

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE**  
**INGENIERÍA EN AGRONOMÍA TROPICAL**  
**TRABAJO DE GRADUACIÓN**



Evaluación de dos modalidades de riego por aspersion en *Saccharum officinarum*, Poaceae “Caña de azúcar”, en fincas del Ingenio Tzululá, San Andrés Villaseca, Retalhuleu.

TPA: Eduardo Roberto Quiñónez Melgar.

Carné: 201547215

CUI: 2869140931001

Correo: equinonezmelgar@gmail.com

**Mazatenango, abril de 2024.**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE  
INGENIERÍA EN AGRONOMÍA TROPICAL  
TRABAJO DE GRADUACIÓN



Evaluación de dos modalidades de riego por aspersion en *Saccharum officinarum*, Poaceae “Caña de azúcar”, en fincas del Ingenio Tzululá, San Andrés Villaseca, Retalhuleu.

TPA: Eduardo Roberto Quiñónez Melgar.

Carné: 201547215

Ing. Agr. Nicolás Barrios de León.

Supervisor - Asesor

**Mazatenango, abril de 2024.**

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

M.A. Walter Ramiro Mazariegos Biolis Rector

Lic. Luis Fernando Cordón Lucero Secretario General

**MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE  
SUROCCIDENTE**

M.A. Luis Carlos Muñoz López Director en Funciones

**REPRESENTANTE DE PROFESORES**

MSc. Edgar Roberto del Cid Chacón Vocal

**REPRESENTANTE GRADUADO DEL CUNSUROC**

Lic. Vílser Josvin Ramírez Robles Vocal

**REPRESENTANTES ESTUDIANTILES**

TPA. Angélica Magaly Domínguez Curiel Vocal

PEM y TAE. Rony Roderico Alonzo Solís Vocal

## **COORDINACIÓN ACADÉMICA**

MSc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar  
Coordinador Académico

Dr. Álvaro Estuardo Gutierrez Gamboa  
Coordinador Carrera Licenciatura en Administración de Empresas

M.A. Edín Aníbal Ortiz Lara  
Coordinador Carrera de Licenciatura en Trabajo Social

Dr. Nery Edgar Saquimux Canastuj  
Coordinador de las Carreras de Pedagogía

MSc. Víctor Manuel Nájera Toledo  
Coordinador Carrera Ingeniería en Alimentos

Dr. Mynor Raúl Otzoy Rosales  
Coordinador Carrera Ingeniería Agronomía Tropical

MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes  
Coordinadora Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local

MSc. Tania María Cabrera Ovalle  
Coordinador Carrera de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales  
Abogacía y Notariado

Lic. José Felipe Martínez Domínguez  
Coordinador de Área

### **CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA**

Lic. Néstor Fridel Orozco Ramos  
Coordinador de las carreras de Pedagogía

M.A. Juan Pablo Ángeles Lam  
Coordinador Carrera Periodista Profesional y  
Licenciatura en Ciencias de la Comunicación

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **A DIOS**

Por la sabiduría, protección y muchas más bendiciones que ha derramado sobre mi vida y la de mi familia durante mucho tiempo, sé que nunca nos dejará.

### **A MIS PADRES**

Blanca Azucena Melgar Genovés y Eduardo Roberto Quiñónez Gualip, por estar en todo momento a mi lado, por los buenos consejos que perdurarán en todo el trayecto de mi vida. Hoy se cumplió el tan anhelado día de la meta profesional.

**Especialmente:** A mi papá Eduardo Roberto Quiñónez Gualip, que hoy goza del descanso eterno en la presencia de nuestro señor Jesucristo, me quisiste con tanta fuerza y bondad que tu amor estará por siempre grabado en mi alma. Se que siempre estuviste para mi en mis años de formación, se que me amabas y que era especial para ti.

Gracias papá por todo lo que me diste, se que hoy estas celebrando mi triunfo en el cielo.

### **A MIS HERMANAS**

Ivonne, Sharon y Sheyla, gracias por el apoyo brindado a lo largo de mi vida. Gracias por los momentos compartidos, por el amor incondicional y por siempre estar ahí cuando los necesito.

### **A MIS SOBRINAS**

María José, Aury Mishelle e Ivelisse Azucena, con muchos respeto y cariño a quienes quiero mucho.

### **A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS**

Con mucho aprecio a todas aquellas personas que confiaron en mí y que nunca dejaron de apoyarme para alcanzar mis metas y objetivos.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Centro Universitario de Suroccidente de la Universidad de San Carlos de Guatemala**, por ser mi Alma Mater y por su contribución a la educación y desarrollo de la región. El compromiso y la dedicación de este centro universitario han dejado una huella positiva en mi vida.

**Claustro de la carrera de Agronomía Tropical**, por su labor educativa y su dedicación en la formación de profesionales en este campo. Su conocimiento, experiencia y compromiso han sido fundamentales para mi crecimiento académico y personal.

**Ing. Agr. Nicolás Barrios de León**, por su invaluable apoyo en la supervisión y asesoramiento durante mi período de Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.). Su guía, experiencia y dedicación han sido fundamentales para mi crecimiento y desarrollo profesional.

**Ingenio Tululá S.A**, por permitir realizar mis prácticas de E.P.S. en sus instalaciones. Ha sido una experiencia memorable que ha contribuido significativamente a mi crecimiento profesional.

**Equipo de trabajo en la empresa**, por haberme brindado su apoyo y orientación durante mi estadía. La generosidad al compartir su conocimiento y experiencia ha sido fundamental para mi aprendizaje y desarrollo.

## ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>2</b>
2.1. Marco Conceptual.....	2
2.1.1. Importancia de la caña de azúcar.....	2
2.1.2. Clasificación taxonómica del cultivo de caña de azúcar.....	2
2.1.3. Características agronómicas del cultivo de caña de azúcar.....	3
2.1.4. Etapa fenológica del cultivo de caña de azúcar.....	3
2.1.5. Demanda climática de la caña de azúcar.....	4
2.1.6. Relación suelo-planta-agua.....	6
2.2. Riego por aspersion.....	7
2.2.1. Sistema de riego de alta presión.....	8
2.2.2. Sistema de riego de baja presión.....	8
2.3. Condiciones de suelo, planta y clima a considerar para una aplicación eficiente del riego por aspersion.....	8
2.3.1. Suelos .....	8
2.3.2. Topografía .....	9
2.3.3. Clima .....	9
2.4. Ventajas y desventajas del uso de riego por aspersion.....	10
2.4.1. Ventajas.....	10
2.4.2. Desventajas.....	10
2.5. Criterios y requisitos para un diseño adecuado.....	11
2.6. Evaluación de un sistema de riego por aspersion.....	12
2.7. Factores para la evaluación de riego.....	13

2.8. Parámetros operativos de sistemas de riego de alta y baja presión.....	14
2.8.1. Sistema de riego de alta presión.....	14
2.8.2. Sistema de riego de baja presión.....	15
2.9. Costos de aplicación de riego en caña de azúcar.....	16
2.9.1. Tipo de sistema de riego.....	16
2.9.2. Inversión inicial.....	16
2.9.3. Costos operativos.....	16
2.9.4. Eficiencia del sistema de riego.....	16
2.9.5. Requerimientos específicos del cultivo.....	17
2.10. Eficiencias de riego.....	17
2.10.1. Eficiencia agronómica.....	17
2.10.2. Eficiencia de aplicación.....	18
2.10.3. Eficiencia de almacenamiento.....	19
2.10.4. Eficiencia de distribución.....	19
<b>III. MARCO REFERENCIAL.....</b>	<b>21</b>
3.1. Localización.....	21
3.2. Ubicación geográfica.....	21
3.3. Vías de acceso.....	21
3.4. Zona de vida.....	21
3.5. Recursos hidrológicos.....	21
3.6. Ubicación y extensión de área de estudio.....	22
<b>IV. OBJETIVOS.....</b>	<b>29</b>
4.1. General.....	29
4.2. Específicos.....	29
<b>V. HIPÓTESIS.....</b>	<b>30</b>

<b>VI. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>
6.1. Materiales. ....	31
6.2. Metodología. ....	31
6.2.1. Para caracterizar los parámetros operativos del riego con aspersores de baja y alta presión en las diferentes fincas del Ingenio Tululá, San Andrés Villaseca, Retalhuleu.....	31
6.2.2. Para analizar la eficiencia agronómica de los sistemas de riego de baja y alta presión de las diferentes fincas del Ingenio Tululá, San Andrés Villaseca, Retalhuleu.....	35
6.2.3. Para comparar los costos de aplicación de riego en los sistemas de baja y alta presión del Ingenio Tululá, San Andrés Villaseca, Retalhuleu .....	46
<b>VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>49</b>
7.1. Caracterización de los parámetros de operación del riego con aspersores de baja presión y alta presión en las diferentes fincas del Ingenio Tululá, San Andrés Villaseca, Retalhuleu. ....	49
7.1.1. Sistema de riego de baja presión. ....	49
7.1.2. Sistema de alta presión. ....	57
7.1.3. Análisis de eficiencias de riego de los sistemas de baja y alta presión.....	64
7.2. Análisis de la eficiencia agronómica de los sistemas de riego de baja presión y alta presión de las diferentes fincas del Ingenio Tululá, San Andrés Villaseca, Retalhuleu. ....	68
7.2.1. Demanda bruta teórica y real. ....	70
7.3. Comparación costos de aplicación de riego en los sistemas de baja presión y alta presión del Ingenio Tululá, San Andrés Villaseca, Retalhuleu.....	72
7.3.1. Sistema de riego de baja presión. ....	72

7.3.2. Sistema de riego de alta presión. ....	73
7.3.3. Resumen sobre costos de operación. ....	74
<b>VIII. CONCLUSIONES .....</b>	<b>75</b>
<b>IX. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>78</b>
<b>X. REFERENCIAS. ....</b>	<b>79</b>
<b>XI. ANEXOS.....</b>	<b>82</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
1	Clasificación taxonómica del cultivo de caña de azúcar	2
2	Etapas fenológicas de la caña de azúcar en condiciones de la zona cañera de Guatemala.	4
3	Valores de ETo promedio (mm) según etapas fenológicas, estratos altitudinales y tercios de zafra para las condiciones de la zona cañera guatemalteca.	5
4	Valores de coeficiente de cultivo (Kc) según etapa fenológicas y tipo de suelo, seleccionados en la zona cañera de Guatemala.	6
5	Escala Beaufort de velocidad del viento.	9
6	Eficiencias adecuadas con diferentes métodos de riego, en una situación óptima de diseño y operación.	18
7	Ubicación geográfica de las fincas evaluadas.	22
8	Fincas evaluadas con sistema de riego de baja presión.	23
9	Fincas evaluadas con sistema de riego de alta presión.	23
10	Resultado de muestreo de suelos en fincas donde se tiene establecido el sistema de riego de baja presión.	25
11	Resultado de muestreo de suelos en fincas donde se tiene establecido el sistema de riego de alta presión.	27
12	Datos operativos de los sistemas de aspersión de baja presión evaluados.	49
13	Datos obtenidos de la profundidad de mojado de las fincas evaluadas en el sistema de riego de baja.	52
14	Datos climáticos obtenidos mediante el anemómetro utilizado durante las evaluaciones de sistema de riego de baja presión.	53
15	Porcentaje de pérdida por factores climáticos para el sistema de riego de baja presión.	53
16	Porcentaje de uniformidad de distribución de la instalación para los sistemas de riego de baja presión de la instalación.	54

<b>Cuadro</b>	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
17	Estimación de tiempo de riego ( $T_r$ ) para el sistema de riego de baja presión.	55
18	Estimación de intervalo de riego ( $I_r$ ) para el sistema de riego de baja presión.	55
19	Datos operativos de los sistemas de aspersión de alta presión.	57
20	Datos obtenidos de la profundidad de mojado de las fincas evaluadas en el sistema de riego de alta presión.	59
21	Datos climáticos obtenidos en las evaluaciones realizadas en los sistemas de riego de alta presión.	60
22	Porcentaje de pérdida por factores climáticos para el sistema de riego de alta presión.	61
23	Porcentaje de uniformidad de distribución de la instalación para los sistemas de riego de alta presión.	61
24	Estimación de tiempo de riego para el sistema de riego de alta presión.	62
25	Intervalo de riego teórico para el sistema de riego de alta presión.	63
26	Datos de eficiencias obtenidos en los sistemas de riego de baja presión.	64
27	Datos de eficiencias obtenidos en los sistemas de riego de alta presión.	65
28	Determinación de la eficiencia agronómica para los sistemas de baja presión evaluados.	68
29	Determinación de la eficiencia agronómica para los sistemas de alta presión evaluados.	69
30	Estimación de demanda bruta teórica y real de los sistemas de riego del Ingenio Tzululá.	70
31	Resultados obtenidos de los sistemas de riego de baja presión en la temporada 2021 - 2022.	72
32	Resultados obtenidos de los sistemas de riego de alta presión en la temporada 2021 - 2022.	73

<b>Cuadro</b>	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
33	Comparación de costos de los sistemas evaluados.	74
34	Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Minar sección 1.	83
35	Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Normandía sección 1.	84
36	Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Normandía Sección 2.	85
37	Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca San Caralampio sección 2.	86
38	Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca San Caralampio sección 4.	87
39	Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Vaquil sección 3.	88
40	Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Vaquil sección 4.	89
41	Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Santander sección 2.	90
42	Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Tululá sección 1.	91
43	Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Tululá sección 17.	92
44	Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Minar sección 2.	93
45	Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Santa Teresa sección 2.	94
46	Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Margarita sección 2.	95
47	Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Margarita sección 4.	96

<b>Cuadro</b>	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
48	Parámetros de operación de los sistemas de riego de baja presión evaluados del Ingenio Tululá.	97
49	Parámetros de operación de los sistemas de riego de alta presión evaluados del Ingenio Tululá.	98

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
1	Aspersor de baja presión instalado en finca Minar sección 1.	24
2	Sistema de riego de alta presión instalado en Finca Tuluá sección 2.	26
3	Medición de presión de salida de caudal de aspersores de ambos sistemas evaluados.	31
4	Monitoreo de RPM del motor.	32
5	Monitoreo de datos del anemómetro.	32
6	Medición de área para establecimiento de pluviómetros.	35
7	Distribución de los pluviómetros en el sistema de riego de baja presión.	36
8	Distribución de los pluviómetros en el sistema de riego de alta presión.	36
9	Realización de aforo en sistema de riego de baja presión.	37
10	Recolección de agua en milímetros por cada pluviómetro durante la evaluación de los sistemas de riego.	38
11	Medición de aplicación de agua de riego.	39
12	Tubería principal de 8 pulgadas con reductores de 2.5 pulgadas en el sistema de riego de baja presión, ubicado en Finca Vaquil sección 2.	50
13	Gráfica de lámina neta aplicada en el sistema de riego de baja presión.	51
14	Unión de tubería principal de 8" con tubería secundaria de 6" en riego de alta presión.	58
15	Gráfica de lámina neta aplicada en el sistema de riego de alta.	58
16	Fuga por mala instalación en finca Minar sección 2.	66
17	Trazado del área a evaluar en Finca Santa Ana sección 1.	67
18	A) Fuga de agua en regulador de presión de sistema de riego de baja presión. B) Presión de salida de aspersor a 30 PSI.	71

<b>Figura</b>	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
19	Boleta utilizada para el control de datos en las evaluaciones de aspersión de alta y baja presión.	99
20	Motobombas John Deere serie 6068TF150 de 127 HP 1800 rpm, utilizados en Ingenio Tululá para aplicación de riego en caña de azúcar.....	100
21	Curva de operación de la motobomba John Deere serie 60688TF150.....	100

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivos dos modalidades de riego por aspersión, alta y baja presión en *Saccharum officinarum*, Poaceae “caña de azúcar”, en fincas del Ingenio Tumulá del municipio de San Andrés Villa Seca, Retalhuleu; como parte del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) de la Carrera de Ingeniería en Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala (CUNSUROC).

Desde el inicio de la investigación se plantearon tres objetivos específicos siendo la caracterización de los parámetros operativos en los aspersores de baja y alta presión, el análisis de la eficiencia agronómica y la comparación de costos de aplicación.

Para su desarrollo se evaluaron 10 sistemas de riego de baja presión, y para el sistema de alta presión también se tomaron 10 sistemas, siendo en la actualidad los dos sistemas por aspersión que cuenta el Ingenio Tumulá para la aplicación de lámina de riego.

Se obtuvieron los siguientes resultados de eficiencia agronómica en la modalidad de baja presión, Finca San Caralampio sección dos cuenta con 78.61% siendo los datos mayores a 76% establecido por Gurovich (1985) lo cual se considera en un rango óptimo; para la modalidad de alta presión Finca Tumulá sección 17 cuenta con 80.19%; asimismo se determinó que el sistema de riego de alta presión tiene un consumo de 79,257.54 galones de combustible y un costo de operación de Q2,377,726.20 es más eficiente en la aplicación de riego ya que se obtuvo 22.28% de pérdidas por factores climáticos en comparación del sistema de riego de baja presión que fue de 49.02%.

Asimismo, se obtuvo el promedio de eficiencia de aplicación de lámina de riego para el sistema de baja presión que fue de 74.93% y para el sistema de alta presión fue de 81.93%, lo cual se consideran datos bajos ya que Gurovich (1985) establece que el rango óptimo es de 90%.

La aplicación adecuada de lámina de riego en el cultivo de caña de azúcar *Saccharum officinarum*, no solo garantiza un desarrollo óptimo, sino que también contribuye significativamente al aumento de la producción, mejora de la calidad del cultivo y eficiencia en el uso de recursos.

## ABSTRACT

The objectives of this study were two types of sprinkler irrigation, high and low pressure in *Saccharum officinarum*, Poaceae “sugar cane”, in farms of the Tululá Sugar Mill in the municipality of San Andrés Villa Seca, Retalhuleu; as part of the Supervised Professional Exercise (EPS) of the Agronomy Engineering Degree at the University of San Carlos of Guatemala (CUNSUROC).

From the beginning of the research, three specific objectives were set, being the characterization of the operating parameters in the low and high pressure sprinklers, the analysis of agronomic efficiency and the comparison of application costs.

For its development, 10 low-pressure irrigation systems were evaluated, and for the high-pressure system, 10 systems were also taken, currently being the two sprinkler systems that the Tululá Sugar Mill has for the application of irrigation sheet.

Obtaining the following results of agronomic efficiency in the low pressure mode, Finca San Caralampio section two has 78.61%, the data being greater than 76% established by Gurovich (1985), which is considered in an optimal range; for the high pressure modality Finca Tululá section 17 has 80.19%; Likewise, it was determined that the high pressure irrigation system has a consumption of 79,257.54 gallons of fuel and an operating cost of Q2,377,726.20, it is more efficient in the application of irrigation since 22.28% losses were obtained due to climatic factors compared to the low pressure irrigation system that was 49.02%.

Likewise, the average efficiency of irrigation sheet application was obtained for the low pressure system, which was 74.93% and for the high pressure system, it was 81.93%, which is considered low data since Gurovich (1985) establishes that the optimal range is 90%.

The adequate application of irrigation sheet in the cultivation of sugar cane, *Saccharum officinarum*, not only guarantees optimal development, but also contributes significantly to increased production, improved crop quality and efficiency in the use of resources.

## I. INTRODUCCIÓN

El sistema de riego por aspersión es uno de los métodos con más presencia en la agroindustria azucarera guatemalteca, lo que permite flexibilidad de siembra en lugares de poca lluvia y permite que los ingenios azucareros controlen el desarrollo del cultivo desde su siembra hasta su cosecha.

Los sistemas de riego por aspersión fueron implementados en los años 80 en las fincas del Ingenio Tzululá, tratando de optimizar recurso hídrico y tener una mejor eficiencia en la aplicación de lámina de riego.

Dada la importancia del riego en el cultivo de la caña de azúcar, el objetivo general de este estudio fue evaluar la eficiencia de dos modalidades de riego por aspersión en los cultivos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en fincas del Ingenio Tzululá del municipio del San Andrés Villa Seca, Retalhuleu.

La metodología consistió en la obtención de datos de los parámetros de operación de las motobombas que se utilizaban para la aplicación de riego, tales como: revoluciones por minuto (RPM), libras por pulgada cuadrada (PSI) de salida del aspersor, datos climáticos como velocidad del viento y temperatura, esto mediante el anemómetro. Igualmente, el establecimiento de pluviómetros para las evaluaciones de eficiencia de riego en ambos sistemas establecidos y por último los costos de operación durante la zafra 2021 – 2022.

Así mismo, el informe contiene resultados sobre la eficiencia del riego en su aplicación, coeficiente de uniformidad, almacenamiento y análisis de la eficiencia agronómica para ambas modalidades; para el sistema de riego de baja presión se utilizaron aspersores Senninger 4023 que aplican un caudal de 1.12 m<sup>3</sup>/h (4.91gpm) con una presión de 24.60 mca (35 PSI) y para el sistema de riego de alta presión se utilizaron aspersores Nelson F100 que aplican un caudal de 45.42 m<sup>3</sup>/h (200 gpm) y con una presión de 35.15 mca (50 PSI).

El riego en el cultivo de caña de azúcar es una pieza clave en el equilibrio entre la productividad y la calidad del producto, lo que asegura no solo el éxito económico a corto plazo, sino también la sostenibilidad a largo plazo de la agroindustria.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Marco Conceptual.

#### 2.1.1. Importancia de la caña de azúcar.

El cultivo de caña de azúcar es importante para la economía del país en general, en su actualidad se cultivan alrededor de 263,056 hectáreas. En Guatemala operaran 12 ingenios, ubicados en cuatro departamentos de la costa sur del pacifico; siendo ellos Escuintla, Santa Rosa, Retalhuleu y Suchitepéquez. El Azúcar de Guatemala genera más de 54 mil empleos directos que contribuyen al desarrollo del país. La dinámica económica que genera la Agroindustria Azucarera promueve más de 280 mil empleos indirectos. (AZASGUA, 2020).

#### 2.1.2. Clasificación taxonómica del cultivo de caña de azúcar.

Ecured (2013) reporta que la caña de azúcar es una planta tropical que pertenece a la familia de las Poaceae. El término "officinarum" en su nombre científico a menudo se utiliza para indicar que se trata de una variedad de la planta que se cultiva por sus propiedades medicinales o utilitarias. En este caso, se cultiva principalmente por su jugo rico en sacarosa, que se procesa para obtener azúcar.

**Cuadro 1: Clasificación taxonómica del cultivo de caña de azúcar.**

<b>Clase</b>	Equisetopsida
<b>Orden</b>	Poales
<b>Familia</b>	Poaceae
<b>Género</b>	Saccharum L.
<b>Especie</b>	<i>Saccharum officinarum</i> L.

**Fuente: Tropicos.org (2022).**

### **2.1.3. Características agronómicas del cultivo de caña de azúcar.**

Según Romero (2009), el ambiente (suelo y clima) genera el marco en el que se desarrolla y crece el cultivo, definiendo las limitaciones y disponibilidades de recursos agroecológicos dentro de los cuales se debe implantar, cultivar y producir la caña de azúcar. Resulta por lo tanto fundamental 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.

La tecnología (manejo y genotipo) por su parte, buscará minimizar las limitaciones agroecológicas que afectan la productividad del cultivo, favorecer el óptimo aprovechamiento de los recursos ambientales disponibles, maximizar la eficiencia técnico-económica del sistema productivo 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 sostenida.

Los rendimientos a 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 de cultivo y de sus interacciones con los recursos ambientales, el manejo suministrado y el potencial productivo del genotipo. Pero la producción final de azúcar también depende de la influencia de los factores ambientales (Romero, 2009).

### **2.1.4. Etapa fenológica del cultivo de caña de azúcar.**

Existen varias etapas fenológicas del cultivo de la caña de azúcar, y con fines de riego éstas toman en cuenta el período de zafra y épocas de siembra del cultivo de caña, se puede estimar el número de días para cada una de las etapas fenológicas, para que corresponda al total de días a regar en poscorte o precorte en cada uno de los estratos altitudinales.

Estas variables se ilustran a continuación:

**Cuadro 2: Etapas fenológicas de la caña de azúcar en condiciones de la zona cañera de Guatemala.**

Etapa fenológica de la caña de azúcar y su duración.				
No.	Etapa fenológica		Duración (días)	Acumulado
1	Iniciación (EF-1)		45	45
2	Macollamiento (EF-2)		90	135
3	Elongación	Elongación etapa I (EF-3)	115	250
		Elongación etapa II (EF-3)	65	315
4	Maduración (EF-5)		45	360

**Fuente: Castro (2011).**

Se analiza a través de 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 acumulado en cada una de las etapas fenológicas.

Se observa en el período de 135 a 250 días después de la siembra (EF-3), que los tallos alcanzan su máximo crecimiento (en promedio 1.95 cm/día). Este período es relevante en el primer tercio de la zafra, luego en el tercer tercio. Dada esta característica se considera a esta etapa como crítica, en la cual no se debe permitir estrés. Otras de las etapas consideradas críticas es la etapa inicial (EF-1) debido a una condición de baja humedad en el suelo, la población por metro lineal se reduce significativamente. (Castro, O. 2011)

#### **2.1.5. Demanda climática de la caña de azúcar.**

Esta se determina a través de la evapotranspiración (ET<sub>o</sub>) de un cultivo de referencia, el cual es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder evaporante de la atmósfera. Los únicos factores que afectan la ET<sub>o</sub> son los parámetros climáticos. (FAO. 2006)

A continuación, se detallan para cada tercio de zafra y etapa fenológica los valores de ETo estimados a través de Penman-Monteith (FAO, 1998).

**Cuadro 3: Valores de ETo promedio (mm) según etapas fenológicas, estratos altitudinales y tercios de zafra para las condiciones de la zona**

Estrato	EF-1			EF-2			EF-3			EF-4		
	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	4.36	4.75	5	4.84	5.08		5.16		4.48		4.44	4.45
Medio	4.7	5.3	5.41	5.39	5.54		5.47		4.66		4.6	4.89
Bajo	4.76	5.13	5.74	5.29	5.75	5.69	5.82		4.88		4.83	4.79
Muy bajo	4.31	5.25	5.55	5.35	5.5	4.89	5.18		4.4		4.37	4.59
Litoral	4.51	5.03	5.55	5.14	5.48	5.1	5.28		4.57		4.65	4.63

Observaciones: Evapotranspiración de un cultivo de referencia (Eto) estimado con Penman-Monteith. Promedio años 2006-2010. La Ef en el 2/3 coincide con el invierno. La EF-4 no aplica para 1/3.

**Fuente: Castro (2011).**

Se detallan los valores promedio en milímetros de las etapas fenológicas, utilizando EF – 2/3 para esta investigación.

La capacidad del suelo de retener agua es muy variable en la zona cañera guatemalteca y es dependiente de la clase textural. Los suelos con altos contenidos de arena tienen una baja capacidad de retención de agua, mientras que las clases texturales con predominio de limo tienen una alta capacidad de retención. La capacidad del suelo de retener agua es igual a lámina de agua aprovechable (LAA) el cual, se calcula con las constantes de humedad gravimétrica del suelo: Capacidad de campo y Porcentaje de marchitez permanente, ambas constantes definidas a nivel de laboratorio a 0.3 y 15 atmósferas respectivamente, además con el valor de densidad aparente y profundidad del suelo.

En base en la aptitud de la caña de azúcar a evapotranspirar se seleccionan los valores del coeficiente de cultivo (Kc) que servirán para cuantificar las cantidades de agua que estará requiriendo el cultivo en cada etapa fenológica, el cual se detalla a continuación.

**Cuadro 4: Valores de coeficiente de cultivo (Kc) según etapa fenológicas y tipo de suelo, seleccionados en la zona cañera de Guatemala.**

Textura	Etapas fenológicas (DDC)			
	EF -1 (0-45)	EF-2 (45-135)	EF-3 (135-250)	EF-4 (250-315)
	Kc (aptitud de la caña para evapotranspirar)			
Franco arenoso	0.3	0.6	0.9	1
Franco Arcilloso				
Arcillosos				
Arena Franca				
Arena	0.3	0.3	0.6	0.7
Franco limosos				
Franco Arcillo-limosos				
Franco				
Franco limoso + aporte capilar	0.3	0.3	0.3	0.3

**Fuente: Castro (2011).**

En el cuadro 4 se muestran distintos valores de coeficiente de cultivo (Kc) para la caña de azúcar en sus diferentes etapas fenológicas, considerando así la EF-1 (Iniciación); EF-2 (Macollamiento); EF-3 (Elongación fase I); EF4 (Elongación fase II); EF-5.

#### **2.1.6. Relación suelo-planta-agua.**

Subiros (2000); indica que es una condición de adecuada humedad en el suelo. (Cuando este se encuentra a capacidad de campo), las raíces toman el agua sin dificultad y la planta, en condiciones normales, se desarrolla satisfactoriamente.

Desde este punto de vista, el suelo debe ser visto como un lugar de almacenamiento de agua. La capacidad que posee este para suplir agua a la planta está dada en función de la profundidad del perfil y de sus características tales como la textura, el contenido de materia orgánica, la conductividad hidráulica y conductividad capilar, los factores ambientales responsables de la evaporación e incluso las prácticas del cultivo. La capacidad de la planta para tomar el agua depende, además de los factores citados, de la cantidad, distribución y capacidad de las raíces para absorber en cada horizonte del suelo (aspecto que está relacionado con la variedad).

El movimiento que experimenta el agua del suelo hacia las raíces y posteriormente, a la atmósfera, ocurre de una manera termodinámicamente continua. Al deshidratarse las células de las hojas, mediante la transpiración, provocan una disminución del potencial hídrico y se establece un gradiente de potencial entre las hojas y el componente "raíces y suelo". Cuando el potencial hídrico en la superficie del sistema radicular es menor, el agua se desplaza del suelo a la raíz y de esta al follaje. La intensidad con que ocurre este fenómeno está dando por el gradiente de potencial y por la resistencia que encuentra el agua en su desplazamiento.

Esto repercute en el desarrollo y, por lo tanto, en la producción de caña y sacarosa. Por ninguna razón conviene demorar demasiado en el riego: una vez que se conoce debe realizarse; de lo contrario, comienza a declinar la tasa de elongación del tallo. A medida que la humedad se pierde por transpiración del follaje y evaporización de la superficie del suelo (ET<sub>o</sub>), esta es retenida con mayor fuerza por las partículas del suelo, aspecto que impide a la planta la absorción de agua, hasta un punto en que se comienza a afectar su metabolismo. La disponibilidad de agua en el suelo ha sido definida de varias maneras; sin embargo, quizá una de las más acertadas es la denominada como "humedad fácilmente aprovechable o humedad total disponible.

## **2.2. Riego por aspersión.**

Según Hernández (1992) citado por Gonzales Robles (2016), se puede definir al riego por aspersión como la aplicación artificial de agua al terreno, tratando de imitar la lluvia natural, forzando el agua a través de aberturas o boquillas, mediante presión que se incorpora a las tuberías del sistema por medio de una bomba, o por gravedad, si las condiciones de desnivel entre la fuente de agua y la zona de riego así lo permiten.

En términos generales, un sistema de riego por aspersión consiste en un equipo de motor y bomba, que suministra energía al sistema cuando no existe suficiente desnivel natural entre la fuente de agua y la zona de riego. De la bomba parten una o más tuberías principales que conducen y distribuyen el agua a presión a través de todo el campo. Estas tuberías van conectadas a las tuberías laterales, sobre las cuales van montados los aspersores o rociadores, con sus respectivas tuberías elevadoras. Como complemento de lo anterior, existen una serie de válvulas y accesorios que tienen a facilitar la

distribución y el control del agua en el campo, tales como llaves, codos, tapones, uniones e hidrantes. Hernández (1992) citado por Gonzales Robles (2016),

### **2.2.1. Sistema de riego de alta presión.**

El riego por cañones es similar al riego por aspersión común, la única diferencia es que en el aspersor convencional el alcance de los emisores es de un tamaño medio, mientras que el riego por cañones el alcance es mucho más grande. En el riego por cañones es común observarlos con una red de tubería semifija debido a las altas presiones (50 PSI) y una aplicación de lámina de riego de 174 gal/min que manejan estos tipos de aspersores, aunque también es posible encontrarlos móviles. (Irrigationtech, 2022)

### **2.2.2. Sistema de riego de baja presión.**

Como su nombre lo indica, se refiere a un sistema por aspersión en menor escala, en cuanto a caudal se refiere, porque las áreas que cubre pueden ser igual de extensas que la aspersión por cañón, es un sistema que, por la distribución de las tuberías y su diseño, permite trabajar con baja presión (30 PSI) y una aplicación de lámina de riego de 3.82 gal/min, lo cual contribuye a un ahorro de costos operativos de la motobomba. (Irrigationtech, 2022)

## **2.3. Condiciones de suelo, planta y clima a considerar para una aplicación eficiente del riego por aspersión.**

Según Hernández (1992) citado por Gonzales Robles (2016) el riego por aspersión exige o necesita de algunas condiciones para que pueda ser utilizado con ventajas sobre los otros métodos:

### **2.3.1. Suelos**

Este método se adapta a casi todos los suelos considerados como regables. Sin embargo, generalmente no da resultados satisfactorios en suelos muy pesados y da, en cambio, muy buenos resultados en suelos ligeros, siendo la aspersión una magnífica alternativa para el aprovechamiento agrícola bajo riego.

### 2.3.2. Topografía

Desde el punto de vista topográfico se puede decir que, en general e independientemente del método de riego empleado, la eficiencia de riego tiende a disminuir a medida que aumenta la pendiente del terreno y las irregularidades topográficas; sin embargo, los costos de la adecuación de tierras, labor necesaria para obtener una eficiencia de riego aceptable, son menores con la utilización del riego por aspersión que con el uso de los métodos de riego superficiales. Así mismo se puede decir que estos últimos alcanzan su mayor eficiencia cuando se emplean en terrenos con pendientes menores del 1%, no existiendo esta limitación para el riego por aspersión, el cual puede ser empleado en terrenos con pendientes muchos mayores.

### 2.3.3. Clima

La eficiencia del riego por aspersión puede ser afectada seriamente por factores climáticos, principalmente el viento y la evaporación, razón por la cual estos elementos deben ser tomados en consideración en el momento de diseñar un sistema de riego, a fin de minimizar sus efectos negativos sobre el mismo. (Hernández (1992) citado por Gonzales Robles (2016)).

A continuación, se presenta la escala de Beaufort el cual representa la velocidad del viento en kilómetros por hora.

**Cuadro 5: Escala Beaufort de velocidad del viento.**

Velocidad del viento	
Tipo de viento	Km/h
Brisa	1 – 5
Suave	6 – 11
Leve	12 – 19
Moderado	20 – 28
Regulares	29 – 38
Fuertes	39 – 49
Ventarrón	50 – 61
Temporal	62 - 74

**Fuente: Poringuero, J. (2011)**

Esta escala es útil para estimar la velocidad del viento en situaciones en las que no se dispone de instrumentos de medición. Sin embargo, para esta investigación se utilizó anemómetro.

## **2.4. Ventajas y desventajas del uso de riego por aspersión.**

### **2.4.1. Ventajas.**

- ❖ Se obtiene una alta eficiencia de aplicación de agua y una buena uniformidad en la penetración de ella en el suelo.
- ❖ Puede utilizarse con eficiencia aceptable y sin mayores riesgos de erosión en suelos cuyas condiciones de irregularidades topográficas y altas pendientes, limitaría el uso del riego mediante métodos superficiales.
- ❖ Muy utilizado en suelos delgados o poco profundos.
- ❖ Es posible aplicar abonos líquidos o solubles simultáneamente con el riego por aspersión.
- ❖ Posee un menor costo inicial con respecto al riego localizado (goteo).
- ❖ Mayor versatilidad de los equipos al querer regar un cultivo diferente, lo cual resulta muy limitado en riegos localizados.
- ❖ Representa un menor obstáculo sobre el terreno, ofreciendo una mayor factibilidad para ejecución de labores mecanizadas. (Hernández (1992) citado por Gonzales Robles (2016)

### **2.4.2. Desventajas.**

- ❖ El viento puede distorsionar el patrón de distribución de agua sobre el suelo y disminuir la cantidad de ella que llega al mismo, lo cual afectaría las eficiencias de aplicación y de distribución del agua.

- ❖ Las pérdidas de agua por evaporación son mayores que en los métodos superficiales, pues el agua se esparce en el aire en forma de gotas que en conjunto exponen una gran superficie evaporante.
- ❖ Crea en ocasiones condiciones de alta humedad alrededor de los cultivos, favoreciendo el desarrollo de enfermedades fungosas.
- ❖ En algunos cultivos el impacto de las gotas de agua contra las flores puede ocasionar la caída de éstas, obteniéndose en ciertos casos una reducción apreciable en los rendimientos.

## **2.5. Criterios y requisitos para un diseño adecuado.**

- ❖ El tiempo que debe permanecer regando cada lateral con sus respectivos aspersores, en cada una de las distintas posiciones que va a ocupar en el campo, debe ser suficiente como para aplicar el volumen de agua requerido en la zona radical del suelo.
- ❖ El sistema debe ser capaz de suministrar el agua sobre toda el área regada, con la misma velocidad con que la requiere el cultivo durante el período de máximos requerimientos hídricos.
- ❖ El agua aplicada por los aspersores debe distribuirse con uniformidad dentro del área efectiva de los mismos. Con tolerancias del 20% por encima o por debajo de la precipitación media deseada.
- ❖ Para lograr una adecuada uniformidad en la distribución del agua, es necesario que exista solapamiento dentro del radio de mojado del aspersor.
- ❖ Las pérdidas de agua por efecto de evaporación y viento, deben ser como máximo del 15-20% del total de agua aplicada por el sistema.
- ❖ En cultivos delicados como flores y algunas hortalizas, utilizar aspersores con boquillas y presiones adecuadas.

- ❖ Procurar seleccionar diámetros de tuberías principales y laterales de manera que resulten los mejores y más baratos posibles.
- ❖ En el trazado y localización de las tuberías, es necesario considerar que la tubería principal debe estar dirigida, en lo posible, según el eje del terreno a regar y en el sentido de la mayor pendiente.
- ❖ La diferencia de presiones entre los aspersores inicial y final en la tubería lateral debe ser inferior o igual al 20% de la presión máxima en dicha tubería
- ❖ La pérdida de carga admisible en la longitud total de la tubería principal, debe estar en el orden del 15-20% de la presión de operación promedio de los aspersores.
- ❖ Con los rangos de pérdidas de carga admisibles en las tuberías principal y laterales señalados en puntos anteriores, se pretende lograr que la diferencia en cantidades de agua aplicadas por el aspersor que funcione con mayores presiones y el aspersor que trabaje con mejor presión sea inferior o igual al 20%. (Hernández (1992) citado por Gonzales Robles (2016))

## **2.6. Evaluación de un sistema de riego por aspersión.**

La evaluación de un sistema de riego por aspersión es un proceso por el que se puede saber si la instalación y el manejo que se hace de ella reúnen las condiciones necesarias para aplicar los riegos adecuadamente, esto es, cubriendo las necesidades del cultivo para la obtención de máximas producciones y al mismo tiempo minimizando las pérdidas de agua. (Hernández (1992) citado por Gonzales Robles (2016))

Las evaluaciones se realizarán en las condiciones normales de funcionamiento, de forma que lo observado coincida con la situación usual durante la aplicación de los riegos. En una evaluación de riego por aspersión es necesario:

- ❖ Comprobar el estado de los diferentes componentes de la instalación y si el mantenimiento es adecuado.
- ❖ Determinar los caudales reales aplicados por los aspersores a la presión de trabajo y la lámina de agua aplicada al campo por unidad de tiempo.

- ❖ Determinar la uniformidad de distribución y la eficiencia de aplicación del agua de riego.
- ❖ Detectar y analizar los problemas de funcionamiento de la instalación y plantear las soluciones más sencillas y económicas.
- ❖ Analizar los criterios seguidos por el usuario del riego para decidir la lámina de agua a aplicar. (Hernández (1992) citado por Herrera Ramos (2015))

## 2.7. Factores para la evaluación de riego.

Recién finalizada la instalación, se comprobará que los parámetros de operación necesarios para aportar una cantidad de agua con una determinada uniformidad coinciden con lo proyectado. Al principio de cada campaña de riegos, lo que permitirá conocer la cantidad de agua que aplica el sistema por unidad de tiempo y su uniformidad, lo que será necesario para decidir el tiempo de riego y cuando existan motivos para sospechar la existencia de cambios en la uniformidad o en la lámina de agua aplicada.

De manera general con la evaluación se trata de determinar los siguientes factores:

- ❖ **Tasa o intensidad de aplicación.** El agua deberá ser aplicada a una velocidad o tasa de aplicación inferior o igual a la tasa de infiltración básica del mismo, a fin de evitar pérdidas excesivas de agua por encharcamiento y/o escurrimiento superficial. Sin embargo, no se deben utilizar velocidades de aplicación de agua muy bajas porque las pérdidas por evaporación podrían ser excesivas.
- ❖ **Lámina de agua aplicada.** La cantidad de agua aplicada en un riego no debe ser mayor a la necesaria para llevar la zona radical a su contenido de humedad máximo utilizable.
- ❖ **Capacidad del sistema.** El equipo de riego debe ser capaz de suministrar el agua al suelo al menos a la misma velocidad con que el cultivo la requiera durante el período de máximas demandas.

- ❖ **Uniformidad de aplicación.** El agua debe aplicarse en la superficie del suelo lo más uniformemente posible, de manera que el punto de menor aplicación reciba al menos el 80% de la aplicación de agua promedio sobre el área considerada.
- ❖ **Pérdidas de agua.** Estas ocurren entre la boquilla del aspersor y la superficie del suelo debido principalmente al viento y a la evaporación. Son inevitables desde el punto de vista práctico, pero se considera que no debe ser mayor del 10% al 15% del caudal total que fluye por las tuberías del sistema. Hernández (1992) citado por Herrera Ramos (2015).

## **2.8. Parámetros operativos de sistemas de riego de alta y baja presión.**

Los parámetros operativos en el riego con aspersores, ya sea de alta o baja presión, en cultivos de caña de azúcar son fundamentales para asegurar un riego efectivo y eficiente. Los aspersores de alta y baja presión tienen diferencias en términos de diseño y funcionamiento, por lo que los parámetros específicos pueden variar. Hernández (1992) citado por Herrera Ramos (2015).

### **2.8.1. Sistema de riego de alta presión.**

- **Presión del agua:** Los aspersores de alta presión requieren una presión de agua más alta para funcionar eficazmente, generalmente en el rango de 40-80 PSI (libras por pulgada cuadrada). Mantener una presión adecuada es esencial para garantizar que los aspersores distribuyan el agua de manera uniforme y a la distancia deseada. Hernández (1992) citado por Herrera Ramos (2015).
- **Caudal:** El caudal de agua proporcionado por los aspersores de alta presión puede variar según el tipo y modelo del aspersor. Asegurarse de que el caudal sea apropiado para las necesidades de riego de la caña de azúcar es importante para evitar excesos o déficits de agua. Hernández (1992) citado por Herrera Ramos (2015).
- **Radio de alcance:** Los aspersores de alta presión pueden arrojar agua a distancias considerablemente largas, lo que permite cubrir grandes áreas de

cultivo. Ajustar la distancia de alcance es esencial para garantizar que la caña de azúcar reciba la cantidad adecuada de agua. Hernández (1992) citado por Herrera Ramos (2015).

- **Ángulo de riego:** La configuración del ángulo de riego determina la amplitud de la cobertura del aspersor. Ajustar este ángulo es importante para controlar la dirección del riego y evitar desperdicios de agua. Hernández (1992) citado por Herrera Ramos (2015).

### 2.8.2. Sistema de riego de baja presión.

- **Presión del agua:** Los aspersores de baja presión operan a presiones más bajas en comparación con los aspersores de alta presión. Por lo general, requieren presiones de agua en el rango de 15-30 PSI. Esto reduce la energía necesaria y el desgaste en el sistema. Hernández (1992) citado por Herrera Ramos (2015).
- **Caudal:** El caudal en los aspersores de baja presión debe ser ajustado para proporcionar la cantidad de agua necesaria para el cultivo de caña de azúcar sin generar excesos ni déficit. Hernández (1992) citado por Herrera Ramos (2015).
- **Radio de alcance:** Los aspersores de baja presión generalmente tienen un alcance más limitado en comparación con los de alta presión. Esto debe considerarse al planificar la disposición de los aspersores en el campo. Hernández (1992) citado por Herrera Ramos (2015).
- **Ángulo de riego:** Al igual que con los aspersores de alta presión, el ángulo de riego en los aspersores de baja presión se utiliza para controlar la dirección y la amplitud de la cobertura del agua. Hernández (1992) citado por Herrera Ramos (2015).

Independientemente del tipo de aspersor y presión utilizados, es fundamental realizar un monitoreo constante de estos parámetros y realizar ajustes según las

necesidades específicas del cultivo de caña de azúcar. Hernández (1992) citado por Herrera Ramos (2015).

## **2.9. Costos de aplicación de riego en caña de azúcar.**

Los costos de aplicación de riego por aspersión pueden variar según varios factores, incluido la escala de la operación, las condiciones climáticas, la infraestructura existente y el tipo de sistema de riego utilizado. Aquí hay algunos aspectos a considerar al evaluar los costos de aplicación de riego por aspersión:

### **2.9.1. Tipo de sistema de riego.**

- **Aspersión (baja o alta presión):** La elección del sistema de riego afectará los costos asociados con la compra e instalación de equipos, así como con la operación y el mantenimiento.

### **2.9.2. Inversión inicial.**

- **Equipamiento:** La compra de aspersores, bombas, tuberías y otros componentes del sistema de riego será parte de los costos iniciales.
- **Infraestructura:** La instalación de la infraestructura, incluidas las tuberías y la red de aspersores, contribuirá a los costos iniciales.

### **2.9.3. Costos operativos**

- **Consumo de energía:** Los costos operativos incluirán el consumo de energía para operar las bombas y otros equipos del sistema de riego.
- **Mantenimiento:** Los costos asociados con el mantenimiento regular, reparaciones y reemplazo de componentes desgastados deben tenerse en cuenta.

### **2.9.4. Eficiencia del sistema de riego**

- **Uniformidad:** Un sistema de riego eficiente y uniforme puede reducir los costos al garantizar una distribución equitativa del agua.

### 2.9.5. Requerimientos Específicos del Cultivo

- **Necesidades Hídricas:** Las necesidades específicas de riego de los cultivos, como la caña de azúcar, influirán en la cantidad de agua necesaria y, por ende, en los costos asociados.

Es esencial realizar un análisis detallado y específico en cuestión, ya que los costos pueden variar significativamente según las circunstancias particulares. La consulta con expertos en riego y agronomía puede ser valiosa para optimizar los costos y mejorar la eficiencia del sistema de riego. Hernández (1992) citado por Herrera Ramos (2015).

### 2.10. Eficiencias de riego

La cantidad de agua que es derivada de una fuente no es usada en su totalidad por los cultivos a regar, normalmente ocurren pérdidas de agua desde que ésta se deriva hasta que el cultivo la usa. Estas pérdidas pueden ser enormes en sistemas manejados ineficientemente. Considerando que el agua es un recurso escaso en las zonas bajo riego, nadie tiene el derecho de desperdiciarlas cuando otro de sus semejantes puede necesitarla. Por lo tanto, discute desde varios puntos de vista los diferentes tipos de eficiencia a considerar en un sistema de riego. (Hernández (1992) citado por Herrera Ramos (2015).

#### 2.10.1. Eficiencia agronómica

Gurovich (1985) citado por Herrera Ramos (2015). Define una eficiencia que se denomina eficiencia de utilización o eficiencia agronómica (EU) que es el resultado de la interacción de las eficiencias de aplicación, almacenamiento y distribución.

$$Ea = Eap * Eal * Ed$$

Dónde:

Ea: Eficiencia agronómica.

Eap: Eficiencia de aplicación.

Eal: Eficiencia de almacenamiento.

Ed: Eficiencia de distribución.

Esta eficiencia es válida a nivel de predio o parcela. Indica la manera en que se está utilizando el agua con un determinado método de riego, integrando el probable desperdicio (Eap), el correcto humedecimiento de toda la zona de raíces (Eal) y la uniformidad con que el agua fue aplicada en toda la parcela (Ed).

A continuación, se representan los valores adecuados de eficiencias de riego para los sistemas de riego por inundación, por surcos, por bordes, por aspersión y por goteo, todos funcionando bajo condiciones óptimas de diseño y operación.

**Cuadro 6: Eficiencias adecuadas con diferentes métodos de riego, en una situación óptima de diseño y operación.**

Método de riego	Eap	Eal	Ed	Ea
Aspersión	0.9	1	0.85	0.76
Gravedad	0.4	0.85	0.6	0.2
Surcos	0.55	0.85	0.75	0.35
Bordes	0.6	0.9	0.7	0.38
Goteo	0.95	1	0.9	0.86

**Fuente: Gurovich (1985) citado por Herrera Ramos (2015).**

### 2.10.2. Eficiencia de aplicación.

De acuerdo con Sandoval (2007), la eficiencia de aplicación es la relación que existe entre el agua almacenada en la zona de raíces (Aa) y el agua recibida en la toma-granja (Atg).

$$Eap = (Aa / Atg) * 100$$

La Eap puede ser calculada para un surco o bordo (melga) individual, para su parcela para una finca o para un proyecto de riego grande. Cuando se aplica a áreas mayores de la parcela, se traslapa con la definición de eficiencia de conducción debido a las pérdidas en los canales de distribución ya dentro del sistema. El concepto más usado es que esta representa la habilidad con que se riega de manera precisa y sin desperdicios.

### 2.10.3. Eficiencia de almacenamiento.

Sandoval (2007), menciona que esta eficiencia se define como la relación entre el agua almacenada en la zona principal de raíces como efecto del riego y el agua necesaria para llevar esa zona hasta la capacidad de campo.

$$Eal = (Aa / An) * 100$$

Donde:

Eal: Eficiencia de almacenamiento.

Aa: Agua almacenada en la zona principal de raíces (m<sup>3</sup> o cm).

An: Agua necesaria para llevar la zona principal de raíces a CC (m<sup>3</sup> o cm).

El An cuando se expresa en centímetros es igual que la lámina de riego neta para llevar la humedad de la zona principal de raíces desde donde se entra (Psa) hasta la capacidad de campo (CC).

### 2.10.4. Eficiencia de distribución.

Según Sandoval (2007), al aplicar el agua de riego a un terreno debe procurarse que la cantidad de ésta penetre uniformemente en toda el área, esto es difícil de lograr sobre todos los métodos de riego superficial en los que el tiempo de oportunidad es mayor al inicio del recorrido que al final lo cual incide en que la penetración en el inicio sea mayor que el final dando una distribución no uniforme. La Ed, se define como la relación entre el promedio de profundidades alcanzado por el agua en un perfil durante el riego y desviación de producto para un número de puntos específicos de muestreos.

$$Ed = \left( 1 - \frac{\sum |x|}{Lc * N} * 100 \right)$$

Donde:

Ed: Eficiencia de distribución.

$\sum |x|$  = Suma de las desviaciones de los valores absolutos de láminas captadas en los pluviómetros con respecto a la media de la lámina captada por todos los pluviómetros.

N = Número ajustado de observaciones

Lc = Lámina media captada.

### III. MARCO REFERENCIAL

#### 3.1. Localización.

El Ingenio Tululá se encuentra en jurisdicción del municipio de San Andrés Villa Seca, Retalhuleu. Colinda al norte con el Ingenio El Pilar S.A.; al sur con las aldeas Buenos Aires y El Salto; al este con el municipio de Cuyotenango y al oeste con Aldea Pajales.

#### 3.2. Ubicación geográfica.

El Ingenio Tululá S.A. se encuentra en el municipio de San Andrés Villa Seca, Retalhuleu, en las coordenadas 14°30'19.21" en latitud norte y 91°35'4.84" longitud oeste. Se encuentra a una altitud de 257 metros sobre el nivel del mar. (Fernández Ávila, J.E. 2017)

#### 3.3. Vías de acceso.

La principal vía de acceso que conduce al Ingenio Tululá es a través de la carretera Interamericana CA-2, con una distancia desde la ciudad capital a Cuyotenango, Suchitepéquez de 168 kilómetros. De Cuyotenango a la entrada del Ingenio se recorren 4.5 kilómetros por la carretera hacia San José La Máquina, de este lugar al área central de la empresa hay 0.5 kilómetros de camino de terracería transitable todo el año.

#### 3.4. Zona de vida.

Según Holdridge (1982), el Ingenio se encuentra localizado dentro de la zona de vida Bosque Muy Húmedo Subtropical Cálido, con una precipitación pluvial media anual 2,383.48 mm, una temperatura máxima de 32.6 °C, una temperatura media de 26.1 °C y una temperatura mínima de 23.3 °C.

#### 3.5. Recursos hidrológicos.

Dentro del área que abarca la finca Tululá se encuentran los ríos Sís, Oc, e Ican y los arroyos: Tululá Anayá, Popohuá, Peraz, entre otros. Estos recursos hídricos que atraviesan la finca son fundamentales para el sistema de riego que utiliza el cultivo de caña de azúcar. Del río Ican se deriva un caudal de agua utilizado para el riego en el cultivo de caña de azúcar en varias secciones de la finca Tululá.

### 3.6. Ubicación y extensión de área de estudio.

**Cuadro 7: Ubicación geográfica de las fincas evaluadas.**

Finca	Posición geográfica.		
	Latitud	Longitud	Altura (msnm)
Tululá	14°30'8.06"N	91°35'4.56"O	250
Minar	14°24'36.63"N	91°34'0.68"O	136
Santa Teresa	14°26'0.78"N	91°35'26.64"O	139
Santa Ana	14°25'20.30"N	91°35'38.61"O	129
Santa Julia	14°26'21.24"N	91°36'57.44"O	143
Margarita	14°25'46.26"N	91°38'16.72"O	133
Normandía	14°24'49.29"N	91°34'40.11"O	127
San Caralampio	14°28'48.30"N	91°39'8.89"O	179
Vaquil	14°27'40.41"N	91°42'30.91"O	139
Santander	14°20'32.82"N	91°45'34.46"O	56

**Fuente: Maestro de lotes 2021 – 2022.**

Según la clasificación de zonas de vida de Guatemala (Cruz, 1976) las fincas de producción agrícola con el cultivo de caña de azúcar *S. officinarum* del Ingenio Tululá, que se encuentran a una altura de 50 a 260 msnm, se clasifican como bosque subtropical cálido y bosque muy húmedo subtropical cálido.

Seguidamente se muestra el área en hectáreas de las fincas evaluadas:

**Cuadro 8: Fincas evaluadas con sistema de riego de baja presión.**

No.	Finca	Sección	Área (Ha)
1	Minar	1	92.64
2	Normandía	1	88.88
3	Normandía	2	95.11
4	San Caralampio	2	115.35
5	San Caralampio	4	116.94
6	Vaquil	1	110.63
7	Vaquil	2	110.22
8	Vaquil	3	101.84
9	Vaquil	4	112.61
10	Santander	1	130.82
<b>Total</b>			<b>1075.04</b>

También se obtuvo el total de hectáreas para el sistema de riego de alta presión donde se realizaron las evaluaciones.

**Cuadro 9: Fincas evaluadas con sistema de riego de alta presión.**

No.	Finca	Sección	Área (Ha)
1	Tululá	1	172.296
2	Tululá	2	121.97
3	Tululá	16	45.45
4	Tululá	17	20.22
5	Minar	2	41.71
6	Santa Teresa	1	60.13
7	Santa Ana	1	113
8	Santa Julia	5	98.31
9	Margarita	2	44.9
10	Margarita	4	67.57
<b>Total</b>			<b>785.556</b>

El sistema de riego de baja presión es semifijo ya que cuenta con tubería principal de 6" y tubería lateral de 2.5", la distribución de ramales es con tubos de aluminio de 63 milímetros y está conectado al hidrante cada 54 metros. El sistema está diseñado para que trabajen simultáneamente 200 aspersores con las siguientes características:

El modelo Senninger 4023, con un caudal de 1.12 m<sup>3</sup>/h (4.91gpm) con una presión de 24.60 mca (35 PSI) con una boquilla de 3.97 mm. La distancia entre aspersores es de 12 m y de lateral es de 18 m. Se tiene diseñado regar 8.64 hectáreas diarias y el tiempo por riego por turno es de 11 horas/día, con una frecuencia de 11 días. Dicho aspersor se

encuentra establecido en finca Minar, sección uno. El cultivo se encontraba en estado soca.



**Figura 1: Aspersor de baja presión instalado en finca Minar sección 1.**

En las fincas evaluadas se realizaron muestreo de suelos con fines de riego para determinar los estratos, textura y densidad aparente; para obtener dichas muestras se utilizó un barreno helicoidal y las muestras fueron enviadas al laboratorio de CENGICAÑA para su respectivo análisis, los resultados se muestran a continuación:

**Cuadro 10: Resultado de muestreo de suelos en fincas donde se tiene establecido el sistema de riego de baja presión.**

Identificación de la etiqueta			Arcilla	Limo	Arena	Tipo de Textura	CC	PMP	DAP
Finca	Sección	Estrato	%				% H	g/cc	
Minar	1	0-20	27.28	30.41	42.30	Franco Arcilloso	29.69	20.66	1.12
Minar	1	20-40	37.12	33.00	29.88	Franco Arcilloso	29.60	22.10	1.12
Minar	1	40-60	50.99	27.37	21.64	Arcilloso	31.02	24.27	1.08
Normandía	1	0-20	32.00	36.92	31.08	Franco Arcilloso	29.96	20.97	1.15
Normandía	1	20-40	19.42	34.72	45.86	Franco	31.43	22.21	1.11
Normandía	1	40-60	58.51	20.33	21.16	Arcilloso	34.22	26.03	1.11
Normandía	2	0-20	35.77	29.34	34.90	Franco Arcilloso	29.57	20.39	1.13
Normandía	2	20-40	42.24	27.97	29.79	Arcilloso	31.95	22.91	1.11
Normandía	2	40-60	48.43	23.27	28.30	Arcilloso	35.03	25.51	1.06
San Caralampio	2	0-20	39.16	10.63	50.22	Arcilloso Arenoso	40.01	25.98	1.02
San Caralampio	2	20-40	26.04	34.38	39.58	Franco	33.91	23.78	0.99
San Caralampio	2	40-60	47.98	23.20	28.81	Arcilloso	34.19	21.11	1.06
San Caralampio	4	0-20	36.80	29.37	33.83	Franco Arcilloso	31.70	21.06	1.20
San Caralampio	4	20-40	38.68	21.86	39.46	Franco Arcilloso	26.85	19.14	1.14
San Caralampio	4	40-60	52.43	21.21	26.36	Arcilloso	36.40	24.76	1.12
Vaquil	1	0-20	16.93	29.13	53.94	Franco Arenoso	32.49	20.04	1.09
Vaquil	1	20-40	30.47	32.16	37.36	Franco Arcilloso	28.78	19.06	1.02
Vaquil	1	40-60	43.41	33.80	22.79	Arcilloso	30.63	22.75	1.13
Vaquil	2	0-20	23.66	34.16	42.18	Franco	29.82	22.24	1.18
Vaquil	2	20-40	32.84	37.43	29.73	Franco Arcilloso	30.29	22.46	1.10
Vaquil	2	40-60	51.16	29.77	19.07	Arcilloso	33.16	25.19	1.08
Vaquil	3	0-20	29.67	40.41	29.92	Franco Arcilloso	26.85	20.54	1.16
Vaquil	3	20-40	19.30	32.31	48.39	Franco	28.18	20.69	1.12
Vaquil	3	40-60	31.69	36.50	31.81	Franco Arcilloso	27.19	19.65	1.22
Vaquil	4	0-20	31.95	40.04	28.01	Franco Arcilloso	30.89	21.67	1.10
Vaquil	4	20-40	32.13	35.96	31.92	Franco Arcilloso	33.25	24.67	1.12
Vaquil	4	40-60	29.02	44.41	26.57	Franco Arcilloso	28.62	19.20	1.10
Santander	1	0-20	17.78	32.18	50.04	Franco	24.87	16.58	1.07
Santander	1	20-40	44.35	32.67	22.98	Arcilloso	28.47	21.07	1.10
Santander	1	40-60	39.29	33.42	27.29	Franco Arcilloso	34.12	26.14	1.14

**Fuente: Cengicaña (2021).**

Se muestra el resultado de los muestreos de suelo, clasificado por estratos (0 – 20, 20 – 40, 40 – 60) realizado en las áreas donde se encuentra establecido el sistema de riego de baja presión.

El sistema de riego de alta presión es un sistema móvil y cuenta con una tubería principal de aluminio de 8 pulgadas de diámetro, la distribución de los ramales es de 6 pulgadas. Está diseñado para que trabajen simultáneamente entre 5 a 6 aspersores con las siguientes características:

Modelo Nelson F100 con un caudal de 45.42 m<sup>3</sup>/h (200 gpm) y con una presión de 35.15 mca (50 PSI) y con un regulador de boquilla de 0.93 pulgadas. La distancia entre aspersores es de 45 metros y de lateral 45 metros. Se tiene diseñado regar 6.075 hectáreas por día y el tiempo de riego por turno es de 3 horas por cambio (6 cambios al día) con una frecuencia de 8 días, dicho aspersor de muestra en la figura tres.



**Figura 2: Sistema de riego de alta presión instalado en Finca Tululá sección 2.**

Aspersor de sistema de alta presión establecido en Finca Tululá sección dos.

En las fincas evaluadas se realizaron muestreos de suelo con fines de riego para determinar los estratos, textura y densidad aparente; para obtener dichas muestras se utilizó un barreno helicoidal y las muestras fueron enviadas al laboratorio de CENGICAÑA para su respectivo análisis. A continuación, se muestran los resultados:

**Cuadro 11: Resultado de muestreo de suelos en fincas donde se tiene establecido el sistema de riego de alta presión.**

Identificación de la etiqueta			Arcilla	Limo	Arena	Tipo de Textura	CC	PMP	DAP
Finca	Sección	Estrato	%				% H	g/cc	
Tululá	1	0-20	33.65	26.85	39.50	Franco Arcilloso	29.11	21.54	1.14
Tululá	1	20-40	39.30	32.81	27.89	Franco Arcilloso	29.30	20.09	1.15
Tululá	1	40-60	48.51	26.64	24.85	Arcilloso	30.75	22.98	1.16
Tululá	2	0-20	35.69	33.29	31.01	Franco Arcilloso	29.59	20.85	1.05
Tululá	2	20-40	33.51	28.90	37.59	Franco Arcilloso	29.61	21.31	1.06
Tululá	2	40-60	47.61	31.52	20.87	Arcilloso	30.82	23.78	1.04
Tululá	16	0-20	35.25	26.90	37.85	Franco Arcilloso	26.87	24.00	0.91
Tululá	16	20-40	12.37	26.53	61.10	Franco Arenoso	20.89	17.02	1.03
Tululá	16	40-60	20.57	36.93	42.49	Franco	19.29	15.38	1.10
Tululá	17	0-20	29.14	31.77	39.08	Franco Arcilloso	25.80	19.09	1.07
Tululá	17	20-40	23.17	24.74	52.09	Franco Arcilloso Arenoso	28.57	19.49	1.08
Tululá	17	40-60	39.91	21.03	39.06	Franco Arcilloso	29.40	21.05	1.10
Míñar	2	0-20	32.42	25.26	42.32	Franco Arcilloso	27.53	20.53	1.12
Míñar	2	20-40	31.88	30.97	37.15	Franco Arcilloso	27.89	19.03	1.13
Míñar	2	40-60	33.03	29.67	37.30	Franco Arcilloso	26.39	19.01	1.14
Santa Teresa	2	0-20	32.15	28.43	39.43	Franco Arcilloso	26.51	17.01	1.20
Santa Teresa	2	20-40	38.16	26.00	35.84	Franco Arcilloso	25.60	13.28	1.17
Santa Teresa	2	40-60	49.01	24.16	26.83	Arcilloso	27.58	19.30	1.15
Santa Ana	1	0-20	47.60	32.81	19.59	Arcilloso	30.47	21.42	1.12
Santa Ana	1	20-40	30.41	32.10	37.49	Franco Arcilloso	27.13	18.33	1.16
Santa Ana	1	40-60	25.74	42.64	31.61	Franco	31.74	22.87	1.05
Santa Julia	5	0-20	37.24	24.99	37.77	Franco Arcilloso	23.93	19.18	1.07
Santa Julia	5	20-40	37.27	22.69	40.04	Franco Arcilloso	21.77	18.30	1.09
Santa Julia	5	40-60	39.29	33.42	27.29	Franco Arcilloso	34.12	26.14	1.14
Margarita	2	0-20	37.00	31.05	31.95	Franco Arcilloso	29.07	21.15	1.00
Margarita	2	20-40	41.95	31.43	26.63	Arcilloso	30.15	21.21	1.09
Margarita	2	40-60	58.90	25.53	15.57	Arcilloso	35.54	25.52	1.07
Margarita	4	0-20	33.46	33.08	33.46	Franco Arcilloso	28.95	21.51	1.03
Margarita	4	20-40	31.23	32.92	35.84	Franco Arcilloso	27.61	20.40	1.11
Margarita	4	40-60	35.71	25.03	39.27	Franco Arcilloso	26.11	18.48	1.11

**Fuente: Cengicaña (2021).**

Se muestra el resultado de los muestreos de suelo, clasificado por estratos (0 – 20, 20 – 40, 40 – 60) realizado en las áreas donde se encuentra establecido los sistemas de riego de alta presión.

Según Ajanel Ajcot, J.L. (2012) La baja eficiencia de almacenamiento del sistema de riego evaluado en las dos secciones, se debe principalmente a que la lámina captada por los pluviómetros, no es igual a la lámina neta de riego necesaria para llevar a capacidad de campo la zona radicular; la lámina aplicada por los aspersores también fue baja, en comparación con la lámina neta, ya que el caudal emitido por estos no es igual al diseñado para los aspersores Nelson F100. Uno de los factores que influyeron para

que el aspersor no emitiera el caudal necesario, fue el estado de deterioro de las bombas, ya que al no funcionar con las revoluciones adecuadas no emiten el caudal esperado y las pausas continuas en el tiempo de riego, debido a sobrecalentamientos en las bombas y a las obstrucciones en los filtros, provocó que no se lograra cubrir la lámina adecuada para la capacidad de campo.

Herrera Ramos, A. (2015) comenta que el resultado de eficiencia de aplicación es de 64.84% y los intervalos de confianza al 95%, dan como resultado un límite inferior de 62.54 y superior de 75.44, esto confirma la mala eficiencia de aplicación ya que el comparador según Gurovich debe ser igual o mayor al 85% para tener una eficiencia correcta. Otro dato de importancia es la eficiencia de almacenamiento que es la relación de la lámina mínima captada por los pluviómetros con la lámina neta de riego, según Gurovich esta eficiencia debe ser del 100%, sin embargo, los resultados que se obtuvieron en las evaluaciones son de 52.18%. Este resultado indica que esta eficiencia es baja.

## IV. OBJETIVOS

### 4.1. General.

Evaluar la eficiencia de dos modalidades de riego por aspersion en el cultivo de caña de azúcar *Saccharum officinarum* del Ingenio Tululá, San Andrés Villaseca, Retalhuleu.

### 4.2. Específicos.

1. Caracterizar los parámetros operativos del riego con aspersores de baja y alta presión en las diferentes fincas del Ingenio.
2. Analizar la eficiencia agronómica de los sistemas de riego de baja y alta presión de las diferentes fincas del Ingenio.
3. Comparar los costos de aplicación de riego en los sistemas de baja y alta presión del Ingenio.

## V. HIPÓTESIS

Hipótesis de trabajo:

Las dos modalidades de riego por aspersión utilizados para la caña de azúcar *Saccharum officinarum* en las fincas del Ingenio Tululá, San Andrés Villa Seca, Retalhuleu, operan con eficiencia agronómica inferior al 76%. Gurovich (1985).

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1. Materiales.

- Vasos pluviométricos cilíndricos.
- Manómetro.
- Cronómetro.
- Manguera plástica flexible.
- Probetas graduadas.
- Cinta métrica.
- Anemómetro.
- Tacómetro digital.
- Vernier.
- Barreno helicoidal.
- Cubeta de 5 galones.
- Tonel de 200 litros.
- Libreta de campo.
- Calculador

### 6.2. Metodología.

Las metodologías presentadas se basan en los objetivos específicos planteados.

#### 6.2.1. Para caracterizar los parámetros operativos del riego con aspersores de baja y alta presión en las diferentes fincas del Ingenio Tumulá, San Andrés Villaseca, Retalhuleu se procedió de la siguiente manera:

##### 6.2.1.1. Descripción de la caracterización de los parámetros operativos.

##### ➤ Mediciones durante el riego.

Con el manómetro se tomaron las presiones de caudal de salida de los aspersores evaluados como se muestra a continuación:



**Figura 3: Medición de presión de salida de caudal de aspersores de ambos sistemas evaluados.**

El rango óptimo de presión de salida del aspersor de baja presión es de 30 – 40 PSI y el aspersor de alta presión es de 40 – 60 PSI.

Para una buena aplicación de lámina de riego es importante las revoluciones por minuto (RPM) por ende se monitoreó mediante el tacómetro digital las revoluciones por minuto (RPM) para que estas no bajaran del parámetro establecido (1,400 – 1,600 RPM en sistema de baja presión y 1,600 – 1,800 RPM en sistema de alta presión).



**Figura 4: Monitoreo de RPM del motor.**

En este caso el tacómetro digital marcaba una velocidad de 1701 revoluciones por minuto.

También se realizó la instalación del anemómetro que estuvo aproximadamente a 75 metros donde ese estaba realizando la evaluación, se anotaban los datos de velocidad del viento y temperatura cada dos horas.



**Figura 5: Monitoreo de datos del anemómetro.**

El anemómetro se monitoreó a cada 20 minutos midiendo la velocidad del viento, humedad relativa y temperatura.

Una vez se obtuvieron los datos de la libreta de campo se tabularon en cuadros de Excel y se realizaron los siguientes cálculos.

➤ **Variables evaluadas.**

A continuación, se describe cada una de las fórmulas utilizadas el cual sirvió para alcanzar el objetivo deseado

✓ **Cálculo de la lámina neta de riego.**

$$L_n = LHA * UR / 100$$

Ejemplo tomando como referencia Finca Minar sección 1.

$$L_n = 51.70 \text{ mm} * 60 \text{ cm} / 100 = 31.02 \text{ mm}$$

Dónde:

$L_n$  = Lamina neta de riego.

LHA = Lámina de humedad aprovechable.

UR = Umbral de riego. (60 cm. Zona radicular de la caña de azúcar)

✓ **Intervalo de riego.**

Este dato se puede tomar como frecuencia de riego.

$$I_r = L_n / Etc$$

Ejemplo tomando como referencia Finca Minar sección 1.

$$I_r = 31.02 \text{ mm} / 5.03 = 6.17 \text{ días}$$

Donde:

$I_r$  = Intervalo mínimo de riego.

Etc = evapotranspiración máxima del cultivo (Dato utilizado en la empresa 5.03).

Ln = Lámina neta de riego.

✓ **Tiempo de riego**

$$Tr = Lb / Q \text{ del aspersor}$$

Ejemplo tomando como referencia Finca Minar sección 1.

$$Tr = 41.36 \text{ mm} / 4.85 \text{ mm/hr} = 8.53 \text{ horas}$$

Donde:

Tr = Tiempo de riego.

Lb = Lámina bruta.

Q del aspersor = Caudal aforado del aspersor.

✓ **Pérdida de agua por transporte.**

Representa el agua que se pierde por transporte eólico y/o evaporación.

$$Pa = \left( 1 - \frac{Aasp}{Vol \text{ cap}} \right) 100$$

Ejemplo tomando como referencia Finca Minar sección 1.

$$Pa = \left( 1 - \frac{2.0984 \text{ m}^3}{3.0879 \text{ m}^3} \right) 100 = 32.04\%$$

Donde:

Aasp = volumen de aforo de aspersores (m<sup>3</sup>)

Vol cap= Volumen captado por los pluviómetros (m<sup>3</sup>)

➤ **Análisis de la información.**

Con los datos obtenidos se tabularon en tablas de Excel y se realizó estadística descriptiva en ambos sistemas de riego evaluados.

**6.2.2. Para analizar la eficiencia agronómica de los sistemas de riego de baja y alta presión de las diferentes fincas del Ingenio Tumulá, San Andrés Villaseca, Retalhuleu se procedió de la siguiente manera:**

**6.2.2.1. Descripción de la toma de datos en campo.**

➤ **Disposición de los pluviómetros**

Se establecieron los pluviómetros a un marco de riego de 3 \* 3 mts en sistema de riego de baja presión y 45 \* 45 mts en sistema de riego de alta presión.

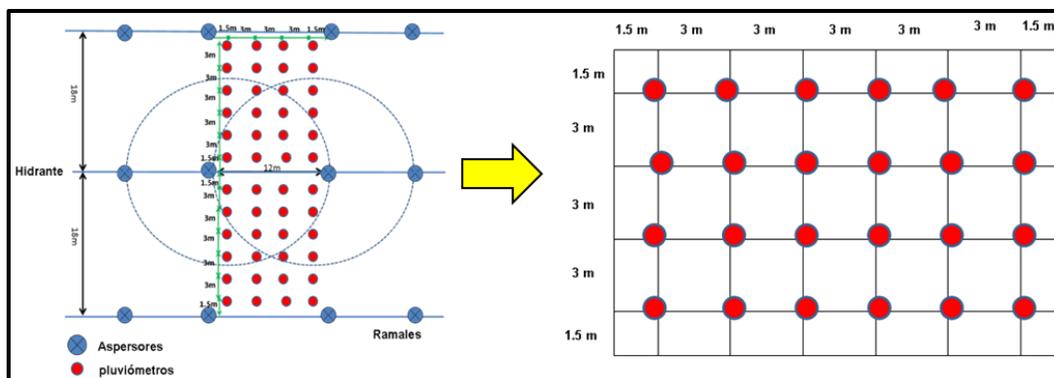


**Figura 6: Medición de área para establecimiento de pluviómetros.**

Para el establecimiento de pluviómetros se tomó en cuenta que el terreno se encontrara en siembra nueva para no tener inconvenientes.

➤ **Sistema de baja presión.**

La distancia entre el aspensor y el primer pluviómetro es de 1.5 metros, luego se ubicaron a 3 metros entre pluviómetros formándose una cuadrícula



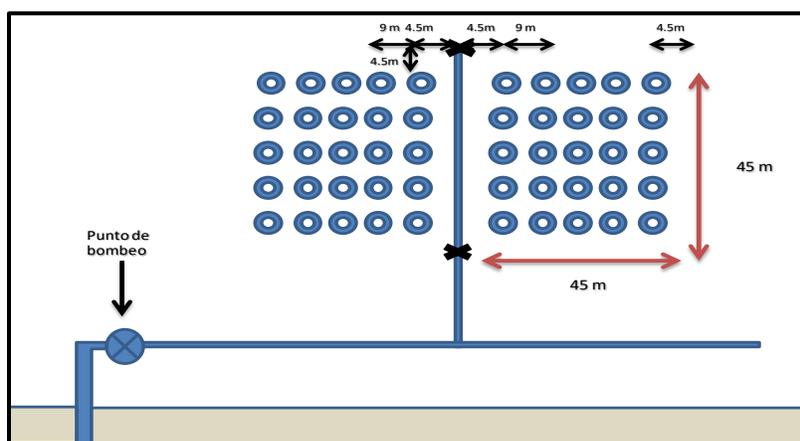
**Figura 7: Distribución de los pluviómetros en el sistema de riego de baja presión.**

**Fuente: Cengicaña (2012).**

En este caso, la distancia inicial de 1.5 metros entre el aspersor y el primer pluviómetro es importante para establecer un punto de referencia para la medición de la precipitación. Luego, la disposición de pluviómetros a 3 metros de distancia entre sí forma una cuadrícula que cubre el área de estudio. Con un total de 48 pluviómetros en esta cuadrícula, se puede obtener una representación bastante precisa de la cantidad de precipitación que cae en diferentes partes del área.

#### ➤ Sistema de alta presión.

La distancia entre el aspersor y el primer pluviómetro es de 4.5 metros, luego se ubicaron a 9 metros entre pluviómetros formándose una cuadrícula; teniendo un total de 50 pluviómetros.



**Figura 8: Distribución de los pluviómetros en el sistema de riego de alta presión.**

**Fuente: Cengicaña (2012)**

La distancia entre el aspersor y el primer pluviómetro establece un punto de partida importante para capturar datos en relación con el aspersor. Luego, la disposición de pluviómetros en una cuadrícula a 9 metros de distancia entre sí permite una recolección de datos detallada en el área de estudio, ya que permite evaluar la variabilidad en la cantidad de agua que llega a diferentes partes del terreno.

➤ **Aforo de aspersores.**

Se introdujo una manguera plástica en la boquilla del aspersor, seguidamente con una cubeta plástica (19 litros en sistema de baja presión y 200 litros en sistema de alta presión) se colectó la descarga de agua durante 30 segundos, realizando este proceso tres veces; con una probeta graduada en litros se midió el volumen de agua colectada.

Determinando el caudal de la siguiente manera:

$$Q = V / T$$

Donde:

Q=caudal (lts/seg)

V=volumen (Lts)

T=tiempo (seg)



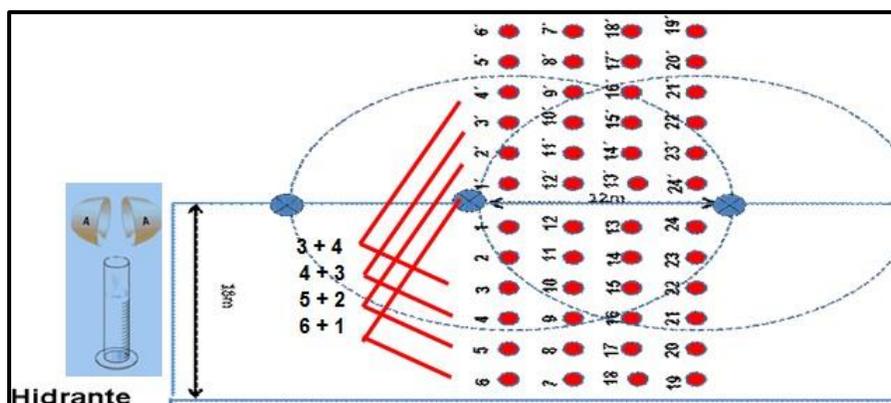
**Figura 9: Realización de aforo en sistema de riego de baja presión.**

Medir la cantidad de agua recogida durante 30 segundos, y repetir este proceso tres veces, es una práctica estándar para obtener una estimación precisa del caudal promedio del aspersor. Luego, utilizando una probeta graduada en litros, se calculó con precisión el volumen total de agua recolectada durante esos tres intervalos de tiempo.

➤ **Medición de pluviómetros.**

Después de las dos horas de riego se utilizó una probeta graduada en mililitros para medir el volumen de agua colectado, realizándolo de la siguiente manera:

Se sumó toda la cantidad de agua colectada, para el cálculo de la lámina aplicada se sumaron los traslapes de la siguiente manera: (1+6), (2+5), (3+4) ... etc. De esta manera se realizó en los dos sistemas de riego evaluados.



**Figura 10: Recolección de agua en milímetros por cada pluviómetro durante la evaluación de los sistemas de riego. Fuente: Cengicaña (2012).**

La suma de la cantidad de agua recolectada en ambos sistemas de riego proporciona una idea clara de la cantidad total de agua aplicada. Sin embargo, lo más interesante es la consideración de los traslapes, que son áreas donde la distribución de agua se superpone. Sumar los traslapes de esta manera es un enfoque para evaluar cómo se está distribuyendo el agua a lo largo del área que se está regando.

Todo el proceso se realizó en el ramal más lejano y cercano a la bomba, obteniendo dos evaluaciones por área. Seguidamente se obtuvo el promedio de las dos evaluaciones y se ingresaron los datos en tablas de Excel para tener un mejor control.



**Figura 11: Medición de aplicación de agua de riego.**

Al evaluar ambos ramales se tiene en cuenta las posibles variaciones en la distribución del agua a lo largo de todo el sistema.

#### **6.2.2.2. Variables evaluadas.**

##### **➤ Cálculos después de riego.**

En los cuadros 10 (Pág. 24) y 11 (Pág. 26) se muestran los muestreos de suelos realizados en las diferentes fincas con sistema de riego de baja y alta presión de donde se obtuvieron los datos necesarios para la realización de los cálculos; también debido al estado fenológico del cultivo de caña de azúcar se utilizó un coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) de 0.9 y una evapotranspiración del cultivo de 5.03, dichos datos son los utilizados comúnmente en el Ingenio Tululá para la realización de este tipo de práctica.

##### **➤ Sistema de riego de baja presión.**

Se utilizaron pluviómetros de aproximadamente un litro de capacidad, con un radio de 8 centímetros y para calcular el área de captación del recipiente se utilizó la siguiente fórmula:

$$A = \pi * r^2 = \pi * 8^2 = 201.06 \text{ cm}^2$$

Donde:

A = Área.

$\pi$  = Pi.

r = Radio.

➤ **Sistema de riego de alta presión.**

Se utilizaron pluviómetros de aproximadamente un litro de capacidad, con un radio de 9 centímetros y para calcular el área de captación del recipiente se utilizó la siguiente fórmula:

$$A = \pi * r^2 = \pi * 9^2 = 254.47 \text{ cm}^2$$

Donde:

A = Área.

$\pi$  = Pi.

r = Radio.

➤ **Lámina de Humedad aprovechable.**

$$LHA = (\%CC - \%PMP) * DA * Zr * 10$$

Ejemplo tomando como referencia Finca Minar sección 1.

<b>Zona Radicular</b>	<b>Textura</b>	<b>%CC</b>	<b>%PMP</b>	<b>DAP</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>LHA</b>
<b>20</b>	<b>Franco Arcilloso</b>	29.688	20.662	1.124	(29.688% - 20.662%)*1.124*20*10	20.30
<b>20</b>	<b>Arcilloso</b>	29.603	22.102	1.121	(29.603% - 22.102%)*1.121*20*10	16.82
<b>20</b>	<b>Arcilloso</b>	31.016	24.272	1.081	(31.016% - 24.272%)*1.081*20*10	14.59
<b>TOTAL</b>						<b>51.70</b>

Dónde:

LHA = Lámina de humedad aprovechable.

%CC = Humedad a capacidad de campo.

%PMP = Punto de marchitez permanente.

Da = Densidad aparente del suelo.

Zr = Zona radicular del cultivo.

➤ **Cálculo de la lámina neta de riego.**

$$L_n = LHA * UR / 100$$

Ejemplo tomando como referencia Finca Minar sección 1.

$$L_n = 51.70 \text{ mm} * 60 \text{ cm} / 100 = 31.02 \text{ mm}$$

Dónde:

$L_n$  = Lámina neta de riego.

LHA = Lámina de humedad aprovechable.

UR = Umbral de riego. (60 cm. Zona radicular de la caña de azúcar)

➤ **Cálculo de la lámina bruta de riego.**

Es la lámina de riego promedio aplicada por los aspersores sobre el área de prueba durante el tiempo de riego. Hernández (1992) citado por Herrera Ramos, A. (2015)

$$L_b = L_n / E_{ap} * 100$$

Ejemplo tomando como referencia Finca Minar sección 1.

$$L_b = 31.02 \text{ mm} / 75\% * 100 = 41.36 \text{ mm}$$

Donde:

$L_b$  = Lámina bruta.

$L_n$  = Lámina neta.

$E_{ap}$  = Eficiencia de aplicación. (Dato utilizado en la empresa 75%)

➤ **Lámina promedio captada por pluviómetros.**

Se calculó para obtener un promedio de la lámina aplicada por los aspersores. (Hernández (1992) citado por Herrera Ramos, A. (2015))

$$L_c = \sum L_{ci} / N$$

Ejemplo tomando como referencia Finca Minar sección 1.

$$L_c = 2052.67 \text{ ml} / 24 = 85.52 \text{ mm}$$

Dónde:

$\sum L_{ci}$  = sumatoria de las láminas captadas por los pluviómetros

N = número de pluviómetros.

➤ **Lámina promedio mínima captada.**

Debido al hecho de que cualquier valor individual de lámina captada puede ser grandemente afectado por errores experimentales, se tomó como valor de lámina mínima captada, al promedio del 25% de los valores ajustados del pluviómetro.

De esta manera se evita incluir los pluviómetros que quedan en el límite del área de cobertura de los aspersores. Hernández (1992) citado por Herrera Ramos, A. (2015)

$$L_c \text{ min} = L_{ci} / N_{25\%}$$

Ejemplo tomando como referencia Finca Minar sección 1.

$$L_c \text{ min} = 52.95 \text{ mm} / 6 = 8.825 \text{ mm}$$

Dónde:

$N_{25\%}$  = 25% de los pluviómetros de menor lámina captada.

$L_{ci}$  = 25% de los pluviómetros que reciben menos agua.

➤ **Uniformidad de aplicación.**

Constituye el índice del grado de uniformidad de distribución de agua sobre la superficie del suelo. Hernández (1992) citado por Herrera Ramos, A. (2015)

$$UA = Lc \text{ min} / Lc * 100$$

Ejemplo tomando como referencia Finca Minar sección 1.

$$UA = 8.825 \text{ mm} / 85.52 \text{ mm} * 100 = 10.32\%$$

Donde:

UA: Uniformidad de aplicación.

Lc min: Lámina promedio mínima captada.

Lc: Lámina promedio captada.

➤ **Coefficiente de uniformidad.**

Para determinar el coeficiente de uniformidad se utiliza la ecuación de Christiansen, el cual 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 siguiente ecuación se muestra cómo se obtiene el coeficiente de uniformidad de Christiansen.

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

Ejemplo tomando como referencia Finca Minar sección 1.

$$Cu = 100 \left( 1 - \frac{85.53 \text{ mm}}{152.17 \text{ mm}} \right) = 43.79\%$$

Donde:

$C_u$  = Coeficiente de uniformidad

$X_1$  = lámina en cada pluviómetro (mm)

$n$  = número de pluviómetros

$M$  = media de lámina de pluviómetros.

➤ **Eficiencia de almacenamiento.**

Según Sandoval Illescas (2002) la eficiencia de almacenamiento se define como la relación entre el agua almacenada en la zona principal de raíces como efecto del riego y el agua necesaria para llevar esa zona hasta la capacidad de campo.

Para determinar la eficiencia de almacenamiento se utilizará la siguiente fórmula:

$$E_{al} = 1 - \left( \frac{A_a}{A_n} \right) * 100$$

Ejemplo tomando como referencia Finca Minar sección 1.

$$E_{al} = 1 - \left( \frac{4.43}{7.10 \text{ m}^3} \right) * 100 = 37.68\%$$

Dónde:

$E_{al}$  = Eficiencia de almacenamiento.

$A_a$  = Agua almacenada en la zona principal del sistema radicular. ( $\text{m}^3$ )

$A_n$  = Agua necesaria para llevar el sistema radicular a capacidad de campo. ( $\text{m}^3$ )

➤ **Eficiencia de aplicación.**

Sandoval Illescas (2002) dice que la eficiencia de aplicación tiene relación con la frecuencia, lámina y tiempo de riego, cuando se riega con mucha frecuencia, la planta no ha consumido mucho del agua del suelo y entonces la lámina de riego a reponer para

llegar a capacidad de campo es muy pequeña y si se riega durante mucho tiempo se tendrá mucha pérdida por percolación.

Para determinar la eficiencia de aplicación se utilizará la siguiente fórmula:

$$\mathbf{Eap} = \frac{Aa}{Atg} * 100$$

Ejemplo tomando como referencia Finca Minar sección 1.

$$\mathbf{Eap} = \frac{7.10 \text{ m}^3}{11.53 \text{ m}^3} * 100 = 61.61\%$$

Dónde:

Eap = eficiencia de aplicación.

Aa = Agua almacenada en la zona radicular. (m<sup>3</sup>)

Atg = Agua recibida en la toma de succión. (m<sup>3</sup>)

#### ➤ **Eficiencia agronómica.**

La eficiencia agronómica se calculará tomando en cuenta las eficiencias de aplicación, almacenamiento y coeficiente de uniformidad. Sandoval (1994) citado por Herrera Ramos, A. (2015)

$$\mathbf{Efa} = \mathbf{Eap} * \mathbf{Eal} * \mathbf{Cu}.$$

Ejemplo tomando como referencia Finca Minar sección 1.

$$\mathbf{Efa} = 61.61 * 37.68 * 43.79 = 10.21\%$$

Donde:

Efa: Eficiencia agronómica.

Eap: Eficiencia de aplicación.

Eal: Eficiencia de almacenamiento.

Cu: Coeficiente de uniformidad.

### **6.2.2.3. Análisis de la información.**

Finalmente se realizó un análisis de toda la información mediante estadística descriptiva en ambos sistemas de riego, para la evaluación de la eficiencia agronómica se utilizó el criterio de Gurovich en 1985 donde resalta que debido a la naturaleza del sistema debe operar arriba de un 76%.

### **6.2.3. Para comparar los costos de aplicación de riego en los sistemas de baja y alta presión del Ingenio Tululá, San Andrés Villaseca, Retalhuleu se realizaron de la siguiente forma:**

#### **6.2.3.1. Descripción.**

Al recopilar los datos de consumo de combustible, hectáreas regadas y costos por sistema de riego al finalizar la temporada 2021-2022, se obtiene una visión detallada y valiosa del rendimiento del sistema de riego por aspersion. Estos datos brindan información detallada para evaluar la eficiencia operativa, ya que permiten calcular la relación entre el combustible utilizado y la extensión de suelo regada. Además, al considerar el costo por sistema de riego, se pueden realizar análisis comparativos entre diferentes métodos o sistemas, lo que facilita la toma de decisiones para optimizar recursos y reducir gastos en futuras temporadas.

#### **6.2.3.2. Variables evaluadas.**

##### **➤ Consumo de combustible en galones.**

Se llevó a cabo un análisis del consumo de combustible en los sistemas de riego de baja y alta presión utilizados para regar el cultivo de caña de azúcar. Este análisis es fundamental para calcular los costos operativos y optimizar el rendimiento de los motores de riego, garantizando una gestión más eficiente de los recursos empleados en la producción de caña de azúcar.

##### **➤ Hora horómetro laboradas.**

El monitoreo de las horas horómetro es esencial para maximizar la eficiencia, la durabilidad y la rentabilidad de los sistemas de riego por aspersion. Permite estimar con mayor precisión los costos operativos asociados con el consumo de energía y la vida útil

de los componentes del sistema. Estas mediciones pueden ser utilizadas para realizar comparaciones entre temporadas de cosecha, lo que contribuye a la toma de decisiones informadas para mejorar la planificación de recursos y optimizar la gestión de los sistemas de riego.

➤ **Galones por hora horómetro.**

El seguimiento de los galones de combustible consumidos por hora horómetro en los motores de riego por aspersión es esencial para evaluar la eficiencia y el rendimiento. Además, proporciona información para ajustar estrategias de gestión, como la programación de mantenimiento preventivo o la optimización del consumo de combustible, lo que puede llevar a reducciones significativas en los costos operativos a largo plazo. Así, monitorear los galones de combustible por hora horómetro es clave para mejorar la sostenibilidad y rentabilidad de los sistemas de riego baja y alta presión.

➤ **Galones por hectárea.**

Este dato sirve para evaluar la eficiencia de los motores y optimizar estrategias de mantenimiento y operación. Al comprender y controlar los galones de combustible por hectárea, se pueden implementar mejoras significativas en los sistemas de riego evaluados, maximizando tanto la productividad como la sostenibilidad de los sistemas de riego por aspersión.

➤ **Total de hectáreas regadas.**

El monitoreo constante de hectáreas regadas permite evaluar el rendimiento y la eficacia del sistema de riego. Esta información ayuda para realizar ajustes en la gestión, mejorar la eficiencia del riego y garantizar una producción sostenible y efectiva.

➤ **Costo por sistema de riego evaluado.**

En referencia a los costos, se tomó en cuenta el valor actual del Diesel (septiembre de 2022) que es de Q30.00 con el total de combustible consumido por cada sistema evaluado, comparando cuál de los dos sistemas presentó un mejor rendimiento en la reducción de costos de operación.

### **6.2.3.3. Análisis de la información.**

Después de recopilar los datos y organizarlos en hojas de cálculo de Excel, se llevó a cabo un análisis detallado que incluyó la creación de cuadros comparativos específicos para cada sistema de riego, presentados en las páginas 67 a 69 del informe.

Los cuadros comparativos permiten una evaluación precisa y detallada de diferentes aspectos, como el consumo de combustible, la eficiencia del riego por hectárea, costo por sistema de riego evaluado, etc.

Estos datos facilitan la identificación de patrones, tendencias y diferencias significativas entre los sistemas de riego. Asimismo, proporciona una base sólida para tomar decisiones informadas, mejorar la eficiencia y realizar ajustes estratégicos en la gestión de estos sistemas, lo que puede llevar a mejoras significativas en la productividad y la eficacia general del riego en los dos sistemas evaluados.

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los siguientes resultados se presentan y se analizan en base a los objetivos específicos planteados anteriormente:

### 7.1. Caracterización de los parámetros de operación del riego con aspersores de baja presión y alta presión en las diferentes fincas del Ingenio Tuluá, San Andrés Villaseca, Retalhuleu.

Para calcular los parámetros de operación de los sistemas de riego de baja y alta presión se utilizaron los datos de campo recolectadas de las evaluaciones realizadas, se tabularon e interpretaron en cada uno de los motores de las diferentes fincas del Ingenio Tuluá.

#### 7.1.1. Sistema de riego de baja presión.

**Cuadro 12: Datos operativos de los sistemas de aspersión de baja presión evaluados.**

Finca	Sección	RPM del motor	PSI	Mca	Ef. Del motor (%)
Minar	1	1400	30	21.12	70
Normandía	1	1425	40	28.16	68.75
Normandía	2	1400	38	26.75	70
San Caralampio	2	1750	38	26.75	52.5
San Caralampio	4	1725	36	25.34	53.75
Vaquil	1	1600	38	26.75	50
Vaquil	2	1450	30	21.12	67.5
Vaquil	3	1500	34	23.94	65
Vaquil	4	1750	32	22.53	52.5
Santander	1	1770	35	24.64	51.5
<b>Promedio</b>		<b>1577</b>	<b>35</b>	<b>24.71</b>	<b>60.15</b>

La presión de caudal de salida de 24.71 metros de columna de agua (mca) o 35 libras por pulgada cuadrada (PSI) de los aspersores es un valor relevante de un sistema de riego. Esta presión es esencial para garantizar que los aspersores funcionen de manera eficiente y proporcionen una distribución uniforme de agua sobre la zona que se está regando.

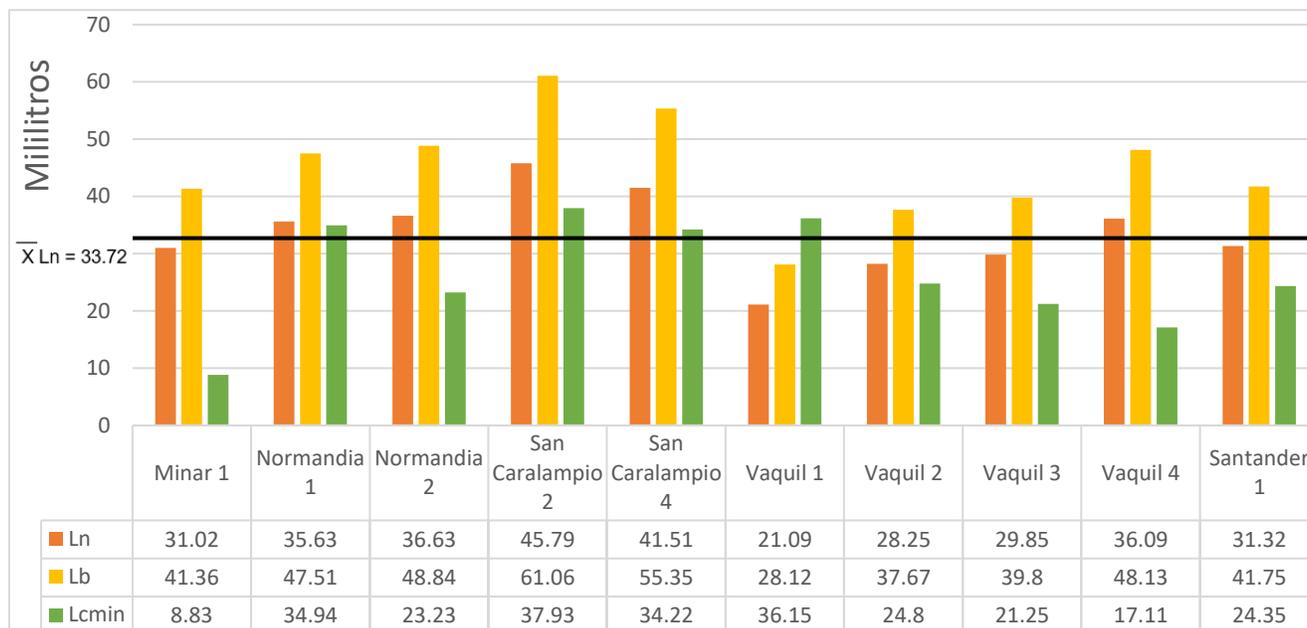
La falta de mantenimiento adecuado en los equipos de bombeo puede llevar a problemas operativos, incluyendo un mayor consumo de combustible debido a que los motores operan por encima de las revoluciones recomendadas. Esto no solo resulta en costos adicionales, sino que también puede tener un impacto negativo en la durabilidad de los equipos.



**Figura 12: Tubería principal de 8 pulgadas con reductores de 2.5 pulgadas en el sistema de riego de baja presión, ubicado en Finca Vaquil sección 2.**

Para el sistema de riego de baja presión se reduce el diámetro a 2.5 pulgadas, esto es necesario para ajustar el flujo de agua y la presión a áreas específicas para dicho sistema de riego. Esto permite una distribución eficiente del agua y ayuda a evitar pérdidas innecesarias de presión en el sistema.

Asimismo, se aplicó la lámina (Ln) necesaria ya que los pluviómetros captaron una lámina (Lc) promedio de 71.44 milímetros y el promedio de la lámina captada mínima (Lc min) es de 26.28 milímetros.



**Figura 13: Gráfica de lámina neta aplicada en el sistema de riego de baja presión**

Los datos obtenidos son mediciones directas de la figura 13, se pueden observar en el cuadro 38 de anexos y tienden a variar por los factores ambientales de cada área evaluada.

De acuerdo con la figura 13, la mejor lámina captada mínima (Lcmin) fue de 37.93 milímetros, ubicado en Finca San Caralampio sección 2; sin embargo, para que pudiera alcanzar la lámina bruta deseada se debió aplicar 23.13 mm, esto debido a las revoluciones por minuto (1,750 RPM) por las cuales estaba trabajando y también por el distanciamiento entre la tubería central y los aspersores, ya que al estar trabajando a una larga distancia se necesita aumentar el rendimiento del motor. Por otro lado, la menor lámina captada mínima (Lcmin) fue de 8.83 milímetros, ubicado en Finca Minar sección 1; ya que el motor estaba trabajando con 1,400 RPM y no logró cubrir la lámina adecuada para llegar a capacidad de campo, esto también se debe a fugas en la tubería y aspersores dañados.

Uno de los factores que influyeron para que el aspersor no emitiera el caudal necesario, fue el estado de deterioro de la tubería y motobombas, ya que al no funcionar con las revoluciones adecuadas no emiten el caudal esperado y las pausas continuas en el tiempo de riego, debido a sobrecalentamientos en las bombas y a las obstrucciones en los filtros, provocó que no se lograra cubrir la lámina adecuada para la capacidad de campo.

24 horas después de la aplicación de lámina de riego se realizaron muestreos de humedad en las fincas evaluadas, los datos se presentan a continuación:

**Cuadro 13: Datos obtenidos de la profundidad de mojado de las fincas evaluadas en el sistema de riego de baja**

<b>Finca</b>	<b>Sección</b>	<b>Profundidad (cm)</b>
Minar	1	45
Normandía	1	60
Normandía	2	58
San Caralampio	2	55
San Caralampio	4	48
Vaquil	1	44
Vaquil	2	50
Vaquil	3	52
Vaquil	4	58
Santander	1	49
<b>Promedio</b>		<b>52</b>

Cabe mencionar que los resultados de suelo demuestran que en las fincas evaluadas predomina la textura de suelo franco arcillosa, en donde hay una buena relación de partículas (arena, limo y arcilla) que al aplicar la cantidad necesaria de agua se evitan problemas de anegamientos teniendo un promedio de 52 centímetros de profundidad se puede decir que la aplicación de agua es buena pero no es uniforme en todas las fincas como en Finca Minar sección 1, Finca Vaquil sección 1 y Finca San Caralampio sección 4 que se obtuvo una profundidad inferior a 50 centímetros, lo cual no es aceptable ya que la empresa establece que es necesario 60 centímetros de profundidad para obtener una buena aplicación de lámina de riego. Esto es debido a factores climáticos como temperatura, velocidad del viento y el mal funcionamiento del equipo de riego.

En cada evaluación se realizaba medición de factores climáticos como velocidad del viento y temperatura; los datos obtenidos se presentan en el siguiente cuadro:

**Cuadro 14: Datos climáticos obtenidos mediante el anemómetro utilizado durante las evaluaciones de sistema de riego de baja presión.**

Anemómetro			
Finca	Sección	Km/h	T°
Minar	1	4.73	31.87
Normandía	1	6.3	30.85
Normandía	2	2.27	33.97
San Caralampio	2	11.3	33.27
San Caralampio	4	10.98	25.85
Vaquil	1	7.21	29.03
Vaquil	2	10.11	34.5
Vaquil	3	8.64	29.73
Vaquil	4	11.8	31.33
Santander	1	12.7	33.33
<b>Promedio</b>		<b>8.60</b>	<b>31.37</b>

Según la escala de Beaufort (cuadro 5) en la mayoría de fincas donde se realizaron las evaluaciones de eficiencia se observaron vientos no mayores a 11 km/h, catalogándose como suaves, exceptuando Finca Santander sección 1 que contaba con 12.7 km/h catalogándolo como vientos leves.

Algunos valores no sobrepasaron la media de lámina neta, por lo tanto, tampoco se alcanzaron los 60 centímetros de profundidad de suelo debido a la existencia de pérdidas de agua por factores climáticos.

**Cuadro 15: porcentaje de pérdida por factores climáticos para el sistema de riego de baja presión.**

Finca	Sección	Pérdida por factores climáticos (%)
Minar	1	32.04
Normandía	1	49.96
Normandía	2	45.44
San Caralampio	2	50.76
San Caralampio	4	51.37
Vaquil	1	53.69
Vaquil	2	53.72
Vaquil	3	49.67
Vaquil	4	63.18
Santander	1	40.42
<b>Promedio</b>		<b>49.02</b>

Existe un porcentaje mayor a 45% de pérdida por factores climáticos el cual corresponde a 49.02%, es considerablemente alto cuyo parámetro según Herrera Ramos (2015) no debe ser mayor a 20%; esto se debe principalmente a la temperatura el cual se obtuvo un promedio de 31.37C°, cabe recordar que las evaluaciones de eficiencia se realizaron durante varios horarios del día (mañana y tarde).

Asimismo, se registraron pérdidas de agua por motivo de rupturas en la tubería y mala instalación afectando la uniformidad de distribución de las tuberías así reduciendo el rendimiento de los aspersores.

**Cuadro 16: Porcentaje de uniformidad de distribución de la instalación para los sistemas de riego de baja presión de la instalación.**

Finca	Sección	P min	P max	Uni. de distr. (%)
Minar	1	30	38	27
Normandía	1	32	40	75
Normandía	2	28	32	55
San Caralampio	2	36	40	80
San Caralampio	4	38	42	72
Vaquil	1	32	35	48
Vaquil	2	37	42	58
Vaquil	3	30	32	46
Vaquil	4	26	36	31
Santander	1	34	38	57

Gurovich (1985) considera que 75% de uniformidad de distribución está dentro de un rango aceptable y se pudo observar que Finca Minar sección 1 y Finca Vaquil sección 4 cuenta con 27% y 31% siendo los datos más bajos (ver figura 13), el cual afecta grandemente al desarrollo homogéneo del cultivo de caña de azúcar y refleja la problemática existente dentro de las tuberías y aspersores para la aplicación de riego.

Para alcanzar la lámina bruta de riego se calculó el tiempo de riego el cual indica a cada cierto tiempo aplicar agua en esa área y se presenta a continuación:

**Cuadro 17: Estimación de tiempo de riego (Tr) para el sistema de riego de baja presión.**

Finca	Sección	Tiempo de riego teórico (Horas)	Tiempo de riego real (Horas)
Minar	1	8.53	11
Normandía	1	10.60	
Normandía	2	10.95	
San Caralampio	2	13.63	
San Caralampio	4	12.44	
Vaquil	1	6.01	
Vaquil	2	8.21	
Vaquil	3	9.00	
Vaquil	4	12.34	
Santander	1	8.57	
<b>Promedio</b>		<b>10.03</b>	

Como se puede observar, Finca San Caralampio sección 2 y 4 y Finca Vaquil sección 4 sobrepasan las 11 horas de riego que se aplican actualmente en comparación a Finca Minar sección 1, Finca Vaquil sección 1, 2 y 3 que se tendría que aplicar menos horas de riego.

El intervalo de riego interpreta con más precisión la cantidad de días que se tendría que regar, presentándolo a continuación:

**Cuadro 18: Estimación de intervalo de riego (Ir) para el sistema de riego de baja presión.**

Finca	Sección	Intervalo de riego teórico(días)	Intervalo de riego real (días)
Minar	1	6.17	11
Normandía	1	7.08	
Normandía	2	7.28	
San Caralampio	2	9.1	
San Caralampio	4	8.25	
Vaquil	1	4.19	
Vaquil	2	5.62	
Vaquil	3	5.93	
Vaquil	4	7.18	
Santander	1	6.23	
<b>Promedio</b>		<b>6.70</b>	

El sistema de riego de baja presión trabaja con intervalo de riego de 11 días, este factor puede afectar al cultivo de caña de azúcar por el tiempo tan extenso en que recibe agua, ya que según el intervalo de riego teórico se requiere se requiere  $6.70 = 7$  días en promedio para aplicar la lámina bruta de acuerdo a lo descrito en la figura 13 (pág. 46) y así el cultivo no entre en estado crítico por estrés hídrico.

### 7.1.2. Sistema de alta presión.

Se obtuvo una presión de caudal de salida de 41.47 mca o 59 PSI de los aspersores, estos datos son importantes al momento de calcular la eficiencia de almacenamiento para obtener la lámina neta de aplicación deseada y así llevar el cultivo a capacidad de campo.

**Cuadro 19: Datos operativos de los sistemas de aspersión de alta presión.**

Finca	Sección	RPM del motor	PSI	mca	Ef. Del motor (%)
Tululá	1	1700	62	43.65	85
Tululá	2	1550	55	38.72	77.5
Tululá	16	1750	65	45.76	87.5
Tululá	17	1600	58	40.83	80
Minar	2	1500	52	36.61	75
Santa Teresa	2	1650	60	42.24	82.5
Santa Ana	1	1680	62	43.65	84
Santa Julia	5	1700	60	42.24	85
Margarita	2	1560	55	38.72	78
Margarita	4	1710	60	42.24	85.5
<b>Promedio</b>		<b>1640</b>	<b>59</b>	<b>41.47</b>	<b>82</b>

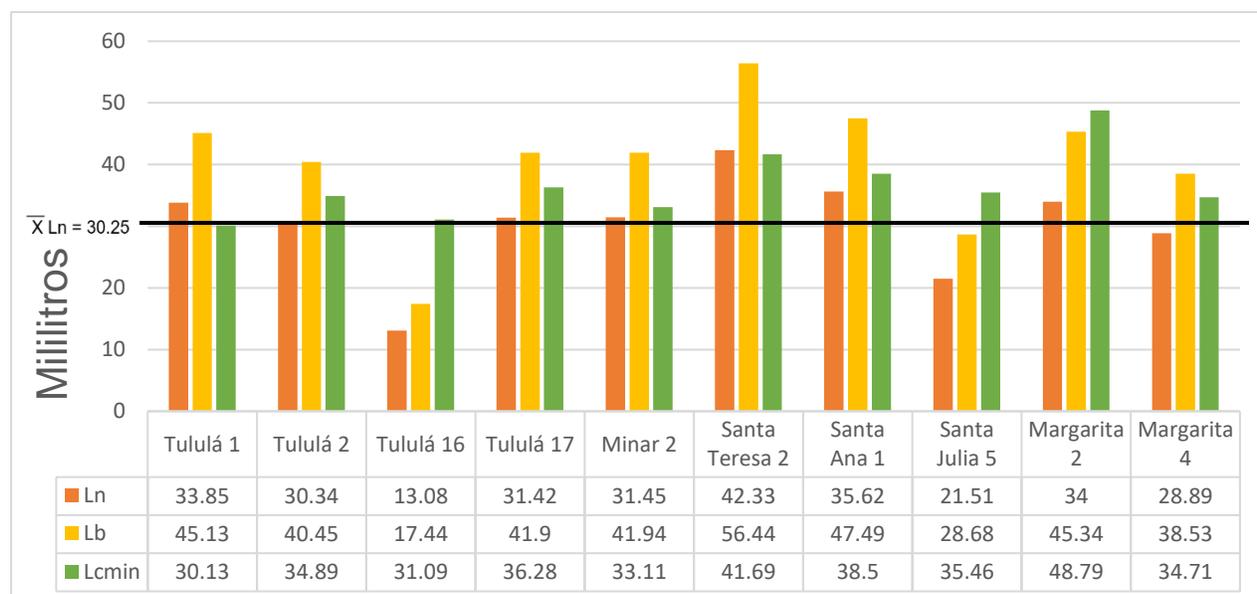
Los equipos de bombeo de los sistemas de alta presión en su mayoría se encuentran deteriorados, teniendo problemas frecuentemente en funcionamiento, fugas en la tubería y la calidad del agua, ya que en ocasiones se obstruye el paso del agua debido a residuos de caña dentro del tubo de succión. Asimismo, se observó que algunos de los equipos funcionaban con un RPM alto ya llegando al límite de lo recomendado (1,800 RPM) como lo es en Finca Tululá sección 1 y 16, Finca Santa Julia sección 5 y Finca Margarita sección 4; por motivo del poco mantenimiento que reciben, provocando directamente un mayor consumo de combustible.



**Figura 14: Unión de tubería principal de 8" con tubería secundaria de 6" en riego de alta presión.**

La tubería principal de 8 pulgadas generalmente transporta un caudal de agua mayor y se utiliza para llevar agua desde la fuente principal, hacia la zona que se va a regar. Por otro lado, la tubería secundaria de 6 pulgadas se utiliza para llevar el agua a los ramales donde se tienen conectados los aspersores.

De igual forma se determinó que la lámina neta ( $L_n$ ) promedio es de 30.25 milímetros emitido por los aspersores; con respecto a la lámina bruta los datos promedio son de 40.33 milímetros, esto quiere decir que el sistema de riego está aplicando diez milímetros más de lo esperado provocando así pérdidas por percolación y escorrentía.



**Figura 15: Gráfica de lámina neta aplicada en el sistema de riego de alta presión**

Estos resultados se presentan en el cuadro 49 (pág. 95) y están ligados al caudal de salida de los aspersores.

De acuerdo con la figura 15 (Pág. 53), se puede observar que la mejor lámina captada mínima ( $L_{cmin}$ ) fue de 48.79 milímetros ubicado en Finca Santa Margarita sección 2, esto debido que al motor recientemente le habían realizado reparación de turbina teniendo un RPM de 1560 y una presión del aspersor de 55 PSI; la menor lámina captada mínima fue de 30.13 milímetros ubicado en Finca Tululá sección 1, que a pesar que el motor estaba trabajando a 1700 RPM y una presión de salida del aspersor de 62 PSI no alcanzó la lámina necesaria, esto fue debido a obstrucciones en la tubería y aspersores debido a la calidad del agua (ver cuadro 23), ya que por ser del Río Samalá tiende a llevar residuos plásticos que pueden obstaculizar el flujo del agua. En general, se aplicó más agua de lo requerido en la lámina neta.

24 horas después de la aplicación de lámina de riego se realizaron muestreos de humedad en las fincas evaluadas, los datos se presentan a continuación:

**Cuadro 20: Datos obtenidos de la profundidad de mojado de las fincas evaluadas en el sistema de riego de alta presión.**

Finca	Sección	Profundidad (cm)
Tululá	1	49
Tululá	2	50
Tululá	16	54
Tululá	17	51
Minar	2	57
Santa Teresa	2	55
Santa Ana	1	55
Santa Julia	5	53
Margarita	2	48
Margarita	4	53
<b>Promedio</b>		<b>53</b>

Es relevante destacar que los resultados del muestreo de suelo (cuadro 11, pág. 26) demuestran que en las fincas evaluadas predomina la textura de suelo franco arcillosa, en donde hay una buena relación de partículas (arena, limo y arcilla) que al aplicar la cantidad necesaria de agua se evitan problemas de anegamientos teniendo un

promedio de 53 centímetros de profundidad se puede decir que la aplicación de agua es buena ya que en su mayoría están por encima de 50 centímetros exceptuando Finca Tululá sección 1 y Finca Margarita sección 2 que obtuvieron 49 y 48 centímetros respectivamente, esta pequeña variación pudo ser ocasionada por factores climáticos

Igualmente, los datos climáticos fueron recabados por medio del anemómetro y se muestran en el siguiente cuadro:

**Cuadro 21: Datos climáticos obtenidos en las evaluaciones realizadas en los sistemas de riego de alta presión.**

<b>Anemómetro</b>			
<b>Finca</b>	<b>Sección</b>	<b>Km/h</b>	<b>T°</b>
Tululá	1	7.15	31
Tululá	2	6.35	29
Tululá	16	2.6	32.25
Tululá	17	5.85	33
Minar	2	8.66	29.71
Santa Teresa	2	12.3	33.3
Santa Ana	1	16.7	28.3
Santa Julia	5	11.8	31.3
Margarita	2	10.5	31
Margarita	4	14.3	33.5
<b>Promedio</b>		<b>9.62</b>	<b>31.24</b>

Según la escala de Beaufort (cuadro 5, pág. 11) en la mayoría de fincas donde se realizaron las evaluaciones de eficiencia se observaron vientos no mayores a 11 km/h, catalogándose como suaves, exceptuando Finca Santa Teresa sección 2 con 12.3 km/h, Finca Santa Ana sección 1 con 16.7 km/h y Finca Margarita sección 4 con 14.3 km/h catalogándolos como vientos leves.

Además, se obtuvieron pérdidas por factores climáticos los cuales se presentan a continuación:

**Cuadro 22: Porcentaje de pérdida por factores climáticos para el sistema de riego de alta presión.**

Finca	Sección	Pérdida por factores climáticos (%)
Tululá	1	35.52
Tululá	2	26.62
Tululá	16	26.70
Tululá	17	17.04
Minar	2	31.80
Santa Teresa	2	19.99
Santa Ana	1	33.73
Santa Julia	5	6.50
Margarita	2	10.42
Margarita	4	14.47
<b>Promedio</b>		<b>22.28</b>

El porcentaje de pérdida de agua por factores climáticos es en promedio 22.28%, esto se debe a que el caudal de salida del aspersor de alta presión es mayor y las gotas son más grandes; también la velocidad del viento influyó en la aplicación ya que durante la evaluación se obtuvo una velocidad del viento promedio de 9.62 km/h. Cabe recalcar que las evaluaciones se realizaron durante varios horarios del día (mañana y tarde).

Asimismo, se registraron pérdidas de agua por motivo de rupturas en la tubería y mala instalación afectando la uniformidad de distribución de las tuberías así reduciendo el rendimiento de los aspersores.

**Cuadro 23: Porcentaje de uniformidad de distribución de la instalación para los sistemas de riego de alta presión.**

Finca	Sección	P min	P max	Uni. de distr. (%)
Tululá	1	57	60	67
Tululá	2	50	53	63
Tululá	16	53	58	65
Tululá	17	55	60	73
Minar	2	55	60	69
Santa Teresa	2	50	52	66
Santa Ana	1	51	56	72
Santa Julia	5	50	54	75
Margarita	2	58	62	78
Margarita	4	60	65	64

Gurovich (1985) considera que 75% de uniformidad de distribución de la instalación está dentro de un rango aceptable y se pudo observar que en Finca Tululá

sección 17, Finca Santa Ana sección 1, Finca Santa Julia sección 5 y Finca Margarita sección 2 se encuentran por encima de 70%; el resto de las fincas evaluadas oscilan entre el 60% el cual afecta al desarrollo homogéneo del cultivo de caña de azúcar.

Para lograr alcanzar la lámina bruta de riego se calculó el tiempo de riego en el cual se recomienda a cada cierto tiempo en que se debería de aplicar riego y se presenta a continuación:

**Cuadro 24: Estimación de tiempo de riego para el sistema de riego de alta presión.**

Finca	Sección	Tiempo de riego Teórico (Horas)	Tiempo de riego Real (Horas)
Tululá	1	2.30	3
Tululá	2	2.18	
Tululá	16	1.00	
Tululá	17	2.50	
Minar	2	2.13	
Santa Teresa	2	2.53	
Santa Ana	1	2.35	
Santa Julia	5	1.38	
Margarita	2	2.32	
Margarita	4	2.16	
<b>Promedio</b>		<b>2.08</b>	

Como se puede observar en el cuadro 24, en la mayoría de fincas evaluadas se aproxima el tiempo de riego que actualmente se utiliza que es de 3 horas, con excepción de Finca Tululá sección 16 y Finca Santa Julia 5 que requieren dos horas menos de riego, porque la lámina captada es mayor a la lámina captada bruta.

También se ha calculado el intervalo de días de riego el cual podría indicar con más precisión la cantidad de días que se tendría que regar:

**Cuadro 25: Intervalo de riego teórico para el sistema de riego de alta presión.**

Finca	Sección	Intervalo de riego Teórico (días)	Intervalo de riego real (días)
Tululá	1	6.04	8
Tululá	2	5.42	
Tululá	16	2.34	
Tululá	17	5.61	
Minar	2	5.62	
Santa Teresa	2	7.56	
Santa Ana	1	6.36	
Santa Julia	5	3.84	
Margarita	2	6.07	
Margarita	4	5.16	
<b>Promedio</b>		<b>5.402</b>	

Este sistema trabaja con intervalo de riego de 8 días, este factor puede afectar al cultivo de caña de azúcar por los días tan extenso en que recibe agua, ya que según el intervalo de riego teórico se requiere se requiere 5.40 = 6 días en promedio para que el cultivo no entre en estado crítico por estrés hídrico.

### 7.1.3. Análisis de eficiencias de riego de los sistemas de baja y alta presión.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos de las evaluaciones realizadas en ambos sistemas de riego, se utilizó el coeficiente de uniformidad, eficiencia de aplicación y eficiencia de almacenamiento; datos los cuales son necesarios para poder obtener la eficiencia agronómica:

**Cuadro 26: Datos de eficiencias obtenidos en los sistemas de riego de baja presión.**

<b>Sistema de riego de baja presión.</b>				
<b>Finca</b>	<b>Sección</b>	<b>Coef. Uni. (Cu 85%)</b>	<b>Ef. Apli. (Eap 90%)</b>	<b>Ef. Alm (Eal 100%)</b>
Minar	1	61.61%	37.68%	44%
Normandía	1	94.84%	94.56%	83%
Normandía	2	86.82%	84.82%	66%
San Caralampio	2	95.18%	94.93%	87%
San Caralampio	4	97.40%	97.33%	80%
Vaquil	1	75.60%	67.72%	57%
Vaquil	2	66.96%	50.67%	71%
Vaquil	3	73.57%	70.41%	59%
Vaquil	4	80.12%	76.86%	44%
Santander	1	79.55%	74.29%	73%
<b>Promedio</b>		<b>81.17%</b>	<b>74.93%</b>	<b>66.40%</b>

En el sistema de riego de baja presión, la finca San Caralampio sección 2 y 4 tienen los datos más altos con el mejor coeficiente de uniformidad con 95.18% y 97.40% respectivamente, esto es debido a que recientemente habían sido reemplazados los aspersores en mal estado teniendo así una mejor uniformidad en la aplicación de la lámina de riego; igualmente cuenta con una eficiencia de aplicación de 94.93% y 97.33%, esto está ligado a los parámetros de operación ya que el motor operaba a 1,750 RPM, y lo recomendable es de 1,400 – 1,600 RPM quiere decir que estaba por encima de los parámetros establecidos tal como se muestra en el cuadro 12 (pág. 45); también cuenta con una eficiencia de almacenamiento de 87% y 80%; no alcanzó el 100% recomendable por Gurovich (1985) principalmente porque la lámina captada mínima no satisface la demanda de la lámina bruta.

Los datos más bajos los tiene Finca Minar sección 1, con un coeficiente de uniformidad de 61.61% esto debido al mal estado de los aspersores ya que se encontraba

con rupturas y eso afectó grandemente a la uniformidad de distribución de la instalación contando con 27% a pesar que el motor se encontraba operando a 1,400 RPM estando adentro de los parámetros recomendados y teniendo una eficiencia de almacenamiento de 44%, esto debido a la textura del suelo ya que Finca Minar cuenta con suelos arcillosos.

Para el sistema de alta presión también se obtuvieron los datos de eficiencias que se presentan:

**Cuadro 27: Datos de eficiencias obtenidos en los sistemas de riego de alta presión.**

<b>Sistema de riego de alta presión.</b>				
<b>Finca</b>	<b>Sección</b>	<b>Coef. Uni. (Cu 85%)</b>	<b>Ef. Apli. (Eap 90%)</b>	<b>Ef. Alm. (Eal 100%)</b>
Tululá	1	76.42%	69.14%	77%
Tululá	2	81.82%	77.78%	84%
Tululá	16	78.61%	72.78%	78%
Tululá	17	98.31%	98.28%	83%
Minar	2	80.83%	76.29%	80%
Santa Teresa	2	94.82%	94.54%	72%
Santa Ana	1	91.84%	91.11%	85%
Santa Julia	5	83.48%	80.21%	77%
Margarita	2	76.17%	75.81%	83%
Margarita	4	81.37%	83.35%	72%
<b>Promedio</b>		<b>84.37%</b>	<b>81.93%</b>	<b>79.10%</b>

En relación al cuadro 27 en el sistema de riego para Finca Tululá sección 17 tiene los datos más altos de eficiencia, siendo el coeficiente de uniformidad con 98.31%, esto debido al reciente cambio de tubería nueva ya que la anterior se encontraba deteriorada. Asimismo, cuenta con una eficiencia de aplicación de 98.28%, esto está asociado a los parámetros de operación debido a que el motor se encontraba en buen estado y trabajaba a 1,600 RPM lo cual está entre el punto de referencia recomendable (1,600 – 1,800 RPM); de igual modo cuenta con una eficiencia de almacenamiento de 83%.

Según Sandoval Illescas (2002) un coeficiente de uniformidad del 80% en riego por aspersión se considera adecuada por lo tanto, en ambos sistemas de riego evaluados se llegó a la uniformidad adecuada (exceptuando Finca Minar sección 1 y Finca Vaquil sección 2 en el sistema de riego de baja presión, puesto que ambos cuentan con menos

del 70%); uno de los factores que influyen directamente es el distanciamiento entre aspersores y laterales, así como las presiones de salida que emiten los aspersores. La mala distribución del agua se debe al radio de mojado, y se pudo observar al finalizar la prueba que la última fila de pluviómetros se encontraba sin recibir agua; esto en los dos sistemas de riego, por lo tanto, se considera que existe un área crítica en donde no se registra traslape entre aspersores.

Gurovich (1985) reporta que la eficiencia de aplicación aceptable para el riego por aspersión tendría que estar alrededor de 90%, así que se considera que los sistemas de alta presión se encuentran en el rango óptimo de aceptación. La eficiencia de aplicación influye directamente sobre la cantidad de agua que se está aplicando sobre la superficie del suelo, ya que se toma en cuenta las pérdidas existentes en el sistema de riego durante su aplicación, así que los factores climáticos como la evapotranspiración y velocidad del viento influyen directamente sobre la lámina de riego que se está aplicando.



**Figura 16: Fuga por mala instalación en finca Minar sección 2.**

En el caso de la eficiencia de almacenamiento, Sandoval Illescas (2002) dice que una eficiencia de almacenamiento menor al 100% la humedad de toda la zona principal no llega a capacidad de campo, es por eso que en los sistemas de riego evaluados la

lámina captada mínima no es la misma a la lámina neta de riego necesaria para llevar al cultivo a capacidad de campo.



**Figura 17: Trazado del área a evaluar en Finca Santa Ana sección 1.**

## 7.2. Análisis de la eficiencia agronómica de los sistemas de riego de baja presión y alta presión de las diferentes fincas del Ingenio Tuluá, San Andrés Villaseca, Retalhuleu.

Se presentan la eficiencia agronómica del sistema de baja presión.

**Cuadro 28: Determinación de la eficiencia agronómica para los sistemas de baja presión evaluados.**

<b>Sistema de riego de baja presión.</b>		
<b>Finca</b>	<b>Sección</b>	<b>Ef. Agronómica (Ea 76%)</b>
Minar	1	10.21%
Normandía	1	74.43%
Normandía	2	48.60%
San Caralampio	2	78.61%
San Caralampio	4	75.84%
Vaquil	1	29.18%
Vaquil	2	24.09%
Vaquil	3	30.56%
Vaquil	4	27.10%
Santander	1	43.14%
<b>Promedio</b>		<b>44.18%</b>

Uno de los factores que determina el cálculo de la eficiencia agronómica es la eficiencia de almacenamiento, ya que influye directamente sobre la aplicación de riego necesaria en la zona radicular del cultivo de caña de azúcar para que éste llegue a capacidad de campo.

En el cuadro se puede observar que las mejores eficiencias agronómicas la tienen Finca San Caralampio sección 2 y 4, con 78.61% y 75.84% respectivamente, estando en el rango aceptable establecido por Gurovich (1985), esto debido a que en los resultados de las eficiencias evaluadas fueron las fincas que obtuvieron mejor eficiencia de almacenamiento ya que esto influye directamente.

Por otro lado, ocho de diez sistemas de baja presión evaluados no llegaron al rango aceptable, siendo Finca Minar sección 1 el dato más bajo; estos datos están ligados a la eficiencia de almacenamiento de las fincas evaluadas que se encuentran por debajo del rango aceptable (100%) debido a la textura de los suelos, teniendo un promedio de 44.18% de eficiencia agronómica.

Se presenta la eficiencia agronómica de los sistemas de alta presión.

**Cuadro 29: Determinación de la eficiencia agronómica para los sistemas de alta presión evaluados.**

<b>Sistema de riego de alta presión.</b>		
<b>Finca</b>	<b>Sección</b>	<b>Ef. Agronómica (Ea 76%)</b>
Tululá	1	40.68%
Tululá	2	53.46%
Tululá	16	44.63%
Tululá	17	80.19%
Minar	2	49.33%
Santa Teresa	2	64.54%
Santa Ana	1	71.12%
Santa Julia	5	51.56%
Margarita	2	47.93%
Margarita	4	48.83%
<b>Promedio</b>		<b>55.23%</b>

Se pudo observar que la mejor eficiencia agronómica la tiene Finca Tululá sección 17 con 80.19%, ya que cuenta con mejor eficiencia de aplicación, almacenamiento y uniformidad; quiere decir que es la única que cuenta con un rango mayor establecido por Gurovich (1985).

Por otro lado, nueve de diez fincas evaluadas no cuentan con el rango mínimo establecido de 76%, siendo Finca Tululá sección 1 que cuenta con el menor dato con 40.68%, esto debido a que las eficiencias evaluadas estuvieron por debajo de los rangos establecido teniendo un promedio general de 55.23% de eficiencia agronómica para el sistema de riego de alta presión; por lo tanto se debe de considerar un rediseño en los sistemas de riego para levantar un mejor promedio a nivel general, considerando como estándar de referencia aquellos sistemas de riego que cumplen las eficiencias establecidas en este documento.

Asimismo, comparando los promedios de la eficiencia agronómica de ambos sistemas se puede determinar que para el sistema de riego de baja presión se obtuvo una diferencia de 11.05% por debajo del sistema de riego de alta presión.

### 7.2.1. Demanda bruta teórica y real.

En la aplicación de lámina de riego se sabe que hay ineficiencias por factores climáticos, textura de suelos y falta de mantenimiento en los motores de riego así que, se realizó una estimación de demanda bruta en base a los datos recomendados por Gurovich (1985) (Cuadro 3, pág. 8) y los datos obtenidos de la eficiencia agronómica.

**Cuadro 30: Estimación de demanda bruta teórica y real de los sistemas de riego del Ingenio Tululá.**

Sistema de riego	(Eap)	(Eal)	(Cu)	(Ea)	Demanda bruta teórica (DbT)	Demanda bruta real (DbR)
Alta presión	84.37%	81.93%	79.10%	55.23%	12.26*	17*
Baja presión	81.17%	74.93%	66.40%	44.18%		23*

**Referencias: \* Litros de agua por macolla al día.**

Se indica que la demanda bruta teórica según Gurovich (1985) es de 12.26 L/macolla/día para ambos sistemas de riego, pero en la demanda bruta real hay variaciones; para las diez fincas donde está establecido el sistema de riego de alta presión se obtuvo una demanda bruta real de 17 L/macolla/día, es decir, se necesitaría aplicar 4.74 litros más para alcanzar los 0.6 metros de zona radicular del cultivo de caña de azúcar. (esto para la etapa EF2 2/3 etapa fenológica (cuadro 3, pág. 8)

La pérdida de agua se debe al constante mojado de calle y mal mantenimiento de los sistemas de riego en general como lo son: tubería dañada, motores sin mantenimiento, aspersores dañados, mala instalación de la tubería, etc.

En el sistema de baja presión se obtuvo una demanda bruta real de 23 L/macolla/día esto quiere decir que se necesita aplicar 10.74 litros de agua más para que la infiltración logre llegar a los 0.6 m, esto se debe en parte a la eficiencia de almacenamiento que fue de 74.93%; este dato es bajo debido a la textura de los suelos ya que las fincas evaluadas en su mayoría son de suelos franco arcilloso (cuadro 10, pág. 24 y cuadro 11, pág. 26), asimismo el paso de rastra en labores de preparación de suelo no ha sido eficiente por la compactación por el paso de maquinaria de fertilización a través de los años, lo cual produce anegamientos en la aplicación de lámina de riego.

El coeficiente de uniformidad que fue de 66.40% esto es por motivo del daño que cuentan los reguladores de presión a consecuencia del tiempo de uso que tienen, en su mayoría tienen más de 7 años de antigüedad, igualmente las fugas en la tubería de tal forma que los aspersores no logran alcanzar las presiones de 35 PSI y no hay buen traslape entre aspersores.



**Figura 18: A) Fuga de agua en regulador de presión de sistema de riego de baja presión. B) Presión de salida de aspersor a 30 PSI.**

El deterioro de los reguladores de presión debido al tiempo de uso y la antigüedad es una de las causas clave de esta falta de uniformidad. Los reguladores de presión son cruciales para garantizar que los aspersores funcionen de manera consistente y apliquen la cantidad adecuada de agua. El hecho de que muchos de estos reguladores tengan más de 7 años de antigüedad es una señal de que es necesario reemplazarlos para tener un riego más eficiente.

### 7.3. Comparación costos de aplicación de riego en los sistemas de baja presión y alta presión del Ingenio Tululá, San Andrés Villaseca, Retalhuleu.

Para este objetivo se tomó en cuenta el consumo de combustible utilizado por las bombas de aspersión, las horas horómetro con que operan, y hectáreas regadas comparando los 20 equipos evaluados.

#### 7.3.1. Sistema de riego de baja presión.

**Cuadro 31: Resultados obtenidos de los sistemas de riego de baja presión en la temporada 2021 - 2022.**

Finca	Sección	Activo	Galones	HH/Lab	Gal/HH	Ha	Gal/Ha
Minar	1	62104	9,747.00	2,674.40	3.64	643.60	15.14
Normandía	1	62120	8,598.40	2,768.10	3.11	672.00	12.80
Normandía	2	62121	8,418.93	2,037.00	4.13	441.20	19.08
San Caralampio	2	62118	5,138.00	1,389.10	3.70	382.60	13.43
San Caralampio	4	62127	7,091.00	1,778.60	3.99	401.85	17.65
Vaquil	1	62122	8,908.13	2,229.00	4.00	776.30	11.48
Vaquil	2	62125	8,262.00	2,113.87	3.91	480.37	17.20
Vaquil	3	62124	7,239.00	2,445.30	2.96	644.59	11.23
Vaquil	4	62123	6,585.21	2,069.00	3.18	469.80	14.02
Santander	1	62119	7,013.09	1,986.00	3.53	571.10	12.28
<b>Suma</b>			<b>77,000.76</b>	<b>21,490.37</b>	<b>36.15</b>	<b>5,483.41</b>	<b>144.31</b>
<b>Promedio</b>			<b>7,700.08</b>	<b>2,149.04</b>	<b>3.61</b>	<b>548.34</b>	<b>14.43</b>

#### Donde:

Activo = Código del motor.

HH/Lab = Hora horómetro laborada.

Gal/HH = Galones por hora horómetro.

Ha = Hectáreas.

Gal/Ha = Galones por hectárea.

Como se puede observar, en total los equipos de baja presión tuvieron un consumo total de 77,000.76 galones de diésel, con un total de 21,490.37 horas horómetro laboradas y 5,483.41 hectáreas regadas; esto quiere decir que se tuvo un consumo de 36.15 galones por hora horómetro laborada y 144.31 galones por hectárea.

Si se toma en cuenta que el precio del diésel está alrededor de Q30.00 tendremos una inversión en combustible de Q2,310,022.80.

### 7.3.2. Sistema de riego de alta presión.

En el siguiente cuadro se pueden observar los datos obtenidos sobre los gastos utilizados para el sistema de riego de alta presión.

**Cuadro 32: Resultados obtenidos de los sistemas de riego de alta presión en la temporada 2021 - 2022.**

Finca	Sección	Activo	Galones	HH/Lab	Gal/HH	Ha	Gal/Ha
Tululá	1	62406	8,029.35	2,254.50	<b>3.56</b>	820.40	9.79
Tululá	2	61305	6,358.00	1,875.00	<b>3.39</b>	464.30	13.69
Tululá	16	62405	8,551.24	2,386.10	<b>3.58</b>	724.80	11.80
Tululá	17	62103	7,690.81	2,386.00	<b>3.22</b>	727.90	10.57
Minar	2	62110	7,916.40	2,563.00	<b>3.09</b>	672.50	11.77
Santa Teresa	2	62408	7,962.14	2,374.00	<b>3.35</b>	578.40	13.77
Santa Ana	1	EPM-92/1	6,994.60	2,334.80	<b>3.00</b>	764.20	9.15
Santa Julia	5	62113	6,526.91	2,389.00	<b>2.73</b>	616.80	10.58
Margarita	2	62112	9,756.19	3,011.00	<b>3.24</b>	699.20	13.95
Margarita	4	62105	9,471.90	3,056.00	<b>3.10</b>	643.40	14.72
<b>Suma</b>			<b>79,257.54</b>	<b>24,629.40</b>	<b>32.27</b>	<b>6,711.90</b>	<b>119.79</b>
<b>Promedio</b>			<b>7,925.75</b>	<b>2,462.94</b>	<b>3.23</b>	<b>671.19</b>	<b>11.98</b>

Donde:

Activo = Código del motor.

HH/Lab = Hora horómetro laborada.

Gal/HH = Galones por hora horómetro.

Ha = Hectáreas.

Gal/Ha = Galones por hectárea.

Se determinó que en los equipos de alta presión tuvieron un consumo total de 79,257.54 galones de diésel, un total de 24,629.40 horas horómetro laboradas y 6,711.90 hectáreas regadas; esto quiere decir que se tuvo un consumo de 32.27 galones por hora horómetro laborada y 119.79 galones por hectárea. Si se toma en cuenta que el precio

del diésel está alrededor de Q30.00 se tendrá una inversión de combustible de Q2,377,726.20.

En respectivo al consumo de combustible, el sistema de alta presión tiene un mayor consumo y por ende en galones por hectárea (79,257.54 gal y 119.79 gal/Ha respectivamente), pero el sistema de baja presión tiene un mayor consumo de galones por hora horómetro, esto se debe también a que la mayoría de reguladores de presión cuentan con fuga y eso hace que el caudal de salida del aspersor no cumpla con los parámetros establecidos (30 – 35 PSI) y se tenga que aumentar las revoluciones (RPM) de la bomba utilizada; asimismo se toma en cuenta el intervalo de riego es de 11 días a diferencia del sistema de alta presión que es de 8 días.

### 7.3.3. Resumen sobre costos de operación.

En el siguiente cuadro se presentan los datos de costos de combustible de los dos sistemas de riego evaluados.

**Cuadro 33: Comparación de costos de los sistemas evaluados.**

Sistema	Galones	Costo
Alta presión	79,257.54	Q2,377,726.20
Baja presión	77,000.76	Q2,310,022.80

El sistema de riego de alta presión tiene un mayor consumo de combustible y por ende mayor costo de operación, teniendo una diferencia de Q67,703.40. Uno de los factores se debe a las revoluciones por minuto (RPM) que maneja cada sistema de riego (1,600 – 1,800 RPM en sistema de alta presión y 1,400 – 1,600 RPM en sistema de baja presión) para llegar a la presión de salida deseado e intervalo de riego utilizado; con estos datos se puede definir que el sistema de baja presión es más rentable en consumo de combustible comparado con el sistema de alta presión.

## VIII. CONCLUSIONES

- En los sistemas de riego de baja presión se llegó a aplicar una lámina captada mínima de 26.28 milímetros, esto significa que durante las evaluaciones se obtuvo un resultado menor con respecto a la lámina neta promedio que es de 33.72 milímetros.
- En el sistema de riego de baja presión, los datos de eficiencias más altos fueron obtenidos de Finca San Caralampio sección cuatro, siendo los siguientes: eficiencia de aplicación 97.33%, eficiencia de almacenamiento 80% y coeficiente de uniformidad 97.40%; esto debido al cambio reciente de aspersores en mal estado. Por otro lado, los datos más bajos fueron de Finca Minar sección uno, siendo la eficiencia de aplicación 37.68%, eficiencia de almacenamiento 44% y coeficiente de uniformidad 61.61% esto es debido a las rupturas en la tubería de riego.
- En el sistema de riego de alta presión, los datos de eficiencias más altos fueron obtenidos de Finca Tululá sección 17, siendo los siguientes: eficiencia de aplicación 98.28%, eficiencia de almacenamiento 83% y coeficiente de uniformidad 98.31% esto debido al establecimiento de tubería nueva. Por otra parte, los datos más bajos fueron de Finca Tululá sección uno siendo la eficiencia de aplicación 69.14%, eficiencia de almacenamiento 77% y coeficiente de uniformidad 76.42% esto debido a tubería rota y mala uniformidad de distribución.
- De diez sistemas de riego de baja presión evaluados solamente cuatro cuentan con el rango óptimo requerido en eficiencia de aplicación, almacenamiento y coeficiente de uniformidad, siendo Finca Normandía sección uno y dos, Finca San Caralampio sección dos y cuatro; el 60% restante no cumple con el rango mínimo requerido para una buena aplicación de lámina de riego.

- De diez sistemas de riego de alta presión evaluados solamente tres cuentan con el rango óptimo requerido en eficiencias de aplicación, almacenamiento y coeficiente de uniformidad, siendo Finca Tululá sección 17, Finca Santa Teresa sección dos y Finca Santa Ana sección uno; el 70% restante no cumple con el rango mínimo requerido para una buena aplicación de lámina de riego.
- El intervalo de riego real utilizado en Ingenio Tululá para el sistema de baja presión es de 11 días, pero calculando el intervalo de riego teórico el promedio es de siete días, los cuales hay un lapso de cuatro días en que la planta no recibe agua.
- Uno de los factores por los cuales no se alcanzaron las presiones y eficiencias esperadas es debido a la uniformidad de distribución de la instalación, ya que influyó directamente el deterioro de la tubería, mala instalación y aspersores dañados para ambos sistemas de riego.
- El intervalo de riego real utilizado en el Ingenio Tululá para el sistema de riego de alta presión es de ocho días, pero calculando el intervalo de riego teórico el promedio es de cinco días, los cuales hay un lapso de tres días en que la planta no recibe agua.
- La eficiencia agronómica para el sistema de baja presión, solamente Finca San Caralampio sección dos cuenta con el rango óptimo con 78.61%; sin embargo, Finca Normandía sección uno tiene 74.43% y Finca San Caralampio sección cuatro tiene 75.84%, ambos cuentan con datos cercanos al rango establecido por Gurovich (1985) que es de 76%.
- La eficiencia agronómica para el sistema de alta presión solamente Finca Tululá sección 17 cuenta con el rango óptimo teniendo 80.19%; por lo que se confirma la hipótesis de trabajo que de 20 sistemas de riego evaluados solamente 18 operan con una eficiencia agronómica inferior al 76%.

- La demanda bruta para el sistema de riego de alta presión es de 17 L/macolla/día, eso quiere decir que se necesita aplicar 4.74 litros más para poder alcanzar los 0.6 metros de la zona radicular del cultivo de caña de azúcar ya que se encontraba en su etapa fenológica EF2 2/3.
- La demanda bruta para el sistema de riego de baja presión es de 23L/macolla/día, es decir que se necesita aplicar 10.74 litros más para alcanzar los 0.6 metros de la zona radicular del cultivo de caña de azúcar ya que se encontraba en su etapa fenológica EF2 2/3.
- Para el combustible se determinó que el sistema de alta presión tiene un mayor consumo de combustible con una diferencia de Q67,703.40 por encima del sistema de riego de baja presión, uno de los factores por el cual el consumo aumenta es por las revoluciones por minuto (RPM) de las bombas que maneja cada sistema.

## IX. RECOMENDACIONES

- Reparar la tubería dañada en ambos sistemas de riego y cambiar reguladores de presión dañados en sistema de baja presión para mejorar la presión del caudal de salida de los aspersores.
- Mejorar las aplicaciones de riego mediante supervisiones, controlando parámetros de calidad como RPM del motor, PSI de caudal de salida durante el tiempo de riego, intervalos y evaluación de traslape; asimismo retroalimentar al personal operador para el uso optimizado del agua y aumentar las eficiencias de riego.
- Realizar pruebas de infiltración en los suelos de las diferentes fincas, con el objetivo de reducir las pérdidas de agua por evaporación y escorrentía que pueda darse debido a la textura y compactación de los suelos, para mejorar las eficiencias de aplicación de lámina de agua. Esto con el objetivo de aumentar el porcentaje de eficiencia agronómica al 76% según Gurovich.
- Reducir el tiempo de riego una hora para ambos sistemas de riego ya que por la textura de los suelos el agua se infiltra lentamente los cuales ocasionan anegamientos y pérdidas de agua por factores climáticos.
- Seguir realizando evaluaciones de eficiencia de riego en ambos sistemas para la temporada 2022 – 2023 para comparar con las evaluaciones realizadas en la temporada 2021 – 2022.
- Implementar el sistema de riego de baja presión en futuras fincas que la empresa adquiera ya que se obtuvo un menor consumo de galones de combustible en comparación del sistema de riego de alta presión.

## X. REFERENCIAS.

Asociación de Azucareros de Guatemala. (ASAZGUA). (2020). *Azúcar de Guatemala en el mundo*. <https://acortar.link/cOcjSP>.

Ajanel Ajcot, J.L. (2012). *Evaluación del sistema de riego por aspersión L. Poaceae “caña de azúcar” en Finca Tululá, San Andrés Villa Seca, Retalhuleu*. [Trabajo de graduación EPS. Agronomía. Centro Universitario del Suroccidente (USAC)] [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/22/22\\_0197.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/22/22_0197.pdf).

Castro Loarca, O.R. (2011). *Planificación del uso de la tecnología del riego con base a procesos: zona cañera de Guatemala. Especialista en riegos del Centro Guatemalteco de Investigación Py capacitación de la caña de azúcar (CENGICANÑA). Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla*. <https://onx.la/068f1>.

*Caña de azúcar*. (2013). [https://www.ecured.cu/Ca%C3%B1a\\_de\\_az%C3%BAcar](https://www.ecured.cu/Ca%C3%B1a_de_az%C3%BAcar).

Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. (CENGICANÑA). (2012). *Uniformidad De Riego En Sistemas “Mini Aspersión”*.

Fernández Ávila, J.E. (2017). *Diagnóstico del Área de Riegos del Departamento de Ingeniería Agrícola del Ingenio Tululá S.A., San Andrés Villa Seca, Retalhuleu*. [Diagnóstico EPS. Agronomía.] USAC, Centro Universitario del Suroccidente.

Girón Contreras, B.G. (2017). *Evaluación del Efecto de Riego con tres Frecuencias y dos Fuentes de Fertilización en la Producción de Caña de Azúcar (Saccharum Spp.) en la Etapa de Macollamiento, Finca La Cuchilla, La Gomera, Escuintla y Elaboración de Diagnóstico y Servicios en Ingenio Pantaleón*. [Trabajo de graduación EPS. Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala] <http://www.repositorio.usac.edu.gt/7182/1/Documento%20de%20Graduaci%C3%B3n%20-%20Boris%20Gir%C3%B3n.pdf>

González Robles, B.R. (2016). *Estudio de suelos con fines de nutrición y riego en los cultivos caña de azúcar (Saccharum officinarum) y Hule (Hevea brasiliensis) en finca El Rosario, Cuyotenango Suchitepéquez*. [Trabajo de graduación EPS. Agronomía. Centro Universitario del Suroccidente (USAC)] <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6138/1/Trabajo%20de%20graduaci%C3%B3n%20Fca.%20El%20Rosario.pdf>

Grupo Tecún. (2014). *Riego*. <https://www.grupotecun.com/riegoguatemala.html>.

Gurovich, L. A. (1985). *Fundamentos y diseño de sistemas de riego*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. IICA. <http://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/7213/BVE18040268e.PDF?sequence=1&isAllowed=y>

Herrera Ramos, A. (2015). *Evaluación del Sistema de Riego por Mini-Aspersión en Caña de Azúcar (Saccharum officinarum), en las Fincas El Minar y Santander del Ingenio Tulula, S.A., San Andrés Villaseca, Retalhuleu*. [Trabajo de graduación EPS. Agronomía. Centro Universitario del Suroccidente (USAC)] [http://www.repositorio.usac.edu.gt/5107/1/Documento\\_graduacion](http://www.repositorio.usac.edu.gt/5107/1/Documento_graduacion).

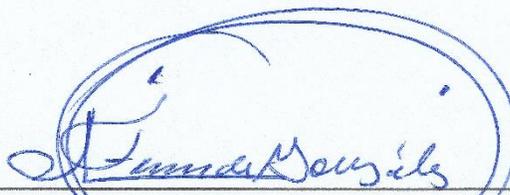
Irrigationtech. (2021). *Sistema de riego por aspersión con cañón o aspensor gigante*. <https://sistemasderiego.info/riego-por-cañon/>

Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. (FAO). (2006). *Evapotranspiración del cultivo, guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>.

Rojas, R. (1984). *Drenaje superficial de suelos agrícolas*. Serie Riegos y Drenajes. CIDIAT.

Sandoval Illescas, J. E. (2002). *Principios De Riego y Drenaje*. Editorial Universitaria, USAC.

Subirós Ruiz, F. (2000). *El cultivo de la caña de azúcar*. [https://books.google.com.gt/books?id=2wpC1j2AmkAC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.gt/books?id=2wpC1j2AmkAC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

  
Vo.Bo. Licda. Ana Teresa Yes de González.  
Bibliotecaria CUNSUROC.



## **XI. ANEXOS.**

**Cuadro 34: Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Minar sección 1.**

<b>Coeficiente de uniformidad según Christiansen</b>		
<b>Número</b>	<b>volumen captado ml</b>	<b>(xi-<math>\bar{x}</math>)</b>
1	20.00	132.17
2	30.00	122.17
3	35.00	117.17
4	40.00	112.17
5	60.00	92.17
6	60.00	92.17
7	80.00	72.17
8	80.00	72.17
9	81.00	71.17
10	95.00	57.17
11	100.00	52.17
12	135.00	17.17
13	143.00	9.17
14	145.00	7.17
15	160.00	7.83
16	165.00	12.83
17	210.00	57.83
18	222.00	69.83
19	235.00	82.83
20	262.00	109.83
21	264.00	111.83
22	290.00	137.83
23	310.00	157.83
24	430.00	277.83
<b>Total</b>	<b>3652.00</b>	<b>2052.67</b>
<b>Promedio</b>	<b>152.17</b>	<b>85.53</b>

<b>Lc</b>	<b>85.53</b>
<b>Lc min</b>	<b>8.83</b>
<b>Minimo</b>	<b>20.00</b>
<b>Maximo</b>	<b>430.00</b>
<b>Desviación</b>	<b>106.03</b>
<b>Error de media</b>	<b>47.90</b>

Lc = Lámina captada.  
 Lc min = Lámina captada mínima.  
 Mínimo = Dato más bajo de la muestra.  
 Máximo = Dato más alto de la muestra.  
 Desviación = Desviación estándar.  
 Error = Error de la media estándar.

<b>RESULTADOS</b>	
<b>CU</b>	<b>44%</b>
<b>DU</b>	<b>27%</b>
<b>EFL. APLI</b>	<b>61.61</b>
<b>EFL. ALMA</b>	<b>37.68</b>

Cu = Coeficiente de uniformidad.  
 Du = Uniformidad de distribución.  
 Efi. Apli = Eficiencia de aplicación.  
 Efi. Alma = Eficiencia de almacenamiento.

**Cuadro 35: Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Normandía sección 1.**

<b>Coefficiente de uniformidad según Christiansen</b>		
<b>Número</b>	<b>volumen captado ml</b>	<b>(xi-X)</b>
1	125.00	90.46
2	140.00	75.46
3	167.00	48.46
4	172.00	43.46
5	180.00	35.46
6	186.00	29.46
7	190.00	25.46
8	195.00	20.46
9	195.00	20.46
10	200.00	15.46
11	205.00	10.46
12	215.00	0.46
13	218.00	2.54
14	220.00	4.54
15	223.00	7.54
16	235.00	19.54
17	238.00	22.54
18	245.00	29.54
19	250.00	34.54
20	255.00	39.54
21	273.00	57.54
22	274.00	58.54
23	280.00	64.54
24	290.00	74.54
<b>Total</b>	<b>5171.00</b>	<b>831.00</b>
<b>Promedio</b>	<b>215.46</b>	<b>34.63</b>

<b>Lc</b>	<b>34.63</b>
<b>Lc min</b>	<b>34.94</b>
<b>Minimo</b>	<b>125.00</b>
<b>Maximo</b>	<b>290.00</b>
<b>Desviación</b>	<b>43.31</b>
<b>Error de media</b>	<b>19.57</b>

Lc = Lámina captada.  
 Lc min = Lámina captada mínima.  
 Minimo = Dato más bajo de la muestra.  
 Máximo = Dato más alto de la muestra.  
 Desviación = Desviación estándar.  
 Error = Error de la media estándar.

<b>RESULTADOS</b>	
<b>CU</b>	<b>84%</b>
<b>DU</b>	<b>75%</b>
<b>Efi. APLI</b>	<b>94.84</b>
<b>Efi. ALMA</b>	<b>94.56</b>

Cu = Coeficiente de uniformidad.  
 Du = Uniformidad de distribución.  
 Efi. Apli = Eficiencia de aplicación.  
 Efi. Alma = Eficiencia de almacenamiento.

**Cuadro 36: Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Normandía Sección 2.**

<b>Coefficiente de uniformidad según Christiansen</b>		
<b>Número</b>	<b>volumen captado ml</b>	<b>(xi-X)</b>
1	65.00	131.67
2	75.00	121.67
3	105.00	91.67
4	130.00	66.67
5	130.00	66.67
6	140.00	56.67
7	145.00	51.67
8	145.00	51.67
9	150.00	46.67
10	165.00	31.67
11	165.00	31.67
12	170.00	26.67
13	180.00	16.67
14	220.00	23.33
15	230.00	33.33
16	235.00	38.33
17	245.00	48.33
18	245.00	48.33
19	265.00	68.33
20	270.00	73.33
21	275.00	78.33
22	300.00	103.33
23	310.00	113.33
24	360.00	163.33
<b>Total</b>	<b>4720.00</b>	<b>1583.33</b>
<b>Promedio</b>	<b>196.67</b>	<b>65.97</b>

<b>Lc</b>	<b>65.97</b>
<b>Lc min</b>	<b>23.23</b>
<b>Minimo</b>	<b>65.00</b>
<b>Maximo</b>	<b>360.00</b>
<b>Desviación</b>	<b>77.27</b>
<b>Error de media</b>	<b>34.91</b>

Lc = Lámina captada.  
 Lc min = Lámina captada mínima.  
 Minimo = Dato más bajo de la muestra.  
 Máximo = Dato más alto de la muestra.  
 Desviación = Desviación estándar.  
 Error = Error de la media estándar.

<b>RESULTADOS</b>	
<b>CU</b>	<b>66%</b>
<b>DU</b>	<b>55%</b>
<b>EFL. APLI</b>	<b>86.82</b>
<b>EFL. ALMA</b>	<b>84.82</b>

Cu = Coeficiente de uniformidad.  
 Du = Uniformidad de distribución.  
 Efi. Apli = Eficiencia de aplicación.  
 Efi. Alma = Eficiencia de almacenamiento.

**Cuadro 37: Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca San Caralampio sección 2.**

<b>Coefficiente de uniformidad según Christiansen</b>		
<b>Número</b>	<b>volumen captado ml</b>	<b>(xi-X)</b>
1	155.00	64.46
2	163.00	56.46
3	170.00	49.46
4	170.00	49.46
5	195.00	24.46
6	200.00	19.46
7	200.00	19.46
8	203.00	16.46
9	206.00	13.46
10	210.00	9.46
11	210.00	9.46
12	210.00	9.46
13	215.00	4.46
14	216.00	3.46
15	220.00	0.54
16	220.00	0.54
17	225.00	5.54
18	225.00	5.54
19	240.00	20.54
20	245.00	25.54
21	265.00	45.54
22	267.00	47.54
23	307.00	87.54
24	330.00	110.54
<b>Total</b>	<b>5267.00</b>	<b>698.83</b>
<b>Promedio</b>	<b>219.46</b>	<b>29.12</b>

<b>Lc</b>	<b>29.12</b>
<b>Lc min</b>	<b>37.93</b>
<b>Minimo</b>	<b>155.00</b>
<b>Maximo</b>	<b>330.00</b>
<b>Desviación</b>	<b>41.54</b>
<b>Error de media</b>	<b>18.77</b>

Lc = Lámina captada.  
 Lc min = Lámina captada mínima.  
 Minimo = Dato más bajo de la muestra.  
 Máximo = Dato más alto de la muestra.  
 Desviación = Desviación estándar.  
 Error = Error de la media estándar.

<b>RESULTADOS</b>	
<b>CU</b>	<b>87%</b>
<b>DU</b>	<b>80%</b>
<b>Efi. APLI</b>	<b>95.18</b>
<b>Efi. ALMA</b>	<b>94.93</b>

Cu = Coeficiente de uniformidad.  
 Du = Uniformidad de distribución.  
 Efi. Apli = Eficiencia de aplicación.  
 Efi. Alma = Eficiencia de almacenamiento.

**Cuadro 38: Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca San Caralampio sección 4.**

<b>Coefficiente de uniformidad según Christiansen</b>		
<b>Número</b>	<b>volumen captado ml</b>	<b>(xi-X)</b>
1	125.00	95.63
2	140.00	80.63
3	155.00	65.63
4	165.00	55.63
5	180.00	40.63
6	185.00	35.63
7	185.00	35.63
8	195.00	25.63
9	195.00	25.63
10	195.00	25.63
11	200.00	20.63
12	210.00	10.63
13	215.00	5.63
14	225.00	4.38
15	240.00	19.38
16	240.00	19.38
17	245.00	24.38
18	245.00	24.38
19	255.00	34.38
20	280.00	59.38
21	295.00	74.38
22	300.00	79.38
23	305.00	84.38
24	320.00	99.38
<b>Total</b>	<b>5295.00</b>	<b>1046.25</b>
<b>Promedio</b>	<b>220.63</b>	<b>43.59</b>

<b>Lc</b>	<b>43.59</b>
<b>Lc min</b>	<b>34.22</b>
<b>Minimo</b>	<b>125.00</b>
<b>Maximo</b>	<b>320.00</b>
<b>Desviación</b>	<b>53.27</b>
<b>Error de media</b>	<b>24.07</b>

Lc = Lámina captada.  
Lc min = Lámina captada mínima.  
Minimo = Dato más bajo de la muestra.  
Maximo = Dato más alto de la muestra.  
Desviación = Desviación estándar.  
Error = Error de la media estándar.

<b>RESULTADOS</b>	
<b>CU</b>	<b>80%</b>
<b>DU</b>	<b>72%</b>
<b>Efi. APLI</b>	<b>97.40</b>
<b>Efi. ALMA</b>	<b>97.33</b>

**Cu** = Coeficiente de uniformidad.  
**Du** = Uniformidad de distribución.  
**Efi. Apli** = Eficiencia de aplicación.  
**Efi. Alma** = Eficiencia de almacenamiento.

**Cuadro 39: Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Vaquil sección 3.**

<b>Coefficiente de uniformidad según Christiansen</b>		
<b>Número</b>	<b>volumen captado ml</b>	<b>(xi-X)</b>
1	80.00	131.67
2	95.00	116.67
3	95.00	116.67
4	95.00	116.67
5	110.00	101.67
6	115.00	96.67
7	115.00	96.67
8	130.00	81.67
9	130.00	81.67
10	165.00	46.67
11	175.00	36.67
12	205.00	6.67
13	215.00	3.33
14	230.00	18.33
15	230.00	18.33
16	235.00	23.33
17	235.00	23.33
18	250.00	38.33
19	295.00	83.33
20	305.00	93.33
21	325.00	113.33
22	335.00	123.33
23	350.00	138.33
24	565.00	353.33
<b>Total</b>	<b>5080.00</b>	<b>2060.00</b>
<b>Promedio</b>	<b>211.67</b>	<b>85.83</b>

<b>Lc</b>	<b>85.83</b>
<b>Lc min</b>	<b>21.25</b>
<b>Minimo</b>	<b>80.00</b>
<b>Maximo</b>	<b>565.00</b>
<b>Desviación</b>	<b>113.26</b>
<b>Error de media</b>	<b>51.17</b>

Lc = Lámina captada.  
Lc min = Lámina captada mínima.  
Minimo = Dato más bajo de la muestra.  
Maximo = Dato más alto de la muestra.  
Desviación = Desviación estándar.  
Error = Error de la media estándar.

<b>RESULTADO</b>	
<b>CU</b>	<b>59%</b>
<b>DU</b>	<b>46%</b>
<b>EFI. APLI</b>	<b>73.57</b>
<b>EFI. ALMA</b>	<b>70.41</b>

Cu = Coeficiente de uniformidad.  
Du = Uniformidad de distribución.  
Efi. Apli = Eficiencia de aplicación.  
Efi. Alma = Eficiencia de almacenamiento.

**Cuadro 40: Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Vaquil sección 4.**

<b>Coefficiente de uniformidad según Christiansen</b>		
<b>Número</b>	<b>volumen captado ml</b>	<b>(xi-X)</b>
1	10.00	245.63
2	60.00	195.63
3	90.00	165.63
4	95.00	160.63
5	100.00	155.63
6	120.00	135.63
7	135.00	120.63
8	150.00	105.63
9	150.00	105.63
10	170.00	85.63
11	170.00	85.63
12	185.00	70.63
13	205.00	50.63
14	240.00	15.63
15	245.00	10.63
16	245.00	10.63
17	255.00	0.63
18	270.00	14.38
19	290.00	34.38
20	295.00	39.38
21	310.00	54.38
22	485.00	229.38
23	860.00	604.38
24	1000.00	744.38
<b>Total</b>	<b>6135.00</b>	<b>3441.25</b>
<b>Promedio</b>	<b>255.63</b>	<b>143.39</b>

<b>Lc</b>	<b>143.39</b>
<b>Lc min</b>	<b>17.11</b>
<b>Minimo</b>	<b>10.00</b>
<b>Maximo</b>	<b>1000.00</b>
<b>Desviación</b>	<b>231.43</b>
<b>Error de media</b>	<b>104.56</b>

Lc = Lámina captada.  
Lc min = Lámina captada mínima.  
Minimo = Dato más bajo de la muestra.  
Maximo = Dato más alto de la muestra.  
Desviación = Desviación estándar.  
Error = Error de la media estándar.

<b>RESULTADOS</b>	
<b>CU</b>	<b>44%</b>
<b>DU</b>	<b>31%</b>
<b>Efi. APLI</b>	<b>80.12</b>
<b>Efi. ALMA</b>	<b>76.86</b>

Cu = Coeficiente de uniformidad.  
Du = Uniformidad de distribución.  
Efi. Apli = Eficiencia de aplicación.  
Efi. Alma = Eficiencia de almacenamiento.

**Cuadro 41: Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Santander sección 2.**

<b>Coefficiente de uniformidad según Christiansen</b>		
<b>Número</b>	<b>volumen captado ml</b>	<b>(xi-X)</b>
1	50.00	147.13
2	85.00	112.13
3	105.00	92.13
4	121.00	76.13
5	150.00	47.13
6	165.00	32.13
7	170.00	27.13
8	170.00	27.13
9	170.00	27.13
10	175.00	22.13
11	185.00	12.13
12	190.00	7.13
13	205.00	7.88
14	205.00	7.88
15	210.00	12.88
16	215.00	17.88
17	240.00	42.88
18	250.00	52.88
19	255.00	57.88
20	265.00	67.88
21	275.00	77.88
22	275.00	77.88
23	300.00	102.88
24	300.00	102.88
<b>Total</b>	<b>4731.00</b>	<b>1259.00</b>
<b>Promedio</b>	<b>197.13</b>	<b>52.46</b>

<b>Lc</b>	<b>52.46</b>
<b>Lc min</b>	<b>24.35</b>
<b>Minimo</b>	<b>50.00</b>
<b>Maximo</b>	<b>300.00</b>
<b>Desviación</b>	<b>66.31</b>
<b>Error de media</b>	<b>29.96</b>

Lc = Lámina captada.  
Lc min = Lámina captada mínima.  
Minimo = Dato más bajo de la muestra.  
Maximo = Dato más alto de la muestra.  
Desviación = Desviación estándar.  
Error = Error de la media estándar.

<b>RESULTADO</b>	
<b>CU</b>	<b>73%</b>
<b>DU</b>	<b>57%</b>
<b>EFI. APLI</b>	<b>79.55</b>
<b>EFI. ALMA</b>	<b>74.29</b>

Cu = Coeficiente de uniformidad.  
Du = Uniformidad de distribución.  
Efi. Apli = Eficiencia de aplicación.  
Efi. Alma = Eficiencia de almacenamiento.

**Cuadro 42: Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Tululá sección 1.**

<b>Coefficiente de uniformidad según Christiansen</b>		
<b>Número</b>	<b>volumen captado ml</b>	<b>(xi-X)</b>
1	500.00	645.60
2	750.00	395.60
3	775.00	370.60
4	830.00	315.60
5	850.00	295.60
6	895.00	250.60
7	910.00	235.60
8	920.00	225.60
9	990.00	155.60
10	1040.00	105.60
11	1050.00	95.60
12	1050.00	95.60
13	1100.00	45.60
14	1120.00	25.60
15	1190.00	44.40
16	1210.00	64.40
17	1230.00	84.40
18	1250.00	104.40
19	1300.00	154.40
20	1310.00	164.40
21	1455.00	309.40
22	1480.00	334.40
23	1755.00	609.40
24	1820.00	674.40
25	1860.00	714.40
<b>Total</b>	<b>28640.00</b>	<b>6516.80</b>
<b>Promedio</b>	<b>1145.60</b>	<b>260.67</b>

<b>Lc</b>	<b>260.67</b>
<b>Lc min</b>	<b>30.13</b>
<b>Minimo</b>	<b>500.00</b>
<b>Maximo</b>	<b>1860.00</b>
<b>Desviación</b>	<b>338.03</b>
<b>Error</b>	<b>151.17</b>

Lc = Lámina captada.  
Lc min = Lámina captada mínima.  
Minimo = Dato más bajo de la muestra.  
Maximo = Dato más alto de la muestra.  
Desviación = Desviación estándar.  
Error = Error de la media estándar.

<b>RESULTADOS</b>	
<b>CU</b>	<b>77%</b>
<b>DU</b>	<b>67%</b>
<b>Efi. APLI</b>	<b>76.42</b>
<b>Efi. ALMA</b>	<b>69.14</b>

**Cu** = Coeficiente de uniformidad.  
**Du** = Uniformidad de distribución.  
**Efi. Apli** = Eficiencia de aplicación.  
**Efi. Alma** = Eficiencia de almacenamiento.

**Cuadro 43: Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Tululá sección 17.**

<b>Coefficiente de uniformidad según Christiansen</b>		
<b>Número</b>	<b>volumen captado ml</b>	<b>(xi-<math>\bar{x}</math>)</b>
1	770.00	489.40
2	820.00	439.40
3	855.00	404.40
4	970.00	289.40
5	995.00	264.40
6	1115.00	144.40
7	1130.00	129.40
8	1155.00	104.40
9	1160.00	99.40
10	1180.00	79.40
11	1180.00	79.40
12	1200.00	59.40
13	1220.00	39.40
14	1245.00	14.40
15	1250.00	9.40
16	1290.00	30.60
17	1305.00	45.60
18	1400.00	140.60
19	1400.00	140.60
20	1420.00	160.60
21	1485.00	225.60
22	1530.00	270.60
23	1650.00	390.60
24	1760.00	500.60
25	2000.00	740.60
<b>Total</b>	<b>31485.00</b>	<b>5292.00</b>
<b>Promedio</b>	<b>1259.40</b>	<b>211.68</b>

<b>Lc</b>	<b>211.68</b>
<b>Lc min</b>	<b>36.28</b>
<b>Minimo</b>	<b>770.00</b>
<b>Maximo</b>	<b>2000.00</b>
<b>Desviación</b>	<b>286.52</b>
<b>Error</b>	<b>128.14</b>

Lc = Lámina captada.  
Lc min = Lámina captada mínima.  
Minimo = Dato más bajo de la muestra.  
Maximo = Dato más alto de la muestra.  
Desviación = Desviación estándar.  
Error = Error de la media estándar.

<b>RESULTADOS</b>	
<b>CU</b>	<b>83%</b>
<b>DU</b>	<b>73%</b>
<b>Efi. APLI</b>	<b>98.31</b>
<b>Efi. ALMA</b>	<b>98.28</b>

Cu = Coeficiente de uniformidad.  
Du = Uniformidad de distribución.  
Efi. Apli = Eficiencia de aplicación.  
Efi. Alma = Eficiencia de almacenamiento.

**Cuadro 44: Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Minar sección 2.**

<b>Coefficiente de uniformidad según Christiansen</b>		
<b>Número</b>	<b>volumen captado ml</b>	<b>(xi-<math>\bar{x}</math>)</b>
1	495.00	721.64
2	825.00	391.64
3	886.00	330.64
4	900.00	316.64
5	950.00	266.64
6	965.00	251.64
7	1000.00	216.64
8	1000.00	216.64
9	1000.00	216.64
10	1150.00	66.64
11	1210.00	6.64
12	1250.00	33.36
13	1270.00	53.36
14	1280.00	63.36
15	1320.00	103.36
16	1350.00	133.36
17	1360.00	143.36
18	1370.00	153.36
19	1420.00	203.36
20	1445.00	228.36
21	1450.00	233.36
22	1570.00	353.36
23	1610.00	393.36
24	1670.00	453.36
25	1670.00	453.36
<b>Total</b>	<b>30416.00</b>	<b>6004.08</b>
<b>Promedio</b>	<b>1216.64</b>	<b>240.16</b>

<b>Lc</b>	<b>240.16</b>
<b>Lc min</b>	<b>33.11</b>
<b>Minimo</b>	<b>495.00</b>
<b>Maximo</b>	<b>1670.00</b>
<b>Desviación</b>	<b>294.57</b>
<b>Error</b>	<b>131.74</b>

Lc = Lámina captada.  
 Lc min = Lámina captada mínima.  
 Mínimo = Dato más bajo de la muestra.  
 Máximo = Dato más alto de la muestra.  
 Desviación = Desviación estándar.  
 Error = Error de la media estándar.

<b>RESULTADO</b>	
<b>CU</b>	<b>80%</b>
<b>DU</b>	<b>69%</b>
<b>Efi. APLI</b>	<b>80.83</b>
<b>Efi. ALMA</b>	<b>76.29</b>

Cu = Coeficiente de uniformidad.  
 Du = Uniformidad de distribución.  
 Efi. Apli = Eficiencia de aplicación.  
 Efi. Alma = Eficiencia de almacenamiento.

**Cuadro 45: Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Santa Teresa sección 2.**

Coeficiente de uniformidad según Christiansen		
Número	volumen captado ml	$(xi-\bar{x})$
1	715.00	902.60
2	1020.00	597.60
3	1100.00	517.60
4	1140.00	477.60
5	1170.00	447.60
6	1220.00	397.60
7	1230.00	387.60
8	1240.00	377.60
9	1250.00	367.60
10	1345.00	272.60
11	1350.00	267.60
12	1388.00	229.60
13	1429.00	188.60
14	1440.00	177.60
15	1570.00	47.60
16	1660.00	42.40
17	1685.00	67.40
18	1780.00	162.40
19	1810.00	192.40
20	2105.00	487.40
21	2345.00	727.40
22	2345.00	727.40
23	2438.00	820.40
24	2710.00	1092.40
25	2955.00	1337.40
Total	40440.00	11314.00
Promedio	1617.60	452.56

<b>Lc</b>	<b>452.56</b>
<b>Lc min</b>	<b>41.69</b>
<b>Minimo</b>	<b>715.00</b>
<b>Maximo</b>	<b>2955.00</b>
<b>Desviación</b>	<b>567.99</b>
<b>Error</b>	<b>254.01</b>

Lc = Lámina captada.  
 Lc min = Lámina captada mínima.  
 Minimo = Dato más bajo de la muestra.  
 Máximo = Dato más alto de la muestra.  
 Desviación = Desviación estándar.  
 Error = Error de la media estándar.

<b>RESULTADOS</b>	
<b>CU</b>	<b>72%</b>
<b>DU</b>	<b>66%</b>
<b>Efi. APLI</b>	<b>94.82</b>
<b>Efi. ALMA</b>	<b>94.54</b>

**CU** = Coeficiente de uniformidad.  
**DU** = Uniformidad de distribución.  
**Efi. Apli** = Eficiencia de aplicación.  
**Efi. Alma** = Eficiencia de almacenamiento.

**Cuadro 46: Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Margarita sección 2.**

Coeficiente de uniformidad según Christiansen		
Número	volumen captado ml	$(xi-\bar{x})$
1	1030.00	552.00
2	1250.00	332.00
3	1255.00	327.00
4	1295.00	287.00
5	1310.00	272.00
6	1310.00	272.00
7	1320.00	262.00
8	1340.00	242.00
9	1345.00	237.00
10	1365.00	217.00
11	1370.00	212.00
12	1530.00	52.00
13	1610.00	28.00
14	1675.00	93.00
15	1700.00	118.00
16	1700.00	118.00
17	1715.00	133.00
18	1740.00	158.00
19	1820.00	238.00
20	1830.00	248.00
21	1885.00	303.00
22	1935.00	353.00
23	2000.00	418.00
24	2010.00	428.00
25	2210.00	628.00
Total	39550.00	6528.00
Promedio	1582.00	261.12

Lc	261.12
Lc min	48.79
Minimo	1030.00
Maximo	2210.00
Desviación	302.57
Error	135.31

Lc = Lámina captada.  
 Lc min = Lámina captada mínima.  
 Minimo = Dato más bajo de la muestra.  
 Maximo = Dato más alto de la muestra.  
 Desviación = Desviación estándar.  
 Error = Error de la media estándar.

<b>RESULTADOS</b>	
CU	83%
DU	78%
EFI. APLI	76.17
EFI. ALMA	75.81

Cu = Coeficiente de uniformidad.  
 Du = Uniformidad de distribución.  
 Efi. Apli = Eficiencia de aplicación.  
 Efi. Alma = Eficiencia de almacenamiento.

**Cuadro 47: Resultados obtenidos de la evaluación realizada en Finca Margarita sección 4.**

<b>Coefficiente de uniformidad según Christiansen</b>		
<b>Número</b>	<b>volumen captado ml</b>	<b>(xi-X)</b>
1	765.00	617.60
2	805.00	577.60
3	825.00	557.60
4	935.00	447.60
5	970.00	412.60
6	1000.00	382.60
7	1010.00	372.60
8	1080.00	302.60
9	1170.00	212.60
10	1190.00	192.60
11	1200.00	182.60
12	1235.00	147.60
13	1240.00	142.60
14	1260.00	122.60
15	1270.00	112.60
16	1530.00	147.40
17	1580.00	197.40
18	1750.00	367.40
19	1760.00	377.40
20	1795.00	412.40
21	1810.00	427.40
22	1930.00	547.40
23	1980.00	597.40
24	2195.00	812.40
25	2280.00	897.40
<b>Total</b>	<b>34565.00</b>	<b>9568.00</b>
<b>Promedio</b>	<b>1382.60</b>	<b>382.72</b>

<b>Lc</b>	<b>382.72</b>
<b>Lc min</b>	<b>34.71</b>
<b>Minimo</b>	<b>765.00</b>
<b>Maximo</b>	<b>2280.00</b>
<b>Desviación</b>	<b>445.88</b>
<b>Error</b>	<b>199.41</b>

Lc = Lámina captada.  
Lc min = Lámina captada mínima.  
Minimo = Dato más bajo de la muestra.  
Maximo = Dato más alto de la muestra.  
Desviación = Desviación estándar.  
Error = Error de la media estándar.

<b>RESULTADOS</b>	
<b>CU</b>	<b>72%</b>
<b>DU</b>	<b>64%</b>
<b>EFI. APLI</b>	<b>81.37</b>
<b>EFI. ALMA</b>	<b>83.35</b>

Cu = Coeficiente de uniformidad.  
Du = Uniformidad de distribución.  
Efi. Apli = Eficiencia de aplicación.  
Efi. Alma = Eficiencia de almacenamiento.

**Cuadro 48: Parámetros de operación de los sistemas de riego de baja presión evaluados del Ingenio Tululá.**

\*Referencia = **LHA**: Lámina de humedad aprovechable, **LB**: Lámina bruta, **LN**: Lámina neta, **Ir**: Intervalo de riego,

Finca	Sección	Activo	Caudal Aforado (gal/min)	Milímetros aplicados por hora (mm/hr)	LHA	LB	LN	Ir	Lc	Lc min	UA	CU	Ef. Apl.	Ef. Alm.
Minar	1	62104	4.62	4.85	51.7	41.36	31.02	6.17	85.53	8.83	10.32%	44%	61.61%	37.68%
Normandía	1	62120	4.25	4.48	59.39	47.51	35.63	7.08	35.63	34.94	98.07%	83%	94.84%	94.56%
Normandía	2	62121	4.23	4.46	61.06	48.84	36.63	7.28	65.97	23.23	35.22%	66%	86.82%	84.82%
San Caralampio	2	62118	4.26	4.48	76.32	61.06	45.79	9.10	29.12	37.93	13.02%	87%	95.18%	94.93%
San Caralampio	4	62127	4.23	4.45	69.19	55.35	41.51	8.25	43.59	34.22	78.5%	80%	97.40%	97.33%
Vaquil	1	62122	4.45	4.68	35.16	28.12	21.09	4.19	117.06	36.15	30.88%	57%	75.60%	67.72%
Vaquil	2	62125	4.37	4.59	47.09	37.67	28.25	5.62	55.82	24.8	44.43%	71%	66.96%	50.67%
Vaquil	3	62124	4.20	4.42	49.75	39.8	29.85	5.93	85.83	21.25	24.76%	59%	73.57%	70.41%
Vaquil	4	62123	3.71	3.90	60.16	48.13	36.09	7.18	143.39	17.11	11.93%	44%	80.12%	76.86%
Santander	1	62119	4.63	4.87	52.19	41.75	31.32	6.23	52.46	24.35	46.42%	73%	79.55%	74.29%

<b>Promedio</b>	4.30	4.52	56.20	44.96	33.72	6.70	71.44	26.28	51.08%	66.4%	81.17%	74.93%
<b>Varianza</b>	0.07	0.07	136.29	87.27	49.06	1.94	1349.63	88.92	15.38%	2.3%	1.51%	3.82%
<b>Desviación estándar</b>	0.26	0.27	11.67	9.34	7.00	1.39	36.74	9.43	39.22	15.2%	12.27%	19.54%

**Lc**: Lámina captada, **Lcmin**: Lámina captada mínima, **UA**: Uniformidad de aplicación, **CU**: Coeficiente de uniformidad, **Ef. Apl**: Eficiencia de aplicación, **Ef. Alm**: Eficiencia de almacenamiento.

Cuadro 49: Parámetros de operación de los sistemas de riego de alta presión evaluados del Ingenio Tululá.

Finca	Sección	Activo	Caudal Aforado (gal/min)	Milímetros aplicados por hora (mm/hr)	LHA	LB	LN	Ir	Lc	Lc min	UA	CU	Ef. Apl.	Ef. Alm.
Tululá	1	62406	175.11	19.64	56.41	45.13	33.85	6.04	260.67	30.13	11.56%	77%	76.42%	69.14%
Tululá	2	61305	178.15	18.54	50.56	40.45	30.34	5.42	219.14	34.89	15.92%	84%	81.82%	77.78%
Tululá	16	62405	169.32	17.45	21.8	17.44	13.08	2.34	315.68	31.09	9.85%	78%	78.61%	72.78%
Tululá	17	62103	149.62	16.78	52.37	41.9	31.42	5.61	211.68	36.28	17.14%	83%	98.31%	98.28%
Minar	2	62110	175.8	19.72	52.42	41.94	31.45	5.62	240.16	33.11	13.79%	80%	80.83%	76.29%
Santa Teresa	2	62408	199.26	22.35	70.55	56.44	42.33	7.56	452.56	41.69	9.21%	72%	94.82%	94.54%
Santa Ana	1	EPM-92/1	172.3	20.2	59.36	47.49	35.62	6.36	200.06	38.5	19.24%	85%	91.84%	91.11%
Santa Julia	5	62113	163.04	20.83	35.85	28.68	21.51	3.84	405.29	35.46	8.75%	77%	83.48%	80.21%
Margarita	2	62112	174.04	19.52	56.67	45.34	34	6.07	261.12	48.79	18.69%	83%	76.17%	75.81%
Margarita	4	62105	159.31	17.87	48.16	38.53	28.89	5.16	382.72	34.71	9.07%	72%	81.37%	83.35%

<b>Promedio</b>			171.60	19.29	50.42	40.33	30.25	5.40	294.91	36.47	13.32%	79.10%	84.37%	81.93%
<b>Varianza</b>			173.00	2.80	178.27	114.10	64.18	2.04	8017.31	30.03	17.38%	0.22%	0.61%	0.94%
<b>Desviación estándar</b>			13.15	1.67	13.35	10.68	8.01	1.43	89.54	5.48	4.17%	4.72%	7.83%	9.71%

\*Referencia = **LHA**: Lámina de humedad aprovechable, **LB**: Lámina bruta, **LN**: Lámina neta, **Ir**: Intervalo de riego, **Lc**: Lámina captada, **Lcmin**: Lámina captada mínima, **UA**: Uniformidad de aplicación, **CU**: Coeficiente de uniformidad, **Ef. Apl**: Eficiencia de aplicación, **Ef. Alm**: Eficiencia de almacenamiento.



Mayordomo: \_\_\_\_\_

Finca: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

**BOLETA DE REGISTRO**  
**EVALUACIÓN DE EFICIENCIA EN SISTEMAS DE ASPERSIÓN**

<b>Activo</b>						
<b>Sección</b>		<b>No. Pluviómetros</b>		<b>Tipo de aspersor</b>		<b>Po</b>
<b>Lote</b>		<b>No. Asp x ramal eval.</b>		<b>Marca</b>		<b>P1</b>
<b>RPM Motor</b>		<b>Total, aspersores op.</b>		<b>Modelo</b>		<b>P2</b>
<b>RPM Digital</b>		<b>Total, aspersores diseño</b>		<b>Boquilla</b>		<b>Pf</b>
<b>PSI Salida</b>		<b>Marco de Riego</b>		<b>Regulador</b>		<b>Posición</b>

<b>Hora Inicio</b>		<b>Hora Final</b>	
--------------------	--	-------------------	--

**Pluviometría**

No.	Pluviometría	No.	Pluviometría
1		1	
2		2	
3		3	
4		4	
5		5	
6		6	
7		7	
8		8	
9		9	
10		10	
11		11	
12		12	
13		13	
14		14	
15		15	
16		16	
17		17	
18		18	
19		19	
20		20	
21		21	
22		22	
23		23	
24		24	

**Aforo**

Lts/Min		Lts/Min		Caudal Aforado
P1		P2		
P1		P2		
P1		P2		
$\bar{x}$ :		$\bar{x}$ :		

**Lecturas Climáticas**

No.	Velocidad Viento Km/hr	Temperatura	Húmeda Relativa
1			
2			
3			
4			
5			
6			
$\bar{x}$			

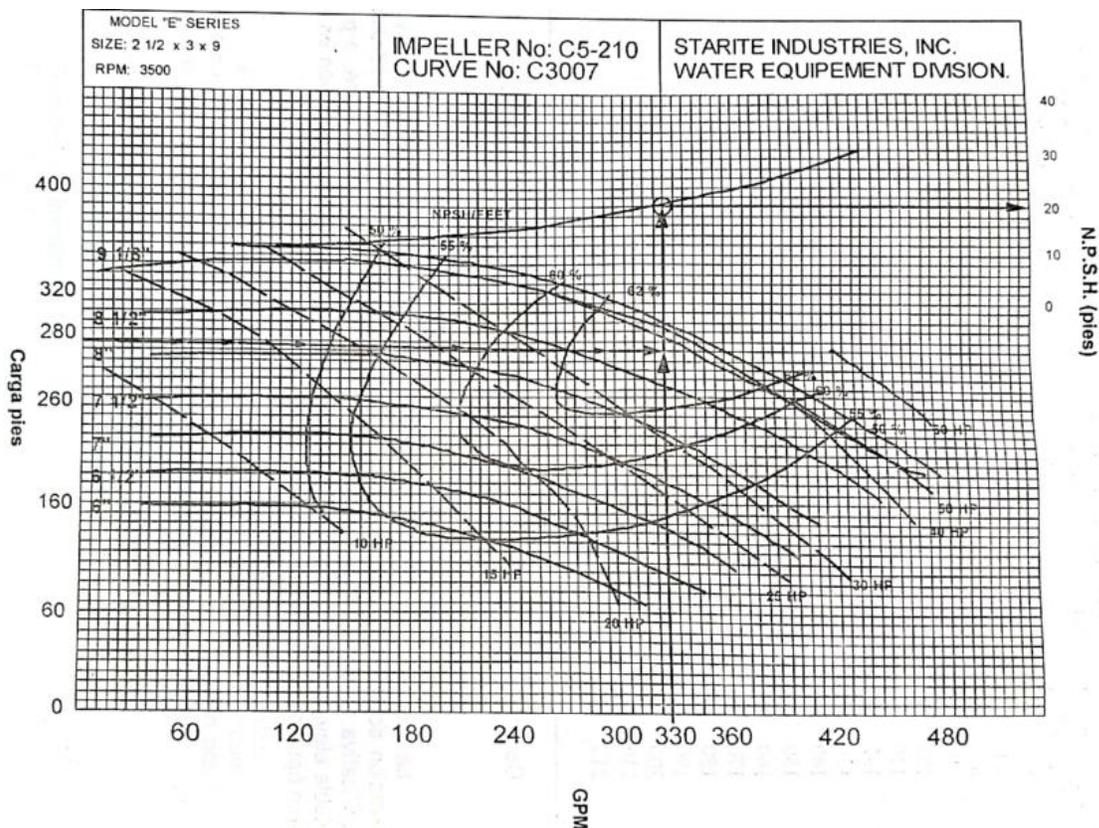
Evaluador: \_\_\_\_\_

Operador: \_\_\_\_\_

**Figura 19: Boleta utilizada para el control de datos en las evaluaciones de aspersión de alta y baja presión.**



**Figura 20: Motobombas John Deere serie 6068TF150 de 150 HP 1800 rpm, utilizados en Ingenio Tuluá para aplicación de riego en caña de azúcar.**



**Figura 21: Curva de operación de la motobomba John Deere serie 6068TF150.  
Fuente: Jhon Deere (2023)**

Mazatenango, 21 de noviembre de 2023.

Lic. Luis Carlos Muñoz López  
Director en Funciones  
Centro Universitario de Suroccidente  
Universidad de San Carlos de Guatemala

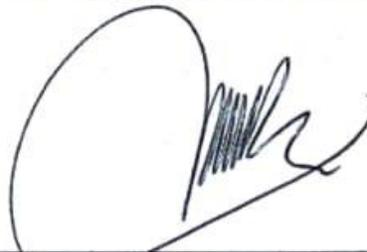
Respetable Sr. Director:

Con fundamento en el normativo de Trabajo de Graduación de la Carrera de Agronomía Tropical, me permito hacer de su conocimiento que el estudiante T.P.A. **Eduardo Roberto Quiñónez Melgar, Carné: 201547215**, ha concluido su trabajo de graduación titulado: **Evaluación de dos modalidades de riego por aspersion en *Saccharum officinarum*, Poaceae “Caña de azúcar”, en fincas del Ingenio Tzululá, San Andrés Villaseca, Retalhuleu**, el cual fue asesorado por el Ing. Agr. Nicolás Barrios de León, lo que evidencia con la nota adjunta que he revisado previamente.

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

Sin otro particular, esperando haber cumplido satisfactoriamente con la responsabilidad inherente al caso, le reitero las muestras de mi consideración y estima. Deferentemente

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”.**



Dr. Myner Raúl Otoy Rosales.  
Coordinador de Carrera.



Mazatenango, noviembre de 2023.

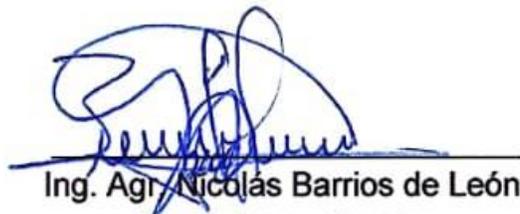
Ing. Mynor Raúl Otzoy Rosales.  
Coordinador de la Carrera de Agronomía Tropical.  
Centro Universitario del Suroccidente.  
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apreciable Ingeniero:

Por medio de la presente hago de su conocimiento que cumpliendo con el nombramiento que me fuera asignado he procedido a supervisar y asesorar el trabajo de graduación del estudiante **Eduardo Roberto Quiñónez Melgar**, carné 201547215, el cual lleva por título: "Evaluación de dos modalidades de riego por aspersion en *Saccharum officinarum*, Poaceae "Caña de azúcar", en fincas del Ingenio Tzulá, San Andrés Villaseca, Retalhuleu."

Luego del asesoramiento, supervisión y revisión del informe escrito, considero que el mismo lleva los requisitos para continuar con los trámites correspondientes que rigen este Centro Universitario y firmo la presente dando fe de lo antes mencionado.

Sin otro particular, atentamente:



Ing. Agr. Nicolás Barrios de León.  
Supervisor – Asesor.  
Carrera de Agronomía Tropical.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE  
MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ  
DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO

**CUNSUROC/USAC-I-033-2024**

DIRECCION DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,  
Mazatenango, Suchitepéquez, ocho de abril de dos mil veinticuatro\_\_\_\_\_

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes del asesor y revisor, SE AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO: "EVALUACIÓN DE DOS MODALIDADES DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN *Saccharum officinarum*, Poaceae "CAÑA DE AZÚCAR", EN FINCAS DEL INGENIO TULULÁ, SAN ANDRÉS VILLA SECA, RETALHULEU", del estudiante: **Eduardo Roberto Quiñónez Melgar** Carné: 201547215 CUI: 2869 14093 1001 de la carrera Ingeniería en Agronomía Tropical.

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**

**M.A. Luis Carlos Muñoz López**  
Director

/gris

