

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUR OCCIDENTE
CARRERA DE AGRONOMÍA TROPICAL
TRABAJO DE GRADUACIÓN**



COMPARACIÓN DE RIEGO PROGRAMADO CON BALANCE HÍDRICO Y RIEGO CONVENCIONAL, UTILIZANDO MINI ASPERSIÓN, EN *Saccharum officinarum L.*, CAÑA DE AZÚCAR, EN FINCA SANTANDER, RETALHULEU.

Por

T. P. A. DILAN AROLDO GARCÍA SOTO

CARNÉ: 201240713

Ing. Agr. Carlos Antonio Barrera Arenales

Asesor

MAZATENANGO SUCHITEPÉQUEZ, SEPTIEMBRE 2021

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

AUTORIDADES

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

MSc. Pablo Ernesto Oliva Soto	Rector en funciones
Dr. Gustavo Enrique Taracena Gil	Secretario General

CONSEJO DIRECTIVO

DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE

Lic. Luis Carlos Muñoz López	Director en funciones
------------------------------	-----------------------

Representantes de Docentes

Dr. Reynaldo Humberto Alarcón Noguera	Secretario
---------------------------------------	------------

Representante Graduado del Centro Universitario de Suroccidente

Lic. Vilser Josvin Ramírez Robles	Vocal
-----------------------------------	-------

Representantes Estudiantiles

T.P.A. Angélica Magalí Domínguez Curiel	Vocal
---	-------

PEM Y TAE Rony Roderico Alonzo Solis	Vocal
--------------------------------------	-------

**AUTORIDADES DE COORDINACIÓN ACADÉMICA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE**

Coordinador Académico
Dr. Mynor Raúl Otzoy Rosales

Coordinador de la Carrera de Licenciatura en Administración de Empresas
Dr. Eddie Rodolfo Maldonado Rivera

Coordinador de la Carrera de Licenciatura en Trabajo Social
Lic. Edin Aníbal Ortiz Lara

Coordinador de la Carrera de Pedagogía
Lic. José Norberto Thomas Villatoro

Coordinador de la Carrera de Ingeniería en Alimentos
M. Sc. Víctor Manuel Nájera Toledo

Coordinador de la Carrera de Ingeniería en Agronomía Tropical
Ing. Agr. Luis Alfredo Tobar Piril

**Coordinadora de la Carrera de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales Abogacía y
Notariado**
Lic. Sergio Román Espinoza Antón

Coordinadora de la Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local
M. Sc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes

Coordinador de Área
Lic. José Felipe Martínez Domínguez

Carreras Plan Fin de Semana
del Centro Universitario de Suroccidente

Coordinadora de la Carrera de Pedagogía
M. Sc. Tania Elvira Marroquín Vásquez

**Coordinadora de la Carrera de Periodista Profesional y Licenciatura en Ciencias de la
Comunicación**
Lic. Henrich Herman León



CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE
AGRONOMÍA TROPICAL
Mazatenango, Suchitepéquez, gt

Mazatenango, 25 de Octubre de 2021.

Honorable Consejo Directivo:
Centro Universitario del Suroccidente.
Universidad de San Carlos de Guatemala.
Su despacho.

Respetables Miembros del Consejo Directivo:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el Trabajo de Graduación titulado: **COMPARACIÓN DE RIEGO PROGRAMADO CON BALANCE HÍDRICO Y RIEGO CONVENCIONAL, UTILIZANDO MINI ASPERSIÓN, EN *Saccharum officinarum* L., CAÑA DE AZÚCAR, EN FINCA SANTANDER, RETALHULEU.**; presentado como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas. Por lo cual **SOLICITO:** la autorización del acto de graduación con el padrino Ingeniero Agrónomo Carlos Barrera, el día viernes 5 de Noviembre del presente año a las 16:00 horas.

Sin otro particular, me suscribo.

Atentamente.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

T.P.A. Dilan Aroldo García Soto
Carné: 201240713

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO:

A:

DIOS

El todo poderoso que con su infinita misericordia me ayudo a lograr esta meta, dándome cada día fuerzas, sabiduría y sus bendiciones. Agradecido grandemente por nunca desampararme y guiarme en todo momento.

MI FAMILIA

Por el apoyo incondicional que recibí de parte de cada uno de mis familiares, que siempre estuvieron para animarme.

Mis padres: Luis Aroldo García Palencia y Mirza Itálica Soto de García por enseñarme a nunca rendirme, luchar para que mis sueños se hicieran realidad, por estar siempre conmigo en los momentos más complicados y momentos más felices.

Mis hermanos: Luis Israel García Soto y Cristi Noelia García Soto, en los cuales encontré ayuda, se convirtieron en amigos y sus consejos me ayudaron a salir adelante.

AMIGOS

Los cuales estuvieron para brindarme su apoyo en los momentos más necesitados, con quienes viví buenos y malos momentos los cuales ayudaron a forjar mi carácter.

AGRADECIMIENTOS

A cada una de las personas e instituciones que me apoyaron a la realización de esta investigación en finca Santander, zona externa del ingenio Tzululá, en el año 2017, ya que sin su ayuda y la de Dios no se hubiera realizado.

A MI PAÍS Y A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

A mi hermosa Guatemala que hace que la educación superior sea gratuita, a la universidad y en especial al programa de becas que me apoyo para lograr realizar esta meta.

A LA CARRERA DE AGRONOMÍA TROPICAL

Que en todo el proceso formativo me compartió conocimiento técnicos y científicos, y además principios y valores lo cual logra una formación completa. A los compañeros y catedráticos por sus consejos y enseñanzas en especial al Ing. Agr. Nery Figueroa (Q. E. P. D.) por apoyarme directamente en la elaboración de esta investigación, al Ing. Agr. Carlos Barrera por guiarme para concluir mi proceso.

AL INGENIO TULULÁ Y CENGICAÑA

Por extenderme la oportunidad de realizar el EPS y el apoyo constante que necesite durante la investigación, al departamento de riegos de CENGICAÑA por brindarme apoyo en los análisis de suelo y agua así mismo por darle acompañamiento a la investigación.

Quiero mostrar mi agradecimiento a los ingenieros que me apoyaron de ambas instituciones: Ing. Agr. Juan Luis Ajanel, Ing. Agr. Lenin Ramírez, Ing. Agr. Otto Castro y Ing. Agr. Hector Monterroso.

ÍNDICE DE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
RESUMEN.....	1
SUMMARY.....	3
I. INTRODUCCIÓN.....	5
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
1. MARCO CONCEPTUAL	7
1.1. Caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.).....	7
1.2. Clasificación taxonómica de la caña de azúcar.	7
1.3. Características agronómicas del cultivo de la caña de azúcar.	8
1.4. Importancia del riego en el cultivo de la caña de azúcar.	8
1.5. Etapas de desarrollo de la caña de azúcar.....	11
1.6. Características y propiedades físicas del suelo relacionadas con el riego, en el cultivo de la caña de azúcar.	12
1.7. Uso de la herramienta balance hídrico en el riego.....	18
1.8. Aguas de riego.....	20
1.9. Riego por mini aspersion.	21
2. MARCO REFERENCIAL	21
2.1. Localización de la investigación uso del agua.	21
2.2. Ubicación geográfica de finca Santander.	21
2.3. Vías de acceso a finca Santander.	22
2.4. Zona de vida y clima de finca Santander.....	22
2.5. Recursos hidrológicos utilizados en finca Santander.....	22
2.6. Ubicación y extensión del área de la investigación uso del agua.	22
2.7. Variedad utilizada en la investigación uso del agua.....	24
2.8. Descripción del abastecimiento del recurso hídrico.	25
2.9. Descripción del sistema de riego por mini aspersion.	25
2.10. Análisis de agua utilizada para riego en el sistema de mini aspersion.	27
2.11. Antecedentes sobre investigaciones del balance hídrico en el cultivo de caña.....	30
III. OBJETIVOS.....	31
3.1.1. General.....	31

3.1.2.	Específico.	31
IV.	HIPÓTESIS.....	32
V.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
5.1.	MATERIALES UTILIZADOS.	33
5.2.	METODOLOGÍA.	34
5.2.1. Cálculo de la infiltración básica del suelo por el método de doble cilindro.	34
5.2.2.	Descripción de los usos de agua.....	36
5.2.2.1.	Riego convencional.....	36
5.2.2.2.	Riego con balance hídrico.....	36
5.2.3.	Evaluación del sistema de riego por mini aspersión.	36
5.2.4.	Disposición de los aspersores.	37
5.2.5.	Procedimiento.	38
5.2.6.	Mediciones durante la evaluación de riego:.....	39
5.2.7.	Aforo de los aspersores evaluados:.....	40
5.2.8.	Mediciones después de la evaluación de riego.	41
5.2.9.	Análisis de los datos de la evaluación de riego.	42
5.2.10.	Determinación de uniformidad de aspersores.	42
5.2.11.	Determinación de la eficiencia de almacenamiento.	43
5.2.12.	Determinación de la eficiencia de aplicación.....	43
5.2.13.	Mediciones adicionales.	43
5.2.14.	Obtención de muestras de agua para análisis de riego.	44
5.2.15.	Muestreo de suelos con fines de riego por el método gravimétrico.	45
5.2.16.	Uso de la aplicación CENGIRIEGOS en balance hídrico.....	49
5.2.17.	Información requerida por CENGICAÑA para elaborar la base de datos utilizada en CENGIRIEGOS.....	49
5.2.18.	Variables del uso del agua en función del cultivo.....	53
5.2.19.	Análisis estadístico de las variables del uso de agua.....	56
5.2.20.	Análisis beneficio costo de la optimización en el uso del agua.	56
5.2.21.	Manejo del uso del agua.	57
5.2.22.	Manejo agronómico del cultivo de la caña de azúcar.....	59
5.2.23.	Control de malezas.	59
5.2.24.	Fertilización.	60
5.2.25.	Resiembra.....	60

5.2.26.	Plagas.....	61
5.2.27.	Descripción del proceso de cosecha.....	61
VI.	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	62
6.1.	Medir los impactos en las variables del rendimiento (número de tallos, longitud y diámetro del tallo) cuando se aplica riego planificado mediante el criterio del Balance Hídrico y riego convencional.....	62
6.2.	Determinar las producciones en toneladas métricas por hectárea de <i>S. officinarum</i> L. en los dos usos del agua de riego aplicados.....	73
6.3.	Determinar qué tipo de aplicación de agua para riego, presenta la mejor relación beneficio costo y rentabilidad en el cultivo de caña de azúcar.....	75
VII.	CONCLUSIONES.....	79
VIII.	RECOMENDACIONES.....	80
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
X.	ANEXOS.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

No.	PÁGINA
01. Clasificación taxonómica del cultivo de la caña de azúcar.....	07
02. Escala de textura del suelo según USDA.....	12
03. Valores promedio de evapotranspiración (ETo) de referencia (mm), según etapas fenológicas, estratos altitudinales y tercios de zafra, para las condiciones de la zona cañera de Guatemala.....	17
04. Valores de Kc según etapas fenológicas y tipos de suelo, determinados bajo las condiciones edafoclimáticas de la zona cañera de Guatemala.	18
05. Distribución del área total (ha) de finca Santander.....	24
06. Distribución del área en los dos tipos de manejo de riego usando balance hídrico y comercial.....	24
07. Información técnica y climática del sistema de riego.....	26
08. Parámetros de interpretación de la conductividad eléctrica en análisis químico de agua.....	27
09. Análisis químico de agua con fines de riego, en finca Santander.	28
10. Niveles de interpretación para el uso de agua en riego.	29
11. Características de los herbicidas agrupados por uso.....	60
12. Información técnica durante la evaluación de riego.	63
13. Resultado de investigación programación de riego basada en balance hídrico en ingenio Santa Ana.....	74
14. Costos de labores por hectárea de caña soca.	76
15. Descripción de los costos, beneficios, relación beneficio/costo, utilidad total y rentabilidad de la investigación métodos de riego mediante el uso del balance hídrico y riego comercial.....	77
16. Datos de la primera biometría realizada en el balance hídrico.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

No.		PÁGINA
01.	Calendarización de período lluvia y tipo de riego definido por el estrato altitudinal (msnm), con base a fechas de siembra (tercios), aplicado para la zona cañera de Guatemala.....	10
02.	Comportamiento del crecimiento de los tallos molederos de la caña de azúcar, con base la duración de las etapas fenológicas, en condiciones de la zona cañera de Guatemala.....	11
03.	Ubicación de los lotes donde se realizó la evaluación de riego de la sección dos, finca Santander, Retalhuleu, Guatemala.....	23
04.	Realización de la prueba de infiltración por el método de doble cilindro, A: materiales utilizados. B: nivelación del doble cilindro. C: obtención de la lectura de infiltración.....	35
05.	Marco de riego, distribución de agua por los aspersores y ubicación de los pluviómetros al 75 % de los aspersores en el ramal.....	37
06.	Distribución de pluviómetros, en campo al momento de realizar la evaluación.....	38
07.	Distribución de los pluviómetros (cuadrícula) al momento de realizar la evaluación de riego.....	39
08.	Captación del agua de un aspersor con la ayuda de una manguera, hacia una caneca, como parte del aforo.....	40
09.	Recolección de agua (mm) por cada pluviómetro, después de dos horas de iniciada la evaluación del riego.....	41
10.	Coeficiente de uniformidad Christiansen.....	42
11.	Anemómetro marca AMTAST utilizado para medir el viento (km/h), temperatura (°C), humedad relativa (%), en la evaluación de riego.....	44
12.	Localización y forma de muestreo de suelos para definir profundidad de la humedad.....	46

13.	Procedimiento para la obtención de la humedad del suelo por el método gravimétrico, A: Utilización de barreno helicoidal. B: Obtención de muestra de suelo. C: Muestra de suelo colocada en bolsas de nylon, se etiquetan y trasladadas a laboratorio. D: Se pesan las muestras de suelo. E: Se colocan en bandejas y se introducen al horno.....	47
14.	Registro del comportamiento de la humedad según el programa CENGIRIEGOS, en época de riego y en época de lluvia para la operación del sistema de riego por balance hídrico.	51
15.	Forma de medir en campo la altura (cinta metrica) desde la superficie del suelo hasta el ultimo entrenudo del tallos de caña de azúcar.....	54
16.	Forma de medir en campo el diámetro (vernier), a la altura media del tallo de la caña de azúcar.	55
17.	Conteo número de entrenudos.....	56
18.	Distribución de tubería de aluminio del sistema de riego por mini aspersión.	58
19.	Distribución y captación de la lámina de agua (mm) por cada pluviómetro entre dos aspersores.	63
20.	Distribución de área regada en milímetros de agua (%).	64
21.	Distribución de la precipitación pluvial, por las etapas fenológicas de la caña de azúcar en finca Santander.	65
22.	Cantidad de riegos y milímetros de agua (lámina neta) aplicados en balance hídrico y riego comercial, en el cultivo de la caña de azúcar en post-corte y pre-corte.....	67
23.	Comportamiento de la humedad del suelo y distribución de riegos (post-corte), empleando las metodologías balance hídrico y riego comercial, en el programa CENGIRIEGOS.	69
24.	Rendimiento toneladas de caña por hectárea por tipo de uso de agua mediante balance hídrico y riego convencional.	73
25.	Comportamiento de la variable altura del tallo en centímetros, de la caña de azúcar con manejo de balance hídrico y riego convencional.....	70
26.	Comportamiento de la variable diámetro (mm) del tallo del cultivo de la caña de azúcar con manejo de balance hídrico y riego convencional.	71

27. Comportamiento de la variable número de entrenudos del tallo en el cultivo de la caña de azúcar con manejo de balance hídrico y riego convencional.....	72
28. Localización de muestreo donde se realizaron las biometrías de la comparación del manejo de riego usando balance hídrico y riego comercial en el sistema de mini aspersión.	84
29. Acceso a finca Santander ingresando por calzada Las Palmas Retalhuleu, posteriormente siguiendo por camino a la Verde.....	85
30. Formato para el registro de datos del caudalímetro.	86

RESUMEN

La comparación de métodos de frecuencia de riego mediante el balance hídrico y riego convencional en el sistema de mini aspersión, en *Saccharum officinarum* L., cultivo de caña de azúcar, en su sexta soca, se llevó a cabo en sección dos de finca Santander de ingenio Tululá, en el municipio de Retalhuleu departamento de Retalhuleu; el objetivo general fue comparar el uso de agua para riego mediante la aplicación del balance hídrico y riego convencional, usando el sistema de mini aspersión, durante todo el ciclo del cultivo de caña de azúcar.

En la investigación se planteó, determinar el efecto del uso de agua, mediante la aplicación del balance hídrico y riego convencional tomando como variables el rendimiento en toneladas métricas de caña por hectárea y características biométricas como: número de tallos, longitud del tallo y diámetro del tallo.

Además, se determinó qué tipo de uso de agua para riego, presenta la mejor relación costo-beneficio en el cultivo de caña de azúcar.

La investigación se llevó a cabo en la sección dos específicamente en los lotes, tres, cuatro y cinco, en donde se aplicó riego con balance hídrico y en los lotes nueve, once y trece se aplicó riego convencional o tradicional. Se establecieron veinte puntos de muestreo por tipo de manejo de riego con el propósito de determinar la respuesta del cultivo de la caña de azúcar a la aplicación de riego, cada punto de muestreo tuvo cinco metros de largo, eligiéndose cinco tallos a los cuales se le dio seguimiento para determinar el comportamiento de las variables biométricas. El área donde se evaluó el balance hídrico fue de 28.19 ha y el área de riego comercial fue de 26.83 ha. teniendo un total de 55.02 ha de caña de azúcar evaluadas en la investigación.

Para las variables biométricas (número de tallos, longitud del tallo y diámetro del tallo), no existió diferencia significativa al 5 % entre los tipos de manejo de riego. Para

la variable rendimiento de caña (tm/ha) se estableció que no existió diferencia significativa al 5 % entre los dos tipos de manejo de operación.

En cuanto al estudio económico el riego con balance hídrico presentó mayor relación costo-beneficio la cual fue de 1.32 y un rendimiento promedio de 117.74 toneladas métricas de caña de azúcar por hectárea, para el riego convencional la relación costo - beneficio fue de 1.19 y un rendimiento promedio de 113.71 toneladas métrica de caña de azúcar por hectárea, así mismo el manejo con balance hídrico ofreció una diferencia en el ingreso neto de Q. 806.00/ha en comparación del riego comercial.

SUMMARY

The comparison of irrigation frequency methods by means of the water balance and conventional irrigation in the mini-sprinkler system, in *Saccharum officinarum* L., a sugarcane crop, in its sixth soca, was carried out in section two of the Santander farm in Tululá mill, in the municipality of Retalhuleu, department of Retalhuleu; The general objective was to compare the use of water for irrigation by applying water balance and conventional irrigation, in the mini-sprinkler system, throughout the sugarcane cultivation cycle.

In the research, it was proposed to determine the effect of water use, by applying water balance and conventional irrigation in the variables yield metric tons of cane per hectare and biometric (number of stems, length of the stem and diameter of the stem).

In addition, it was determined what type of water use for irrigation has the best cost-benefit ratio in the cultivation of sugar cane.

The investigation was carried out in section two specifically in lots three, four and five where irrigation with water balance was applied and in lots nine, eleven and thirteen conventional or traditional irrigation was applied. Twenty sampling points were established by type of irrigation management in order to know the response of the sugarcane crop to the application of irrigation, each sampling point was five meters long, choosing five stems to which they were followed up to determine the behavior of biometric variables. The area where the water balance was evaluated was 28.19 ha and the commercial irrigation area was 26.83 ha, with a total of 55.02 ha of sugar cane evaluated in the research.

For the biometric variables (number of stems, stem length and stem diameter), there was no significant difference at 5% between the types of irrigation management. For the cane yield variable (tm / ha) it was established that there is no significant difference at 5% between the two types of operation management.

Regarding the economic study, irrigation with water balance presented a higher cost-benefit ratio which was 1.32 and an average yield of 117.74 metric tons of sugarcane per hectare, for conventional irrigation the cost-benefit ratio was 1.19 and a Average yield of 113.71 metric tons of sugarcane per hectare. Likewise, management with water balance offers a difference in net income of Q. 806.00 / ha compared to commercial irrigation.

I. INTRODUCCIÓN

Saccharum officinarum L., es el cultivo de mayor importancia en la producción de edulcorante en el mundo. El área total en producción es de 19.24 millones de hectáreas distribuidas en: Asia 42.5%, América 47.7%, África 7.4% y Oceanía 2.4%. El promedio mundial de producción es de 65.2 ton/ha (FAO, 2002, pág. 07).

En el cultivo de la caña de azúcar es importante la aplicación de riego para obtener aumentos en los rendimientos de TCH (toneladas de caña por hectárea), según CENGICAÑA (2012, pag. 184) en el cultivo de caña de azúcar se incrementa el rendimiento de TCH con la aplicación de riego que va desde 17 hasta 60 TCH, por lo tanto fué necesario determinar que el cultivo de la caña de azúcar necesita entre 1200 a 1500 mm/anuales de agua, y para conseguir esta lámina de agua se aplicó en la época de riego una lámina bruta promedio de 438 mm, más el aporte de la época lluviosa que fue de 876 mm. dando un total de 1314 mm de agua, con esto se suplió la necesidad hídrica de la planta.

Guatemala no escapa a los efectos del cambio climático, el cual afecta a la producción agrícola a nivel nacional. Esos efectos se deben precisamente a la distribución del agua en forma de lluvia; ocurren periodos de cortes de precipitación y episodios de sequías en áreas donde no se habían observados esos impactos.

Estos eventos han dado como resultados la pérdida de ecosistemas, la reducción de la calidad, disponibilidad de recursos hídricos y la disminución de los rendimientos en los diferentes cultivos (CENGICAÑA, 2012, pág. 180).

Con pleno conocimiento a lo antes indicado, se planteó el desarrollo de la investigación que hoy se presenta, en la cual se hizo una comparación de riego programado con balance hídrico y riego convencional, utilizando mini aspersión, en el cultivo de *S. officinarum* de sexta soca.

Sobre la base de las demandas hídricas del cultivo y en consideración a las condiciones climáticas de la región, se aplicó balance hídrico y riego convencional con frecuencias de 11 días, utilizando 11 horas de tiempo de riego.

La investigación se llevó a cabo en finca Santander en el municipio de Retalhuleu, departamento de Retalhuleu, a una altura de 50 metros sobre el nivel del mar, con una precipitación anual de 900 milímetros, con suelo arcilloso. La temperatura osciló entre 24 grados centígrados como mínima a 35 grados centígrados como máxima, utilizando la variedad CP72-2086.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.).

La caña de azúcar es el cultivo de mayor importancia en la producción de este edulcorante en el mundo. El área total en producción es de 19.24 millones de hectáreas distribuidas en: Asia 42.5%, América 47.7%, África 7.4% y Oceanía 2.4%. El promedio mundial de producción es de 65.2 ton/ha (FAO, 2002, pág. 07).

1.2. Clasificación taxonómica de la caña de azúcar.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del cultivo de la caña de azúcar.

Reino	Plantae
Sub-reino	Embryobionta
División	Magnolyophyta
Clase	Liliopsida
Sub-clase	Commelinidae
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	Saccharum
Especie	<i>Saccharum officinarum</i> L.

Fuente: Cronquis, (1981, pág. 11).

1.2.1. Especies de *Saccharum*.

El género *Saccharum* corresponde a un complejo constituido por seis especies; cuatro domesticadas (*S. officinarum*, *S. edule*, *S. barberi* y *S. sinensis*) y dos silvestres (*S. spontaneum*, y *S. robustum*). (Ruiz, 1995, pág. 2).

1.3. Características agronómicas del cultivo de la caña de azúcar.

Según Romero (2009, pág. 01), el ambiente (suelo y clima) genera el marco en el que se desarrolla y crece el cultivo, definiendo las limitaciones y disposiciones de recursos agroecológicos dentro de los cuales se debe implantar el cultivar y producir *S. officinarum*. Por lo tanto, es básico el conocimiento detallado de sus características generales y particulares para evaluar las posibilidades productivas, como también para efectuar una correcta elección de las prácticas de manejo a implementar.

Romero (2009, pág. 01), indica que la tecnología (manejo y genotipo) buscan minimizar las limitaciones agroecológicas que afectan la productividad del cultivo, favorecer el óptimo aprovechamiento de los recursos ambientales disponibles, maximizar la eficiencia técnica-económica del sistema productivo del cultivo y conservar el ambiente. Una elección acertada de estrategias de manejo estrechamente asociadas y adaptadas a las características del agro ecosistema, será la base para obtener una producción agrícola sostenible.

Los rendimientos por obtener dependerán de la participación interactiva de los distintos componentes del rendimiento, cuya magnitud se define a través de los eventos fenofisiológicos que acontecen durante el ciclo del cultivo y de sus interacciones con los recursos ambientales, el manejo suministrado y el potencial productivo del genotipo. (Romero, 2009, pág. 01)

1.4. Importancia del riego en el cultivo de la caña de azúcar.

El desarrollo económico y social de un país depende de gran medida de sus posibilidades para lograr una producción del sector agrícola acorde a sus necesidades de alimento, además, tener un excedente para exportar a otros países y servir de base a un desarrollo industrial. Los programas nacionales de desarrollo en la actualidad deben considerar dentro del sector agrícola, nuevas áreas de cultivo e intensificar el uso de aquellas tierras que han dependido del régimen de lluvias.

La utilización adecuada del recurso agua con fines de riego tiene impacto significativo en la economía del país. (Illescas, 2002, pág. 161).

Según Flores, (1998, pág. 172), explica que “el agua es la sangre de la agricultura”, lógicamente esto incluye al cultivo de la caña de azúcar y esto se refleja en los resultados de los rendimientos obtenidos por unidad de área en las fincas que disponen de agua para riego. La caña es tolerante a la sequía, sin embargo, existe un límite en que la sequía es demasiada y la planta comienza a secarse, lógicamente esta es más grave en suelos de textura arenosa y aquellos suelos que no retienen humedad.

Esta situación trae muchos efectos negativos ya que se hace necesario cosechar mucha caña que no llega a su total crecimiento, y se tiene aún el riesgo de que luego del corte mueran muchas cepas o retoños que no logren emerger, reduciéndose la población de la próxima soca.

CENGICAÑA, (2012, pág. 178), indica que el riego en la zona cañera de Guatemala es una actividad muy importante, se desarrolla junto con la zafra en el período seco, del 15 de noviembre al 15 de mayo. La actividad del riego se incrementa en dirección al mar, debido al aumento del déficit hídrico.

Las condiciones en que se maneja el cultivo de la caña de azúcar en la costa sur de Guatemala son muy heterogéneas; en los diferentes tipos de suelo se generan diversas capacidades de almacenamiento y/o aporte de agua; el clima, propicia varios comportamientos de déficit hídrico, según la altura sobre el nivel del mar; y la caña, al sembrarse en distintas fechas (tercios) genera que la respuesta al riego sea diferente. (CENGICAÑA, 2012, pág. 183).

En la figura número uno se muestra gráficamente en el eje vertical lado izquierdo los estratos altitudinales y en el eje horizontal los tipos de riego (post-corte o pre-corte), esta figura ayuda a facilitar la planificación de riego porque indica en que fechas ingresan las lluvias y cuáles son los periodos de déficit hídrico.

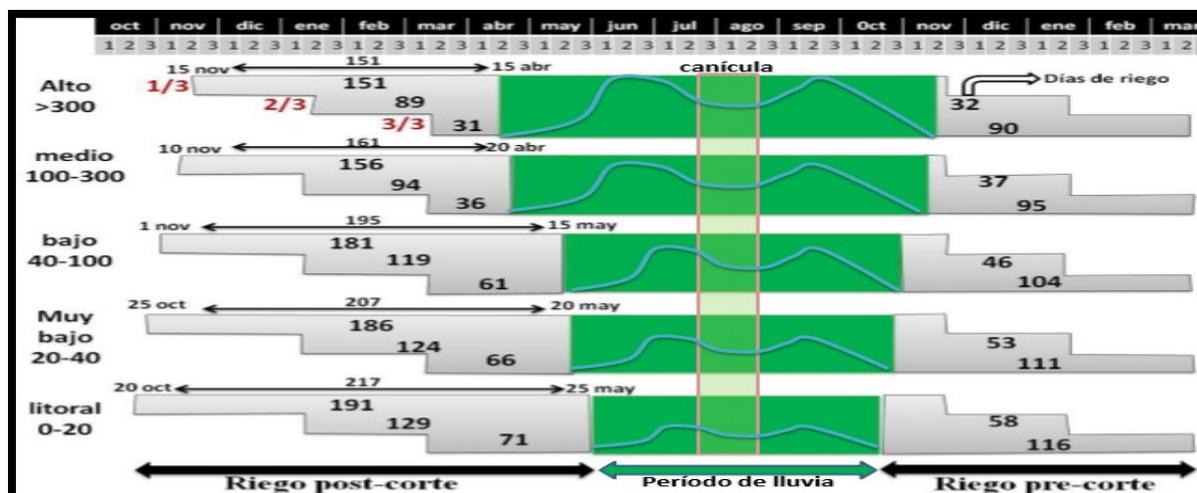


Figura 1. Calendarización de período lluvia y tipo de riego definido por el estrato altitudinal (msnm), con base a fechas de siembra (tercios), aplicado para la zona cañera de Guatemala.

Fuente: CENGICAÑA, (2012, pág. 188).

Como se identificó en la figura número uno, los periodos de deficiencia de agua según el estrato altitudinal y tercio a cortar la caña. Por ejemplo el estrato altitudinal bajo se encuentra de 40 a 100 metros sobre el nivel del mar (msnm). Así mismo en el primer tercio tenemos 195 días de déficit hídrico, ventana para aplicar riego post-corte.

Otros aspectos importantes de aplicar riego en la caña de azúcar se mencionan como los siguientes:

- Incrementa el rendimiento y asegura la producción comercial del cultivo.
- El rebrote es más rápido, especialmente cuando se presenta un periodo seco después de la cosecha.
- Incrementa el número de socas en el cultivo.
- Mejora la germinación en condiciones de labranza mínima y en suelos difíciles de cultivar. (Flores, 1998, pág. 173).

El incremento en la exportación ha colocado al azúcar como el segundo renglón más importante de la economía del país en cuanto a la generación de divisas se refiere. En el 2003 el azúcar y la melaza representaron el 7.90 % de las exportaciones totales

del país. La zafra 2002-2003 representó el 3.0 % del Producto Interno Bruto (PIB) de Guatemala y en la zafra 1998-99, generó hasta 148 MW de potencia al sistema nacional, contribuyendo con más del 20 % de la energía eléctrica total del país. (ASAZGUA, 2003, pág. 08).

1.5. Etapas de desarrollo de la caña de azúcar.

La caña de azúcar en Guatemala normalmente se cosecha a los 12 meses de edad. Las etapas de desarrollo que se manifiestan en época seca y que son objeto de riego son fundamentalmente la germinación y macollamiento y una gran fracción de la etapa de elongación en variedades tempranas, la germinación y macollamiento e inicios de la elongación en variedades intermedias y riego en etapa de cosecha o finales de la elongación en variedades tardías (riego pre-corte). (Juárez, 1998, pág. 63).

De acuerdo con CENGICAÑA (2012, pág. 189) existen varias etapas fenológicas del cultivo de la caña de azúcar, y con fines de riego se incluye el periodo de zafra y épocas de siembra del cultivo de la caña, estas variables se presentan en la figura dos.

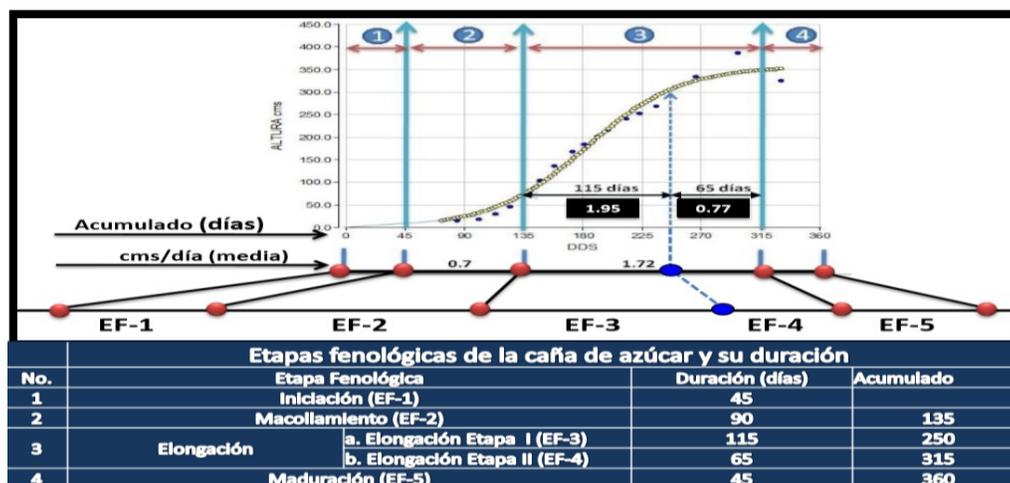


Figura 2. Comportamiento del crecimiento de los tallos molederos de la caña de azúcar, con base la duración de las etapas fenológicas, en condiciones de la zona cañera de Guatemala.

Fuente: CENGICAÑA, (2012, pág. 189).

Según CENGICAÑA, (2012, pág. 188) en la figura dos, se analiza mediante un modelo tipo gama el comportamiento del crecimiento de los tallos molederos de la caña de azúcar, así mismo, una descripción de la duración y el acumulado en cada una de las etapas fenológicas. Se observa en el período entre 135 y 250 días después de la siembra (EF-3) que los tallos alcanzan su máximo crecimiento, logrando en promedio 1.95 cm/día. Este período es relevante en el tercio uno de zafra y luego en el tercio tres para los estratos muy bajo y litoral. Debido a esta característica se considera que esta etapa es crítica, por lo tanto, no debe ocurrir estrés por déficit de agua. Otra de las etapas considerada crítica es la inicial (EF-1) debido a que, en una condición de baja humedad en el suelo, la población por metro lineal se reduce significativamente.

1.6. Características y propiedades físicas del suelo relacionadas con el riego, en el cultivo de la caña de azúcar.

1.6.1. Textura.

La textura del suelo hace referencia a las proporciones de limo, arcilla, arena, de diversos tamaños en los que se presentan sus partículas minerales con independencia de su composición química. (Illescas, 2007, pág. 32). A continuación, en el cuadro número dos se presenta la escala de textura según USDA la cual hace referencia del grosor de las partículas de cada tipo de textura.

Cuadro 2. Escala de textura del suelo según USDA.

Clase textural	Diámetro
Arena muy gruesa	2-1 mm
Arena gruesa	1-0.5 mm
Arena mediana	0.5 – 0.25 mm
Arena muy fina	0.25 – 0.1 mm
Limo	0.05 – 0.002 mm
Arcilla	< 0.002 mm

Fuente: Corás (1983) citado por (Illescas, 2002, pág. 32).

- a) Suelos arenosos: Retienen poca humedad y tienden a secarse. Tienen poca habilidad para retener los nutrientes. Poseen por naturaleza baja fertilidad. Tienen rápida percolación. Es necesario aplicar frecuentemente materiales orgánicos y nutrientes inorgánicos. Se trabajan con facilidad. (Illescas, 2002, pág. 33).
- b) Suelos francos y franco limoso: Poseen buena penetración y retienen bien el agua y los nutrientes. Su fertilidad natural va desde media a alta. Se pierde poca agua y nutrientes por lixiviación. Los mejores suelos agrícolas quedan dentro de este rango (Illescas, 2002, pág. 33).
- c) Suelos franco-arcillosos y arcillosos: Tienen poca penetración de agua, retienen grandes cantidades de humedad, parte de la cual no está disponible para la planta. La pérdida de nutrientes por percolación es muy reducida. Sus principales problemas son la compactación, la forma de costras, el drenaje y la labranza (Illescas, 2002, pág. 33).

1.6.2. Capacidad de campo (CC).

Es un parámetro físico del suelo que refleja el contenido de humedad que el suelo puede retener inmediatamente después que el agua gravitacional ha drenado. Es decir que es la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener en contra de la fuerza de gravedad.

El concepto de capacidad de campo es de gran utilidad por ser el límite superior de agua aprovechable o disponible para el desarrollo de las plantas y además porque es el porcentaje de humedad al que la zona radicular debe regarse para que no existan desperdicios ni falta de agua a la planta. La tensión a la que el agua esta retenida en un suelo libre de sales cuando se está a capacidad de campo varía entre 1/10 de atmósfera para suelos arenosos y 1/3 de atmósfera para suelos arcillosos. (Illescas, 2002, pág. 74-75).

1.6.3. Punto de marchitez permanente (PMP).

Es definida como el porcentaje o contenido de humedad del suelo al cual las plantas no pueden obtener suficiente humedad para satisfacer sus requerimientos de transpiración. Al alcanzar el suelo valores de PMP las plantas se marchitan y no son capaces de recuperarse aun cuando se coloquen durante una noche en una atmósfera saturada en la que casi no se produce consumo de agua. El PMP corresponde al límite inferior del agua disponible a las plantas y la tensión a la cual el agua esta retenida en el suelo varía de 7 a 32 atmosferas aprovechable dependiendo la traspiración, el tipo de cultivo, textura del suelo y contenido de sales en el suelo. (Illescas, 2002, pág. 81).

1.6.4. Densidad aparente (Da).

La densidad aparente (Da) de un suelo es el peso de suelo seco por unidad de volumen de suelo, incluyendo los poros, se expresa en gramos por centímetro cúbico (Illescas, 2002, pág. 34).

$$Da = P_{ss} / V_t$$

Dónde:

Da = Densidad aparente (gr/cc)

Pss: Peso de suelo seco (gr)

Vt = Volumen total de suelo (CC)

1.6.5. Evaporación.

La evaporación es el agua perdida en forma de vapor por el terreno adyacente a la planta, por la superficie del agua o por la superficie de las hojas de las plantas. Los factores que afectan principalmente la evaporación, son:

- 1.- Climáticos (principalmente la radiación solar)
- 2.- Superficie evaporante

La evaporación está en función de la radiación solar, latitud, estación del año, hora del día y nubosidad. (Cisneros, 2003, pág. 50).

1.6.6. Transpiración.

Es la pérdida de agua de las plantas en forma de vapor.

Tipos de transpiración:

Raíces ---> xilema ---> mesófilo de las hojas -----> estomas (transpiración estomática).

Raíces ---> xilema ---> corteza del tallo -----> epidermis (transpiración cuticular).

La transpiración está en función de factores climáticos: viento, humedad atmosférica, temperatura y radiación solar. (Cisneros, 2003, pág. 50).

1.6.7. Evapotranspiración.

Definido como la cantidad de agua evapotranspirada por una superficie extensa cubierta por una vegetación baja que se encuentra en pleno crecimiento y sin restricción en el suministro de agua esta se encuentra en estado libre. El clima es el factor que más influye en la magnitud de este valor; en especial, la radiación solar, la temperatura, la humedad ambiental y el viento. (Ruiz, 1995, pág. 441).

1.6.8. Requerimientos edafológicos y ambientales utilizados para la planificación de riego.

1.6.8.1. Suelo.

El cultivo de la caña de azúcar crece en gran variedad de suelos, siendo los más adecuados los de textura franca o franco-arcillosa, bien drenados. Tolera un amplio rango de acidez y alcalinidad del suelo y puede obtenerse altas producciones en suelos

con pH entre 5 y 8. Con pH menores a 5 y mayores a 8, la acidez del suelo y los problemas de alcalinidad y salinidad, se convierten en factores limitantes de la producción. Requiere, además, suelos provistos de suficientes cantidades de nutrimentos o de buena fertilización ya que extrae grandes cantidades de nitrógeno, potasio y silicio. (Romero, 2009, pág. 01)

1.6.8.2. Precipitación.

En la caña de azúcar el agua es fundamental para la formación de los glúcidos, la disolución y el transporte de los metabolitos y la turgencia de los tejidos. Durante el período de crecimiento, germinación y macollamiento las plántulas necesitan una buena disponibilidad de agua. La caña necesita de 8 a 9 mm de agua/ha/día durante la época de verano, y entre 3 y 4 mm de agua por día en la época de invierno. Se ha considerado que una precipitación de 1500 a 1750 mm/año es suficiente para suplir las necesidades del cultivo en suelos de textura franco-limosa o franco-arcillosa. (Ramos, 1993, pág. 94).

Así mismo Romero (2009, pág. 01) expresa que para construir un grano de materia seca de tallo requiere 0.5 litros de agua y con igual cantidad de agua se acumulan 0.25 - 0.40 gramos de sacarosa.

1.6.8.3. Régimen térmico.

Romero (2009, pág. 01) explica que la fase de germinación se activa o inicia con temperaturas superiores a los 10 grados centígrados (°C), las temperaturas óptimas de germinación y macollamiento fluctúan entre los 28–32 °C, es importante mencionar que los valores citados presentan diferencia varietal y también están en funciones de la disponibilidad hídrica. En cuanto a la etapa de elongación, las temperaturas inferiores a los 16-17 °C afectan el crecimiento vegetativo, teniendo su ideal entre 28-35 °C, también puede soportar temperaturas hasta los 50 °C, pero provoca retraso en el crecimiento.

1.6.8.4. Demanda climática.

Cengicaña (2002, pág. 189) indica que la demanda climática se determina mediante la evapotranspiración de un cultivo de referencia (ET_o), el cual es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder evaporante de la atmósfera, los únicos factores que afectan la ET_o son los parámetros climáticos.

Cuadro 3. Valores promedio de evapotranspiración (ET_o) de referencia (mm), según etapas fenológicas, estratos altitudinales y tercios de zafra, para las condiciones de la zona cañera de Guatemala.

Estrato	ETAPAS FENOLÓGICAS											
	EF-1 (Iniciación)			EF-2 (Macollamiento)			EF-3 (Elongación I)			EF-4 (Elongación II)		
	Tercios de zafra			Tercios de zafra			Tercios de zafra			Tercios de zafra		
	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
Alto	4.4	4.8	5.0	4.8	5.1		5.2		4.5		4.4	4.5
Medio	4.7	5.3	5.4	5.4	5.5		5.5		4.7		4.6	4.9
Bajo	4.8	5.1	5.7	5.3	5.8	5.7	5.8		4.9		4.8	4.8
Muy Bajo	4.3	5.3	5.6	5.4	5.5	4.9	5.2		4.4		4.4	4.6
Litoral	4.5	5.0	5.6	5.1	5.5	5.1	5.3		4.6		4.7	4.6

Fuente: CENGICAÑA, (2012, pág. 188).

La capacidad de evaporación de la caña de azúcar se determina con la selección de los valores de K_c, que servirán para cuantificar las cantidades de agua que requiere la planta en cada etapa fenológica.

Cuadro 4. Valores de Kc según etapas fenológicas y tipos de suelo, determinados bajo las condiciones edafoclimáticas de la zona cañera de Guatemala.

TEXTURA	Etapas fenológicas (DDC)			
	EF-1	EF-2	Elongación	
			EF-3 (I)	EF-4 (II)
	Días			
	0-45	45-135	135-250	250-315
Kc (aptitud de la caña para evapotranspirar)				
-Franco Arenoso -Franco Arcilloso -Arcilloso -Arena Franca - Arena	0.3	0.6	0.9	0.9
-Franco limosos -Franco arcillo limoso -Franco	0.3	0.3	0.6	0.7
-Franco limoso + aporte capilar	0.3	0.3	0.3	0.3

Fuente: CENGICANA, (2012, pág. 191).

En el cuadro cuatro, se muestran los valores de Kc recomendados en cada una de las etapas fenológicas del cultivo, dependiendo siempre de la textura del suelo, siendo EF-1 (iniciación); EF-2 (macollamiento); EF-3 (elongación fase I); EF-4 (elongación fase II). Los factores que repercuten en el valor del coeficiente de cultivo son principalmente las características del cultivo, las fechas de plantación o siembra, el ritmo de desarrollo del cultivo, la duración del periodo vegetativo, las condiciones climáticas y especialmente durante la primera fase de crecimiento la frecuencia de las lluvias o del riego.

1.7. Uso de la herramienta balance hídrico en el riego.

Thornthwaite y Mather, (1966, pág. 104), consideran la humedad del suelo como un equilibrio entre lo que penetra al mismo, como resultado de la precipitación y lo que sale en forma de evaporación y transpiración.

Además, Baldión, (1985, pág. 86), define el balance hídrico como la utilización de los datos reales de precipitación y de información climatológica, para el cálculo de las necesidades de agua en los cultivos.

Por ejemplo, los usos de la técnica del balance hídrico son amplios, entre los más importantes, se pueden considerar los siguientes:

- Planeación de los recursos hidráulicos.
- Clasificaciones climáticas y agroclimáticas.
- Manejo de suelos.
- Pronósticos de inundaciones y sequías.

El balance hídrico es una herramienta principal en la elaboración de planes y programas sobre el aprovechamiento de los recursos hidráulicos; y permite una primera aproximación sobre cuál es la magnitud de dichos recursos, determinada básicamente por el régimen pluviométrico.

1.7.1. Componentes del balance hídrico agroclimático.

Los componentes del balance hídrico a partir de datos agroclimáticos son variables dependiendo del uso. En modelos empleados en el área agrícola, según Chang (1968) y Grassi (1968, pág. 425), los componentes del balance son:

- Capacidad de almacenamiento de un suelo: Es la máxima cantidad de agua que puede retener un suelo (capacidad de campo menos punto de marchitamiento permanente) en zona de raíces.
- Precipitación: Es el elemento más variable del balance, por lo que se recomienda como primer paso, analizar la probabilidad de esta.

- **Evapotranspiración:** Hay un gran número de métodos que la determinan o estiman, de tal manera que la selección del método dependerá de los datos disponibles.
- **Deficiencia:** En el cálculo del balance de agua, la deficiencia de agua o sequía ocurre cuando la humedad es disminuida por debajo de la capacidad de almacenamiento. Por otro lado, la deficiencia marca el lapso en el cual los cultivos dependerán del riego y de la lámina de agua aproximada que representa las necesidades de riego.
- **Excesos:** Hay excesos en el suelo, cuando se produce el escurrimiento superficial o la percolación. También da una indicación de la posible existencia de problemas de drenaje superficial y subterráneo.
- **Cambio de humedad en el suelo:** Es la variación de la humedad del suelo entre principio y final del intervalo de estudio considerado.

1.8. Aguas de riego.

1.8.1. Calidad de agua para riego.

La calidad del agua queda definida por su composición y el conocimiento de los efectos que puede causar cada uno de sus componentes, solo o en conjunto, permitiendo de esta forma establecer posibilidades de utilización. (Heredia, 2019, pág. 02-03).

El conocimiento del tipo de sal presente en el agua permite conocer su origen, la potencialidad de causar perjuicios a los cultivos y/o al suelo, y su aptitud para riego, por lo cual análisis de agua para riego debe incluir la determinación de los siguientes parámetros químicos:

- Concentración de sales: esto se hace a través de la determinación de la conductividad eléctrica (CE) expresada en dS m^{-1} (decisiemens por metro) ó mmhos cm^{-1} (milimhos por centímetro) ó la determinación de sólidos totales expresada en mg L^{-1} . (miligramos litro).
- pH
- Cationes: calcio, magnesio, sodio y potasio y aniones; carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros, expresados en mmolc L^{-1} o meq L^{-1}

1.9. Riego por mini aspersión.

Es un sistema móvil (tubería) solo en la distribución de agua, funciona con motobomba, los aspersores son de presión media (30-40 PSI), el número de aspersores varia de 25 a 30 por ramal, en la industria cañera se le conoce como mini aspersión (su nombre se origina al compararse con el sistema cañón de alta presión). La eficiencia de distribución a nivel de parcela va de 80 a 85 por ciento. (CENGICAÑA, 2012, pág. 181).

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Localización de la investigación uso del agua.

La investigación se llevó a cabo en finca Santander, la cual se localiza en el municipio de Retalhuleu, departamento Retalhuleu. Colinda al Norte con finca la Severa; al Sur con finca La Loma; al Este con el río Ixpatz y al Oeste con finca Covadonga.

2.2. Ubicación geográfica de finca Santander.

De acuerdo con las coordenadas geográficas finca Santander se ubica entre las coordenadas $14^{\circ} 20' 32''$ latitud Norte (N) y a $91^{\circ}45'34''$ longitud Oeste (W). Se encuentra a una altitud de 50 metros sobre el nivel del mar (msnm).

2.3. Vías de acceso a finca Santander.

La principal vía de acceso que conduce a finca Santander es a través de la carretera CA-2 llegando al departamento de Retalhuleu, siguiendo la circunvalación dando ingreso por el camino a la verde recorriendo 20 kilómetros para llegar a la finca, como se muestra en la figura número veintinueve de anexos.

2.4. Zona de vida y clima de finca Santander.

De acuerdo con Holdridge, (1982, pág. 19), finca Santander se encuentra localizado dentro de la zona de vida del bosque Húmedo Sub-Tropical cálido (Bh-S(c)). Así mismo las características climáticas de la zona según, ICC (2017, pág. 01), son: precipitación pluvial media anual de 1200-2000 mm, temperaturas máximas de 35 °C y mínimas de 20 °C, también tiene una humedad relativa de 80 %, y los vientos están en promedio de 5.6 km/hr.

2.5. Recursos hidrológicos utilizados en finca Santander.

Como parte de los recursos hídricos, se cuenta con el río Ixpatz, que se deriva para el riego por aspersión y gravedad en las secciones uno, parte de la sección dos, tres y cuatro, también cuentan con un pozo mecánico de 500 pies de profundidad para abastecer del recurso hídrico los lotes, tres, cuatro, cinco, nueve, diez, once, trece, catorce, quince y dieciséis de la sección dos.

2.6. Ubicación y extensión del área de la investigación uso del agua.

La unidad de riego evaluada se encuentra en la sección dos de la finca Santander, en los lotes tres, cuatro, cinco, nueve, once y trece, como se presenta en la imagen tres.

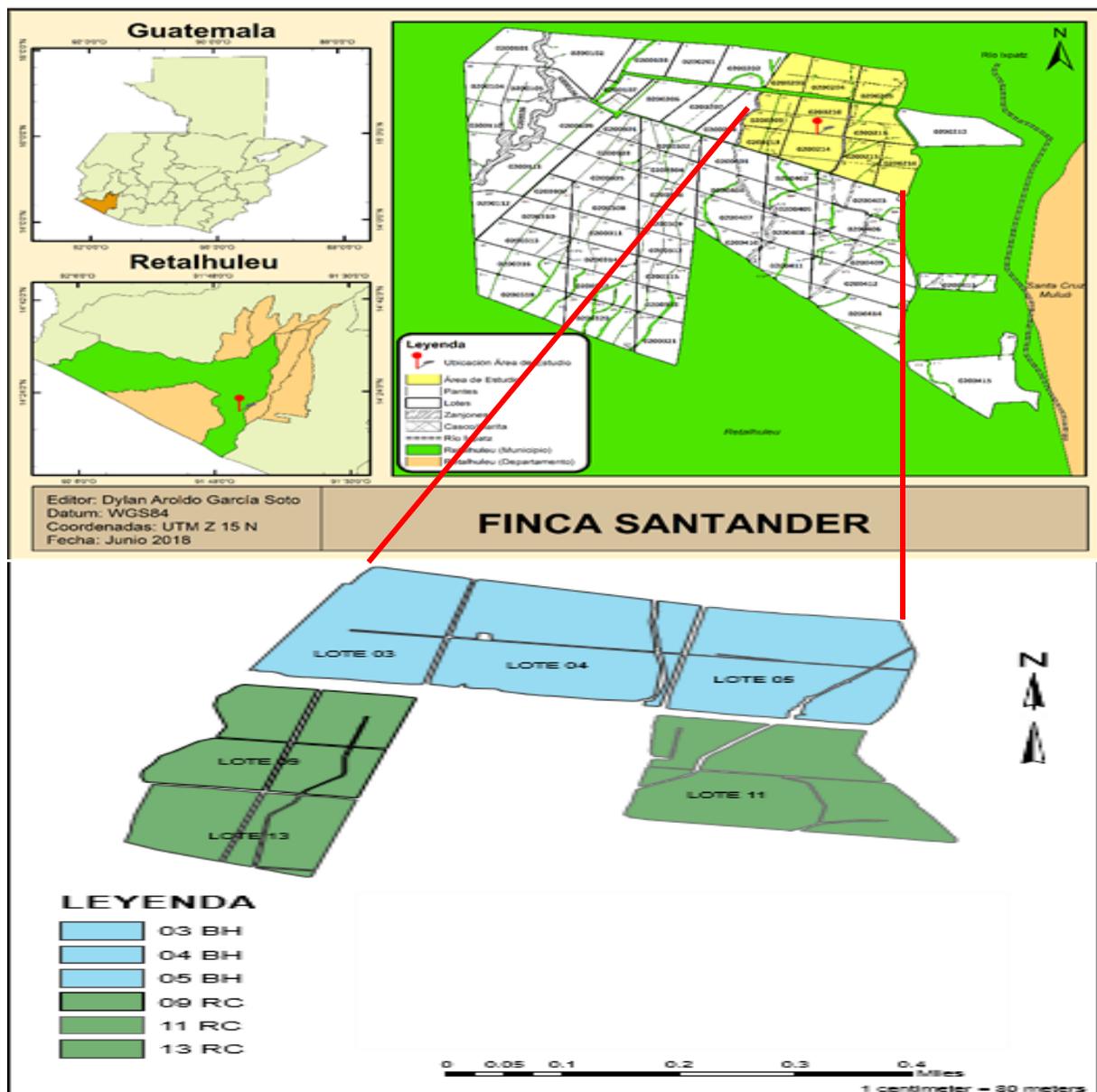


Figura 3. Ubicación de los lotes donde se realizó la evaluación de riego de la sección dos, finca Santander, Retalhuleu, Guatemala.

Fuente: Autor (2017)

El ingenio Tululá administrativamente está dividido en dos zonas; zona uno (fincas internas) y zona dos (fincas externas), dentro de las fincas de la zona dos pertenece la finca Santander donde se llevó a cabo la investigación. En el cuadro cinco se observa cómo está dividida la finca en cuanto a secciones, lotes y áreas.

Cuadro 5. Distribución del área total (ha) de finca Santander.

Secciones	Total de lotes/ sección	Área (ha)
1	12	131.59
2	16	173.05
3	21	227.13
4	15	191.55
ÁREA TOTAL		723.32

Fuente: Departamento de planificación y control (2017, pág. 98).

El área de estudio que se utilizó para la evaluación de riegos se ubica en finca Santander, sección dos como se presenta en el cuadro seis.

Cuadro 6. Distribución del área en los dos tipos de manejo de riego usando balance hídrico y comercial.

Manejo	Lote	Área (ha)
Balance Hídrico	03	07.28
	04	10.80
	05	10.11
Subtotal		28.19
Riego Comercial	09	08.80
	11	11.69
	13	06.34
Subtotal		26.83
ÁREA TOTAL		55.02

Fuente: Departamento de planificación y control (2017, pág. 99).

La optimización del riego se realizó en finca Santander, sección dos en los lotes tres, cuatro y cinco en donde se aplicó la metodología de balance hídrico y en los lotes nueve, once y trece se aplicó riego comercial.

2.7. Variedad utilizada en la investigación uso del agua.

El área de estudio tiene establecida la variedad CP 72-2086, en su sexta soca con un rendimiento promedio de 110 TON/HA.

- CP Canal Point (Florida)
- 72 año de selección
- 2086 número correlativo de selección
- Progenitores CP 62-374 X CP 63-588

2.8. Descripción del abastecimiento del recurso hídrico.

El área donde se realizó la evaluación de riego se abastece del recurso hídrico por medio de un pozo mecánico el cual tiene una profundidad promedio de 500 pies. El pozo tiene un motor marca John Deere, serie 6068 TF150 de 127 HP de 1800 rpm, así mismo posee una bomba tipo turbina vertical, marca Goulds, modelo 10DHHC de ocho etapas, capacidad de producción $Q= 1200$ GPM con 250 pies de carga dinámica total, 82% de eficiencia girando a 1770 RPM, demandando BHP = 92.4 al eje de la bomba, diámetro del tazón 9.5”.

Cuenta con un cabezal de descarga de acero negro al carbón tipo “A”, tamaño 8”x16.5”x8”, clase 175 psi; transmisión de engranajes en ángulo recto, marca Johnson, modelo H110, relación para revoluciones de entrada X salida de 1:1; un eje kardan de 36” modelo SL55.

2.9. Descripción del sistema de riego por mini aspersión.

El sistema mini aspersión en finca Santander, sección dos, comenzó a funcionar en el año 2012, con frecuencias de riego de 11 días, con tiempo de riego de 11 horas, realizando dos cambios por turno de 24 horas. Cada turno de riego contaba con tres personas (dos ayudantes y un operador). El sistema tiene 14 ramales de riego, con 16 aspersores en promedio de por ramal y regando 0.35 ha por ramal.

Se utiliza el distanciamiento de 18 metros entre laterales y 12 metros entre aspersores, con tubería de aluminio de dos pulgadas de diámetro, el sistema trabaja en promedio con 230 aspersores simultáneamente.

El aspersor utilizado es de marca Senninger 4023 el cual tiene una descarga de 4.7 galones por minuto, y trabaja con un regulador de presión 35 PSI, el cual mantiene la presión en el sistema. Este aspersor tiene una boquilla de cuatro milímetros de diámetro, color amarillo.

En el cuadro siete se presenta información técnica y climática del sistema de riego, la cual es importante para conocer el funcionamiento del mismo.

Cuadro 7. Información técnica y climática del sistema de riego.

Sistema de riego =	miniaspersión	Marco de riego (m) =	12 x 18
Entre lateral (m) =	12	Entre ramal (m) =	18
Área marco de riego (m ²) =	216	Frecuencia de riego (Días) =	11
Tiempo de riego (h) =	11	Total de ramales funcionando =	14
Marca del Aspersor =	Senninger	Altura del aspersor (m) =	1.4
Total de aspersores =	235	Color de boquilla =	amarrilla
Descarga del aspersor =	23°	Diámetro boquilla del Aspersor =	4 mm
RPM =	1600	PSI salida en turbina =	32
Ø tubería lateral (Al) =	2"	Vv (Km/h) =	7
T promedio °C =	31	Dirección del viento	Sur/Norte
% HR promedio =	53		

Fuente: Autor (2017).

En el cuadro siete se presenta información climática, siendo esta, la dirección del viento, la cual predomina de sur a norte, con una humedad relativa de 53 % y una temperatura de 31 grados centígrado.

La información técnica del sistema de riego indicó que se trabajó con un total de 235 aspersores simultáneamente, con un distanciamiento de 18 metros entre ramales y 12 metros entre aspersores, obteniendo un área de riego de 216 metros cuadrados, así mismo la turbina de salida del motor trabaja a 32 PSI, a una revolución por minuto (RPM) de 1600.

2.10. Análisis de agua utilizada para riego en el sistema de mini aspersión.

En el cuadro diez se presentan los resultados de análisis de agua con fines de riego que se realizaron en finca Santander sección dos, y analizados en el laboratorio agronómico del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, este estudio se realizó con el propósito de determinar si las aguas utilizadas para el riego por mini aspersión eran aptas para riego.

Como resultado del análisis de agua con fines de riego se obtuvo que la conductividad eléctrica fue de 0.39 dS/m. CENGICAÑA, (2017). La interpretación de los resultados del análisis de agua expresa los rangos de conductividad eléctrica aceptados, como se presenta en el cuadro ocho.

Cuadro 8. *Parámetros de interpretación de la conductividad eléctrica en análisis químico de agua.*

Conductividad Eléctrica	
dS/m	Grado de peligrosidad
< 0.7	Ninguna
0.7-3.0	Ligeramente o moderado
> 3.00	Alto

Fuente: Redondo, (2017, pág. 01).

En los resultados del análisis de agua indicaron que se tiene una conductividad eléctrica de 0.39 dS/m y comparado con la tabla de rangos que establece Redondo, (2017), no se tiene ninguna peligrosidad al usar este tipo de agua en riego para la caña de azúcar.

En el cuadro nueve se continúan presentando los resultados obtenidos del análisis de agua realizado en finca Santander, sección dos.

Cuadro 9. Análisis químico de agua con fines de riego, en finca Santander.

pH	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	Cobre	Cinc	Hierro	Manganeso	Fosforo	N-NH4	N-NO3	Carbonatos	Bicarbonatos	RAS
	ppm											meq/l		
7.8	2.2	34.2	9	19.4	0.01	0.01	0.03	0.23	1.1	ND	ND	ND	2.6	0.4

Fuente: CENGICAÑA, (2017, pág. 01).

Luego de obtener los resultados del análisis de agua por parte del laboratorio agronómico de CENGICAÑA, se compararon con restricciones que, según Redondo, (2017, pág. 01) son necesarias para determinar si es factible la utilización del agua para riego.

En el cuadro número diez se presentan las condiciones para el uso del agua de riego las cuales se van a comparar con los resultados del análisis de agua obtenido.

Cuadro 10. Niveles de interpretación para el uso de agua en riego.

	Unidades	Grado de restricción del uso.			Valores normales en agua de riego.
		Ninguno	Ligera o moderada	Alto	
pH	-----	-----	-----	-----	6-8.2
Calcio	meq/l	-----	-----	-----	0-20
Potasio	pmp	-----	-----	100	-----
Sodio	meq/l	< 3.0	> 3.0	> 9.0	-----
Magnesio	pmp	meq/l	meq/l	meq/l	0-5
Fosforo	pmp	-----	-----	-----	0-2
Bicarbonatos	meq/l	< 1.5	1.5-8.5	> 8.5	-----
	RAS meq/l	Conductividad eléctrica dS/m1			-----
RAS	0-3	> 0.7	0.7-0.2	< 0.2	-----
	3-6	> 1.2	1.2-0.3	< 0.3	-----
	6-12	> 1.9	1.9-0.5	< 0.5	-----
	12-20	> 2.9	2.9-1.3	< 1.3	-----
	20-40	> 5.0	5.0-2.9	< 2.9	-----

Fuente: Redondo, (2017, pág. 01).

Los resultados comparados con las restricciones indicaron lo siguiente: El pH se encontró en valores normales por lo cual no afectó que el agua sea peligrosa porque no existe el ion carbonato, así mismo en el cuadro diez mostró que en el análisis los componentes nitrito (N-NH₄) y nitrato (N-NO₃) no se detectaron (ND). El elemento sodio no tuvo ningún grado de restricción en el uso del agua, esto debido que tiene 0.9 meq/l lo cual está por debajo de 3.0 meq/l que establece Redondo, (2017, pág. 01).

La relación de absorción de sodio (RAS) indicó que el grado de restricción del agua del pozo utilizado para riego es ligero o moderado, esto teniendo en cuenta que se obtuvo en el análisis de agua un RAS de 0.42 y una conductividad eléctrica de 0.39.

Luego de comparar los resultados del análisis de agua con las restricciones de uso del agua para riego que establece Redondo (2017, pág. 01), en síntesis el agua del pozo de finca Santander sección dos es apta para el uso en el riego.

2.11. Antecedentes sobre investigaciones del balance hídrico en el cultivo de caña.

Thornthwaite y Mather, (1966, pág. 104), consideran que la esencia del balance hídrico es un equilibrio entre lo que penetra al suelo, como resultado de la precipitación y lo que sale en forma de evaporación y transpiración. Así mismo Baldión, (1985, pág. 86), define el balance hídrico como la utilización de los datos reales de precipitación y de información climatológica, para el cálculo de las necesidades de agua en los cultivos.

Santos Pérez (2014, pág. 16), investigó el balance hídrico, en el cultivo de la caña de azúcar, en época lluviosa en la región del litoral, en la zona seis del ingenio Madre Tierra. La investigación en la zona de producción seis del ingenio Madre Tierra (MT) atiende a la problemática registrada en el año 2012, por las bajas en los rendimientos de TCH (Toneladas de caña por hectárea) que repercutieron a nivel de planta de procesamiento, de lo cual se aduce que fue resultado de la falta de aplicación de riego en época lluviosa, como lo reporta CENGICAÑA (2012, pág. 205), el año 2012 fue un año con episodio ENSO (NIÑO) lo que propició una disminución del aporte de agua pluvial. La investigación ha contribuido en la implementación de un modelo de Balance Hídrico Espacio – Temporal basado en el uso de Sistema de Información Geográfica (SIG), con una visión y enfoque del uso adecuado del recurso hídrico para fines de riego que a direccionado la aplicación de riego hacia áreas concretas durante el período de época lluviosa del año 2013.

El balance hídrico direccionó la aplicación de riego en áreas concretas y contribuyó en la toma de decisiones gerenciales que llevaron a la anticipación y preparación de equipos necesarios para riego reduciendo de esta manera las pérdidas en TCH.

III. OBJETIVOS

3.1.1. General.

- Comparar los efectos del uso del agua en riegos, cuando se aplica el criterio del balance hídrico o el riego convencional, utilizando el sistema de mini aspersión, en el cultivo de *saccharum officinarum* L., Caña de Azúcar, finca Santander, sección dos

3.1.2. Especifico.

- Medir los impactos en las variables del rendimiento (número de tallos, longitud y diámetro del tallo) cuando se aplica riego planificado mediante el criterio del Balance Hídrico y riego convencional.
- Determinar las producciones en toneladas métricas por hectárea de *S. officinarum* en los dos usos del agua de riego aplicados.
- Hacer un análisis de costos, derivados de la aplicación de los dos usos del agua riego, estimando el costo beneficio y la rentabilidad de ambos.

IV. HIPÓTESIS

La aplicación del criterio del balance hídrico en los sistemas de irrigación de la caña, puede hacer un uso más eficiente del agua y tendrá beneficios económicos.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. MATERIALES UTILIZADOS.

La investigación se llevó a cabo en finca Santander, sección dos y se utilizaron los siguientes recursos.

- Un cilindro de hierro para medir infiltración.
- Un martillo.
- Una regla de madera 3" * 2" * 5".
- Una regla graduada (mm).
- Un nylon (2m²).
- Una libreta de campo.
- Una motocicleta.
- Un vernier.
- Una cinta métrica (25 m).
- Un cronómetro.
- Cuarenta y ocho pluviómetros (altura recomendada, el doble a la lámina a recoger).
- Dos depósitos de volumen conocido 20 lts (canecas).
- Una manguera plástica flexible (2" Ø).
- Dos probetas graduadas (ml) de 1 y 5 lts.
- Un anemómetro.
- 2 manómetros con tubo pitot acoplado.
- Un machete.
- Un lapicero.
- Un barreno helicoidal.
- 1 mapa de la finca.
- Cincuenta etiquetas.
- Cincuenta bolsas de nylon de 5 lb.

- Un horno.
- Una pesa.
- Una espátula.
- Una computadora.
- Doscientos treinta aspersores Senninger 4023.
- Tubería de aluminio 2" de diámetro.
- Una bomba y motor de riego.
- Un GPS. (Sistema de Posicionamiento Global)

5.2. METODOLOGÍA.

5.2.1. Cálculo de la infiltración básica del suelo por el método de doble cilindro.

Para realizar la prueba de infiltración fue necesario tener en cuenta las siguientes características y así obtener datos más precisos, entre las cuales se mencionan:

Se seleccionó un lugar representativo, sin grietas en el suelo, superficie plana, que no existan nidos de animales y limpiar el área, sin dañar las condiciones iniciales del suelo.

Después que se determinaron las características anteriormente indicadas, se procedió a colocar el doble cilindro, para lo cual se utilizó una regla de madera y un martillo, el cilindro se profundizó 15 centímetros, se colocó a nivel para disminuir el error al momento de obtener los datos de infiltración.

Se llevó agua al lugar de la prueba, esto con el objetivo de no carecer de agua durante la prueba. Luego de instalar el doble cilindro se colocó una regla graduada en milímetros en la parte interior del cilindro central, el cual también se impermeabilizó con

la ayuda de un nylon, inmediatamente se procedió a llenar el cilindro de agua a $\frac{3}{4}$ de la altura, se tuvo el cuidado que el agua no cayera golpeando el suelo.

De inmediato se dio inicio a la prueba de infiltración, las lecturas fueron elegidas en intervalos de minutos que van desde, $\frac{1}{2}$, 1, 3, 5, 10, 20, 30 y 60 minutos. La infiltración terminó al momento que se estabilizaron las lecturas y eran iguales.

Para el análisis de la información, se utilizó el modelo matemático de Kostiakov Lewis según (Illescas, 2002, pág. 38-52) y así poder calcular la infiltración básica del suelo. En la figura cuatro se muestran los materiales utilizados para realizar la prueba de infiltración básica.



Figura 4. Realización de la prueba de infiltración por el método de doble cilindro, A: materiales utilizados. B: nivelación del doble cilindro. C: obtención de la lectura de infiltración.

Fuente: Autor (2017).

5.2.2. Descripción de los usos de agua.

5.2.2.1. Riego convencional.

En el uso de agua para riego se utilizó el riego convencional el cual consistía aplicar riego con una frecuencia de 11 días, por un tiempo de 11 horas. Aplicando en 4.7 galones por minuto, logrando una lámina bruta de 51.7 mm/turno.

5.2.2.2. Riego con balance hídrico.

El riego con balance hídrico se aplicaron cinco riegos post-corte con una lámina bruta de 168 mm, con un tiempo de riego de siete horas por una frecuencia de ocho días. Además se aplicaron tres riegos pre-corte con una lámina bruta de 90 mm, con un tiempo de 6 horas por una frecuencia de ocho días.

5.2.3. Evaluación del sistema de riego por mini aspersión.

Para realizar la evaluación del sistema de riego por mini aspersión se determinó el área más representativa del sistema, teniendo en cuenta que la evaluación se realizó en los aspersores que representaron el 75 % del total de aspersores del ramal.

Se realizaron mediciones antes de iniciar la evaluación de pluviometría las cuales fueron:

- Distancia entre laterales.
- Distancia entre aspersor.
- Altura de la porta-aspersor.
- Distancia de la ubicación de pluviómetros.

- Diámetro de boquillas.

5.2.4. Disposición de los aspersores.

El marco de riego fue de 12 m * 18 m, lo cual significa la distancia que existió entre dos laterales y entre dos aspersores continuos.

En la figura número cinco muestra el marco de riego utilizado en el sistema por mini aspersión, el cual fue de doce metros entre aspersores por dieciocho metros entre ramales. Además, cabe mencionar que se describe gráficamente, donde se ubicaron los pluviómetros en el ramal, teniendo en cuenta que se realizó la prueba en un área representativa del ramal, siendo esta al 75 % de los aspersores.

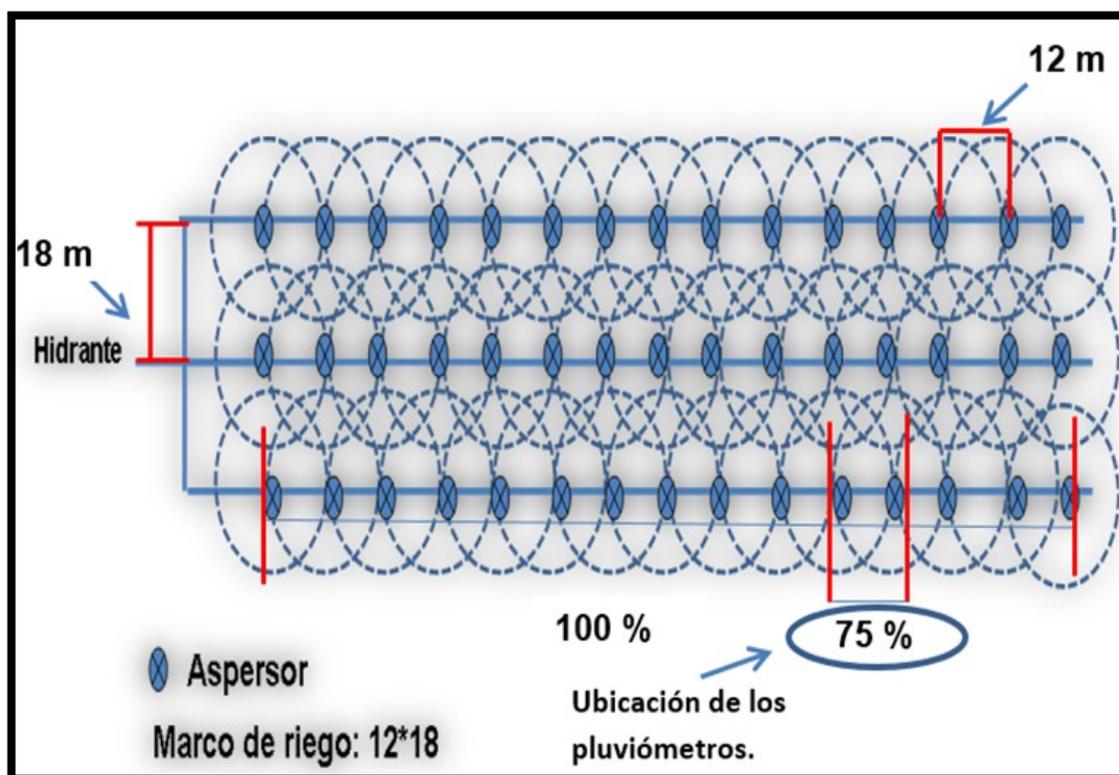


Figura 5. Marco de riego, distribución de agua por los aspersores y ubicación de los pluviómetros al 75 % de los aspersores en el ramal.

Fuente: CENGICAÑA, (2017, pág. 18).

5.2.5. Procedimiento.

Se realizó la medición de pluviometría dentro del área de cobertura de dos aspersores, en la figura seis se muestra la disposición de los aspersores y los pluviómetros durante la medición.

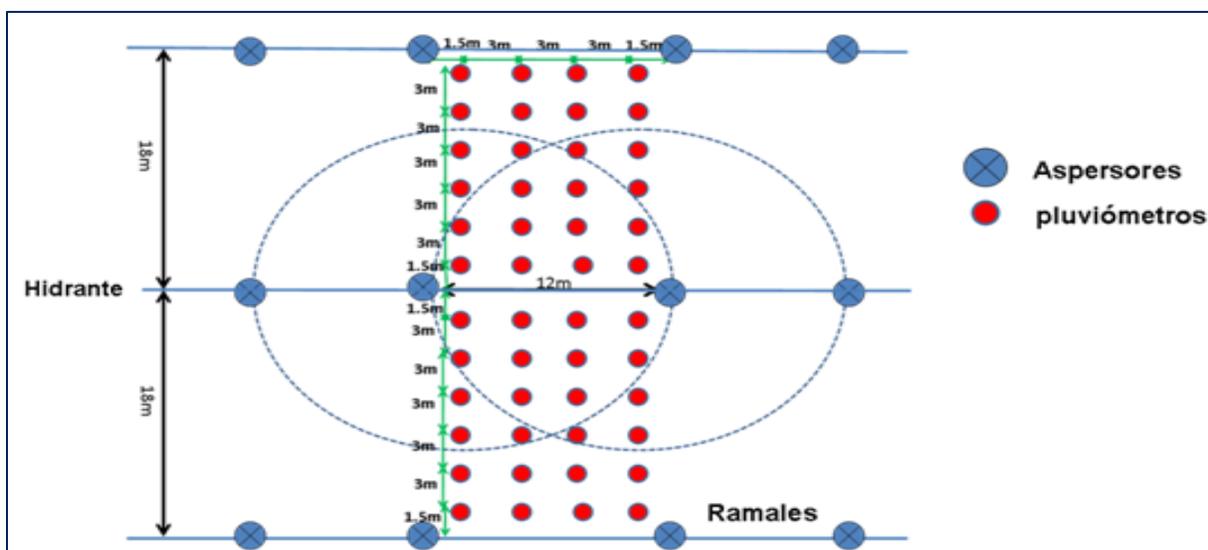


Figura 6. Distribución de pluviómetros, en campo al momento de realizar la evaluación.
Fuente: CENGICAÑA, (2017, pág. 18).

En la figura seis se mostró la disposición de los pluviómetros al momento de realizar la evaluación de riego, el total de pluviómetros utilizados fue de cuarenta y ocho, estos divididos veinticuatro pluviómetros de un lado del ramal y veinticuatro del otro lado del ramal, el marco de evaluación de riego fue de tres metros entre pluviómetro (3x3).

En la figura siete se muestra la cuadrícula que debe formar la disposición de los pluviómetros al momento de realizar la evaluación.

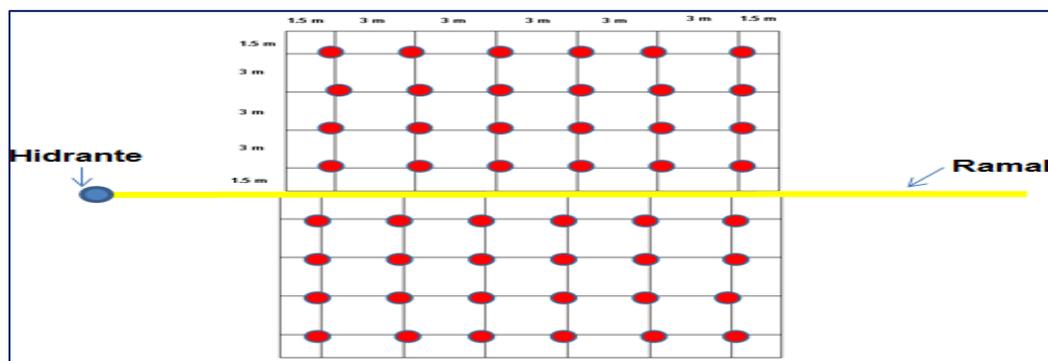


Figura 7. Distribución de los pluviómetros (cuadrícula) al momento de realizar la evaluación de riego.

Fuente: CENGICAÑA, (2017, pág. 17).

Como se muestra en la figura siete la distancia entre el aspersor y el primer pluviómetro fue de 1.5 metros, luego se ubicaron los pluviómetros a cada tres metros formando un marco de evaluación de 3 m x 3 m entre pluviómetros.

5.2.6. Mediciones durante la evaluación de riego:

Luego que dio inicio la evaluación del sistema de riego por mini aspersion se realizaron las siguientes mediciones:

- Presión de los aspersores evaluados, con la ayuda de un manómetro con pitot.
- Velocidad de viento al inicio de la evaluación, a los sesenta minutos de haber iniciado la evaluación y antes que finalice la evaluación, utilizando un anemómetro.
- Presión del primer y último aspersor del ramal evaluado.
- El tiempo de la evaluación, fue de dos horas y se midió con un cronometro.
 - El caudal de los aspersores evaluados se midió con la ayuda de una probeta graduada en milímetros, una caneca y una manguera plástica de dos pulgadas de diámetro.

5.2.7. Aforo de los aspersores evaluados:

Se aforaron los aspersores evaluados con la ayuda de una manguera plástica, la cual se colocó en la boquilla del aspersor, el agua que circulaba por la manguera se recolectó en una caneca de veinte litros, en un tiempo de sesenta segundos. El agua de la caneca se midió con una probeta para conocer el volumen de agua recolectado y posteriormente conocer el caudal.

El caudal se determinó de la siguiente manera:

$$Q = V / T$$

Dónde:

Q=caudal (gal/Min)

V=volumen (Gal)

T=tiempo (min)

En la figura número ocho se muestra cómo se realizó el aforo de los aspersores evaluados, utilizando una manguera y un recipiente (caneca), durante un tiempo establecido.



Figura 8. Captación del agua de un aspersor con la ayuda de una manguera, hacia una caneca, como parte del aforo.

Fuente: Autor (2017).

Se aforaron los aspersores evaluados por tres veces para obtener un dato de caudal más preciso, ya que a mayor número de repeticiones se aumenta la precisión.

5.2.8. Mediciones después de la evaluación de riego.

- Medición de pluviometría
- Movimiento de pluviómetros.

Los pluviómetros permanecieron un tiempo de dos horas. Posteriormente haciendo uso de una probeta graduada se midió la cantidad de agua que recibió el pluviómetro en el tiempo de la evaluación.

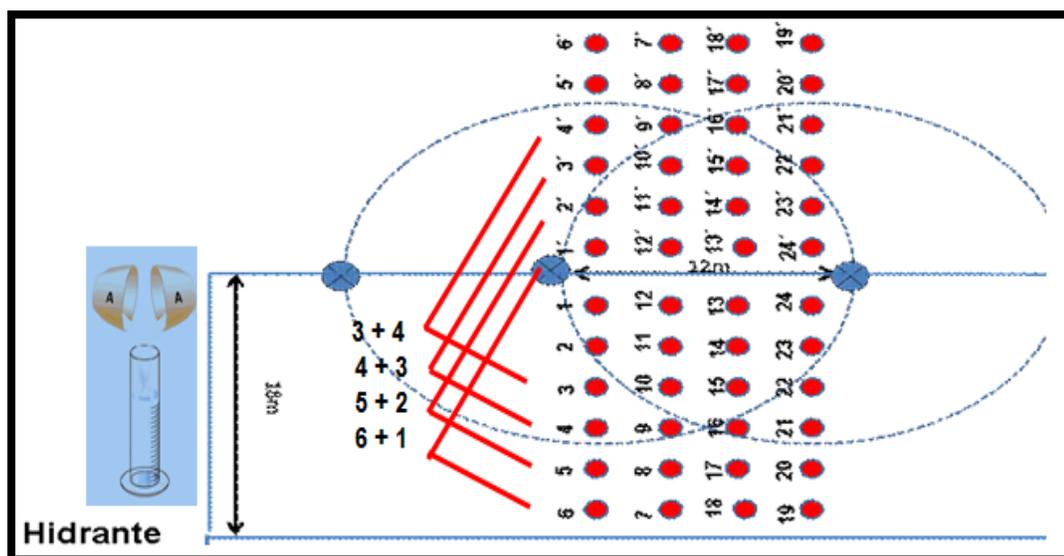


Figura 9. Recolección de agua (mm) por cada pluviómetro, después de dos horas de iniciada la evaluación del riego.

Fuente: CENGICAÑA, (2017, pág. 18).

Para realizar la medición del agua recolectada por cada pluviómetro, se utilizó una probeta graduada y se midió el agua de cada pluviómetro. Posteriormente se sumó toda la cantidad de agua recolectada por el pluviómetro de una misma área y así se conoció la lámina de agua total aplicada. Es decir (1 se sumó con su traslape que es 6', 2 con 5', 3 con 4'... sucesivamente.), en la figura nueve se muestra gráficamente.

5.2.9. Análisis de los datos de la evaluación de riego.

Determinación de láminas: para determinar la lámina fue necesario conocer el diámetro de los pluviómetros. Luego se midió el volumen recolectado de los pluviómetros en ml, se determinó la lámina de riego aplicada de la siguiente manera:

$$L = (V / A) * 10$$

Dónde:

L= lámina (mm).

V= volumen del pluviómetro (ml).

A= Área de la boca del pluviómetro (cm²).

5.2.10. Determinación de uniformidad de aspersores.

Para determinar el coeficiente de uniformidad se utilizó la ecuación de Christiansen. El coeficiente de uniformidad es afectado por el tamaño de boquilla, presión del aspersor, el espaciamiento entre laterales, distancia entre aspersores y velocidad del viento. Se basa en una medición de pluviometría dentro de un área cubierta por aspersores, en la figura diez se muestra cómo se obtiene el coeficiente de uniformidad de Christiansen.

$$C_u = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - M|}{M \cdot n} \right)$$

Figura 10. Coeficiente de uniformidad Christiansen.

Fuente: CENGICAÑA, (2017, pág. 04).

Dónde:

X₁= lámina en cada pluviómetro (mm).

n= número de pluviómetros.

M= media de lámina de los pluviómetros.

5.2.11. Determinación de la eficiencia de almacenamiento.

Para determinar la eficiencia de almacenamiento se utilizó la siguiente fórmula.

$$E_{al} = (\sum L_{cmin} / L_{nr}) * 100$$

Dónde:

E_{al} = eficiencia de almacenamiento

L_{cmin} = Sumatoria de la lámina de cada pluviómetro, del 25 por ciento mínimo.

L_{nr} = Lámina neta requerida.

5.2.12. Determinación de la eficiencia de aplicación.

Para determinar la eficiencia de aplicación se utilizó la siguiente fórmula.

$$E_{ap} = (\sum L_{cmin} / L_{br}) * 100$$

Dónde:

E_{ap} = eficiencia de aplicación

L_{cmin} = Sumatoria de la lámina de cada pluviómetro, del 25 por ciento mínimo.

L_{br} = Lámina bruta requerida.

5.2.13. Mediciones adicionales.

- a) Presión en la turbina de salida (PSI).
- b) Temperatura (grados centígrados).
- c) Humedad relativa (%).
- d) Velocidad del viento (km/h).

Para medir la presión de la turbina se utilizó un manómetro de 200 PSI y para medir la temperatura, humedad relativa y velocidad del viento se utilizó un anemómetro como se muestra en la figura número once.



Figura 11. Anemómetro marca AMTAST utilizado para medir el viento (km/h), temperatura (°C), humedad relativa (%), en la evaluación de riego.

Fuente: Autor (2017).

5.2.14. Obtención de muestras de agua para análisis de riego.

La fuente que utiliza finca Santander, sección dos para regar en el sistema de riego por mini aspersion es un pozo mecánico, por lo cual fue necesario realizar un muestreo de aguas de riego para determinar si influyen las características químicas del agua en el manejo del cultivo de caña de azúcar.

Las muestras de agua fueron recolectadas de la siguiente manera:

- Se utilizó un envase plástico nuevo con volumen de un galón.
- La muestra se obtuvo después del cabezal de descarga en la llave de bola la cual se utiliza para lavado.
- Se abrió la llave de bola y se dejó correr el agua por tres minutos ya que en la salida de la llave sufre corrosión.
- Posteriormente se llenó de agua el recipiente plástico se agitó y se vació por tres veces, luego a la cuarta vez se obtuvo la muestra de agua llenando completamente el recipiente plástico, se colocó la tapadera para no permitir la entrada de algún contaminante.

- Se rotuló el envase, con el nombre de la finca, sección, sistema de riego, ingenio, localización (departamento y municipio), fuente de provisión (pozo), fecha y tipo de análisis, luego fueron trasladadas al laboratorio agronómico de CENGICAÑA.

5.2.15. Muestreo de suelos con fines de riego por el método gravimétrico.

El contenido de humedad del suelo es un parámetro que sirvió de indicador para tomar la decisión de cuándo y cuánto regar, así mismo determinar cómo se comportó la humedad del suelo después de cada riego. El contenido de humedad de los suelos de la sección dos de finca Santander se midió utilizando el método gravimétrico que es un método directo.

Los muestreos de humedad por el método gravimétrico se realizaron de la siguiente manera.

- Cada muestreo se realizó treinta y seis horas antes y después de aplicar riego con el objetivo que el suelo este a capacidad de campo esto para el caso de riego comercial que tiene frecuencia fija y tiempo de riego fijo (lamina fija), para el caso del riego con balance hídrico que el tiempo de riego es variable (lamina fija), solo se siguió el criterio de treinta y seis horas para que el suelo este a capacidad de campo.

- Para determinar un punto a muestrear se eligieron las horas de riego.

- Ejemplo para el caso de riego comercial, once horas de riego multiplicadas por tres posiciones dieron como resultado treinta y tres horas, cada posición esta distanciada a dieciocho metros lo cual es igual a cincuenta y cuatro metros, más nueve metros, para que el muestreo no se realice donde estuvo el ramal lo cual equivale a un total de sesenta y tres metros o treinta y seis surcos de (1.75 m). revisar figura número doce.

- Luego de estar ubicados a 63 m se ingresó 60 m dentro del lote en forma vertical, como lo muestra la figura doce.

En la figura doce con título localización y forma de muestreo de suelos para definir profundidad de la humedad, se presenta un croquis de campo que indica cómo se obtuvieron las muestras de suelo.

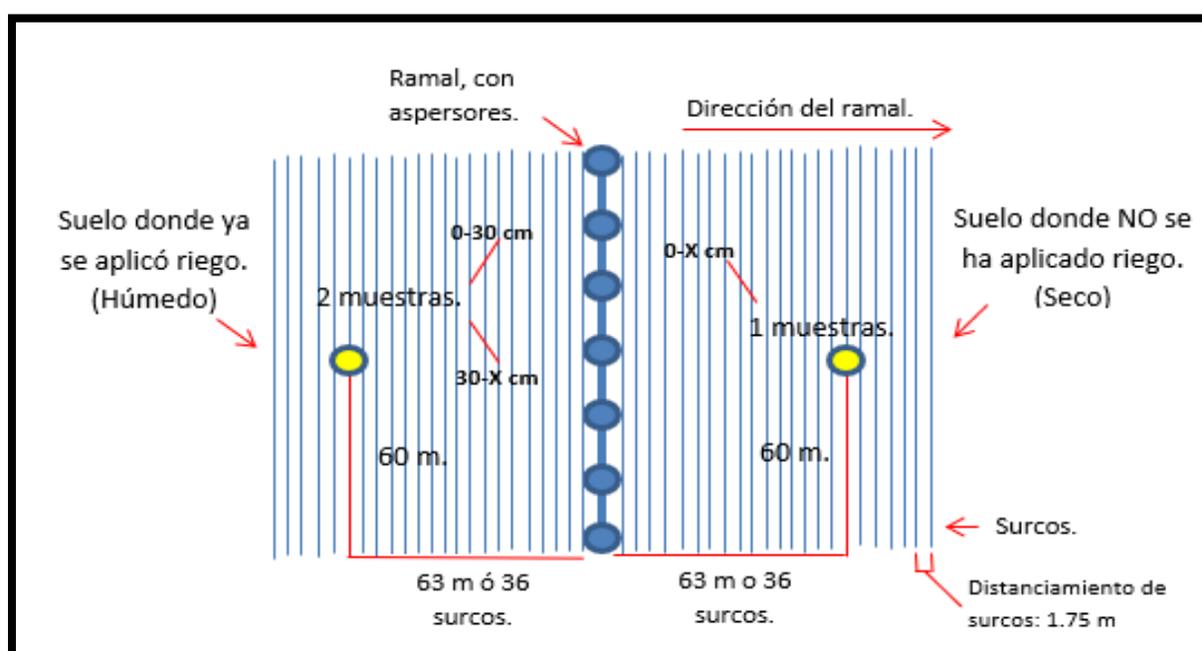


Figura 12. Localización y forma de muestreo de suelos para definir profundidad de la humedad.

Fuente: Autor (2017).

- En cada punto de muestreo se obtuvieron tres muestras; dos muestras de suelo donde ya se aplicó riego (1er muestra de 0-30 cm de profundidad y la 2da. Muestra < 30-60 cm de profundidad) esto por los tipos de estratos de suelo que se tienen, y la tercera muestra donde no se ha aplicado riego de 0-30 cm de profundidad.
- Las muestras se obtuvieron introduciendo el barreno helicoidal al suelo, girando el mismo en el sentido de las agujas del reloj, posteriormente se sacó el barreno

y el suelo que tenía el barreno se colocó en una bolsa plástica de 1 libra, la cantidad de suelo en la bolsa plástica puede variar entre 200-300 gramos, se etiquetaron las bolsas plásticas con la ayuda de una etiqueta en papel bond.

- Al momento de colocar el suelo en la bolsa plástica, se tuvo precaución de no tocarlo con las manos, ya que alteraría el contenido de humedad. Se trasladaron las muestras de suelo al laboratorio del departamento de Agronomía, del Ingenio Tuluá.
- Después que las muestras estuvieran en el laboratorio de suelos, se pesaron 100 gramos de suelo, los cuales se colocaron en un recipiente de metal.
- Las muestras se colocaron al horno a 105 grados centígrados por 16 horas, posteriormente se pesó el suelo para obtener el peso de suelo seco.



Figura 13. Procedimiento para la obtención de la humedad del suelo por el método gravimétrico, A: Utilización de barreno helicoidal. B: Obtención de muestra de suelo. C: Muestra de suelo colocada en bolsas de nylon, se etiquetan y trasladadas a laboratorio. D: Se pesan las muestras de suelo. E: Se colocan en bandejas y se introducen al horno.

Fuente: Autor (2017).

Para calcular la lámina en milímetros de agua que tiene el suelo a partir de las muestras de suelo se hizo con el siguiente procedimiento.

Fórmulas para calcular la lámina a partir de la humedad del suelo:

- **Humedad gravimétrica.**

$$Hg = ((Psh - Pss)/Pss) * 100$$

Dónde:

Hg: humedad gravimétrica.

Psh: peso de suelo húmedo (%).

Pss: peso de suelo seco (%).

- **Humedad volumétrica.**

$$Hv = ((Psh - Pss)/Pss) * Dap * 100$$

Dónde:

Hv: humedad volumétrica.

Psh: peso de suelo húmedo (%).

Pss: peso de suelo seco (%).

Dap: Densidad aparente (gr/ml)

- **Lámina actual (mm).**

$$Lw = W * Dap * Lt$$

Dónde:

Lw: lámina actual.

W: humedad gravimétrica.

Dap: densidad aparente.

Lt: profundidad del perfil (mm).

5.2.16. Uso de la aplicación CENGIRIEGOS en balance hídrico.

La investigación que se realizó en finca Santander sección dos del ingenio Tululá, se comparó el manejo de riego aplicando dos formas de operación; balance hídrico en los lotes 03, 04 y 05 y riego comercial o tradicional en los lotes 09, 11 y 13.

En finca Santander el riego comercial se manejó con una frecuencia de 11 días y con un tiempo de riego de 11 horas. El manejo de operación con balance hídrico en el sistema de riego por mini aspersion se trabajó con el software de CENGIRIEGOS elaborado por CENGICAÑA la cual es una herramienta web, que fue elaborada para optimizar el uso del agua con fines de riego, tiene capacidad de análisis a nivel de lote, cuyo código esta georreferenciado y se encuentra registrado en la base de datos de productividad de CENGICAÑA. La base de datos fue elaborada como parte de la investigación al momento de tener validado el tema de evaluación, esta fue creada con información de suelo, tipo de riego, número de lotes e información del cultivo.

5.2.17. Información requerida por CENGICAÑA para elaborar la base de datos utilizada en CENGIRIEGOS.

Según CENGICAÑA (2017, pág. 18), la información que requiere CENGIRIEGOS para poder llevar el balance hídrico es la siguiente:

1. Lote: Número de lote donde se está aplicando balance hídrico
2. Cogido del sistema de riego: Este cogido ya está establecido por CENGICAÑA y se selecciona el apartado de mini-aspersion (mediana presión)
3. Variedad: CP-72 2086
4. Código del ingenio: 08
5. Código del equipo de riego: 62119
6. Cortes del cultivo (soca): 6
7. Déficit permitido: 0.6

8. Eficiencia de riego: 0.72
9. Lámina inicial (mm): 40
10. Fecha de siembra (dd-mm-yyyy): 31/12/12
11. Fecha próximo corte (dd-mm-yyyy) 10/01/18
12. Duración iniciación (días): 45
13. Kc iniciación: 0.3
14. Profundidad radicular iniciación (cm): 40
15. Duración macollamiento (días):90
16. Kc macollamiento: 0.6
17. Profundidad radicular macollamiento (cm): 60
18. Duración elongación I (días): 115
19. Kc elongación I: 0.9
20. Profundidad radicular elongación I (cm): 60
21. Duración elongación II (días): 65
22. Kc elongación II: 0.9
23. Profundidad radicular elongación II (cm): 60
24. Duración maduración (días): 45
25. Kc maduración: 0.9
26. Profundidad radicular maduración (cm): 60
27. Código pluviómetro: Santander 04
28. Administración (No. Zona): 2
29. Área de riego (ha): 83.21

Durante la ejecución de la investigación se llevaron registros de lluvia (mm) del pluviómetro de referencia para la sección, la lámina aplicada por riego (mm), así como también, el registro de la humedad en el suelo (método gravimétrico), este registro fue importante realizarlo, ya que se generó información in-situ de la humedad del suelo después del riego y en época lluviosa.

Después de obtener los datos que se indicó en el párrafo anterior se ingresaban al programa CENGIRIEGOS el cual generaba una gráfica de cómo se comportaba la

humedad del suelo, delimitada en la parte superior por capacidad de campo (CC) y en la parte inferior por el punto de marchites permanente (PMP), como se presenta en la figura catorce.

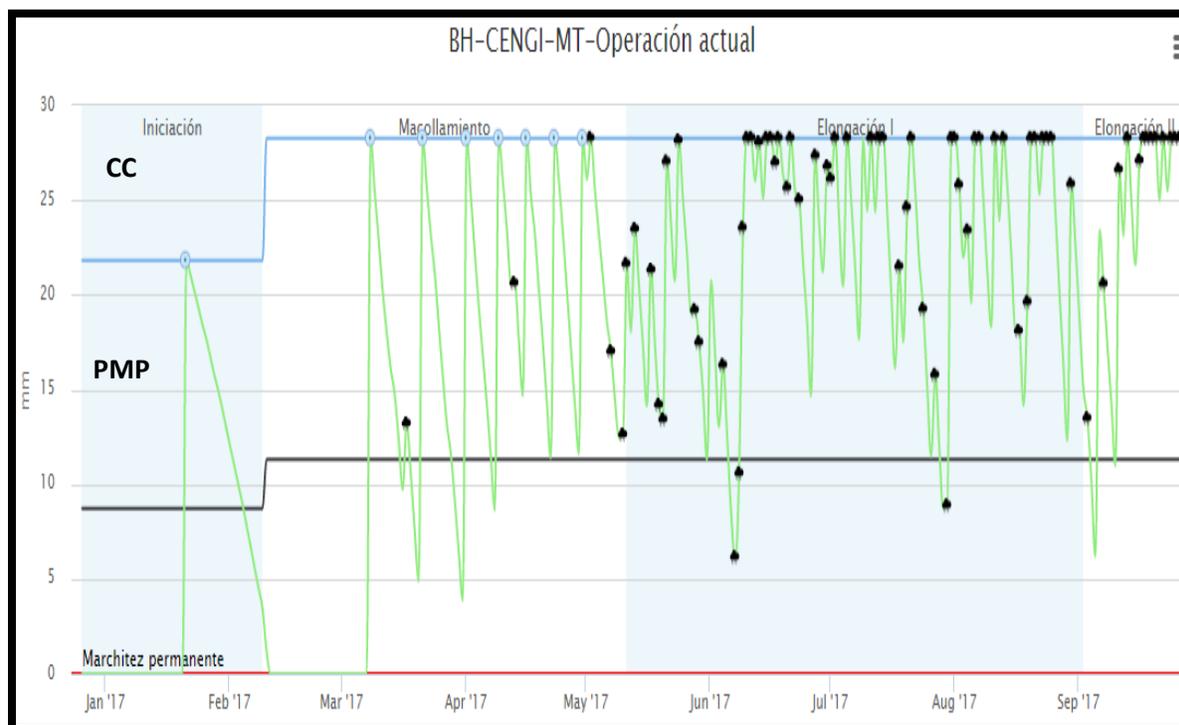


Figura 14. Registro del comportamiento de la humedad según el programa CENGIRIEGOS, en época de riego y en época de lluvia para la operación del sistema de riego por balance hídrico.

Fuente: Autor (2017).

La figura catorce indica cómo el programa CENGIRIEGOS grafica el comportamiento de la humedad en el suelo (línea verde) con base a las entradas de agua por riego (mm) y lluvia (mm) y las salidas por la evapotranspiración, esta gráfica está delimitada por una línea superior que es capacidad de campo (CC), una línea media que es déficit permitido de manejo (DPM) y una línea inferior que representa el punto de marchitez permanente (PMP).

Los puntos color celeste que se observan en la figura forman parte de los riegos aplicados durante la evaluación de los tipos de operación y las nubes color negro representa las lluvias (precipitación) que se dio en el área evaluada, así mismo se divide por colores blanco y celeste las etapas fenológicas de la caña de azúcar para tener en cuenta en qué etapa se aplicó riego al momento de observar la gráfica.

Con base a la ubicación de los lotes evaluados se registraron las variables climáticas: Radiación global (Rg), temperatura (T°C), humedad relativa (HR %) y velocidad del viento (Km/h) de la estación meteorológica ubicada en finca Xoluta, la cual pertenece al Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC), quienes trabajan en conjunto con CENGICAÑA, para hacer funcionar el programa CENGIRIEGOS.

Además, se llevó el registró de precipitación en milímetros de lluvia a nivel de finca, el cual se ingresó por aparte al programa ya que fueron datos únicos de la finca y así se monitoreó la humedad de suelo en la época lluviosa.

Como fase de gabinete, se realizaron cálculos para determinar las necesidades reales del cultivo de la caña de azúcar.

Lámina de agua rápidamente aprovechable.

$$LARA = \frac{(CC \% - PMP \%)}{100} * Da * h * DPM$$

Donde:

CC = Capacidad de campo

PMP = Punto de marchitez permanente

Da = Densidad aparente

h = Altura (mm)

DPM = Déficit permitido de manejo

Lámina bruta.

$$Lb = L_n / E_f$$

Donde:

L_n = Lámina neta

E_f = eficiencia.

Tiempo de riego.

$$T_r = L_b / Q$$

Donde:

L_b = lámina bruta

Q = caudal

Frecuencia de riego

$$F_r = LARA / ET_m$$

Donde:

LARA = Lámina de agua rápidamente aprovechable

ET_m = evapotranspiración máxima.

5.2.18. Variables del uso del agua en función del cultivo.**5.2.18.1. Rendimiento de caña (tm/ha).**

Para lograr determinar la variable de respuesta no se tuvo inconvenientes ya que las comparaciones de los tipos de operación de riego se establecieron en lotes completos, debido a que el departamento de cosecha del ingenio Tululá tiene definido cosechar de esa manera, lo cual facilitó la obtención de resultados. El tipo de cosecha que se realiza en el área donde se llevó a cabo la evaluación es el corte mecanizado.

5.2.18.2. Altura del tallo (m).

Para lograr determinar las variables biométricas se establecieron puntos de muestreo, los cuales fueron cuarenta, divididos veinte por tipo de operación de riego. Los puntos de muestreo tuvieron cinco metros lineales y fueron delimitados con estacas y cintas de nylon color azul, los cuales fueron distribuidos y se georreferenciaron para futuras mediciones como se muestra en la figura veintiocho de anexos. Por cada punto de muestreo se eligieron cinco tallos a los cuales se les midió altura (m), diámetro (mm) y número de entrenudo, por cuatro veces (biometrías) a los 121, 156, 248 y 379 días después del corte (DDC).

Para esta variable altura se iniciaron las mediciones en los cuarenta puntos de muestreos establecidos; se midió la altura a las cinco plantas que se marcaron con nylon color azul. La altura se midió a partir de los 121 días después del corte, utilizando una cinta métrica como se observa en la figura quince.

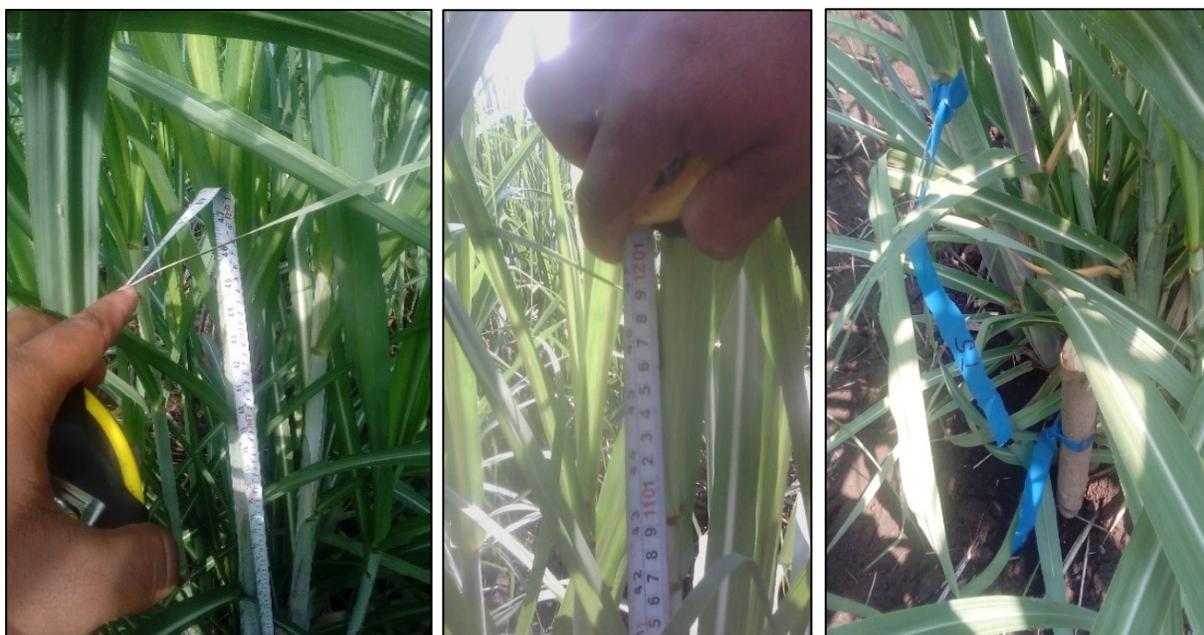


Figura 15. Forma de medir en campo la altura (cinta métrica) desde la superficie del suelo hasta el último entrenudo del tallo de caña de azúcar.

Fuente: Autor (2017).

5.2.18.3. Diámetro del tallo (mm).

El diámetro del tallo se midió con la ayuda de un vernier, a la longitud media del tallo, en los días después de la cosecha ya mencionados, para el diámetro del tallo se midieron los cinco tallos seleccionados en cada punto de muestreo. En la figura dieciséis se observa cómo se realizó la medición en campo.



Figura 16. *Forma de medir en campo el diámetro (vernier), a la altura media del tallo de la caña de azúcar.*

Fuente: Autor (2017).

5.2.18.4. Número de entrenudos del tallo.

Para esta variable se realizó un conteo de todos los entrenudos de los cinco tallos seleccionados por punto de muestreo. En la figura diecisiete se observa cómo se realizó el conteo en campo.



Figura 17. *Conteo número de entrenudos.*
Fuente: Autor (2017).

5.2.19. Análisis estadístico de las variables del uso de agua.

Se realizó una prueba de t Student al 5% de confianza para las variables de respuesta primaria y secundaria y así determinar estadísticamente si los tipos de operación de riego tienen diferencia significativa.

5.2.20. Análisis beneficio costo de la optimización en el uso del agua.

Se realizó un análisis económico para determinar cuál es el tipo de operación en el sistema de riego por mini aspersión más rentable, en donde los costos incurridos por hectárea fueron de las siguientes labores: 1. Subsuelo soca. 2. Fertilización mecánica soca. 3. Post-emergente. 4. Resiembra soca. 5. Control de plagas. 6. Arranque de malezas manual. 7. Aplicación de cierre. 8. Rondeo químico. 9. Aplicación de madurante.

Para la obtención de la rentabilidad se utilizaron las siguientes formulas:

Ingreso total = Producción (ton/ha) * valor comercial (Q/ton).

Egreso total = Costo de producción + costo de tipo de operación de riego.

Utilidad total = Ingreso total – egreso total

Rentabilidad = (Utilidad total / costo total) * 100

Además, se calculó la relación beneficio costo, en donde los beneficios fueron adquiridos de la producción (ton/ha).

Ingreso total = Producción (ton/ha) * valor comercial (Q/ton)

Egreso total = Costo de producción + costo de tipo de operación de riego.

Relación beneficio/costo = Ingreso total / egreso total

5.2.21. Manejo del uso del agua.

5.2.21.1. Distribución de tubería.

Se distribuyeron los ramales de riego en los lotes a evaluar posteriormente se instaló la tubería de aluminio del sistema de riego, el cual comenzó a funcionar. En la figura dieciocho se muestran cómo se realizó la labor en campo.



Figura 18. Distribución de tubería de aluminio del sistema de riego por mini aspersión.

Fuente: Autor (2017).

5.2.21.2. Registro de caudal por medio de un caudalímetro.

El registro de los datos del caudal se llevó en hojas tamaño carta bond, con formato, como se muestra en la figura treinta de anexos. Las lecturas de caudal se fueron llevando cada vez que se hacía un cambio de posición del ramal, en el sistema de riego, estas lecturas se obtuvieron del caudalímetro digital marca Seametrics.

5.2.21.3. Monitoreo del programa CENGIRIEGOS.

Se monitoreó con el programa CENGIRIEGOS cada vez que se había aplicado un riego para conocer cómo se comportaba la humedad en el suelo y así corroborar si la humedad estaba a capacidad de campo o había abatimiento de esta, también se monitoreó en época de lluvia para saber cómo se comportaba la humedad del suelo.

5.2.21.4. Muestreo de humedad con fines de riego por el método gravimétrico.

Los muestreos de humedad se realizaron con el objetivo de conocer in-situ la humedad del suelo, así mismo también se hicieron muestreos en el suelo con la ayuda de un barreno helicoidal, para determinar si la profundidad de la humedad era la adecuada (40 cm), se optó por este parámetro, ya que representa la profundidad promedio de las raíces con la variedad CP 72-2086.

5.2.21.5. Medición de presión de los aspersores.

Las mediciones de presión se hicieron con la ayuda de un manómetro, obteniendo lecturas en PSI del primer aspersor y ultimo aspersor de cada ramal y así se determinó si el sistema estaba trabajando con la presión necesaria, lo cual garantizaba una aplicación de una lámina de riego homogénea.

5.2.22. Manejo agronómico del cultivo de la caña de azúcar.

Es importante mencionar que el manejo agronómico fue el mismo para el riego con balance hídrico y para el riego comercial o tradicional, teniendo como referencia el manejo para caña de azúcar en soca.

5.2.23. Control de malezas.

Para el control de malezas se realizó la aplicación de post-emergente a los 90 días después del corte. En la aplicación y rondeo de lotes se utilizaron los siguientes herbicidas como se muestra en el cuadro número once.

Cuadro 11. Características de los herbicidas agrupados por uso.

Uso	Nombre comercial	Composición química	Dosis L/ha
Pos-emergente	Kronex 80 SC	3-(3,4-dichlorophenyl), -1, dimethylurea.	1.5
	Terbutrina 50 SC	N ² -tert-butyl-N ⁴ -ethyl-6 methylthio-1,3,5-triazine-2,4-diamine (50%).	3.25
	Alión 50 SC	N-[(1R,2S)-2,3-dihidro-2,6-dimetil-1H-inden-1-il]-6-[(1RS)-1-fluoroetil]-1,3,5-triazina-2,4	0.15
	Elimina 72 SL	2,4-dichlorophanoxy acetic acid. (2,4-D).	2
Rondeo químico	Glifosato Alemán 35,6 SL	N-(fosfonometil) glicina-isopropilamina (1:1)	2
	Trifol Plus	Adherente	0.15

Fuente: Autor (2017).

5.2.24. Fertilización.

La fertilización se realizó con base al programa de fertilización de la zona dos del ingenio, esta labor se encamina a adicionar al suelo los elementos que el cultivo de la caña de azúcar extrae. La fertilización se realizó de forma mecánica con la fórmula 24 N - 8 P - 12 K + 6S +0.4 B + 0.6 Zn, en la cual se aplicó tres quítales por hectárea.

5.2.25. Resiembra.

Fue una labor que consistió en reponer los tallos o cepas que no germinaron después del corte con el objetivo de mantener la densidad poblacional adecuada, por lo general se realiza 30-50 días después del corte.

5.2.26. Plagas.

Se hizo control biológico de los roedores (*Sigmodon hispidus*), colocando estructuras llamadas perchas, elaboradas de tarro, a las orillas de los lotes, la cual facilita la estadía de los depredadores como lechuzas y gavilanes. Se distribuyeron con un distanciamiento de 200 metros entre cada percha, el umbral económico utilizado para actuar fue de 6 % de tallos dañados. Además, se realizó una aplicación química cuando se superó el umbral permisible, a razón de 1 kg/Ha. Se realizó la combinación de los dos controles para los roedores porque su control fue en diferentes etapas fenológicas de la caña de azúcar.

5.2.27. Descripción del proceso de cosecha.

a. Aplicación de madurantes.

Se aplicó madurante a toda el área de evaluación esto con el objetivo de aumentar los grados brix, pol y pureza del jugo y por lo tanto los niveles de sacarosa. El madurante utilizado previo a la cosecha fue el Round up SL (Glifosato ácido fosforoso).

b. Cosecha.

La cosecha del cultivo de la caña de azúcar se realizó de forma mecánica, no se tuvo inconvenientes con la evaluación porque la misma se realizó en lotes completos como se tenía programado con el departamento de cosecha.

VI. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

6.1. Medir los impactos en las variables del rendimiento (número de tallos, longitud y diámetro del tallo) cuando se aplica riego planificado mediante el criterio del balance hídrico y riego convencional.

6.1.2. Evaluación técnica sobre el uso del agua en el cultivo de caña de azúcar.

6.1.2.1. textura de suelo y velocidad de infiltración básica.

Los suelos de la finca Santander, presentan textura arcillosa, a los cuales se les hizo una prueba de infiltración utilizando el método de doble cilindro. La lectura indicó que la velocidad de infiltración fue de 5 cm/h, lo que significa que el suelo tiene la capacidad de infiltrar hasta 50 mm por hora. Cuando se aplicó el riego por mini aspersión, se midió la intensidad de riego la cual fue de 6.59 mm/h, observándose que no hubo problemas de escorrentía, debido a que el suelo en forma natural tiene mayor capacidad de absorber que lo que el riego aplica.

6.1.2.2. Evaluación del sistema de riego por mini aspersión.

Luego de realizar la evaluación de riego siguiendo la metodología del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA), se determinó que el coeficiente de uniformidad de Christiansen fue de 72%, la cual nos determina que el sistema de riego por mini-aspersión se encuentra entre el parámetro mínimo aceptado de funcionamiento, siendo el valor ideal el 80%, además se calculó la eficiencia de almacenamiento la cual fue de 78%.

En síntesis, comparando el coeficiente de uniformidad obtenida con la tabla de valores uniformidad de Christiansen concluimos que el sistema de riego por mini aspersión se encuentra entre el valor mínimo aceptado.

Para determinar la eficiencia del sistema, se obtuvo información técnica durante la evaluación, la cual se presenta en el cuadro doce.

Cuadro 12. Información técnica durante la evaluación de riego.

Tiempo de evaluación (horas)	2	Diámetro de los pluviómetros (cm)	14.6
Total, de aspersores en el ramal evaluado	18	Área de captación del pluviómetro en cm ²	167.4
Aspersores evaluados	14 / 15	Marco de evaluación (m)	3x3
Total de pluviómetros utilizados	48	Descarga del aspersor GPM	4.7

Según establece la metodología de CENGICAÑA el tiempo de la evaluación fue de dos horas, donde se distribuyeron cuarenta y ocho pluviómetros en un marco de tres por tres metros, esta evaluación se realizó en los aspersores catorce y quince del ramal dieciocho, así mismo se aforaron los aspersores para determinar la descarga del aspersor la cual fue de 17.79 lts/min (4.7 gal/min)

En la figura diecinueve se muestra cómo se comportó la distribución de la lámina de riego en el marco de riego evaluado.

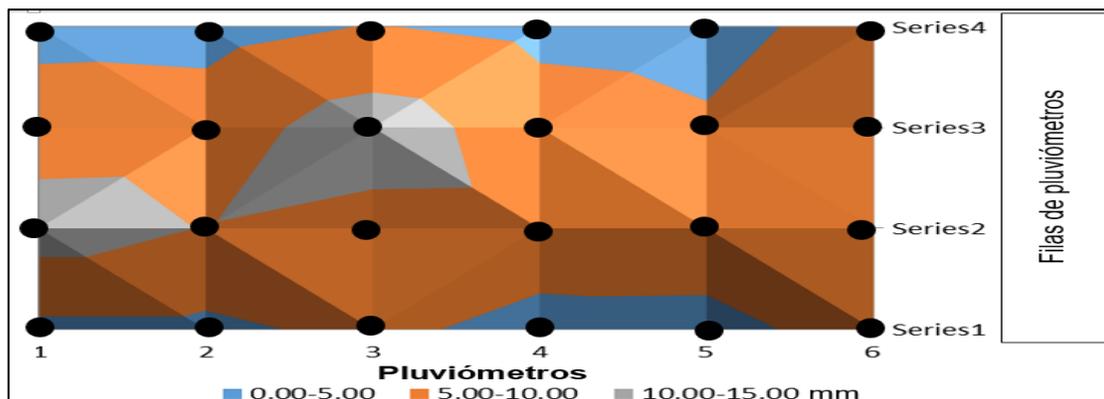


Figura 19. Distribución y captación de la lámina de agua (mm) por cada pluviómetro entre dos aspersores.

Fuente: Autor (20217).

En la figura diecinueve se muestra cómo se distribuyó la red de pluviómetros (filas) y la medición de mm de agua captada, a su vez, la lámina de riego luego de la evaluación, indica que el color azul tiene una lámina de riego que fue de cero a cinco milímetros de agua, el color anaranjado la lámina se distribuyó entre cinco a diez milímetros y por último el color gris se mantuvo en una lámina entre diez a quince milímetros.

Teniendo una lámina media recogida por pluviómetro de 6.59 mm, esta media está en el parámetro de lo ideal, pero por efectos de ráfagas del viento las cuales alcanzaron hasta 12 km/h, afectaron la distribución homogénea de la lámina de riego.

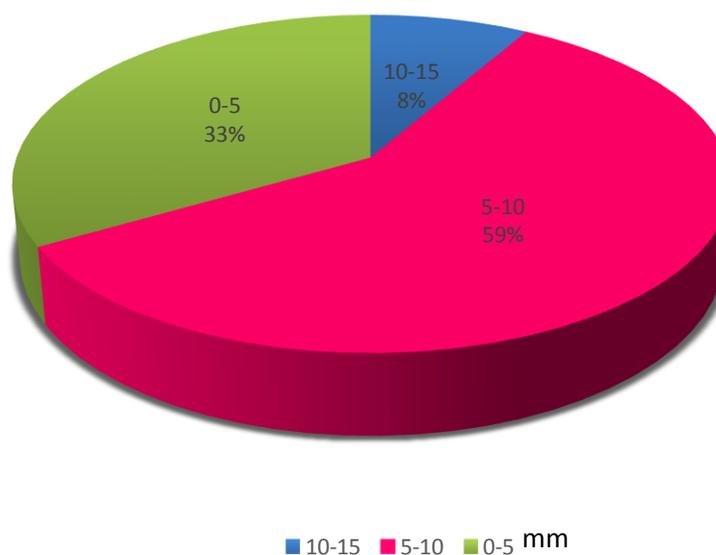


Figura 20. Distribución de área regada en milímetros de agua (%).

Fuente: Autor (2017).

En la figura veinte se presentan los porcentajes de área regada, donde el color verde representa una lámina baja de riego siendo un 33% total del área evaluada, posteriormente se tiene el color rojo el cual marca que se aplicó una lámina ideal siendo esta el 59% del área total y por último el color azul que indica que se tiene exceso de lámina de riego siendo esta del 8%.

6.1.2.3. Distribución de la precipitación por etapas fenológicas en finca Santander.

El cultivo de la caña de azúcar requiere para su crecimiento en promedio 1500 mm/anuales de agua los cuales son aportados por lluvias en la época lluviosa y por riego en la época seca.

En la figura veintiuno se muestra como fue el comportamiento de la lluvia en el año 2017, finca Santander sección dos.

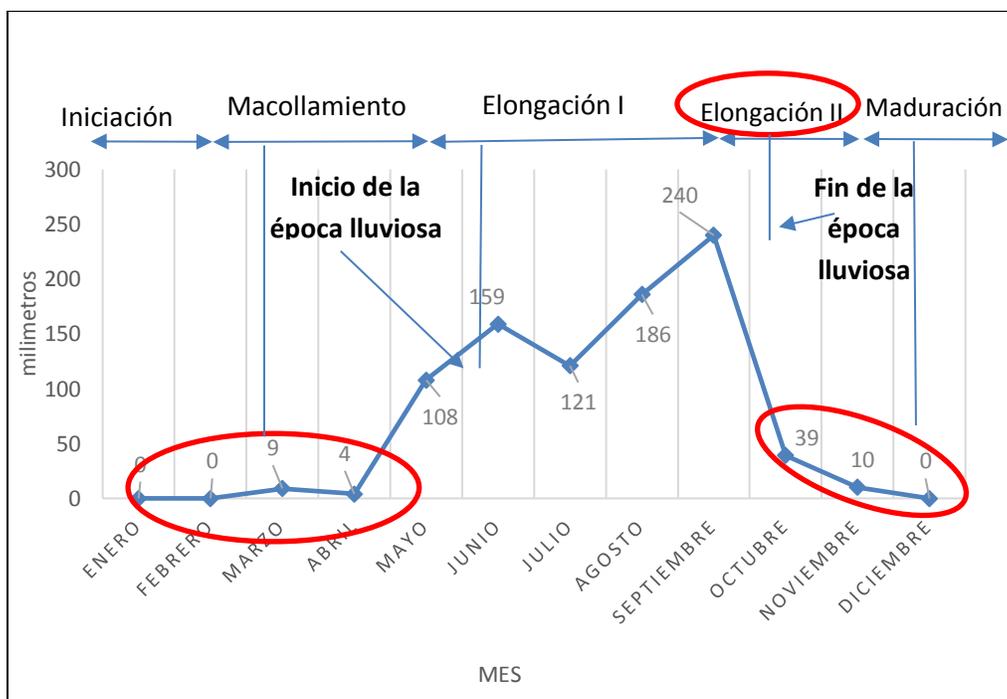


Figura 21. Distribución de la precipitación pluvial, por las etapas fenológicas de la caña de azúcar en finca Santander.

Fuete: Departamento de planificación y control (2017, pág. 01).

En la figura veintiuno se diferencia que los meses con déficit de lluvia fueron; enero, febrero, marzo, abril, octubre, noviembre y diciembre, sin embargo, el cultivo de la caña de azúcar se resiente al déficit hídrico en la etapa de elongación y por ende es

esencial que al cultivo no le falte agua, siendo para este caso los meses de octubre y noviembre, donde se redujeron las lluvias.

El total de precipitación promedio en la finca Santander fue de 876 mm en la época lluviosa y siendo el requerimiento promedio de la caña de azúcar de 1500 mm/años, de la cual se obtiene una diferencia de 624 mm de agua, que se tienen que aplicar con riego en los meses con déficit hídrico.

6.1.2.4. Secuencia en la aplicación de riegos en el cultivo de caña de azúcar, sección dos, finca Santander.

La sección dos de finca Santander, se regó con el sistema por mini aspersión semi-fijo. Durante el periodo de riego del año 2017 fue desarrollada la presente investigación, comparando el riego que se ha venido haciendo en la finca con el sistema de balance hídrico aplicados al cultivo de la caña de azúcar en su sexta soca. El riego con balance hídrico consistió aplicar agua al cultivo de la caña de azúcar de manera controlada, de acuerdo a los requerimientos hídricos del cultivo en todas sus etapas fenológicas y por otra parte el riego comercial o convencional el cual es regar con frecuencias de once días y tiempo de riegos de once horas.

Es importante mencionar que al inicio del riego se tuvo un inconveniente en la obtención del recurso hídrico, esto fue debido que la bomba sumergible del pozo mecánico tuvo desperfecto y a la misma vez se le dio mantenimiento al pozo, por lo cual se decidió en conjunto con la persona a cargo de la finca (mayordomo) se aplicaran dos riegos por aspersión en toda la sección en el mes de febrero, para asegurar la germinación de la caña de azúcar, posteriormente se inició el riego por mini aspersión en el mes de abril conforme se había establecido, en los métodos de riego mediante el balance hídrico y riego convencional.

Al momento de iniciar la comparación de métodos de frecuencia se aplicaron dos riegos profundos de once horas y una frecuencia de once días en toda el área que se

evaluó esto con el objetivo de humedecer el suelo a una profundidad de 50 cm y así alcanzar la profundidad promedio del estrato radicular del cultivo, posterior a la aplicación de estos dos riego se continuó en los lotes tres, cuatro y cinco la aplicación del riego con balance hídrico y en los lotes nueve, once y trece la aplicación de riego tradicional.

6.1.2.5. Cuantificación del agua (mm) utilizada en balance hídrico y riego convencional en la aplicación de riegos.

En la figura veintidós se muestra cómo se dio la aplicación de riegos durante la comparación de balance hídrico y riego comercial en el cultivo de la caña de azúcar.

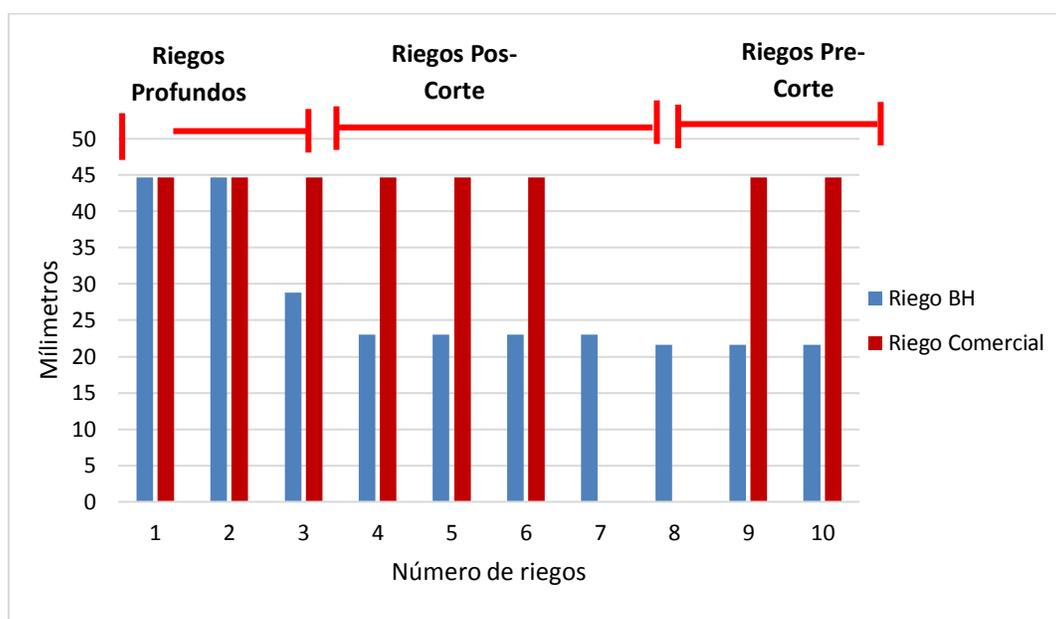


Figura 22. Cantidad de riegos y milímetros de agua (lámina neta) aplicados en balance hídrico y riego comercial, en el cultivo de la caña de azúcar en post-corte y pre-corte.

Fuente: Autor (2017).

Tal y como se evidencia en la figura veintidós se aplicaron dos riegos profundos para ambas metodologías, con una lámina neta de 44.6 mm por riego, dando un total de 89 mm netos aplicados.

Así mismo para la metodología de balance hídrico que es la distribución de barras de color azul, se aplicaron cinco riegos post-corte con una lámina neta de 121 mm y tres riegos pre-corte con una lámina neta de 65 mm, aplicando una lámina neta total de 186 milímetros.

Para la metodología de riego comercial, que se presenta en las barras rojas, se aplicaron cuatro riegos pos-corte y dos riegos pre-corte, con una lámina neta por riego de 44.6 milímetros, aplicando una lámina neta total de 268 milímetros.

En síntesis, en el riego por balance hídrico se aplicaron 82 milímetros netos de agua menos en comparación al riego comercial, por lo tanto, se reduce la cantidad de agua utilizada en la época de riego, y así se logra ser más eficientes en el uso del agua.

6.1.2.6. Comportamiento de la humedad, en el programa CENGIRIEGOS con dos métodos de riego balance hídrico y riego convencional.

En la figura veintitrés se muestran las curvas de comportamiento de la humedad del suelo. La línea verde representa riego con la aplicación del balance hídrico y la línea naranja representa riego convencional. Así mismo se observan la aplicación de los números de riegos (pos-corte), los cuales aparecen en barras de color anaranjado y verde. La línea superior horizontal indica capacidad de campo (CC) y las nubes color negra son las lluvias que se dieron durante la evaluación.

Los riegos post-corte fueron aplicados cuando el cultivo de la caña de azúcar se encontraba en su sexta soca y en la etapa fenológica de macollamiento y los riegos (pre-corte) fueron aplicados en la etapa final de elongación II e inicios de maduración.

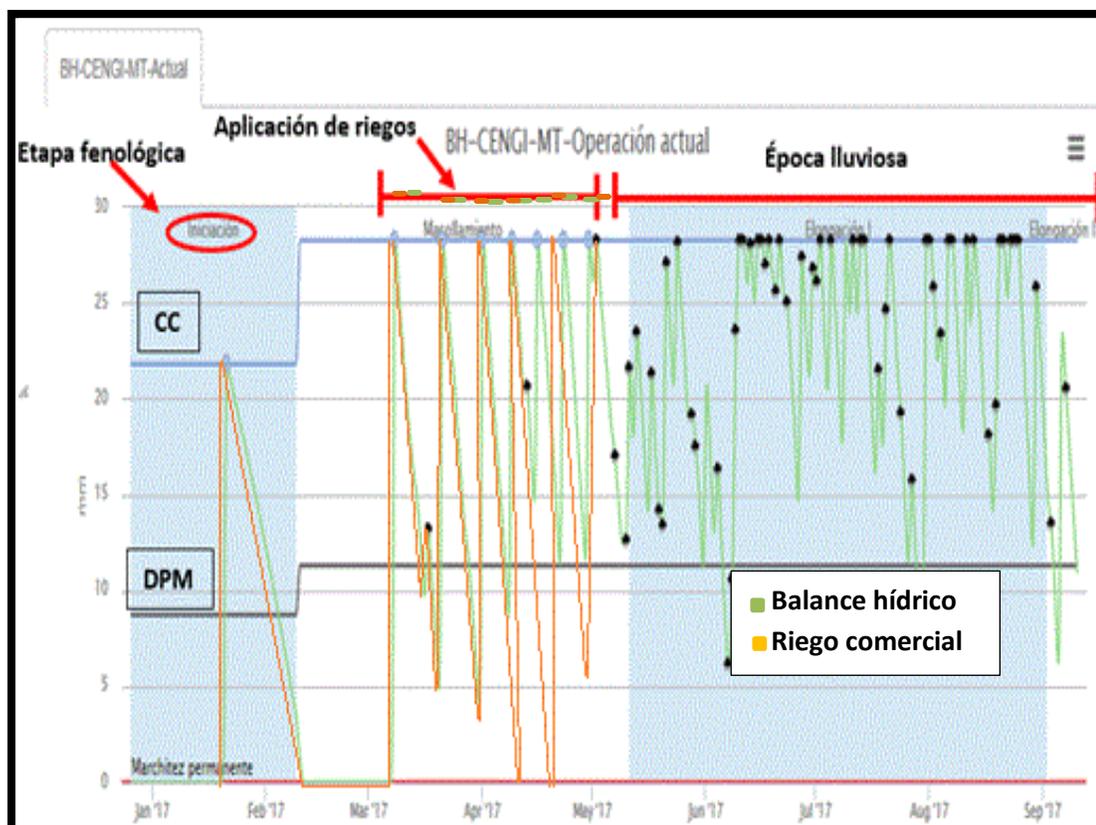


Figura 23. Comportamiento de la humedad del suelo y distribución de riegos (post-corte), empleando las metodologías balance hídrico y riego comercial, en el programa CENGIRIEGOS.

Fuente: Autor (2017).

En la figura veintitrés se observa que toda el agua contenida en el suelo arriba del déficit permitido de manejo, fue aprovechable para la planta cuando se regó usando el método del balance hídrico.

Así mismo en la figura veintitrés se muestra la línea color naranja que representa la humedad durante la aplicación de los riegos comerciales. El comportamiento de la humedad al momento de aplicar el riego llegaba hasta la capacidad de campo, luego de transcurridos 9 a 11 días, se tenía un déficit de humedad llegando a estar debajo del déficit permitido de manejo, por lo cual indica que la frecuencia de riego era muy larga, ya que la planta se queda en ocasiones sin humedad.

6.1.2.7. Variable altura del tallo de la caña de azúcar.

Para esta variable fue necesario utilizar una cinta métrica con la cual se fue midiendo la altura del tallo.

La altura del tallo se midió 121 días después de la cosecha, también a los 156, 248, 379 días, en la figura veinticinco se presenta el comportamiento de la altura del tallo de la caña de azúcar por tipo de manejo de riego.

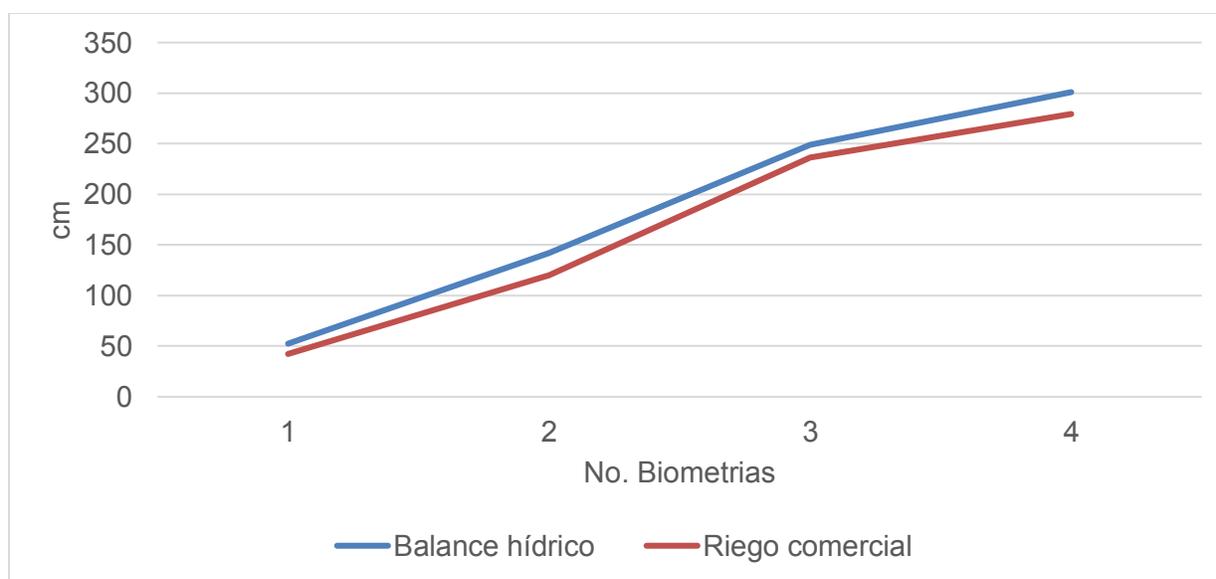


Figura 24. Comportamiento de la variable altura del tallo en centímetros, de la caña de azúcar con manejo de balance hídrico y riego convencional.

Fuente: Autor (2017).

El comportamiento de la altura que se representa en la figura veinticinco es el promedio de los lotes evaluados por cada uso de agua, en la cual indica que el uso del agua con balance hídrico se mantuvo en promedio 17 cm arriba con respecto al uso de agua de manera convencional.

Para la variable altura del tallo, en el cultivo de la caña de azúcar en su sexta soca, podemos concluir luego de realizar la prueba de t, que estadísticamente y con un

nivel de significancia al 5% dio como resultado una probabilidad de 0.071 la cual es mayor a 0.05 por lo tanto no se tiene diferencia significativa en los tipos de manejo de riego.

6.1.2.8. Variable diámetro del tallo de la caña de azúcar.

El diámetro se midió con la ayuda de un vernier a los 121 días después de la cosecha, también a los 156, 248, 379 días, al mismo tiempo que la altura del tallo y el número de entrenudos, en la figura veintiséis se presenta el comportamiento de la variable diámetro del tallo.

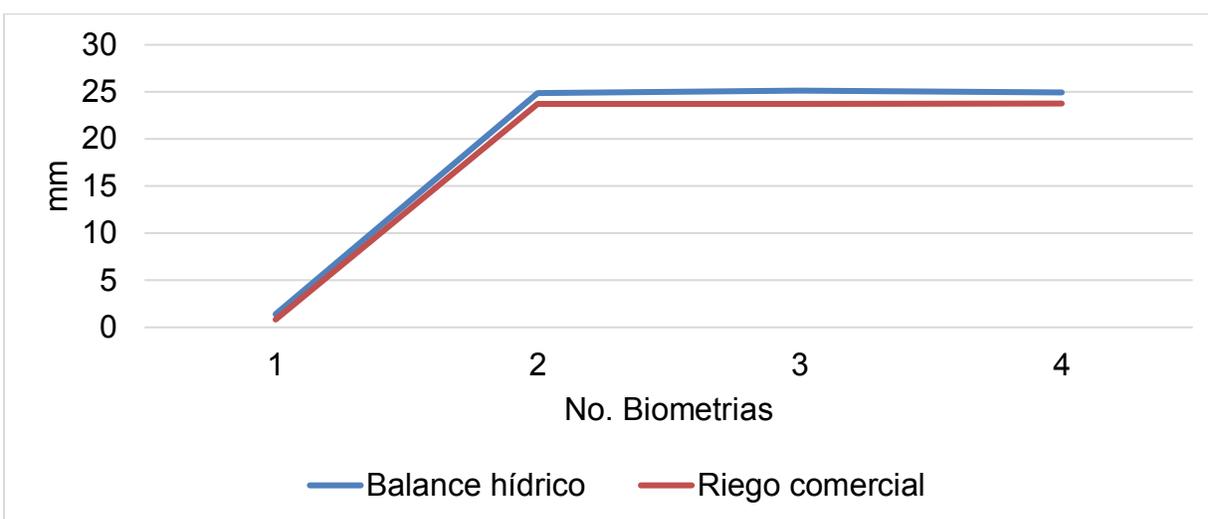


Figura 25. Comportamiento de la variable diámetro (mm) del tallo del cultivo de la caña de azúcar con manejo de balance hídrico y riego convencional.

Fuente: Autor (2017).

Los diámetros finales de la caña de azúcar, presentados en la figura veintiséis, son promedio de las cada uno de los lotes según el uso de agua. El riego con balance hídrico tuvo como resultado en la biometría número cuatro 25 milímetros de diámetro en y para el riego comercial de 24 milímetros, dando una diferencia a nivel de variable de 1 milímetro de diámetro a favor del balance hídrico.

Para la variable diámetro del tallo, en el cultivo de la caña de azúcar en su sexta soca, podemos concluir luego de realizar la prueba de t, que estadísticamente y con un nivel de significancia al 5% se obtuvo una probabilidad de 0.3838 la cual es mayor a 0.05 por lo tanto no se tiene diferencia significativa en los tipos de manejo de riego.

6.1.2.9. Variable número de entrenudos del tallo de la caña de azúcar.

Los números de entrenudos finales de la caña de azúcar, presentados en la medición número cuatro de la figura veintisiete, fueron promediados por tipo de manejo de riego, dando como resultado 31 entrenudos en el balance hídrico y para el riego comercial de 29 entrenudos, dando una diferencia a nivel de variable de 2 entrenudos a favor del balance hídrico.

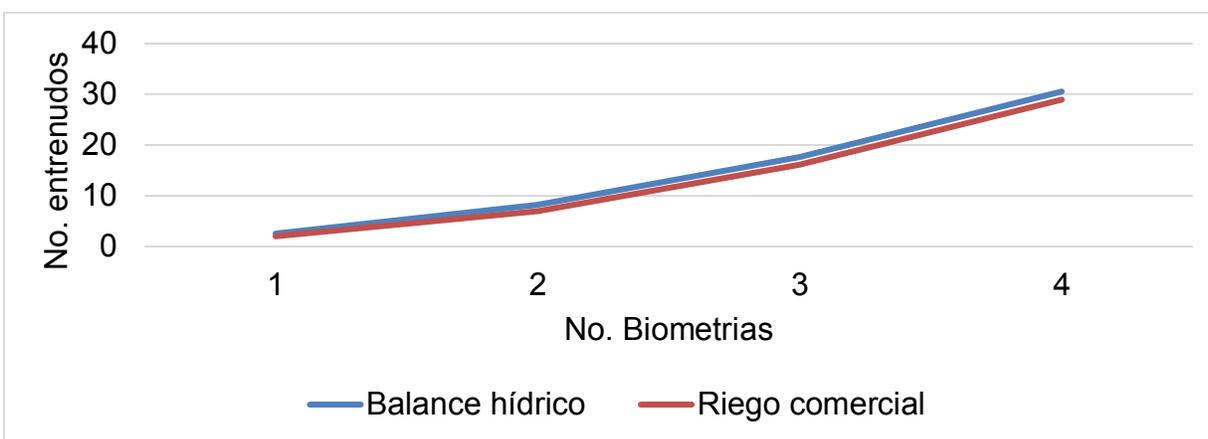


Figura 26. Comportamiento de la variable número de entrenudos del tallo en el cultivo de la caña de azúcar con manejo de balance hídrico y riego convencional.

Fuente: Autor (2017).

Debido a que la variable número de entrenudos es una variable cuantitativa discreta, se convirtieron los datos a cuantitativos continuos y así poder realizar la prueba de t. posteriormente a la conversión de datos podemos concluir que estadísticamente y con un nivel de significancia al 5% se obtuvo una probabilidad de 0.0949 la cual es mayor a 0.05 por lo tanto no se tiene diferencia significativa en los tipos de manejo de

riego con respecto a la variable número de entrenudos y así aceptamos la hipótesis de trabajo planteada.

6.2. Determinar las producciones en toneladas métricas por hectárea de *S. officinarum* en los dos usos del agua de riego aplicados.

Los resultados de esta variable fueron tomados hasta el final del ciclo del cultivo de caña, la cual se encontraba en su sexta soca. La cosecha se realizó del 08 de enero al 15 de enero del año 2018. La cosecha se realizó de forma mecanizada en los dos tipos de manejo de riego, los resultados obtenidos se presentan en la figura veinticuatro.

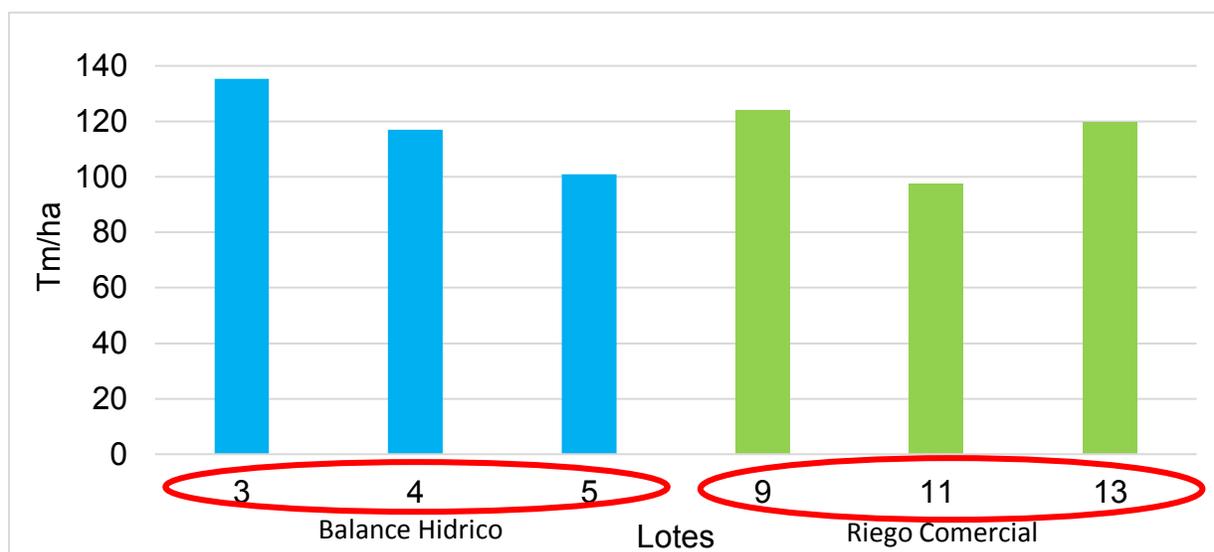


Figura 27. Rendimiento toneladas de caña por hectárea por tipo de uso de agua mediante balance hídrico y riego convencional.

Fuente: Autor (2017).

El rendimiento promedio por tipo de manejo de riego fue 117.74 Tm/ha de caña para el riego con balance hídrico y 113.71 Tm/ha de caña para el riego comercial, teniendo una diferencia a nivel de variable de 4 Tm/ha de caña a favor del balance hídrico.

Luego de realizar una prueba t, concluimos que estadísticamente y con un nivel de significancia al 5%, se tiene una probabilidad de 0.3854 y basándonos si el valor de la probabilidad es mayor a 0.05, se concluye que no existe diferencia significativa entre los manejos de operación de riego balance hídrico y riego convencional en el sistema de riego por mini aspersión.

Como referencia se presenta el estudio exploratorio del efecto de la programación de riego basada en el balance hídrico sobre el rendimiento de la caña de azúcar en tres localidades del ingenio Santa Ana. Este estudio tenía dos tratamientos, uno testigo comercial con frecuencia fija y tiempo de riego fijo y el tratamiento dos era programación del riego basada en el balance hídrico, frecuencia variable y tiempo de riego variable.

Cuadro 13. Resultado de investigación programación de riego basada en balance hídrico en ingenio Santa Ana.

	Localidad 1
Tratamiento 1 / Riego comercial	129.78 ton/ha
Tratamiento 2 / Balance hídrico	133.21 ton/ha
	Localidad 2
Tratamiento 1 / Riego comercial	97.49 ton/ha
Tratamiento 2 / Balance hídrico	123.36 ton/ha
	Localidad 3
Tratamiento 1 / Riego comercial (aporte capilar)	167.14 ton/ha
Tratamiento 2 / Balance hídrico	151.36 ton/ha

Fuente: Montejo, (2016, pág. 25).

En la evaluación que se realizó en el ingenio Santa Ana, los tratamientos con balance hídrico obtuvieron mayor producción en comparación con el riego comercial.

De la misma manera la evaluación que se realizó en el ingenio Tululá, se obtuvieron los siguientes resultados, en el balance hídrico la producción fue de 117.74

ton/ha y para el riego comercial fue de 113.71 ton/ha, logrando mayores producciones con la utilización de la herramienta de balance hídrico.

Comparando con los resultados obtenidos en el estudio exploratorio que realizaron en el ingenio Santa Ana, la producción de caña en el manejo de riego con balance hídrico aumento de 3 a 25 ton/ha en comparación del riego comercial, del mismo modo en el ingenio Tululá, la producción aumento 4.03 ton/ha de caña de azúcar. Por otra parte, se realizó un análisis estadístico en donde se concluye que no existe deferencia significativa entre los manejos de operación, por lo tanto, concluimos que se aprueba la hipótesis de trabajo planteada donde indica que la aplicación del criterio del balance hídrico en los sistemas de irrigación de la caña, puede hacer un uso más eficiente del agua y tendrá beneficios económicos y se logra el objetivo específico número uno que fue determinar el efecto del uso de agua de riego en el cultivo de caña de azúcar, mediante aplicar balance hídrico y riego comercial en las variables rendimiento toneladas métricas de caña por hectárea y biométricas (número de tallos, longitud del tallo y diámetro del tallo).

Así mismo para las variables biométricas, de acuerdo a los resultados del análisis estadístico concluimos que no se tiene diferencia significativa, por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada y se logra el objetivo específico número uno.

6.3. Determinar qué tipo de aplicación de agua para riego, presenta la mejor relación beneficio costo y rentabilidad en el cultivo de caña de azúcar.

Después de determinar el objetivo número uno donde se analizaron las variables (rendimiento Tm/ha de caña, altura, diámetro y número de entrenudos del tallo) y se comprobó que no se tiene diferencia significativa, se procedió a evaluar el objetivo número dos donde se plantea determinar qué tipo de uso de agua para riego, presenta la mejor relación beneficio costo y rentabilidad en el cultivo de caña de azúcar.

En el cuadro catorce se presentan los costos de producción de caña soca por hectárea.

Cuadro 14. Descripción de costos de labores y riego por hectárea de caña soca.

Labor	BH / (Q.)	RC / (Q.)
Subsoleo caña soca	70.37	70.37
Fertilización mecánica soca	847.87	847.87
Pos-emergente	454.21	454.21
Resiembra soca	4,025.85	4,025.85
Control de plagas	66.38	66.38
Arranque de malezas manual	365.15	365.15
Aplicación de cierre/ Pos-emergente	386.88	386.88
Rondeo químico	50.94	50.94
Aplicación de madurante	355.4	355.4
SUB-TOTAL COSTOS LABORES (Q/ha)	6,623.05	6,623.05
Costo por milímetro aplicado (Q)	15.00	15.00
Total de milímetros de agua aplicados	382	496
Costo total por milímetros de agua aplicados (Q)	5,730.00	7,440.00
Costo de mano de obra extra (Q)	447.44	0.00
Costo de cosecha (Q)	5,000.00	5,000.00
COSTO TOTAL (Q.)	17,800.49	19,063.05
Producción tm/ha.	117.74	113.71
Valor comercial (Q/ton)	200.00	200.00

Fuente: Autor (2017).

En el cuadro catorce se muestran las labores que se realizaron en la investigación uso del agua de riego mediante balance hídrico y riego convencional en el sistema de mini aspersión, en el cultivo de caña de azúcar, los rubros que se presentan incluyen mano de obra, materiales e insumos. Los costos de las labores

realizadas por hectárea de caña soca, para ambos métodos de riego fue de Q. 6,623.05 por hectárea, teniendo en cuenta únicamente las labores que se realizaron durante la evaluación.

Para la obtención del costo por milímetro de agua aplicado se usó como referencia, el costo que tiene establecido el ingenio, en el riego por mini aspersion, el cual es de quince quetzales, partiendo de ahí, se le sumaron los costos extras, que se describen en el cuadro dieciséis y así se obtuvieron los costos totales.

Cuadro 15. Descripción beneficios, relación beneficio/costo, utilidad total y rentabilidad por hectárea, de la investigación métodos de riego mediante el uso del balance hídrico y riego comercial.

ACTIVIDAD	BH	RC
BENEFICIO TOTAL (Q)	23,548.00	22,742.00
RELACIÓN BENEFICIO/COSTO	1.32	1.19
UTILIDAD TOTAL	5,747.51	3,678.95
RENTABILIDAD %	32%	19%

Fuente: Autor (2017).

Los beneficios totales se obtuvieron a partir multiplicar la producción ton/ha que se dio por método de uso del agua y el precio comercial por tonelada de caña, siendo los beneficios para balance hídrico de Q. 23,548.00 y para el riego comercial de Q. 22,742.00.

La comparación directa de los costos y beneficios nos sirve como indicador en la evaluación, porque, si la relación beneficio / costo es mayor a uno, indica que los beneficios superan a los costos.

Como resultado de la relación beneficio costo (B/C) y rentabilidad se obtuvo que en el balance hídrico fue de 1.32 (32%) y en el riego comercial de 1.19 (19%), siendo ambos resultados mayores que uno entonces se concluye que los beneficios superan los costos. No obstante, entre los dos tipos de manejo de operación se tiene una

diferencia de la relación beneficio costo de 0.13 y una rentabilidad de (13%) a favor del riego con balance hídrico, superando así al riego comercial, en cuanto a beneficios obtenidos.

El beneficio o utilidad obtenida en la evaluación fue de Q. 5,747.51 ha para el riego con balance hídrico y Q. 3,678.95 ha para el riego comercial.

En el uso de agua de riego con balance hídrico se aplicaron 382 mm y con el uso de agua en el riego comercial se aplicaron 496 mm dando como diferencia 114 milímetros menos aplicados al balance hídrico en comparación al riego comercial.

En síntesis, luego del análisis económico, se concluyó que el método de riego con balance hídrico tiene mejor relación beneficio costo, mayor rentabilidad y utilidad en comparación al riego comercial, porque reduce los costos en la utilización del recurso agua.

VII. CONCLUSIONES

1. El uso de agua para riego, mediante balance hídrico y riego comercial en el sistema mini aspersion, no existió diferencia significativa, en las variables que impactan en el rendimiento (número de tallos, longitud y diámetro del tallo).

2. El balance hídrico es el método que mejor uso hizo del agua para riego, porque se redujeron 114 milímetros brutos de agua en comparación con el riego convencional.

3. El manejo del agua mediante el balance hídrico se define el más adecuado para la finca, ya que tuvo una mayor relación costo – beneficio siendo de 1.32 en comparación al riego comercial de 1.19. Además, el balance hídrico logró una rentabilidad de 32 % y el riego comercial de 19%.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Implementar el riego con balance hídrico en el cultivo de la caña de azúcar para la quinta y sexta soca, aplicando 382 milímetros de lámina bruta en el déficit hídrico con las condiciones edafoclimáticas de finca Santander, siempre que, se mantenga el rendimiento de 117.74 ton/ha o se aumente.
2. Utilizar el balance hídrico en el sistema de riego por mini aspersión por que se logró una relación beneficio costo de 1.32 y una rentabilidad de 32 %
3. Realizar esta comparación de tipos de uso del agua de riego, con balance hídrico y riego comercial en distintos tercios de zafra y estratos altitudinales.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASAZGUA (Asociación de Azucareros de Guatemala). (2003). *Participación de la Agroindustria Azucarera dentro de la Economía Nacional*. Guatemala, GT.
2. Baldión, R. J. V. (1985). *Conceptos básicos y Métodos de cálculo del Balance Hídrico*. Instituto colombiano de hidrología y meteorología. Bogotá, COL.
3. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la caña de azúcar). (1997). *Memoria "análisis de la zafra 1996-1997."* Guatemala. GT.
4. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar). (2012). *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. In Meneses, M. *Balance hídrico*. Guatemala, GT.
5. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar). (2017). *Guía técnica evaluación de la calidad del riego en la zona cañera de Guatemala*. Guatemala, GT.
6. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar). (2017). *Resultados de análisis de agua para riego*. Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, GT.
7. Cisneros, R. (2003). *Apuntes de la materia de riegos y drenajes*. México.
8. Chang, J. (1968). *Climate and agriculture and Ecological survey*. Chicago, Illinois. USA.: Aldine publishion Co.

9. Departamento de Ingeniería Agrícola. (2017). *Formato para registro de caudalímetros*. Ingenio Tzulá S.A., Retalhuleu, GT.
10. Departamento Planificación y Control (PYC). (2017). *Antecedentes del ingenio Tzulá sobre la caña de azúcar*. Registros. San Andrés Villa Seca, Retalhuleu, GT.
11. FAO. (2002). *Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Riego y Drenaje. Boletín (56).*; 3-5. Roma, Italia.
12. Flores, S. (1998). *Manual de la caña de azúcar*. Guatemala: INTECAP.
13. Grassi, C. J. (1968). *Estimación de los usos consuntivos de agua y requerimientos de riego con fines de formulación y diseño de proyectos. Criterios y procedimientos*. Mérida, Venezuela.: CIDIAT.
14. Heredia, O. S. (09 de 08 de 2019). *El agua de Riego*. Recuperado el 09 de agosto de 2019, de https://hortintl.cals.ncsu.edu/sites/default/files/articles/agua_riegocriterios_intepretacion.pdf
15. Holdridge, L. R. (1982). *Ecología basada en zonas de vida*. San José, C. R.: CIDIA, IICA.
16. ICC (Instituto Privado de Cambio Climático). (2017). *Registro de condiciones ambientales*. San Andrés Villa Seca, Retalhuleu.
17. Montejo, ME. (2016). *Estudio exploratorio del efecto de la programación de riego basada en el balance hídrico sobre el rendimiento de la caña de azúcar en tres localidades del ingenio Santa Ana*. Guatemala, Escuintla: ATAGUA.

18. Pérez Santos, J. J. (2014). *Balance hídrico en el cultivo de la caña de azúcar (Saccharum sp.) en época lluviosa en la región litoral centro, en la zona de producción 6, ingenio Madre Tierra Guatemala*. Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala, GT.
19. Ramos, N. G. (1993). *Curso de caña de azúcar*. Universidad Nacional de Palmira, Facultad de Agronomía. Colombia.
20. Redondo, M. A. (04 de abril de 2017). *Interpretación análisis de agua para riego*. Recuperado el 26 de agosto de 2018, de <https://www.iaqua.es/blogs/miquel-angel-monge-redondo/interpretacion-analisis-agua-riego>.
21. Romero, M.A. (2009). *Consejería para la administración de empresas enfocado en el manejo del recurso hídrico*. República Dominicana, DO.
22. Ruiz, FS. (1995). La caña de azúcar. *El cultivo de la caña de azúcar*. San José, C. R.: Universidad Estatal a Distancia.
23. Sandoval Illescas, J. E. (2002). *Principios de Riego y Drenaje (1er ed.)*. Guatemala.: Editorial universitaria, USAC.
24. Thornthwaite, C. W. y Mather, J. R. (1966). El presupuesto hidráulico y su uso en los riesgos. En el libro Agua, su aprovechamiento en la agricultura. (2da edición). Traducido por J. Meza Nieto. México, D. F.: Editorial Herrero.

Vo. Bo. 
Lcda. Ana Teresa de González.
Bibliotecaria CUNSUROC.



X. ANEXOS.

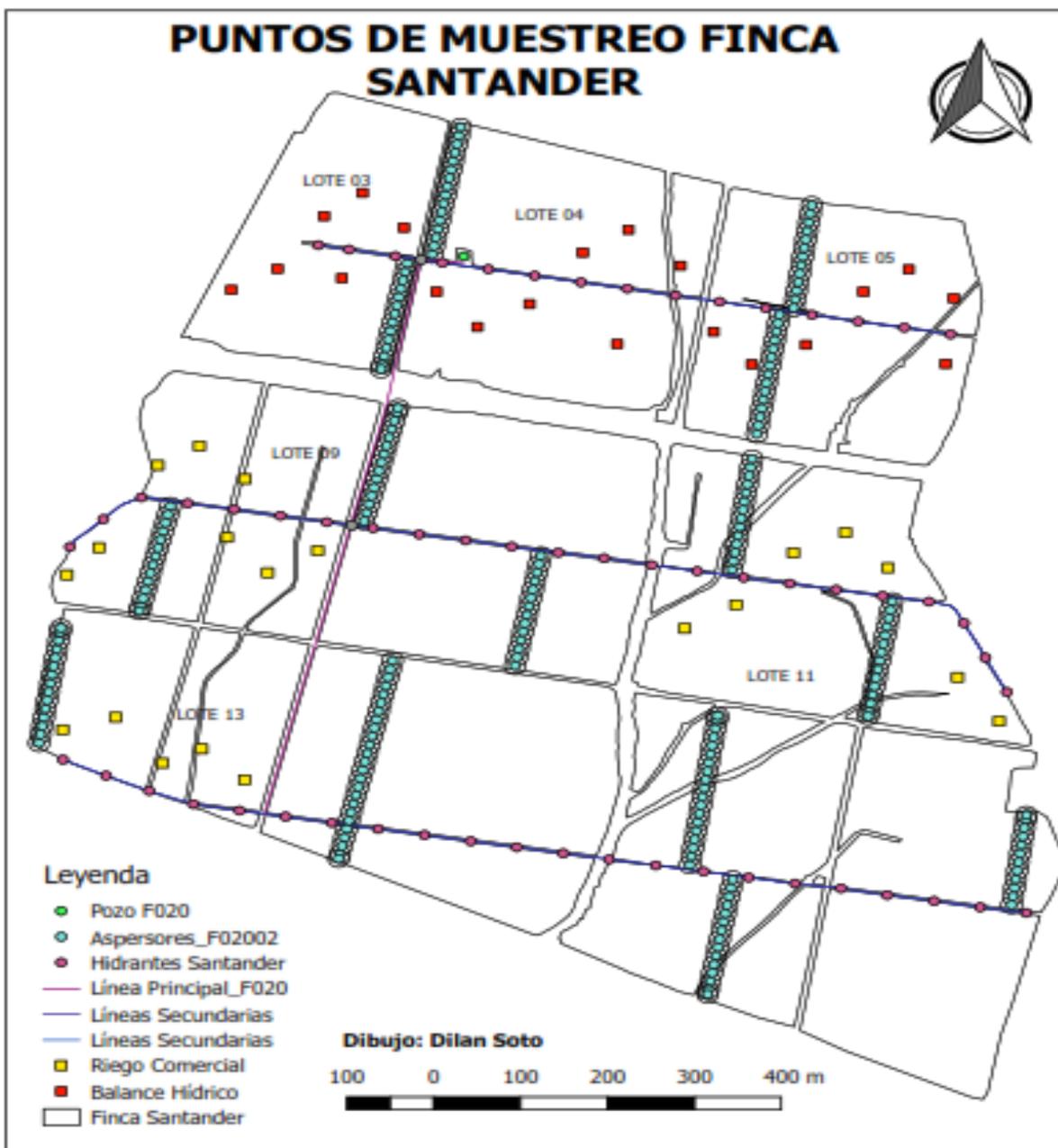


Figura 28. Localización de muestreo donde se realizaron las biometrías de la comparación del manejo de riego usando balance hídrico y riego comercial en el sistema de mini aspersión.

Fuente: Autor (2017)

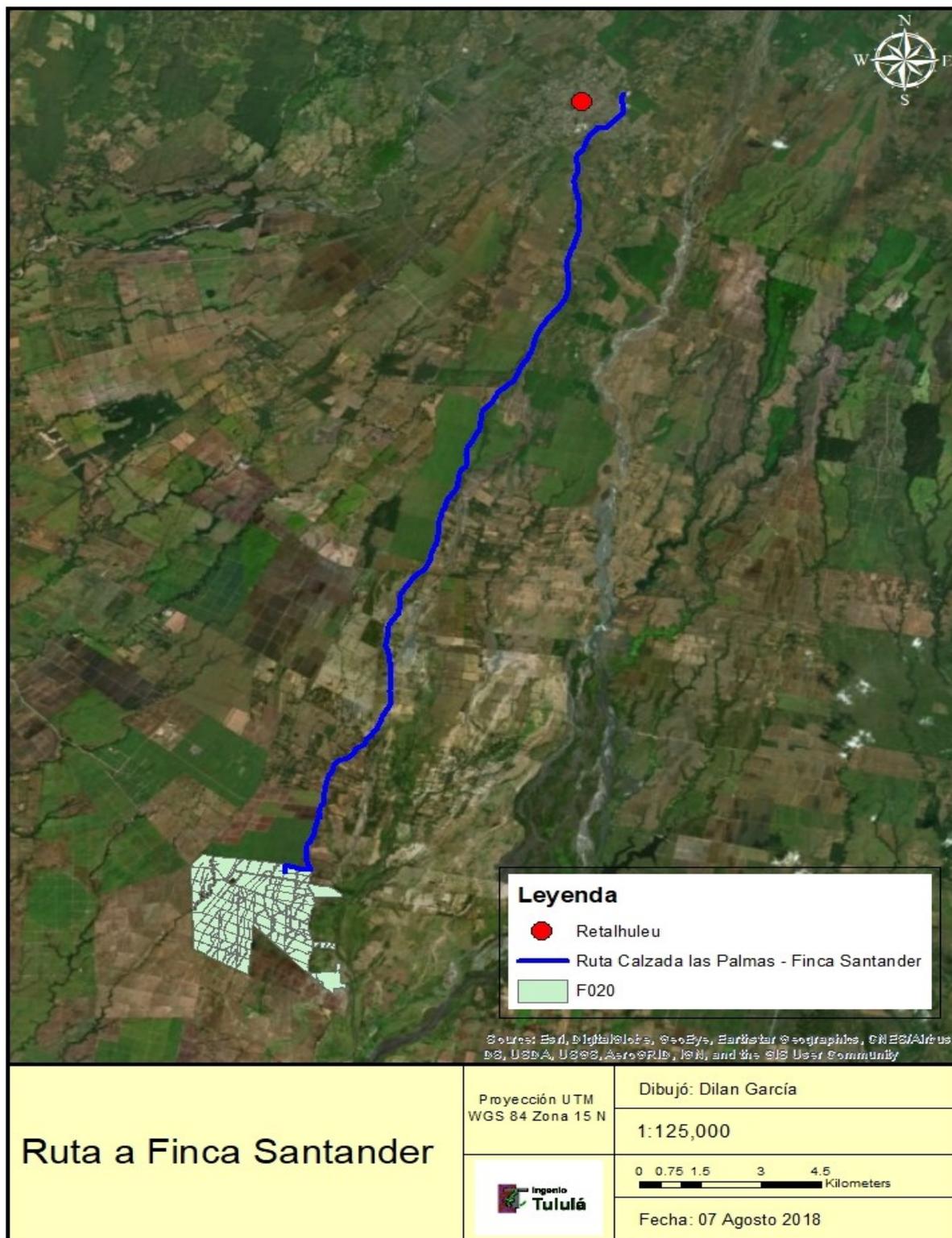


Figura 29. Acceso a finca Santander ingresando por calzada Las Palmas Retalhuleu, posteriormente siguiendo por camino a la Verde.

Fuente: Autor (2017)

Cuadro 16. Datos de la primera biometría realizada en el balance hídrico.

Fecha	20/04/2017	No. Parcela	Orientación	BIOMETRIA I															
				Altura (cm)					Diámetro (mm)					# Entrenudos					
				T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	
Balance Hídrico	Lote No. 03	1	S	65	55	68	84	46	1.5	1.6	1.4	2.1	1.6	3	3	3	4	2	
		2	S	48	56	52	45	65	1.4	1.9	1.6	1.8	2.2	2	3	2	2	4	
		3	N	48	50	67	69	49	1.5	1.8	2	1.8	1.7	3	3	3	3	3	
		4	S	64	55	61	71	62	1.8	1.7	1.7	1.9	1.6	3	3	5	5	3	
		4	N	37	43	57	39	56	1.5	1.4	1.7	1.4	1.5	3	2	3	2	3	
		5	N	40	41	45	43	37	1.8	1.6	1.6	1.5	1.6	3	5	3	4	2	
	Promedio				50	50	58	59	53	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
	Pro General				54					2					3				
	Lote No. 04	6	S	72	51	63	81	81	1.3	0.8	0.9	1.3	1.2	4	2	3	3	3	
		7	S	46	52	45	47	60	0.8	0.8	0.9	0.8	1.1	2	2	2	2	2	
		8	S	54	48	32	33	36	1	1.1	0.8	0.7	0.8	2	2	1	1	1	
		9	N	68	71	70	59	49	0.9	1.1	1.2	0.9	0.9	2	3	3	3	2	
		10	S	100	87	97	80	80	1.1	1.2	1.2	1	1.2	6	3	4	3	4	
		10	N	38	52	39	32	50	0.6	1	0.8	0.7	0.9	1	2	2	1	2	
		11	N	35	44	50	38	27	0.8	0.9	0.7	0.8	0.7	2	2	3	2	1	
	Promedio				59	58	57	53	55	1	1	1	1	1	3	2	3	2	2
	Pro General				56					1					2				
	Lote No. 05	12	S	67	66	77	43	66	1.5	1.8	2.1	1.5	1.9	3	6	4	2	4	
		13	S	39	43	56	42	43	1.3	1.4	1.8	1.4	1.3	1	2	3	2	2	
		14	S	56	48	46	72	37	1.6	1.5	1.2	2.1	1.8	3	2	3	4	2	
		15	N	44	55	37	59	60	1.8	1.9	1.3	1.8	1.6	2	3	1	3	3	
		16	N	42	47	47	41	39	1.3	1.3	1.5	1.3	1.5	1	1	1	1	1	
		17	S	37	38	30	31	40	1.6	1.7	1.5	1.4	1.5	2	1	1	1	2	
17		N	43	40	54	39	40	1.4	1.3	2	1.8	1.5	2	2	3	2	2		
Promedio				47	48	50	47	46	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Pro General				48					2					2					

Fuente: Autor (2017)

Mazatenango, 25 de Octubre de 2021.

Ing. Agro. Alfredo Tobar
Coordinador Carrera de Agronomía Tropical.
Centro Universitario del Suroccidente.
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Respetable ingeniero Alfredo Tobar:

Por este medio me dirijo a usted, deseando que se encuentre gozando de buena salud.

El motivo de la presente es para informar que luego de haber asesorado y revisado el Trabajo de Graduación titulado: **“COMPARACIÓN DE RIEGO PROGRAMADO CON BALANCE HÍDRICO Y RIEGO CONVENCIONAL, UTILIZANDO MINI ASPERSIÓN, EN *Saccharum officinarum* L., CAÑA DE AZÚCAR, EN FINCA SANTANDER, RETALHULEU”**; presentado por el estudiante Dilan Aroldo García Soto, quien se identifica con número de carné 201240713 de la carrera de Agronomía Tropical, y de conformidad con lo establecido en el reglamento de Trabajo de Graduación, doy visto bueno y aprobación, para que el estudiante pueda continuar con el trámite correspondiente.

Agradeciendo de antemano la atención prestada a la presente y sin otro particular me suscribo.

Atentamente.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



M. Sc. Carlos Antonio Barrera Arenales
Profesor Asesor y Supervisor

Mazatenango, 27 de octubre de 2021.

Licenciado Luis Carlos Muñoz López
Director en funciones
Centro Universitario del Suroccidente.
Universidad de San Carlos de Guatemala.
Su despacho.

Señor Director:

Con fundamento en el normativo de Trabajos de Graduación de la Carrera de Agronomía Tropical, me permito hacer de su conocimiento que el estudiante T.P.A **DILAN AROLDO GARCÍA SOTO**, quien se identifica con número de carné 201240713, ha concluido su trabajo de graduación titulado: **“COMPARACIÓN DE RIEGO PROGRAMADO CON BALANCE HÍDRICO Y RIEGO CONVENCIONAL, UTILIZANDO MINI ASPERSIÓN, EN *Saccharum officinarum* L., CAÑA DE AZÚCAR, EN FINCA SANTANDER, RETALHULEU”** el cuál fue asesorado por el Ingeniero Agrónomo Carlos Antonio Barrera Arenales, lo que se demuestra con nota adjunta que se suma a la presente, incluidas en el presente documento.

Como coordinador de la carrera de Agronomía Tropical, hago constar que el estudiante T.P.A. García Soto, ha cumplido con lo normado, razón por la que someto a su consideración el documento adjunto, para que continúe con el trámite correspondiente.

Auguro muchos éxitos a sus laborales académicas y le reitero las muestras de mi consideración y estima. Deferentemente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Agr. Alfredo Tobar
Coordinador Carrera
Agronomía Tropical



CUNSUROC/USAC-I-96-2021

DIRECCION DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,
Mazatenango, Suchitepéquez, dieciséis de noviembre de dos mil veintiuno

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes del asesor y revisor, SE AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO: "COMPARACIÓN DE RIEGO PROGRAMADO CON BALANCE HÍDRICO Y RIEGO CONVENCIONAL, UTILIZANDO MINI ASPERSIÓN, EN SACCHARUM OFFICINARUM L., CAÑA DE AZÚCAR, EN FINCA SANTANDER, RETALHULEU", del estudiante: TPA. Dilan Aroldo García Soto, carné 201240713 CUI: 2306 95035 1010 de la carrera Ingeniería en Agronomía Tropical.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Lic. Luis Carlos Armoiz López
Director



/gris