos T2 y T3 los cuales estuvieron sometidos a la misma cantidad de riegos en las etapas iniciales.



**Figura 30 Rendimiento de TAH**

Contemplando que los resultados indican que una plantilla en un suelo franco con adecuada retención de humedad y en segundo tercio de corte, necesita de un adecuado riego para el establecimiento ya que garantizando la población se logra obtener hasta 8.77 TAH, como lo muestra el tratamiento con riego en pre-corte T4.

La diferencia que se marca en el tonelaje de azúcar por hectárea para los tratamientos T1 y T2 se puede explicar con la variable población ya que es la única que marca una diferencia significativa en el análisis estadístico de medias.

El detalle de los muestreos realizados y análisis estadístico se puede consultar en anexos.

## 2.7 CONCLUSIONES

1. La producción de toneladas de caña por hectárea (TCH) para el tratamiento con riego en todo el ciclo fue de 145.31 toneladas y para el tratamiento testigo fue de 111.10 toneladas, indicando que el riego aumento 34 TCH, equivalentes a un 25 % la producción de TCH con respecto al tratamiento testigo T1 (sin riego). Aún con el incremento en la producción de TCH,
2. En relación a la variable producción de toneladas de azúcar por hectárea (TAH), el tratamiento con riego en macollamiento y elongación produjo 6.66 TAH y para el tratamiento testigo se produjo 4.12 TAH, equivalentes a un 38 % con respecto al tratamiento testigo T1. Al realizar el análisis estadístico, no se presentó diferencia significativa respecto a la variable toneladas de azúcar por hectárea (TAH), entre los tratamientos evaluados.

## 2.8 RECOMENDACIONES

1. Tomar en cuenta que la presente investigación es específica para las condiciones de un suelo franco-arenoso, en la finca panorama, Masagua, Escuintla.
2. Desarrollar el presente ensayo en el primer tercio de corte en la zafra, de este modo someter el cultivo a la mayor cantidad de estrés hídrico posible para poder observar durante mayor tiempo el efecto del riego y realizar mediciones del aporte capilar para poderlo tomar en cuenta al momento de la realización del ensayo.
3. Poner en práctica el uso del Cenirrómetro y balance hídrico para regar en la cantidad y momento adecuado y de esta forma aprovechar de manera óptima el recurso económico e hídrico, teniendo en cuenta que el mismo es limitado para el uso en la época de riego ya que en el invierno al sobre pasar la capacidad de campo, el excedente ya no puede ser medido por este método.
4. Se recomienda la priorización del riego en función de los números de cortes en el cultivo y la etapa fenológica en la que se encuentre, para poder brindar el riego en la etapa donde se obtenga un mayor rendimiento de toneladas de caña por ha.

## 2.9 REFERENCIAS

1. Alfaro P, R. 2000. Programa de producción de semilla básica mejorada de caña de azúcar. In Congreso de Ataca (2000, Costa Rica). Memorias. San José, Costa Rica, LAICA / DIECA. 6 p.
2. Castro, O. 2010. Ensayo determinativo, respuesta de la caña al agua en condiciones de un suelo franco limoso de la finca agrícola Palmeras, San Diego. Guatemala, CENGICAÑA. 7 p.
3. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, Guatemala). 2014. El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Melgar, M; Meneses, A; Orozco, H; Pérez, O; Espinoza, R. Guatemala. 512 p.
4. CENICAÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia). 1995. El cultivo de la caña de azúcar en la zona azucarera de Colombia. Eds. Cassalet, C; Torres, J; Isaacs, C. Cali, Colombia. 412 p.
5. Chaparro, AJ. 2002. Preparación de tierras. In Seminario de adecuación de tierras (2002, Colombia). Memoria. Cali, Colombia, TECNICAÑA. p. 16-20.
6. CIM (Centro de Información Municipal, Masagua, Escuintla, Guatemala). 2009. Mapas de la región (en línea). Escuintla, Guatemala. Consultado 1 abr. 2011. Disponible en <http://www.inforpressca.com/masagua/>
7. Foth, HD. 1986. Fundamentos de la ciencia del suelo. Trad. por Antonio Marino Ambrosio. México, CECOSA. 433 p.
8. Grassi, CJ. 1984. Métodos de riego. Mérida, Venezuela, CIDIAT. 265 p.
9. Grassi, CJ. 1998. Formulación de proyectos de riego y drenaje. Mérida, Venezuela, CIDIAT. 241 p.
10. Guerra, G. 1992. Manual de administración de empresas agropecuarias. San José, Costa Rica, IICA. 579 p.
11. Holdridge, L. 1982. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
12. Juárez, D; Muñoz, E. 1997. Respuesta de la caña de azúcar a las aplicaciones de riego en la costa sur de Guatemala. In Presentación de resultados zafra 1996-1997. Guatemala, CENGICAÑA. s.p.
13. Leonardo, A. 1998. Manual para la identificación y manejo de las principales malezas en caña de azúcar en Guatemala. Guatemala, CENGICAÑA. 131 p.

14. Olalla, F; De Valero, J; De Santa, M. 1992. Agronomía del riego. España, Universidad de Castilla. 691 p.
15. Orozco, H; Catalán, M; Castro, O; Quemé, J. 2004. Catálogo de variedades promisorias de caña de azúcar de la agroindustria azucarera guatemalteca. Guatemala, CENGICAÑA. 50 p.
16. Osorio, G. 2007. Manual: buenas prácticas agrícolas -BPA- y buenas prácticas de manufactura -BPM- en la producción de caña y panela. Medellín, Colombia, FAO. 200 p.
17. Razuri, L. 1988. Diseño de riego por goteo. Mérida, Venezuela, CIDIAT. 167 p.
18. Romero, A. 1978. Riego y drenaje. México, Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria. 92 p.
19. Sandoval Illescas, JE. 1977. Diseño de dos sistemas de riego (aspersión y goteo) para el campo experimental de la Facultad de Agronomía. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 72 p.
20. Sandoval Illescas, JE. 1983. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 345 p.
21. Soto, GJ. 1995. Prototipo varietal de caña de azúcar para la agroindustria azucarera guatemalteca. Escuintla, Guatemala, CENGICAÑA. s.p. (Documento Técnico no. 5).
22. Soto, GJ; Orozco, H; Ovalle, W. 1998. Semilleros de caña de azúcar de alta calidad para la agroindustria azucarera de Guatemala. Escuintla, Guatemala, CENGICAÑA. 10 p.
23. Torres, JS; Cruz, R. 1997. El cenirrómetro: un programador visual de riegos. In Congreso Colombiano de la Asociación de Técnicos de la Caña de Azúcar (1997, Colombia). Colombia, CENICAÑA. s.p.
24. Torres, JS; Cruz V, R; Villegas T, F. 2004. Avances técnicos para la programación y manejo del riego en caña de azúcar. Cali, Colombia, CENICAÑA. 73 p.
25. Van Dillewijn, C. 1952. Botany of sugar cane. Wageningen, Deutschland, Veeman & Zonem. 371 p.
26. Yang, SJ; Torres, JS. 1984. Estudio preliminar sobre los requerimientos de agua y riego de la caña de azúcar en el valle del Cauca. Colombia, CENICAÑA. v. 1, p. 323-335.

## 2.10 ANEXOS

### 2.10.1 Análisis de suelo

**Cuadro 13A Resultados de análisis de suelos**

Resultados de Laboratorio Datos Promedios								
Estrato	% Arcilla	% Limo	% Arena	Textura	% H 1/3 ATM	% H 15 ATM	D.A.P	Profundidad (cm)
0-20	9.29	30.68	60.03	Franco Arenoso	18.27	7.01	1.28	20
20-40	7.55	28.31	64.14	Franco Arenoso	16.63	6.90	1.25	20
40-60	7.38	19.43	73.19	Franco Arenoso	10.58	4.50	1.37	20

Fecha	Finca	Estrato	CE	pH 1:2.5	Materia Orgánica	Ca	Mg	K	Na	P	Cu	Zn	Fe	Mn	Arcilla	Limo	Arena	tipo de Textura	15 ATM.	1/3 ATM.	D.AP.	Humedad Gravimétrica
			(dS m <sup>-1</sup> )		%										Meq/100g Intercambiables	(ppm)			%	%		%
15/02/2011	Panorama	0-20	0.09	6.75	2.39	10.08	2.91	0.58	0.48	53.63	0.61	5.81	129.60	75.24	10.39	36.67	52.94	Franco Arenoso	8.60	22.36	1.21	19.95
15/02/2011	Panorama	0-20	0.08	6.63	1.77	5.80	1.91	0.96	0.26	118.63	0.53	6.45	16.23	62.10	8.20	24.69	67.11	Franco Arenoso	5.42	14.18	1.35	10.66
15/02/2011	Panorama	20-40	0.05	6.88	1.13	4.45	0.75	0.78	0.26	99.51	1.04	3.25	25.06	46.03	8.68	24.22	67.10	Franco Arenoso	4.95	11.39	1.34	11.77
15/02/2011	Panorama	20-40	0.07	6.93	2.08	9.80	2.23	0.50	0.55	43.43	0.66	3.79	13.01	65.87	6.42	32.40	61.18	Franco Arenoso	8.85	21.87	1.17	21.80
15/02/2011	Panorama	40-60	0.05	7.39	0.65	6.29	1.70	0.69	0.44	51.47	3.14	2.65	34.01	56.93	6.83	25.94	67.23	Franco Arenoso	6.13	14.71	1.28	14.15
15/02/2011	Panorama	40-60	0.03	6.88	0.24	2.54	0.14	0.51	0.26	78.24	2.08	1.07	65.98	29.82	7.94	12.91	79.15	Arena Franca	2.87	6.45	1.46	7.00
15/02/2011	Panorama	60-80	0.08	7.50	1.67	9.91	2.26	0.66	0.52	20.39	2.37	1.67	10.19	46.94	10.83	25.90	63.27	Franco Arenoso	8.96	23.65	1.15	32.62
15/02/2011	Panorama	60-80	0.03	7.23	0.19	1.98	0.09	0.51	0.24	77.65	3.34	0.79	76.83	24.63	6.49	14.11	79.40	Arena Franca	2.90	6.70	1.51	12.30
15/02/2011	Panorama	80-100	0.10	7.42	1.87	16.62	4.61	0.69	0.61	7.25	1.13	1.34	5.15	46.99	10.87	24.06	65.07	Franco Arenoso	10.96	25.57	1.09	29.39
15/02/2011	Panorama	80-100	0.05	6.95	1.67	9.08	1.73	0.76	0.46	26.18	6.04	1.69	0.86	46.06	16.66	36.78	46.56	Franco	11.19	33.86	1.16	32.39

Fuente: Laboratorio CENGICAÑA

## 2.10.2 Población

### 2.10.2.1 Comportamiento de la población Tallos/ML

**Cuadro 14A Muestreo del comportamiento de la población de tallos**

MUESTREO- FENOLOGIA DE CAÑA DE AZUCAR: COMPORTAMIENTO DE LA POBLACIÓN (TALLOS/ML)						
Tratamiento	1	2	3	4	5	6
1	13	13	12	12	13	13.00
2	16	17	16	16	16	16.00
3	15	16	16	16	19	19.00
4	14	15	15	14	14	15.00

Fuente: Elaboración propia

### 2.10.2.2 Análisis estadístico para la población

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
población	16	0.86	0.77	8.94

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	118.38	6	19.73	9.57	0.0018
tratamiento	94.69	3	31.56	15.30	0.0007
bloque	23.69	3	7.90	3.83	0.0511
Error	18.56	9	2.06		
Total	136.94	15			

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.17020**

Error: 2.0625 gl: 9

tratamiento	Medias	n	E.E.			
3.00	19.25	4	0.72	A		
2.00	17.25	4	0.72	A	B	
4.00	15.00	4	0.72		B	C
1.00	12.75	4	0.72			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ )

Fuente: Elaboración propia

**Figura 31A Análisis estadístico de población de tallos**



### 2.10.3 Altura de tallos molederos

#### 2.10.3.1 Muestreo- fenología de caña de azúcar: comportamiento del crecimiento

#### Cuadro 15A Resultados de muestreos del comportamiento de la altura

Tratamiento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Final
T1	27.23	48.88	65.04	76.15	105.68	151.08	177.48	203.98	227.81	251.64	275.47	283.73	305.94	339.19
T2	45.72	71.96	97.61	113.25	142.48	184.14	208.78	233.29	254.35	275.40	296.46	305.35	329.87	368.57
T3	43.84	68.73	94.98	110.72	142.28	180.48	202.63	224.72	245.34	265.97	286.59	295.14	314.92	349.58
T4	28.22	45.99	58.08	66.73	94.46	136.42	164.05	191.69	217.19	242.68	268.18	276.22	299.69	338.53

Fuente: Elaboración propia

#### 2.10.3.2 Análisis estadístico para la altura

##### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Altura	16	0.51	0.19	5.44

##### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3401.70	6	566.95	1.57	0.2593
tratamiento	2356.12	3	785.37	2.18	0.1600
bloque	1045.58	3	348.53	0.97	0.4493
Error	3241.07	9	360.12		
Total	6642.77	15			

##### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=41.89022

Error: 360.1186 gl: 9

tratamiento	Medias	n	E.E.
2.00	368.57	4	9.49 A
3.00	349.59	4	9.49 A
1.00	339.19	4	9.49 A
4.00	338.53	4	9.49 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ )

Fuente: Elaboración propia

#### Figura 32A Análisis estadístico de altura

## 2.10.4 Diámetro y largo de los entrenudos medios

2.10.4.1 Muestreo fenología de caña de azúcar: comportamiento del crecimiento del diámetro y largo de los entrenudos medios.

### Cuadro 16A Resultados de muestreos del comportamiento de la altura

Tratamiento	Diámetro	Largo
T1	2.59	15.16
T2	2.44	16.03
T3	2.73	14.39
T4	2.65	13.96

Fuente: Elaboración propia

2.10.4.2 Análisis estadístico de diámetro de entrenudos

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
diámetro	16	0.56	0.26	4.08

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.13	6	0.02	1.89	0.1881
tratamiento	0.05	3	0.02	1.27	0.3411
bloque	0.09	3	0.03	2.50	0.1255
Error	0.11	9	0.01		
Total	0.24	15			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.24019

Error: 0.0118 gl: 9

tratamiento	Medias	n	E.E.
2.00	2.73	4	0.05 A
3.00	2.70	4	0.05 A
4.00	2.65	4	0.05 A
1.00	2.59	4	0.05 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ )

Fuente: Elaboración propia

### Figura 33A Análisis estadístico de diámetro de entrenudos

## 2.10.4.3 Análisis estadístico largo de entrenudos

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
largo	16	0.45	0.08	7.18

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8.20	6	1.37	1.21	0.3812
tratamiento	6.67	3	2.22	1.97	0.1884
bloque	1.52	3	0.51	0.45	0.7227
Error	10.14	9	1.13		
Total	18.33	15			

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.34264**

Error: 1.1262 gl: 9

tratamiento	Medias	n	E.E.	
2.00	15.62	4	0.53	A
1.00	15.16	4	0.53	A
3.00	14.39	4	0.53	A
4.00	13.96	4	0.53	A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0.05)*

Fuente: Elaboración propia

**Figura 34A Análisis estadístico de largo de entrenudos**

## 2.10.5 Toneladas de caña y azúcar por hectárea

2.10.5.1 Comportamiento de la producción en toneladas de caña por ha (TCH) y toneladas de azúcar por ha. (TAH)

**Cuadro 17A Comportamiento en la producción TCH y TAH**

Tratamiento	Repetición				Promedio TAH
	I	II	III	IV	
T1	8.63	10.32	12.15	6.70	9.45
T2	9.67	13.17	12.01	15.74	12.65
T3	11.98	10.73	10.36	9.23	10.58
T4	8.71	7.68	8.94	9.75	8.77
Tratamiento	Repetición				Promedio TCH
	I	II	III	IV	
T1	113.57	119.62	131.85	79.39	111.11
T2	116.22	150.80	125.73	188.53	145.32
T3	141.28	127.54	117.73	147.91	133.61
T4	108.09	81.41	122.78	117.89	107.54

Fuente: Elaboración propia

## 2.10.5.2 Análisis estadístico de TCH

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
TCH	16	0.44	0.06	20.27

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4428.03	6	738.00	1.16	0.4034
tratamiento	3933.71	3	1311.24	2.06	0.1757
bloque	494.32	3	164.77	0.26	0.8531
Error	5722.97	9	635.89		
Total	10151.00	15			

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=55.66465**

Error: 635.8859 gl: 9

tratamiento	Medias	n	E.E.
2.00	145.32	4	12.61 A
3.00	133.62	4	12.61 A
1.00	111.11	4	12.61 A
4.00	107.54	4	12.61 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p&lt;= 0.05)

Fuente: Elaboración propia

**Figura 35A Análisis estadístico de TCH**

## 2.10.5.3 Análisis estadístico de TAH

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
TAH	16	0.49	0.15	20.05

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	37.11	6	6.19	1.43	0.3010
tratamiento	34.54	3	11.51	2.67	0.1110
bloque	2.57	3	0.86	0.20	0.8946
Error	38.85	9	4.32		
Total	75.96	15			

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=4.58637**

Error: 4.3168 gl: 9

tratamiento	Medias	n	E.E.
2.00	12.65	4	1.04 A
3.00	10.58	4	1.04 A
1.00	9.45	4	1.04 A
4.00	8.77	4	1.04 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p&lt;= 0.05)

Fuente: Elaboración propia

**Figura 36A Análisis estadístico de TAH**









### **3.1 RESPUESTA AL AGUA DE LA CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum* L.), BAJO LAS CONDICIONES DE MASAGUA ESCUINTLA**

#### **3.1.1 Antecedentes**

La caña de azúcar en Guatemala es uno de los principales cultivos tradicionales de exportación, representa una de las mayores fuentes de ingreso de divisas para el país, la cual se va incrementando año con año.

El área cañera en Guatemala se extiende por toda la zona costera del pacifico sur, cubriendo áreas desde el nivel del mar hasta alturas superiores a los mil metros sobre el nivel del mar, comprendiendo dentro de ella el departamento de Escuintla, en donde se desarrolló el ensayo.

El presente servicio surgió de la necesidad de cuantificar los efectos del agua en la producción de biomasa (TCH) y azúcar (TAH), y con esa base poder establecer modelos que permitan definir la respuesta de la caña al agua, tanto técnica como económica.

Con el establecimiento de la función de repuesta entre la producción de la caña de azúcar y el agua que se emplea, se espera determinar y desarrollar información para establecer y justificar la aplicación del riego.

El ensayo se realizó en condiciones de un suelo Arenoso, en la Finca Panorama perteneciente al Ingenio Trinidad, Corporación San Diego; el cual fue sometido a diferentes situación de déficit hídrico, realizándose a una siembra nueva en el mes de febrero comprendida dentro del segundo tercio de corte y utilizando el cultivar de caña CP-881165.

En el experimento se tomaron las variables del clima, suelo, desarrollo y producción de la caña de azúcar además de la cantidad de agua aplicada al cultivo.

La presente investigación se realizó de forma conjunta con el departamento de riegos de CENGICAÑA.

### 3.1.2 Objetivos

#### 3.1.2.1 General

- Determinar la respuesta al agua de la caña de azúcar (*saccharum officinarum* L.)

#### 3.1.2.2 Específicos

- Determinar la respuesta de la caña al agua en primer tercio de corte en condiciones de un suelo arenoso.
- Cuantificar efectos del déficit hídrico en los componentes de rendimiento de la caña de azúcar (número y peso tallos molederos).

### 3.1.3 Metodología

#### 3.1.3.1 Labores agrícolas en el cultivo de caña de azúcar

##### Adecuación del terreno

Para el establecimiento del ensayo se procedió a liberar el área de piedras y troncos tratando que la topografía fuese lo más homogénea posible.

##### Preparación de suelos

Se realizó un paso de sub suelo, rastra o pulido y finalmente el surqueo a un metro cincuenta entre fondos para la siembra del cultivo.

##### Siembra

Por las condiciones del área se escogió la variedad de caña CP-88 1165, la cual se adapta mejor a las condiciones tanto climáticas como edáficas del área.

Se realizó un estaquillado a nueve metros dando por resultado en promedio de 12 yemas viables por metro lineal en una hilera doble con un 25% de traslape.

Posteriormente se trazaron las parcelas según la figura 37, dejando las calles sin sembrar para tener un área de contención entre los tratamientos y las repeticiones.

#### Fertilización

Al momento de la siembra se realizó la aplicación de cuatro quintales de 18-46-0 por hectárea y a los cuarenta y cinco días de establecido se realizó el ferti cultivo botando la meza y aportando tres quintales de 46-0-0 por hectárea.

#### Control de malezas

Antes de la siembra se aplicó una mezcla de glifosato y un pre emergente (Atrazina) para garantizar el óptimo desarrollo de las plántulas al emerger y evitar la competencia por luz y alimentos.

Posteriormente se realizaron las actividades de preparación del terreno en el cual luego de aprovechar el control químico se procedió a un control mecánico mediante el cual se reincorpora parte de las malezas al suelo.

A los veinte días de establecido el cultivo se realizó una aplicación de pos emergentes debido a la presencia de malezas tales como *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton Y *Cyperus* sp.

A los cuarenta y cinco días se realizó el ferticultivo que de igual manera que en la preparación de suelos se pretendió realizar un control mecánico al cultivo.

#### Plagas y enfermedades

Las plagas y enfermedades observadas en el ensayo no sobre pasaron el umbral económico por ello no se realizaron medidas de control.

## Riego

Para poder garantizar la población en el ensayo se procedió a la aplicación de dos riegos de emergencia los cuales garantizan la humedad necesaria para el establecimiento y desarrollo de las primeras plántulas.

Se procedió a brindar las condiciones según los tratamientos en cada una de las parcelas tomando en cuenta el tipo de suelo, la capacidad de campo, condiciones climáticas y se determinó las características del cenirómetro herramienta utilizada para la planificación del riego.

Durante el desarrollo del ensayo se tomó en cuenta la pluviometría del área, en la fecha tres de marzo del 2011 el pluviómetro marco 4mm, en la fecha diez de abril el pluviómetro marco 5mm, en la fecha dieciocho de abril se registraron 35mm, en la fecha dieciséis de mayo se registraron 35mm y a partir del treinta y uno de mayo se comienza a marcar el establecimiento del invierno. Marcando el final del invierno en la fecha diecinueve de octubre del año 2011.

Luego se monitoreo la humedad mediante el uso de un sensor de humedad denominado aquter 300 el cual marca en porcentaje dependiendo el tipo de suelo la humedad presente en el mismo, tomando esto en cuenta se realizó un riego pre corte en según los tratamientos que lo necesitasen.

## Cosecha

La cosecha se realizó el doce de diciembre del año 2012, dos días antes se efectuaron los muestreos pre cosecha para determinar las variables de concentración de azúcares.

Al momento de levantar el ensayo se utilizó una alzada en la cual se acondiciono la báscula con la cual se determinó el peso de cada unidad experimental, al finalizar la toma de datos todo el material fue trasladado al ingenio para su respectiva molienda.

### 3.1.4 Desarrollo del ensayo

Se evaluó el ensayo en un periodo catalogado en segundo tercio de corte el cual inicia en el mes de febrero, la preparación del terreno se comenzó en la última semana del mes de enero del año 2011.

El ensayo se ubicó en el estrato bajo o litoral de la zona cañera guatemalteca en un área aproximada total de 0.55 ha. El ensayo se llevó a cabo en un suelo Arenoso.

Se evaluó el riego en las diferentes etapas fenológicas del cultivo catalogadas como post-corte, etapas de iniciación, macollamiento e inicios de la etapa de elongación, Los tratamientos a evaluar en cada fecha de corte son los descritos en el cuadro 18.

**Cuadro 18 Tratamientos evaluados en el segundo tercio de corte**

No. TRAT	TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN DEL TRATAMIENTO
1	SIN DEFICIT HIDRICO 1	SIN DEFICIT HÍDRICO EN TODO EL CICLO REGAR HASTA 30 DÍAS ANTES DEL CORTE).
2	SIN DEFICIT HIDRICO 2	SIN DEFICIT HÍDRICO EN TODO EL CICLO REGAR HASTA 45 DÍAS ANTES DEL CORTE).
3	CON DEFICIT HIDRICO POST-CORTE Y PRE-CORTE	DEFICIT HÍDRICO EN MACOLLAMIENTO Y ELONGACIÓN. CONDICIÓN REAL.
4	CON DEFICIT HIDRICO MACOLLAMIENTO ( POST-CORTE)	DEFICIT HÍDRICO EN MACOLLAMIENTO (3 MESES) Y SIN DEFICIT ETAPA ELONGACIÓN (RIEGOS POST-CORTE Y RIEGOS PRE-CORTE HASTA 30 DÍAS ANTES DEL CORTE.
5	CON DEFICIT HIDRICO EN ELONGACIÓN (POST-CORTE Y PRE-CORTE)	SIN DEFICIT HÍDRICO EN MACOLLAMIENTO Y CON DEFICIT HÍDRICO EN ELONGACIÓN.

Fuente: elaboración propia

El área en que se ubicó el ensayo estaba rodeada de vetas de arena y por ello fue necesaria la distribución de las parcelas de una manera asimétrica como se ilustra en la figura 37. Esto con la finalidad de proveer las mismas condiciones para todo el ensayo.



Fuente: Elaboración propia

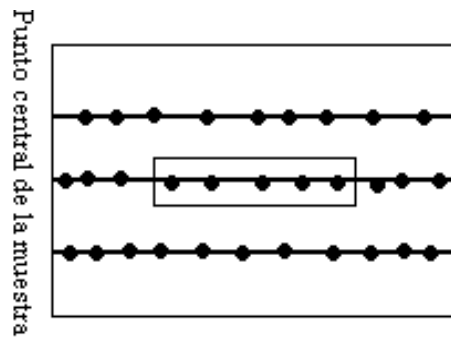
**Figura 37** Diseño de campo utilizado en los ensayos para evaluar la respuesta de la caña al agua.

### 3.1.4.1 Variables de respuesta

A partir de los 45 días se llevaron a cabo mediciones de población de tallos molederos (se considera un tallo moledero cuando se tenga una altura mayor de 0.5m), altura promedio, largo de entrenudos, diámetro, incidencia de floración y corcho. Antes de la cosecha se realizó un muestreo para definir Pol% caña en cada uno de los tratamientos y repeticiones.

### 3.1.4.2 Puntos de muestreo

Se definieron 6 puntos de muestreo por unidad experimental, las muestras fueron representativas del lugar, dichas muestras tienen que estar identificadas con cinta de nylon, de modo que fuese visible. Se tomó un metro lineal de caña por punto de muestreo, en el cual se realizaron las mediciones de variables estas se ubicaron en los surcos centrales dejando un metro de distancia entre cada uno.

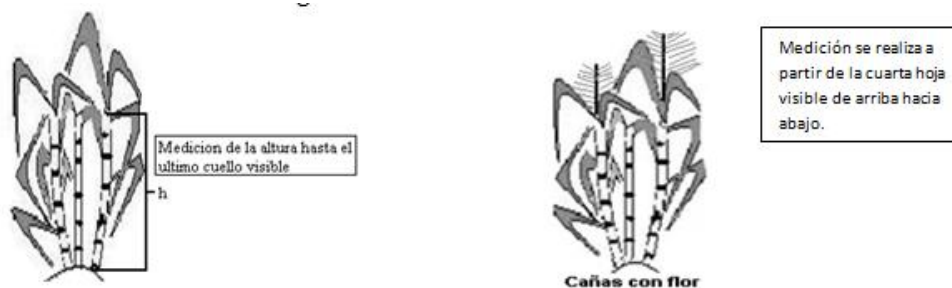


Fuente: (Castro, 2010)

**Figura 38 Forma utilizada para toma los puntos de muestreo**

Altura:

Para la medición de los tallos se tomaron cinco tallos del surco del punto de muestreo y se midió la altura desde la base hasta el último cuello visible del tallo. Estas cañas debieron ser marcadas porque las lecturas durante el ciclo fueron tomadas en las mismas cañas seleccionadas. En el caso de que existan cañas floreadas la medición deberá realizarse como se muestra en la figura 39.



Fuente: (Castro, 2010)

**Figura 39 Forma utilizada para toma de datos (altura tallos molederos)**

### Altura de mamones:

La metodología de medición es la misma que la anteriormente descrita para determinar altura, a diferencia que ahora se realiza en mamones.

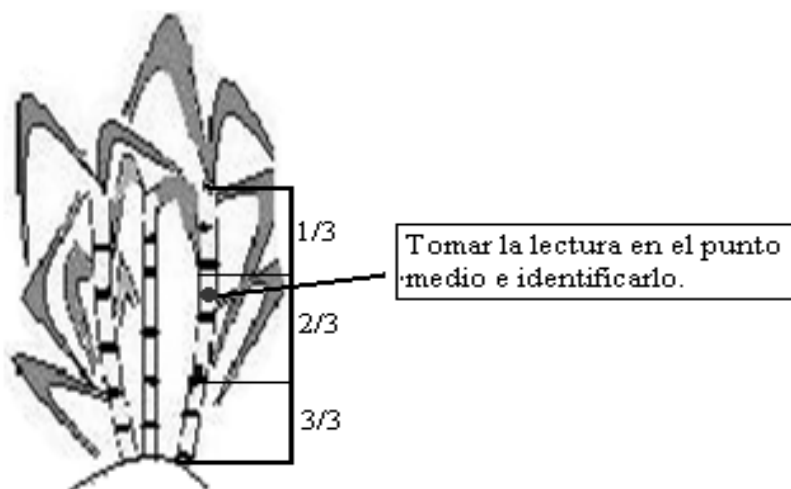


Fuente: (Castro, 2010)

Figura 40 Forma utilizada para toma de datos (altura mamones)

### Diámetro del tallo:

Para la medición de esta variable fue necesario segmentar los 5 tallos visualmente en tres partes. Luego tomar el entre nudo medio de la parte central y realizar la medición. Además fue necesario marcar este punto para realizar las mediciones en el mismo punto durante el periodo de muestreo. Las cañas que se toman son las mismas 5 seleccionadas anteriormente.



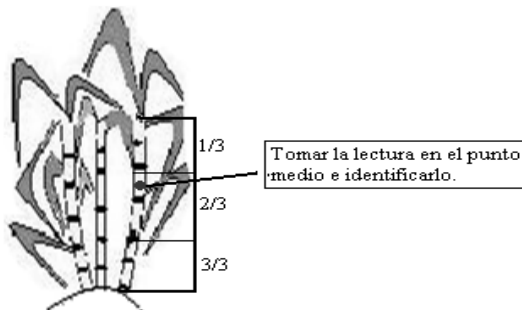
Fuente: (Castro, 2010)



### Figura 41 Forma utilizada para toma de datos (diámetro)

#### Largo de Entrenudos:

Para la medición de esta variable fue necesario segmentar los 5 tallos visualmente en tres partes. Luego se tomó el entrenudo medio de la parte central y se realizó la medición. Fue necesario marcar este punto para realizar las mediciones en el mismo punto durante el periodo de muestreo. Las cañas que se toman son las mismas 5 seleccionadas anteriormente.



Fuente: (Castro, 2010)

### Figura 42 Forma utilizada para toma de datos (largo de entrenudos)

#### 3.1.4.3 Manejo del riego

Para aplicación de las dosis de agua requerida en cada riego con mayor eficiencia, se utilizó el sistema de riego: Mangas y compuertas. Los riegos se aplicaron con base a resultados de balance hídrico y la sincronización del cenirrómetro.

Los riegos se aplicaron por surco continuo, el número y época de riego fue determinado según tratamiento y se programaron con balance hídrico utilizando un  $K_c = 0.6$  en macollamiento y  $K_c = 0.9$  en elongación. La herramienta utilizada para llevar el control con balance hídrico será a través de CENIRROMETROS, que sirvieron para determinar la frecuencia de los riegos, según lo indique cada tratamiento.

Para cumplir con los objetivos propuestos se registraron las variables: Precipitación, Temperatura, Radiación global, humedad residual, velocidad del viento y evaporación. Así

mismo, en cada evento de riego se mediaron los caudales de agua, los tiempos y los volúmenes aplicados.

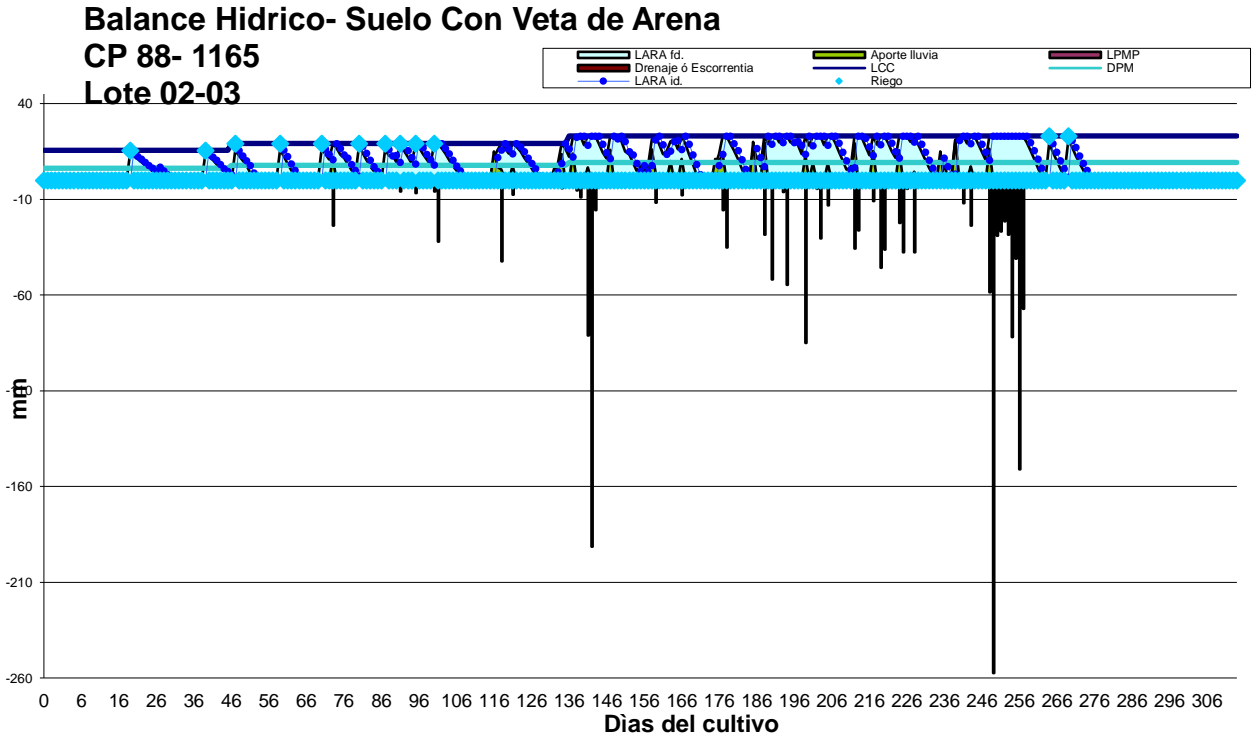
#### 3.1.4.4 Análisis estadístico

El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones en parcelas de 6 surcos, espaciados a 1.5 m y 10 m de longitud y cuatro tratamientos. Se utilizó una unidad experimental de 90 m<sup>2</sup>, a la par de cada unidad, se ubicaron unidades de control de humedad.

### 3.1.5 Resultados

#### 3.1.5.1 Balance hídrico

El balance hídrico es la herramienta utilizada para sincronizar los acontecimientos de riego tomando en cuenta los factores que entran y salen del sistema, para este caso se puede observar que durante la época en que algunos tratamientos necesitaban estar sometidos al estrés hídrico, la lluvia jugó un papel importante influyendo en el desarrollo del cultivo y afectando a todos los tratamientos redujo un evento de riego, el invierno se logra percibir establecido a partir del 31 de mayo del año 2011 al 18 de octubre del mismo .



**Figura 43 Balance Hídrico**

Para este caso la gráfica del balance hídrico esta conjuntamente desarrollada con las marcas del tanque cenirrómetro en el cual se toma en cuenta el tipo de suelo, la capacidad de este para el almacenamiento de agua a diferentes alturas y los factores ambientales como la evapotranspiración, lluvia, drenaje, temperatura. Desarrollando de este modo una herramienta con la cual podemos manejar el cuándo hacer efectivo un riego a continuación los cálculos realizados para el diseño del tanque Cenirrómetro.

Se realizó un análisis de suelo tomando una serie de sub muestras, en las cuales se obtuvo las características químicas y físicas del suelo las cuales aparecen detalladas en el cuadro 19.

## 3.1.5.2 Elaboración del Cenirrómetro

**Cuadro 19 Elaboración del cenirrómetro**

Resultados de Laboratorio de área con veta									Lámina (mm)				AJUSTE DE FRECUENCIAS CON EVAPORACION TANQUE CENIRROMETRO		
Estrat o	% Arcilla	% Limo	% Arena	Textura	% H 1/3 ATM	% H 15 ATM	D.A. P	Profun didad (cm)	LAA (mm)	Kc		LARA (mm/4 0 cms) M	LARA (mm/6 0 cms) E	EVC (mm/40 cms) macollamiento	EVC (mm/60 cms) elongación
										M	E				
0-20	6.7	4.0	89.22	Arena	7.30	3.50	1.57	20	11.94	0.60	0.90	11.57	13.88	13.12	8.75
20-40	6.5	2.0	91.45	Arena	4.87	2.60	1.61	20	7.34	0.60	0.90			8.07	5.38
40-60	6.1	2.6	91.21	Arena	2.79	1.58	1.59	20	3.84		0.90				2.82
									23.13	LAA total (mm/60 cms)				21.19	16.94
														2.12	1.69

Las marcas realizadas en el tanque Cenirrómetro se encontraron para la fase de macollamiento en 2.12 centímetros, mientras que para la etapa de elongación se reducía a 1.69 centímetros, esto quiere decir que cuando el agua dentro del tanque alcanzaba la marca según la etapa en que se encuentra el cultivo ese era el momento idóneo para la aplicación de la lámina de agua que el suelo es capaz de retener es decir 21 milímetros en macollamiento y 17 milímetros en elongación.

3.1.5.3 Altura de tallos moledero

Según el análisis estadístico elaborado si existe diferencia significativa entre los tratamientos siendo el de mayor altura fue el tratamiento uno con 293.17 centímetros, seguido de los tratamientos dos, cinco, tres, siendo el de menor altura el tratamiento cuatro con 182.57 cm. Se marca una diferencia en el mayor y menor dato de 110.60 centímetros. Podemos observar en la gráfica el comportamiento del crecimiento en altura de los tallos molederos en los distintos tratamientos.

El detalle de los muestreos realizados y análisis estadístico se puede consultar en la parte de los apéndices.

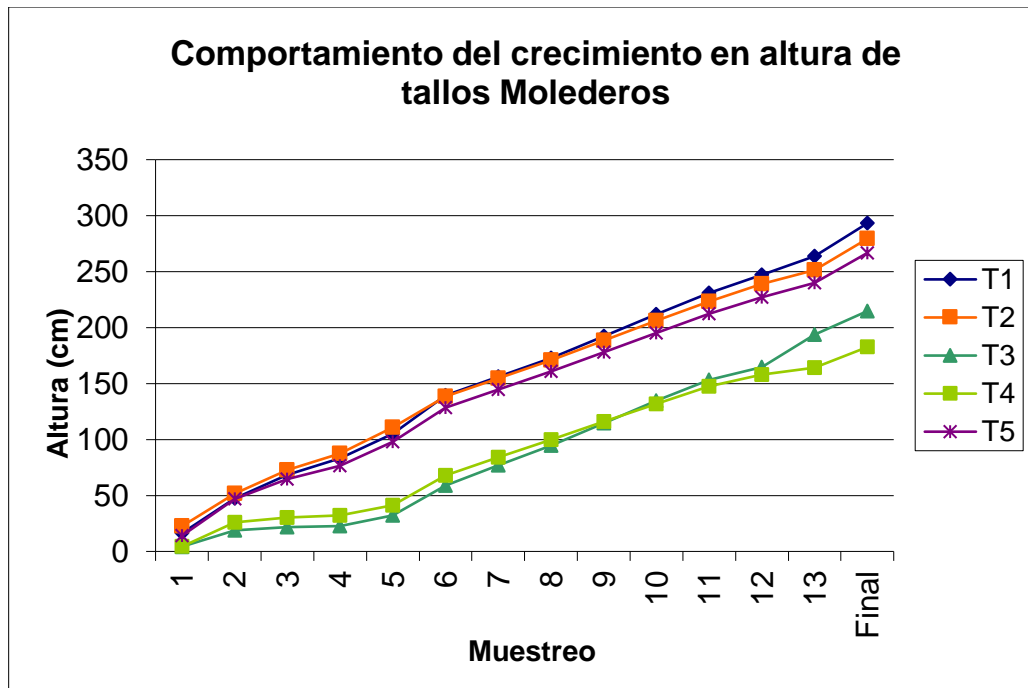
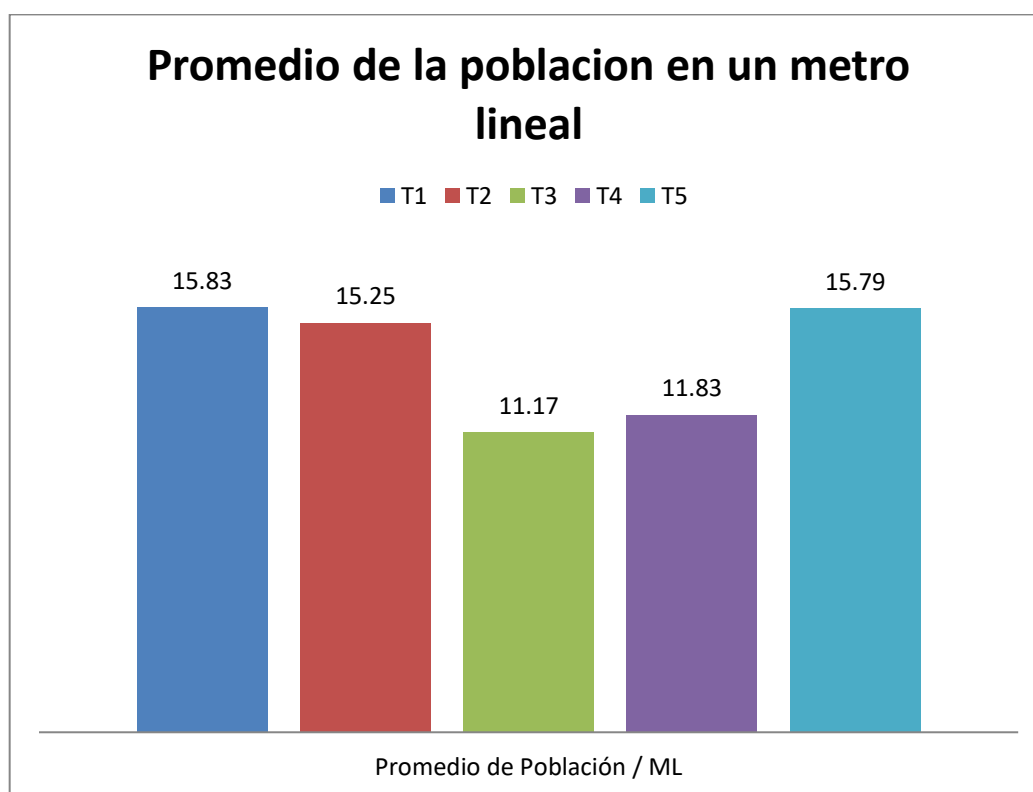


Figura 44 Comportamiento del crecimiento en la altura de tallos molederos

### 3.1.5.4 Población

Como se puede observar en la figura 45 los tratamientos uno, cinco y dos, son los que tienen los puntos altos en relación al tratamiento tres (testigo) y el tratamiento cuatro, marcando estar arriba en un promedio de cuatro tallos molederos más por metro lineal, al momento de elaborar el análisis estadístico se obtiene que los tratamientos poseen diferencia significativa entre los mismos, dando como resultado el tratamiento con mayor número de tallos el número uno y como resultado en la prueba de tukey dos clases con significancia.

Marcando una diferencia de cuatro individuos con respecto al testigo, siendo de este modo al calcularlos en miles de tallos por hectárea que se puede diferenciar el tonelaje de los tratamientos.

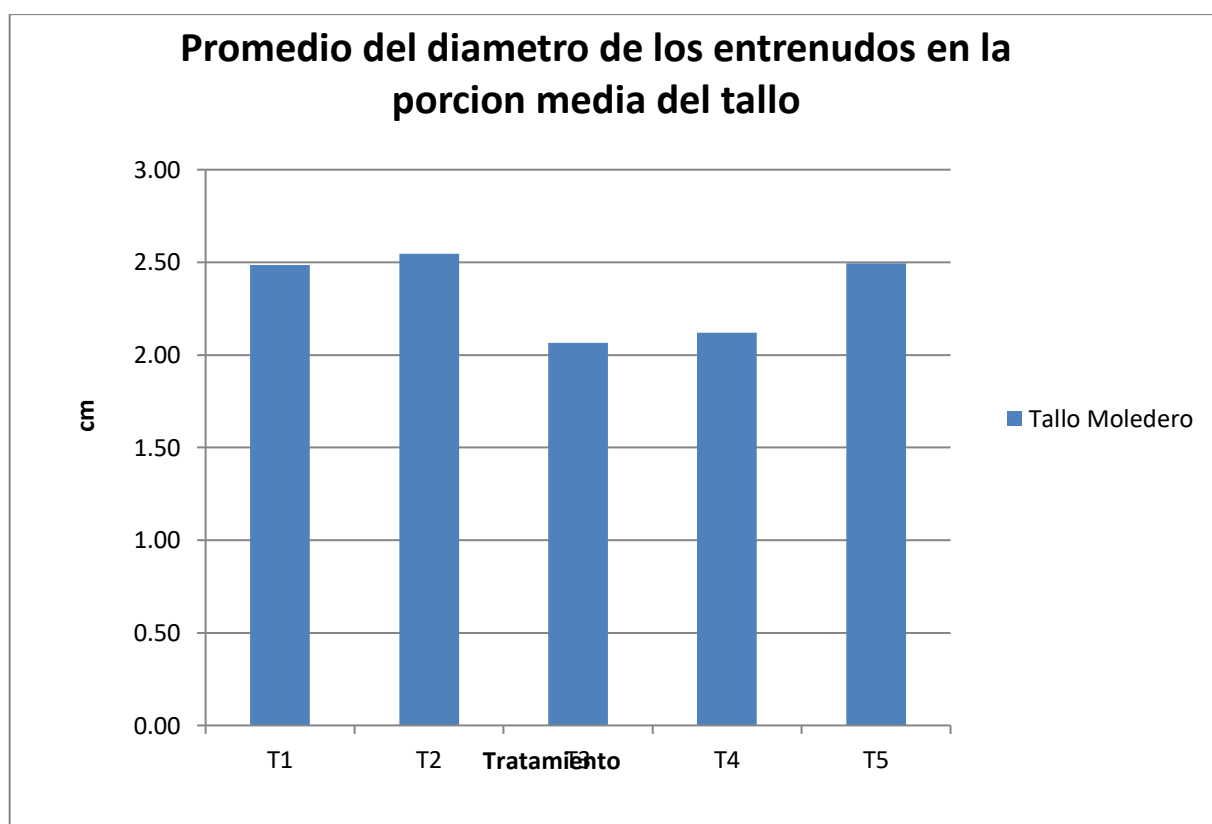


**Figura 45 Comportamiento de la población de tallos**

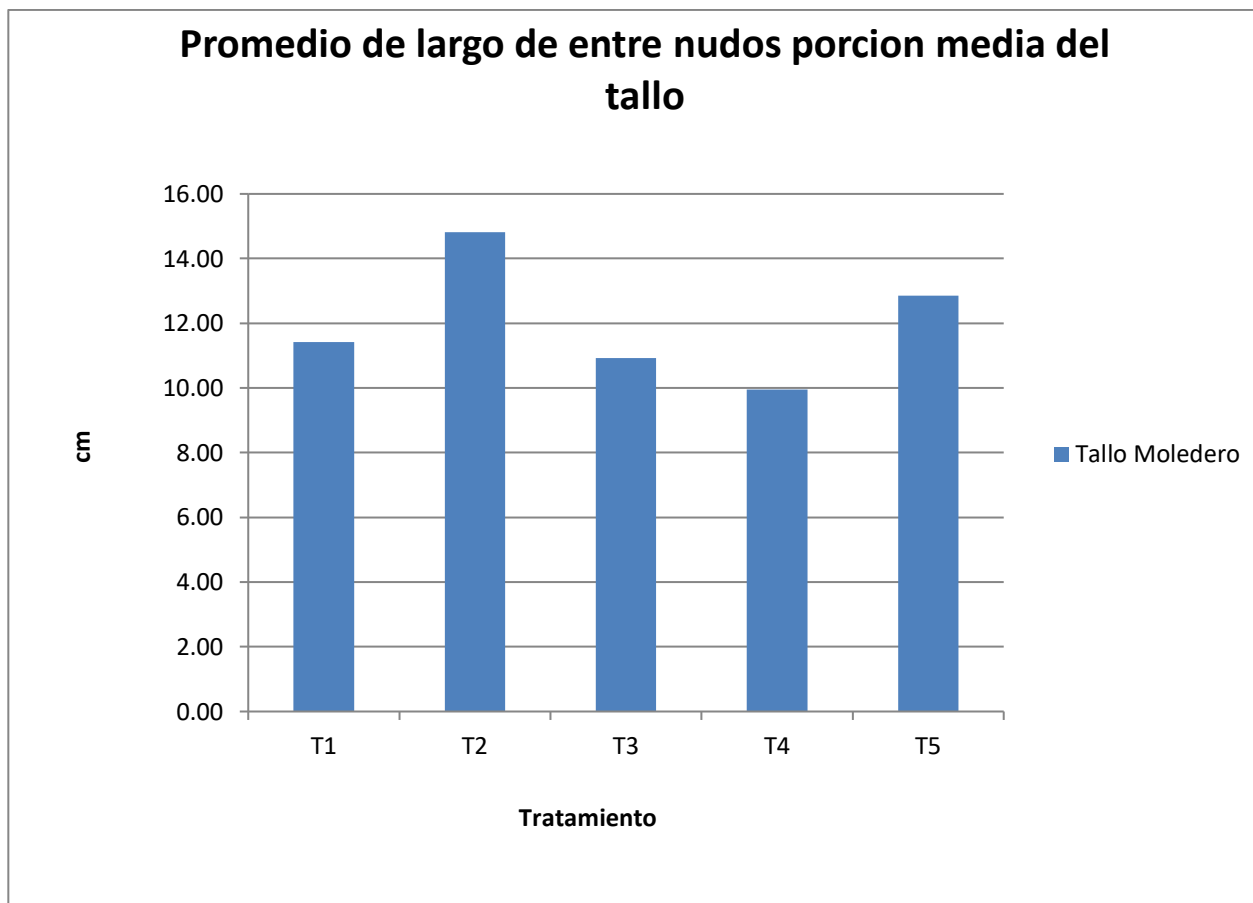
### 3.1.5.5 Diámetro y largo de entrenudos medios

Como se puede observar en la figura 46 y 47 los tratamientos no poseen una diferencia marcada en cuanto al diámetro y el largo de los entrenudos, al momento de elaborar el análisis estadístico se obtiene que los tratamientos no poseen diferencia significativa entre los mismos en cuanto al largo de entrenudos debido a la poca variabilidad de sus resultados marcando una diferencia de 4.86 centímetros para el caso del largo de los entrenudos. Pero, si poseen diferencia significativa en cuanto al diámetro de entrenudos dando como resultado una diferencia marcada de 0.48 centímetros.

Esto se ve influido por el efecto ocasionado en la etapa de elongación en la cual los tratamientos de estrés hídrico gozaban de la lluvia debido a la fecha en que se estableció el ensayo.



**Figura 46 Comportamiento del diámetro de los entrenudos medios.**



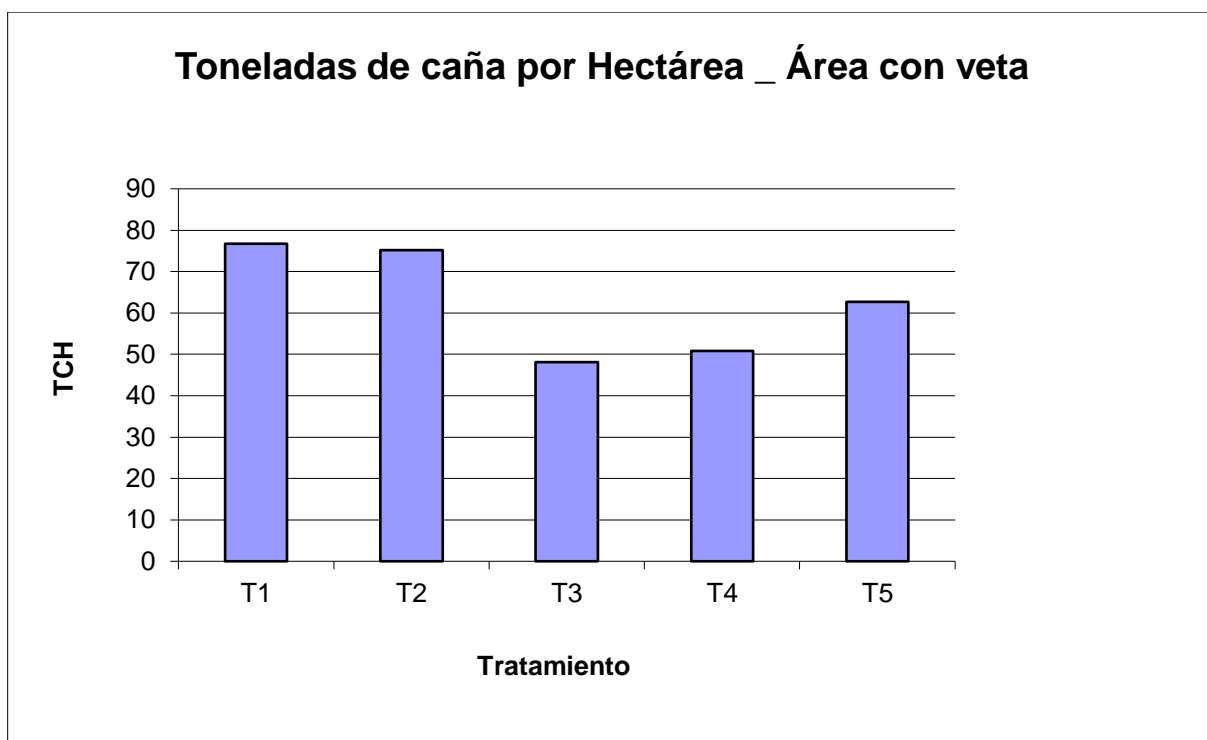
**Figura 47 Comportamiento entrenudos medios.**

### 3.1.5.6 Toneladas de caña por hectárea

Como se puede observar en la figura 48 los tratamientos uno, dos y cinco, son los que tienen los puntos altos en relación al tratamiento testigo, al momento de elaborar el análisis estadístico se obtiene que los tratamientos no poseen diferencia significativa entre los mismos debido a la poca variabilidad de sus resultados marcando una diferencia de 28.59 TCH únicamente, siendo aún menor la diferencia para los tratamientos uno y dos los cuales estuvieron sometidos a la misma cantidad de riegos en las etapas iniciales.

Contemplando que los resultados indican que en una plantía, en un suelo arenoso con una poca retención de humedad y en un segundo tercio de corte es importante la aplicación de un adecuado riego de establecimiento ya que garantizando la población, se logran obtener hasta 77 TCH, como lo muestra el tratamiento uno.



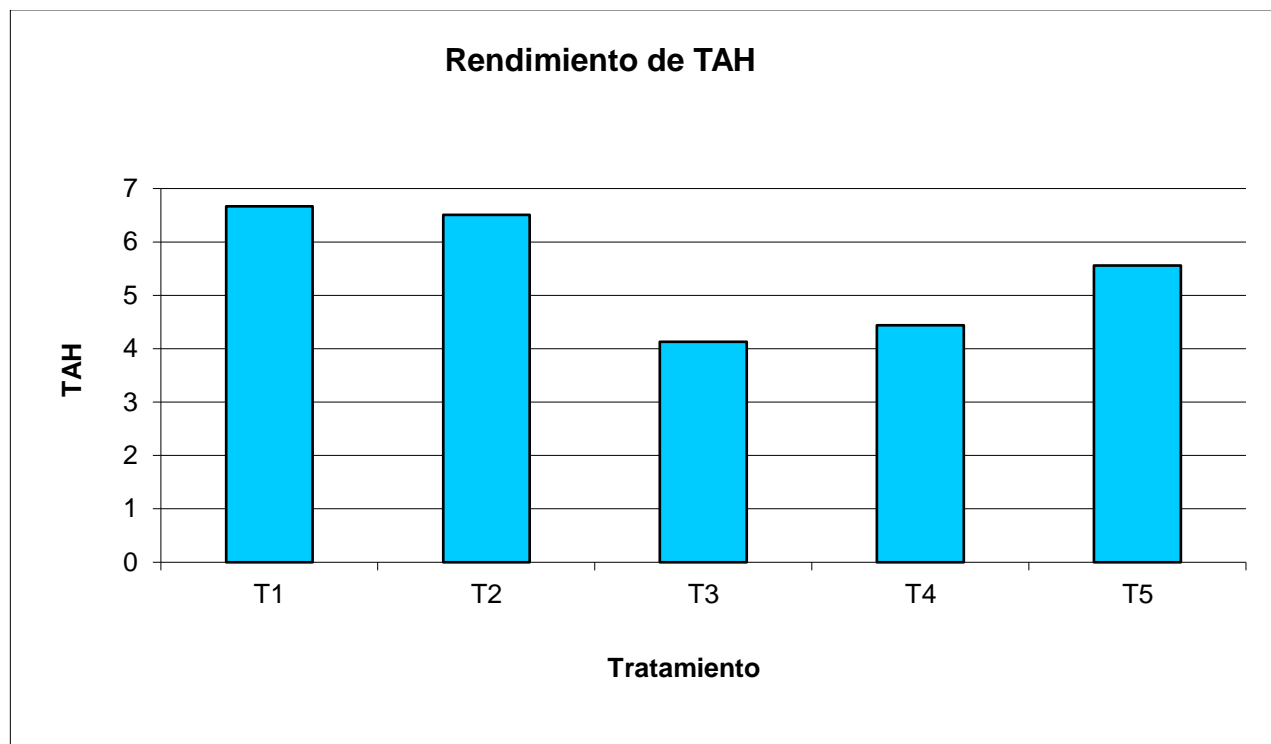


**Figura 48 Toneladas de caña por hectárea**

### 3.1.5.7 Toneladas de azúcar por hectárea

Como se puede observar en la figura 49 los tratamientos uno, dos y cinco, son los que tienen los puntos altos en relación al tratamiento testigo, al momento de elaborar el análisis estadístico se obtiene que los tratamientos no poseen diferencia significativa entre los mismos debido a la poca variabilidad de sus resultados marcando una diferencia de 2.53 TAH únicamente con relación al testigo, siendo aún menor la diferencia para los tratamientos uno y dos los cuales estuvieron sometidos a la misma cantidad de riegos en las etapas iniciales.

Contemplando que los resultados indican que en una plantía, en un suelo franco con una poca retención de humedad y en un segundo tercio de corte es importante la aplicación de un adecuado riego de establecimiento ya que garantizando la población, se logran obtener hasta 6.66 TAH, como lo muestra el tratamiento uno.



**Figura 49 Rendimiento de TAH**

### 3.1.6 Resumen de resultados

El periodo transcurrido durante el estudio fue de 10 meses, en este se realizó el primer corte de la caña. La precipitación medida durante este periodo fue de 2364 mm, la cual se considera lo suficientemente alta tomando en cuenta que la evapotranspiración medida durante el mismo periodo fue de 1507 mm.

Durante la fase fenológica de emergencia o germinación se presentó una etapa seca por lo que se realizaron 2 riegos en todos tratamientos (T1, T2, T3, T4, T5).

Los tratamientos evaluados fueron: T1 sin déficit hídrico hasta 30 días antes del corte; T2 sin déficit hídrico hasta 45 días antes del corte; T3 con déficit hídrico (tratamiento testigo); T4 con riego pre corte; y T5 con riego en el macollamiento, déficit en elongación y riego en pre corte.

La lámina neta aplicada en cada riego, equivalente a la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA), a partir de los dos meses de edad fue de 22 mm. Este valor fue calculado en función de la capacidad del sistema de riego y capacidad de almacenamiento del suelo. La lámina de agua aplicada neta total fue de 276 mm en los doce riegos del tratamiento T1, de 253 mm en los once riegos del T2, de 46 mm en los dos riegos aplicados al T4 y 161 mm en los 7 riegos aplicados al T5. (Cuadro 20, ver riegos)

En el último muestreo se observó que el tratamiento uno se logró 16 tallos por metro lineal, mientras que el tratamiento tres y cuatro quedaron en una relación de 4 tallos por debajo del tratamiento uno.

En altura se observaron diferencias significativas debido a la calidad del suelo y las condiciones climáticas del área, la mayor diferencia entre el mayor y menor resultado fue de 110.6 centímetros en favor del tratamiento sin déficit de agua en el periodo de macollamiento y elongación (T1). Las diferencias en altura se incrementaron a lo largo del ciclo de cultivo manteniendo un crecimiento constante debido a las condiciones climáticas y edáficas.

No hubo diferencias significativas en el largo de entrenudos medios de los tallos entre tratamientos. Pero si hubo una diferencia significativa en cuanto al diámetro de los entrenudos, obteniendo un mayor diámetro el tratamiento dos con 2.55 centímetros. Las diferencias significativas en población de tallos explican las producciones de caña y azúcar observadas en el tratamiento T1, el tratamiento T2 y el tratamiento T5 que, en sus casos respectivamente superaron los valores del testigo T3 y del tratamiento T4.

En el tratamiento testigo T3, sin riego, se presentó una disminución de 28.59 toneladas de caña por hectárea en comparación con el resultado del tratamiento T1, en el cual el déficit hídrico se aplicó al final del ciclo de cultivo. (Cuadro 20, ver producción).

Estos resultados con la variedad CP 881165, primer corte, indican que la respuesta al riego en términos de la producción de caña por hectárea es alta en suelos de la clase arenosa. En este experimento, la respuesta de la variedad al agua fue de 29 toneladas de caña por hectárea, que equivalen a un incremento de 63% con respecto a la producción del testigo sin riego.

**Cuadro 20 Eficiencias de uso del agua y producción obtenida en el experimento de respuesta de la caña al agua.**

Indicador		T1 SIN DÉFICIT HÍDRICO EN TODO EL CICLO Hasta 30 días antes del corte	T2 SIN DÉFICIT HÍDRICO EN TODO EL CICLO Hasta 45 días antes del corte	T3 CON DÉFICIT HÍDRICO Tratamiento Testigo.	T4 CON DÉFICIT HÍDRICO Riego pre corte Hasta 30 días antes del corte	T5 CON DÉFICIT HÍDRICO EN ELONGACIÓN. Riego macollamiento y pre corte. Hasta 30 días antes del corte
riegos						
eventos de riego (No.) (DDS, 5,11,18,39, 47, 58, 70, 80, 87, 91, 96, 101, 265, 270)		12.00	11.00	0.00	2.00	7.00
lamina de riego neta(mm)		276.00	253.00	0.00	46.00	161.00
lamina de lluvia neta(mm) (DDS, 72)		2364.00	2364.00	2364.00	2364.00	2364.00
lamina neta total recibida por el cultivo como precipitación efectiva + riego (mm)		2640.00	2617.00	2364.00	2410.00	2525.00
seguimiento al desarrollo del cultivo						
población de tallos por metro lineal	6 meses	15.83 (A)	15.25 (AB)	11.17 (C)	11.83 (BC)	15.79 (A)
	3 meses	68.43	72.70	21.80	30.23	64.39
altura de tallos (cm)	6 meses	212	206	134	132	195
	9 meses	293.17 (A)	279.32 (B)	214.69 (D)	182.57 (E)	266.67 (C)
Diametro del entrenudo (cm) (DDS 280)		2.49 (B)	2.55 (A)	2.07 (D)	2.12 (C)	2.49 (B)
Largo del entrenudo (cm) (DDS 280)		11.42 (sd)	14.81 (sd)	10.92 (sd)	9.95 (sd)	12.85 (sd)
producción (10 meses de edad)						
toneladas de caña por hectárea (TCH) (DDS 290)		76.72 (A)	75.22 (A)	48.13 (A)	50.82 (A)	62.72 (A)
	TCH por mes	7.67	7.52	4.81	5.08	6.27
toneladas de azúcar por hectárea (TAH) (DDS 290)		6.66 (A)	6.51 (A)	4.13 (A)	4.44 (A)	5.56 (A)
	TAH por mes	0.67	0.65	0.41	0.44	0.56

En el experimento se corroboró que con una adecuada frecuencia de riego en la siembra se logra garantizar la población del área y posteriormente en la etapa de elongación que es el punto en el cual el cultivo necesita una mayor cantidad de riego para poder obtener los resultados deseados.

### **3.1.7 Conclusiones**

Bajo las condiciones de suelo y ambiente del área el mejor tratamiento estuvo 29 TCH, arriba del testigo absoluto sin riego, mientras que al mejor tratamiento se aplicaron 12 riegos aproximadamente con una frecuencia no mayor de 8 días en las etapas de macollamiento y elongación.

La época de mayor respuesta al riego se da en la fase de elongación, pero es muy importante garantizar la población con los riegos de germinación de este modo poder obtener un mayor número de individuos por metro lineal.

Dentro de las variables de respuesta, la que influyo en mayor cantidad con los resultados fue la población, ya que aún mayor número de individuos se logró obtener más toneladas de azúcar y de caña por hectárea.

### 3.1.8 Recomendaciones

1. Tomar en cuenta que la presente investigación es específica para las condiciones de un suelo franco-arenoso, en la finca panorama, Masagua, Escuintla.
2. Desarrollar el presente ensayo en el primer tercio de corte en la zafra, de este modo someter el cultivo a la mayor cantidad de estrés hídrico posible para obtener una resultados en la época de mayor aplicación de riego y realizar mediciones del aporte capilar para poderlo tomar en cuenta al momento de la realización del análisis de respuesta de la caña al riego.
3. Poner en práctica el uso del Cenirrómetro y balance hídrico para regar en la cantidad y momento adecuado de esta forma aprovechar de manera óptima el recurso económico e hídrico, teniendo en cuenta que el mismo es limitado para el uso en la época de riego ya que en el invierno al sobre pasar la capacidad de campo, el excedente ya no puede ser medido por este método.
4. Se recomienda la priorización del riego en función de los números de cortes en el cultivo y la etapa fenológica en la que se encuentre, para poder brindar el riego en la etapa donde se obtenga un mayor rendimiento de toneladas de caña por ha.

## **3.2 DESARROLLO Y VALIDACIÓN DEL PROCESO DE RIEGO.**

### **3.2.1 Antecedentes**

El riego es una actividad que nos permite aplicar una lámina de agua al cultivo de caña a través de la utilización de una motobomba, tuberías y aspersores Nelson F-100. Dicha motobomba es para impulsar el agua desde un pozo, un agujero o bien sea desde un canal de riego, en la que el agua tenga características aceptables para uso agrícola. La tubería consiste en tubos de ocho pulgadas (8") de diámetro para la línea principal, a una distancia de veintisiete metros, se coloca el primer hidrante al que acopla lo que denominamos el primer ramal y luego cada cuarenta y cinco metros, se coloca el resto de hidrantes, un ramal está formado por tubería de seis pulgadas (6"), dentro del ramal de igual manera que la tubería principal se acopla el primer hidrante a los veintisiete metros y los posteriores a cada cuarenta y cinco metros, esto se realiza con el objetivo de garantizar que se está regando de manera homogénea y alcanzando los traslapes deseados.

En cada uno de los hidrantes del ramal o tubería secundaria se acopla el emisor, el cual es un aspersor Nelson F-100, posee un diámetro de mojado de hasta noventa metros si las condiciones ambientales se lo permiten.

El riego en el cultivo de la caña de azúcar es asociado al incremento de la producción es por ello es justificable la inversión de recurso económico/tiempo para evaluar su funcionamiento y adecuada aplicación dentro del cultivo.



### **3.2.2 Objetivos**

#### 3.2.2.1 General

Determinar los pasos y metodología a emplear para la aplicación correcta y oportuna del riego.

#### 3.2.2.2 Específicos:

Desarrollar boletas que permitan llevar un control adecuado de tiempos perdidos.  
Desarrollar los lineamientos a evaluar para asegurar que la calidad de riego sea el deseado.

### **3.2.3 Metodología**

Se procedió al desarrollo del proceso de riego de donde se obtuvo las boletas de supervisión de campo para la posterior elaboración de la base de datos a emplear, para evaluar los resultados obtenidos.

Esta evaluación se realiza a todos los tipos de riego principalmente al riego por aspersión tipo cañón debido a la facilidad con que pueda bajar su eficiencia debido a factores internos y externos del sistema.

Las boletas de supervisión son específicas según el tipo de riego ya que las diferencias en la forma de aplicar el agua son amplias y cada una conlleva sus propios parámetros de evaluación.

#### 3.2.3.1 Toma de datos a partir de las boletas de control

Departamento de Ingeniería Agrícola: Elaboración del programa de recuperación y análisis de datos obtenidos de las boletas de control de riego. Cada cambio de turno se revisa y se le entrega la boleta elaborada específicamente para el programa, al operador del cabezal del sistema de riego para diversas anotaciones propias del cabezal de riego.

- El supervisor: Una vez por semana el Supervisor encargado de riego, procederá a pasar una boleta específica para el supervisor de riego, para tener un adecuado control de las bombas y sus distintos accesorios.
- El Asistente de departamento de ingeniería agrícola: Define el equipo al que se realiza el análisis, al menos una vez por semana, ubicándolos en el plano de la finca y los lotes que correspondería el riego.
- El mayordomo: La recuperación de la boleta del operador que se toma en cada turno lo realiza el mayordomo de la finca, el cual procede a entregarlos al supervisor de riego.
- El supervisor: Posteriormente transfiere la información de las boletas, en formato digital al asistente del departamento para su análisis posterior.

La información recabada en las boletas será analizada en función de mejorar y localizar diversos puntos críticos que ocasionen pérdidas económicas y de tiempo en el proceso de riego.

### **3.2.4 Resultados**

#### **PROPÓSITOS Y ALCANCE**

- a) Utilizar con efectividad el recurso agua en lugares donde es escaso.
- b) Aplicar agua de riego en horario corrido (18 horas), minimizando el tiempo perdido por labores de acople y desperfectos mecánicos.
- c) Proveer la humedad necesaria para poder llevar a cabo las labores culturales y desarrollo del cultivo.
- d) Mantener el cultivo de caña de azúcar sin muestras de estrés hídrico (hidratado), para que se dé un constante crecimiento a lo largo del ciclo.

## LABORES RELACIONADAS

Actividad que nos permite aplicarle una lámina de agua al cultivo de caña a través de la utilización de una motobomba, tuberías y emisores de caudal específico. Dicha motobomba es para impulsar el agua, desde un pozo, un aguaje o bien sea desde un canal de riego, en la que el agua tenga características aceptables para uso agrícola. La línea de conducción consiste en tubos de diámetros variables para la línea principal, a una distancia de veintisiete metros se coloca el primer hidrante al cual se acopla lo que denominamos el primer ramal y luego cada cuarenta y cinco metros se coloca el resto de hidrantes, un ramal está formado por tubería de seis pulgadas (6”), dentro del ramal de igual manera que la tubería principal se acopla el primer hidrante a los veintisiete metros y los posteriores a cada cuarenta y cinco metros, esto se realiza con el objetivo de garantizar que se está regando de manera homogénea y alcanzando los traslapes deseados.

En cada uno de los hidrantes del ramal o tubería secundaria se acopla el emisor, que es un aspersor Nelson F-100, el cual posee un diámetro de mojado de hasta noventa metros si las condiciones ambientales se lo permiten.

## RESPONSABILIDADES Y AUTORIDAD

**Cuadro 21 Responsabilidades y autoridad**

<b>PUESTO DE TRABAJO</b>	<b>RESPONSABILIDADES</b>
Jefe departamento: Ingeniería agrícola	Elaborar y coordinar el programa de toma de datos Seguimiento del programa de toma de datos, para que cumplan el proceso establecido.
Auditor del departamento de Riegos y drenajes	Ejecutar el programa de muestreo. Supervisar a los operadores para que cumplan con el proceso de toma de datos establecido. Trasladar y analizar los datos obtenidos de las distintas boletas de riego.

PUESTO DE TRABAJO	RESPONSABILIDADES	
Mayordomo de riego	<p>Tiempo de riego</p> <p>Designar y supervisar que se esté regando el área programada.</p> <p>Verificar que el riego se realice de manera eficiente.</p> <p>Recolectar las distintas boletas de riego y enviarlas al sitio de tecteo.</p> <p>Verificar el funcionamiento y aplicación idónea de los equipos de riegos.</p> <p>Verificar la humedad de los lotes antes y después de la aplicación del riego.</p>	<p>Fuera de riego</p> <p>Recepción y entrega de los equipos de Riegos.</p> <p>Reportar accesorios faltantes y sus responsables.</p> <p>Almacenar bajo techo las motobombas.</p> <p>Quitar empaques de la tubería lavar y entalcar.</p> <p>Selección de tubos que requieren reparación.</p> <p>Apilar tubos en buen estado por diámetro, propios separado de arrendados.</p> <p>Coordinar el desarmar patas de aspersores, y hacer llegar al punto de reparación.</p> <p>Ubicar área para almacenamiento de accesorios.</p> <p>Revisar accesorios y hacer llegar los que requieren reparación.</p> <p>Elaborar los inventarios en conjunto con ingeniería agrícola.</p> <p>Cuantificar requerimientos para completar los equipos.</p> <p>Coordinar con Ingeniería el mantenimiento de los accesorios.</p> <p>Coordinar con taller el manteniendo de las motobombas.</p> <p>Participar en la elaboración de los planos de riego por finca.</p> <p>Coordinar con auditoria el vaciado de los tanque de combustible.</p>

PUESTO DE TRABAJO	RESPONSABILIDADES
Operador de riego	Manejo del equipo de bombeo. Toma de los datos basados en las boletas establecidas.
Regadores	Aplicación del riego en las áreas previamente programadas.

### 3.2.5 Toma de datos a partir de las boletas de control

#### Departamento de Ingeniería Agrícola

Elaboración del programa de recuperación y análisis de datos obtenidos de las boletas de control de riego, cada cambio de turno se revisa y se le entrega al operador del cabezal del sistema de riego para diversas anotaciones propias del cabezal de riego.

El auditor del departamento de ingeniería agrícola:

Una vez por semana el asesor encargado de riego, procederá a pasar una boleta específica, la cual se implementó para tener un adecuado control de las bombas y sus distintos accesorios.

Define las bombas y aspersores a los cuales se realiza el análisis, al menos una vez por semana, ubicándolos en el plano de la finca y los lotes que corresponde el riego.

Posteriormente transfiere la información de las boletas, para su análisis posterior.

El mayordomo:

La recuperación de la boleta del operador que se toma en cada turno lo realiza el mayordomo de la finca el cual procede a entregarlos al supervisor de riego para su posterior análisis.

### 3.2.5.1 Proceso de riego

#### **Características previas al riego**

Del cultivo y su entorno:

- Que el campo cumpla con el tiempo necesario transcurrido desde el último riego realizado, ajustándose a la secuencia de riego previamente establecida.
- Que el lote a regar aparezca en el programa semanal de riego.
- No se aplicará el riego cuando se haya registrado precipitación pluvial en el campo programado para riego.

Del recurso humano y/o físico:

- Que el campo cuente con toda su infraestructura física en buenas condiciones de funcionamiento, como tuberías de conducción, hidrantes de distribución, Tuberías de drenaje o lavado.
- El sistema debe contar con equipo de medición de presión (Manómetros) en la descarga para verificar el funcionamiento óptimo del sistema.
- Que el operador tenga entre 18 y 60 años de edad y deberá saber leer, escribir y poder realizar las 4 operaciones aritméticas básicas (+ - X /).
- Que los operadores y regadores estén capacitados para ejercer y permanecer en el campo a regar durante su jornada completa de trabajo.
- Que el mayordomo y caporal de riego apliquen el programa de riego correspondiente.
- Que el mayordomo, caporal de riego y regadores conozcan y estén capacitados para aplicar el método de riego asignado
- Que el operador de motobomba y el caporal de riego conozcan y estén capacitados en el mantenimiento y operación de motobomba de riego, sistemas de filtrado y emisión del agua de riego.

**Cuál es la época o tiempo idóneo para realizar esta actividad:**

- En el caso de siembras deberá ser un día después de terminar la siembra en un lote del campo de caña.
- En el caso de socas a partir de 15 días después del corte de caña o cosecha hasta el inicio del período seco (30 -45 días) previo a la cosecha.

**3.2.5.2 Normas para la actividad de riego por aspersión:****Parámetros Cualitativos:**

- El operador de motobomba debe realizar un chequeo diario y constante del estado de su equipo chequeando aspectos básicos como Nivel de aceite, Nivel de combustible, Nivel de agua en la batería, condición de grasa en el eje cardan (transmisión) estado de la tubería de succión y descarga de agua.
- Que la motobomba tenga todos sus accesorios de succión y descarga.
- La motobomba deberá tener una malla o cedazo de filtrado en el caso de que el río, canal principal o aguaje estén contaminados con algas o limo que obstruyan la succión libre y uniforme de agua.
- El mayordomo de riego deberá estar enterado del estado de la motobomba a su cargo.
- Presencia del regador en el campo que se está regando
- Utiliza el reporte de ajuste a la secuencia de riego (# de riego en el que va, días después del último riego y días que le faltan para el siguiente riego).
- Programar semanalmente los lotes a regar en la finca correspondiente.
- El operador y el caporal deberán velar por limpiar semanalmente el sistema de succión del agua.
- La motobomba de riego deberá ser apagada en caso de se presenten precipitaciones por encima de 60 milímetros. El mayordomo de riegos deberá transmitir diariamente y a primeras horas del día (5:00 AM a 7:00 AM) al supervisor de riego todos los desperfectos o falta de niveles en aceite, combustible, grasa y agua de batería.

### Parámetros Cuantitativos:

- Tiempo de riego.
- Número de hidrantes trabajando simultáneamente.
- Caudal aplicado.
- Lamina aplicada/día de riego (mm/ día de riego)
- Presión en la descarga de la bomba.
- Presión en los aspersores.
- Tiempo de riego según el tipo de suelo y etapa fenológica del cultivo.
- Numero de cambios efectuados durante el día.
- Toma de muestras de humedad con el potenciómetro: por debajo del 70 % de humedad aplicar riego.

### 3.2.5.3 CONTROL DE LOS REGISTROS

#### Cuadro 22 Control de los registros

CÓDIGO Y NOMBRE DEL REGISTRO	RESPONSABLE DE SU ARCHIVO	MODO DE ARCHIVO	ACCESO AUTORIZADO	TIEMPO CONSERVACIÓN
Análisis de tabulaciones a partir de las distintas boletas	Auditor departamento de riego.	Físico y digital	Personal de departamento de Ingeniería Agrícola. Superintendente Agrícola. Jefe de Producción	Digital: De manera permanente para la creación de un historial de riego
Tabulación de datos obtenidos				Físico: Durante los 2 años posteriores a la implementación del programa
Boletas:	Mayordomo de riego.			



### 3.2.6 Referencias

1. Castro, O. 2010. Ensayo determinativo, respuesta de la caña al agua en condiciones de un suelo franco limoso de la finca agrícola Palmeras, San Diego. Guatemala, CENGICAÑA. 7 p.
2. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, Guatemala). 2007. Recomendaciones técnicas y económicas para la aplicación del riego en ambientes con aporte capilar en la zona cañera guatemalteca. Memoria presentación de resultados de investigación. Zafra 2006-2007. Guatemala.
3. CIM (Centro de Información Municipal, Masagua, Escuintla, Guatemala). 2009. Mapas de la región (en línea). Escuintla, Guatemala. Consultado 1 abr. 2011. Disponible en <http://www.inforpressca.com/masagua/>
4. Chaparro, AJ. 2002. Preparación de tierras. In Seminario de adecuación de tierras (2002, Colombia). Memoria. Cali, Colombia, TECNICAÑA. p. 16-20.
5. Grassi, CJ. 1998. Formulación de proyectos de riego y drenaje. Mérida, Venezuela, CIDIAT. 241 p.
6. Guerra, G. 1992. Manual de administración de empresas agropecuarias. San José, Costa Rica, IICA. 579 p.
7. IGN (Instituto Geográfico Nacional, Guatemala). 1972. Atlas nacional de Guatemala, Guatemala. 96 p.
8. \_\_\_\_\_. 1982. Mapa topográfico de la república de Guatemala: hoja Amatitlán, no. 2059-II. Esc. 1:50,000. Color. Guatemala.
9. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Guatemala). 1982. Tarjetas de registro climatológicas de la estación meteorológica de Amatitlán. Guatemala. s.p.
10. Juárez, D; Muñoz, E. 1997. Respuesta de la caña de azúcar a las aplicaciones de riego en la costa sur de Guatemala. In Presentación de resultados zafra 1996-1997. Guatemala, CENGICAÑA. s.p.
11. Melgar, M et al. 2014. El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Guatemala. CENGICAÑA. 512 p.
12. Osorio, G. 2007. Manual: buenas prácticas agrícolas -BPA- y buenas prácticas de manufactura -BPM- en la producción de caña y panela. Medellín, Colombia, FAO. 200 p.


13. Sandoval Illescas, JE. 1983. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 345 p.
14. Simmons, CS; Tárano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala. 1000 p.
15. Torres, JS; Cruz, R. 1997. El cenirrómetro: un programador visual de riegos. In Congreso Colombiano de la Asociación de Técnicos de la Caña de Azúcar (1997, Colombia). Colombia, CENICAÑA. s.p.
16. Torres, JS; Cruz, R; Villegas, TF. 2004. Avances técnicos para la programación y manejo del riego en caña de azúcar. Cali, Colombia, CENICAÑA. 73 p.
17. Yang, SJ; Torres, JS. 1984. Estudio preliminar sobre los requerimientos de agua y riego de la caña de azúcar en el valle del Cauca. Colombia, CENICAÑA. v. 1, p. 323-335.

3.2.7 ANEXOS

	Nombre: <b>Boleta entrega y recepción de equipos.</b>		Código:												
			Versión: 00												
			BOLETA NUMERO: 00												
Fecha de entrega:		Finca: Código de la finca:													
Código del operador:		Nombre del operador:													
Código regadores: 1: 2: 3:		Nombre de los regadores: 1: 2: 3:													
Ø	Emisores	Succión	Tubos	Empaques	Hidrantes	Codos operador	Reduccionadores	Llave línea	Tapón	Caudalímetro	T	Cuello de ganso	Codo 90°	Cinchos	Otros (especificar)
63mm															
4"															
5"															
6"															
8"															

Cargo	Nombre	Firma
Bodeguero		
Mayordomo		
Operador		

Figura 50A Boleta para entrega y recepción de equipo de riego.

	Nombre: <b>Boleta evaluación parámetros cualitativos y cuantitativos</b> <b>USO ÚNICAMENTE PARA EL SUPERVISOR DE RIEGO</b> <b>Riego por aspersión,</b> <b>bomba tipo turbina</b>								Código: <b>BPARASDBR</b>												
									Version: 00												
									BOLETA NUMERO: 00												
Fecha de Muestreo:		Finca:		Presencia del operador de riego y regadores																	
Código caporal a cargo:		Código de la finca:		SI				NO													
Código Motobomba:		Area que se irriga con la bomba(ha):		Tipo de motobomba:																	
Nivel académico del operador				Estado de los filtros		Limpios		Contaminados													
Bueno		Regular		Malo		Comentarios:															
Estado de la motobomba																					
Nivele		Adecuado		Malo		Manómetro															
Temperatura																					
Aceite						Revoluciones por minuto:															
Combustible						Horómetro:															
Batería						Horas de riego por turno:															
Cardan						Próximo servicio:															
BOLETA PARA CUANTIFICAR EL NUMERO DE ACCESORIOS :																					
Aspersores		Hidrantes		Codos		T		tubos		Llaves en línea		Otros (especifique)									
Com empaque		Sin empaque		Com empaque		Sin empaque		Com empaque		Sin empaque		Com empaque		Sin empaque		Blanco		Com empaque		Sin empaque	
6"																					
8"																					
dañado																					
BOLETA DE EVALUACION DE PARAMETROS CUANTITATIVOS RIEGO BOMBEO-ASPESION																					
Finca:		Lote:		Caudal de entrada		LPS		GPM		Presión Bomba		p. primer aspersor		p. ultimo aspersor		Lamina/día					
CE/pH entrada agua:		Horas de riego por Turno:		Tipo de suelo predominante:																	
Muestra de suelo/caudal del aspersor		Número del lote donde se muestrea		Profundidad a muestrear				Tipo de suelo		L/Hora/aspersor		Observaciones:									
				10 Cm		20 Cm		30 Cm		40 Cm		C-L-S									
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					

Cargo	Nombre	Firma
Bodeguero		
Mayordomo		
Operador		

Figura 51A Boleta para la evaluación del riego