

**UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE
INGENIERÍA EN AGRONOMÍA TROPICAL
TRABAJO DE GRADUACIÓN**



**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**

**Por
Alexander Herrera Ramos
200740443**

**Ing. Agr. María Clarisa Rodríguez García
Asesor**

Mazatenango, Suchitepéquez, Agosto 2015.

**UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE
INGENIERÍA EN AGRONOMÍA TROPICAL
TRABAJO DE GRADUACIÓN**



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

PRESENTADO AL HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE, DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

POR

Alexander Herrera Ramos

200740443

alexanderherr50@hotmail.com

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRONOMO
EN EL GRADO DE LICENCIADO**

**Ing. Agr. María Clarisa Rodríguez García
Asesor**

Mazatenango, Suchitepéquez, Agosto 2015.

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario del Suroccidente

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

Rector

Dr. Carlos Enrique Camey Rodas

Secretario General

Miembros del Consejo Directivo del Centro Universitario del Suroccidente

Dra. Alba Ruth Maldonado de León

Presidenta

Representantes de Profesores

MSc. Mirma Nineth Hernández Palma

Vocal

MSc. José Norberto Thomas Villatoro

Secretario

Representante Graduado del CUNSUROC

Lic. Ángel Estuardo López Mejía

Vocal

Representantes Estudiantiles

MEPP Elisa Raquel Martínez Gonzales

Vocal

Br. Irrael Estuardo Arriaza Jerez

COORDINACIÓN ACADÉMICA

Coordinador Académico

MSc. Carlos Antonio Barrera Arenales

Coordinador Carrera Licenciatura en Administración de Empresas

Msc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar

Coordinador Carrera de Licenciatura en Trabajo Social

Lic. Edin Aníbal Ortíz Lara

Coordinador de las Carreras de Pedagogía

MSc. Nery Edgar Saquimux Canastuj

Coordinador de la Carrera de Ingeniería en Alimentos

Dr. Marco Antonio de Cid Flores

Coordinador de la Carrera de Ingeniería en Agronomía Tropical

Ph. D. Reynaldo Humberto Alarcón Noguera

Coordinadora Carrera Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales, Abogado y Notario

Licda. Tania María Cabrera Ovalle

Coordinador Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local

MSc. Celso González Morales

CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA DEL CUNSUROC

Coordinadora de las Carreras de Pedagogía

Licda. Tania Elvira Marroquín Vásquez

Coordinadora Carrera Periodista Profesional y Licenciatura en Ciencias de la
Comunicación

MSc. Paola Marisol Rabanales



CENTRO UNIERSITARIO DE SUROCCIDENTE
AGRONOMÍA TROPICAL
Mazatenango, Suchitepéquez, gt

Mazatenango, 17 de Agosto de 2015.

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

Respetables Miembros del Consejo Directivo:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de graduación titulado: **“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 presentado como requisito para obtener el título de Ingeniero Agrónomo, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas. **SOLICITO:** La autorización del acto de graduación.

Sin otro en particular me despido de usted, atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

T.P.A. Alexander Herrera Ramos.
Carné 200740443.

ACTO QUE DEDICO

A:

Dios: Por darme una nueva oportunidad, de ser mí guía, soporte y amigo incondicional en todo momento de mi vida.

Mi Madre: Catarina Ramos Hernández, por ser las persona más importante en mi vida, por tener la función de padre y madre a las vez, ser mi guía de los buenos caminos y su incansable esfuerzo por este logro. Te amo mamá Dios te bendiga.

Mi Padre: Con mucho respeto y que Dios lo proteja y bendiga en todo momento.

Mi hijo: **Alessandro Yerai** un angelito hermoso que forma parte del Reino de Dios. (Q.P.D.)

Mis Hermanos: Axel Miguel e Ingrid, por estar conmigo en todo momento, por su apoyo incondicional. Los quiero mucho.

A mis sobrinos: Con muchos respeto y cariño a quienes quiero mucho.

Mis abuelos: Aunque no están físicamente acá conmigo, sé que de una u otra manera están viendo este logro, y gracias por el amor incondicional que me dieron en vida.

Mis amigos: A todos los que me dieron su apoyo, cariño y compañía para no dejarme caer en los momentos más difíciles, a mis compañeros de promoción.

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios.

Mi Patria Guatemala.

Universidad San Carlos de Guatemala.

Centro Universitario del Sur Occidente –CUNSUROC-.

Carrera de Agronomía Tropical, a los Ingenieros que me brindaron su apoyo en asesoría para concluir con el presente documento.

Mis asesores Ing. Agr. María Clarisa Rodríguez García, por su valiosa asesoría, revisión y corrección para la elaboración de esta investigación.

Departamento de Ingeniería Agrícola del Ingenio Tululá S.A., por el apoyo brindado en la realización de este trabajo.

A todas las personas que de una u otra manera colaboraron en la realización de la presente investigación.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
Resumen	1
Summary	3
I. Introducción	5
II. REVISIÓN DE LITERATURA	7
1. MARCO CONCEPTUAL	7
1.1. CAÑA DE AZÚCAR (<i>Shaccharum officinarum</i>)	7
1.1.1. Taxonomía de la caña de azúcar (<i>Shaccharum officinarum</i>)	8
1.1.2. Requerimientos Ambientales	9
1.2. Etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar	11
1.3. Riego por aspersión	16
1.3.1. Condiciones de suelo-planta-clima a considerar para una aplicación eficiente del riego por aspersión	16
1.3.2. Ventajas y desventajas en el uso del riego por aspersión	17
1.3.3. Diseño del riego por aspersión	18
1.3.4. Diseño agronómico y diseño hidráulico	20
1.3.5. Evaluación de un sistema de riego por aspersión	21
1.3.6. ¿Cuándo realizar una evaluación del riego por aspersión?	22
1.4. Eficiencias del riego	24
1.4.1. Eficiencia agronómica	24
1.4.2. Eficiencia de aplicación	25
1.4.3. Eficiencia de almacenamiento	25
1.4.4. Eficiencia de distribución	26
2. Marco referencial	27
2.1. Localización	27
2.2. Ubicación geográfica	27
2.3. Vías de acceso	27
2.4. Zona de vida	27
2.5. Recursos hidrológicos	27
2.6. Ubicación y extensión de las áreas de estudio	28

2.7. Coeficiente de cultivo	36
III. Objetivos	38
3.1. General	38
3.2. Específicos	38
IV. Hipótesis	39
V. Materiales y métodos	40
5.1. Materiales utilizados	40
5.2. Metodología	40
5.2.1. Calculo de la infiltración básica del suelo por el método de doble cilindro	40
5.2.2. Determinación de los parámetros de operación de los sistemas de riego por aspersión	43
VI. Presentación y discusión de resultados	49
6.1. Caracterizar el funcionamiento del equipo de riego por mini – aspersión de las finca El Minar y Santander	49
6.1.1. Evapotranspiración	50
6.1.2. Velocidad de infiltración básica de suelos	50
6.1.3. Tiempo de riego	51
6.1.4. Determinación de caudal y presiones de aspersores	51
6.1.5. Observaciones generales	53
6.2. Determinar los parámetros de operación de los sistemas de riego por mini – aspersión (lamina neta, lamina bruta, entre otros) en las finca El Minar y Santander del Ingenio Tululá.	56
6.3. Calcular la eficiencia de aplicación, almacenamiento y distribución de los sistemas de riego por aspersión en las finca El Minar y Santander.	62
6.4. Determinar la eficiencia agronómica en cada uno de los sistemas de riego por mini – aspersión evaluados en las finca El Minar y Santander.	66
VII. Conclusiones.	68
VIII. Recomendaciones.	70
IX. Bibliografía.	72
X. ANEXOS	74

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág.
1. Etapas fenológicas de la caña de azúcar en condiciones de la zona cañera de Guatemala.	12
2. Valores de ETo promedio (mm) según etapas fenológicas, estratos altitudinales y tercios de zafra para las condiciones de la zona cañera guatemalteca.	13
3. Valores de Kc según etapa fenológicas y tipo de suelo, seleccionados en la zona cañera de Guatemala.	14
4. Eficiencias adecuadas de alcanzar con diferentes métodos de riego, en una situación óptima de diseño y operación.	25
5. Zonas de producción de caña de azúcar del ingenio Tzululá.	28
6. Distribución de variedades y tipo de riego de la Finca El Minar	29
7. Resultado del análisis físico de la unidad de suelo de la finca El Minar.	34
8. Constantes de humedad y densidad aparente para cada estrato, en la unidad de suelo de la finca El Minar.	34
9. Resultado del análisis físico de la unidad de suelo de la finca Santander.	35
10. Constantes de humedad y densidad aparente para cada estrato, en la unidad de suelo de la finca Santander.	36
11. Valores de Kc según la etapa fenológica y tipo de suelo, de toda la zona cañera de la costa sur de Guatemala.	36
12. Fechas de corte del cultivo de caña de azúcar y las fechas de ensayo de campo en las diferentes secciones de cada finca evaluada.	49
13. Caudal y presiones promedio de operación de los aspersores evaluados en la finca El Minar.	51
14. Caudal y presión promedio de operación de los aspersores evaluados en la Santander.	52
15. Distanciamiento de tubería en el riego mini – aspersión.	54
16. Parámetros de operación de los sistemas de riego por aspersión de la finca El Minar.	57

17. Parámetros de operación de los sistemas de riego por aspersión de la finca Santander.	59
18. Eficiencia de riego determinada en el equipo de riego de mini – aspersión, finca El Minar.	62
19. Eficiencia de riego determinada en el equipo de riego de mini – aspersión finca Santander.	64
20. Representación de las eficiencias promedios de cada uno de las fincas evaluadas.	66

INDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1. Motor John Deere con sus accesorios instalados.	31
2. Modelo del aspersor.	32
3. Distribución de tubería principal con diferentes diámetros de instalación.	32
4. Aspersor instalado en el campo.	33
5. Colocación y aplicación de agua a los cilindros para determinar la infiltración básica del suelo.	41
6. Distanciamiento de lateral y aspersor de mini – aspersión	53
7. Medición del viento con el anemómetro.	55
8. Gráfica de la velocidad de viento realizado en la finca Santander.	55
9. Puntos observados en la tubería principal y ramales con fuga de agua.	58
10. Aspersores en mal funcionamiento.	61
11. Boleta de registro para la evaluación del riego, utilizando una cuadrícula del pluviómetro.	74
12. Boleta de registro para la tabulación de volúmenes recogidos en los pluviómetros instalados en la cuadrícula.	75
13. Especificaciones técnicas para el aspersor VYR – 36.	76
14. Especificaciones técnicas para el aspersor Senninger.	76
15. Parámetros finales de la evaluación de riego por mini – aspersión de la finca El Minar.	77
16. Parámetros finales de la evaluación de riego por mini – aspersión de la finca Santander.	78
17. Ubicación geográfica de las fincas, donde se realizaron las evaluaciones del riego mini – aspersión.	79

RESUMEN

En el presente documento se plasman las actividades que se realizaron durante el ejercicio profesional supervisado (EPS) de la carrera de Agronomía Tropical del Centro Universitario del Sur Occidente (CUNSUROC), dicho ejercicio se realizó en el Ingenio Tululá, en el departamento de Ingeniería Agrícola.

Para el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), el riego ha jugado un papel importante para su desarrollo, es por lo tanto en el Ingenio Tululá, se establecieron dos fincas (El Minar y Santander) para realizar las evaluaciones de riego por mini – aspersión. Planteándose así para este documento el siguiente objetivo general: evaluar el sistema de riego por mini – aspersión en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), en las finca El Minar y Santander del Ingenio Tululá, San Andrés Villa Seca, Retalhuleu. Para alcanzar este objetivo fue necesario llevar a cabo fases como: ensayos de campo para la recolección de información de datos, análisis de información como fase de gabinete y la determinación de conclusiones del sistema de riego por mini – aspersión.

Las actividades de campo que se realizaron son las pruebas de infiltración básica, utilizando el método del doble cilindro en cada unos de las áreas seleccionada del cultivo de caña evaluada; este dato fue comparado con la intensidad de aplicación determinado en los módulos de riego, para verificar si el suelo tiene la capacidad de infiltrar el agua aplicada con los aspersores evaluados.

También se establecieron ensayos con pluviómetros colocados en forma de cuadrícula a cada tres metros, con el fin de calcular la lámina media aplicada por cada equipo, estos ensayos tuvo una duración de tres horas continuas. En el transcurso de los ensayos se determinaron las presiones de operación en la salida de cada aspersor de la tubería lateral evaluada, dando como resultado que en el finca El Minar la presión promedio de salida de los aspersores son de 49 psi (3.45 kg/cm^2) y un caudal de $1.27 \text{ m}^3/\text{h}$ (1270l/h), mientras que en la finca Santander dio como resultado que las presiones de salida en los aspersores fue de 25 psi (1.76 kg/cm^2) y un caudal de $0.88 \text{ m}^3/\text{h}$. estos

datos se analizaron y se determinó que en la finca El Minar se operaba por debajo de las condiciones establecidas para su operación, mas sin embargo en la finca Santander se determinó que se operaba en condiciones no idóneas para el sistema.

La fase de gabinete se analizó todos los datos que se obtuvieron en los ensayos que se establecieron en el campo y se llegaron a determinar los parámetros como la lámina neta, lámina captada, intervalos de riego, intensidad de aplicación, entre otros. En la finca El Minar se determinó que la lámina neta fue de 41.0 mm de agua y la lámina captada por los pluviómetros fue de 59.4 mm de agua y en la finca Santander la lámina neta necesaria es de 47.92 mm de agua, con los pluviómetros se captó una lámina de 29.94 mm de agua.

También se calcularon las eficiencias en cada uno de los módulos de riego; en la finca El Minar la eficiencia de Distribución fue de 88.36%, la eficiencia de almacenamiento es de 74.83 % y la de aplicación fue de 85.10 %. En la finca Santander se determinó que la eficiencia de aplicación es de 64.84%, el de almacenamiento es de 52.18% y el de Distribución de 87.76%.

En base a las eficiencias de riego de riego se calculó la eficiencia agronómica (Efa) de cada unidad de riego evaluada, por lo que se utilizó la ecuación que integra las tres eficiencias mencionada anteriormente. En la finca El Minar la eficiencia agronómica fue de 0.56; mientras tanto que en la Finca Santander fue de 0.30. Estas eficiencias agronómicas son muy bajas comparadas con los umbrales que propone Gurovich (1985), en donde la Efa adecuada para el riego de mini – aspersión es de 0.76.

Como una de las actividades importantes se sugieren realizar una evaluación general del funcionamiento del equipo de riego (bomba, aspersores y tuberías), se debe realizar una estrecha supervisión de campo, para mejorar los parámetros de operación del módulo de riego (presiones, láminas y caudales). Mejorar la calidad del personal de campo a través de un plan de capacitaciones.

SUMMARY

In the following, you will find the different activities executed during the professional supervised exercise (PSE) or internship for Agronomía Tropical from Centro Universitario de Sur Occidente (CUNSUROC), the activities of the internship took place in the Tululá sugar mill, in the area of Ingeniería Agrícola.

The crop used for the activities of the internship was sugar cane (*Saccharum officinarum*), for which the irrigation has always been an important need for the development of the crop, this is why in Tululá sugar mill, there were two different testing areas (Finca El Minar and Finca Santander) for the use of mini – sprinkler irrigation system. The general objective for this document was: to evaluate the system of mini – sprinkler irrigation for sugarcane (*Saccharum officinarum*) in Finca El Minar and Finca Santander of Tululá Sugar mill, in San Andres Villa Seca, Retalhuleu. In order to reach the objective set there were two phases, a field area that is where the tests were executed for the recollection of data, and the office phase which is where all the data from the field was later analyzed to reach the conclusion about the mini – sprinkler irrigation system.

The field activities realized are the following, basic infiltration test using the double cylinder method in both test areas utilized for sugar cane. The results of those tests were later compared with the set intensity utilized by the irrigation system to verify if the soil in the testing grounds had the capacity of absorbing the amount of water being applied by the mini – sprinkler system.

Another test was also to set rain gauges in a squared pattern every three meters, with the means to calculate the amount of water applied by the mini – sprinkler system used in the testing areas, each test had a length of three hours nonstop. During those three hours, the pressure of each sprinkler was determined. As a result in Finca El Minar the mini – sprinklers have a pressure of 49 psi (3.45 kg/cm²) applying 1.27 m³/h (1270 l/h) meanwhile in Finca Santander the results were 25 psi (1.76 kg/cm²) while applying 0.88 m³/h. These results were analyzed and it was determined that in Finca El Minar the irrigation system was operating below its capacity, in Finca Santander it was determined that the irrigation system was being operated under inadequate conditions for the system.

Back at the office, the data recollected during all the different tests. It was determined that the amount of water being applied in Finca El Minar should be of 41.0 mm, the amount of water recollected by the rain gauges was an average of 59.4 mm. In Finca Santander, the amount of

water needed for the sugar cane is 47.92 mm, and the rain gauges only received 29.94 mm of water.

The efficiencies were also calculated for each of the mini – sprinkler systems, in Finca El Minar there was an efficiency of 88.36 % of distribution, 74.83% of retention and 85.10% in application. In Finca Santander, the efficiency was of 64.84 % of distribution, 52.18% of retention and 87.76% in application.

Based on the results of the efficiencies the Agronomic Efficiency was calculated of each mini – sprinkler system evaluated, this efficiency was calculated based on using the three previous efficiencies. In Finca El Minar the Agronomic efficiency was 0.56, while in Finca Santander it was 0.30. These efficiencies are very low compared to the base standards set by Gurovich (1985) where the adequate efficiency for a mini – sprinkler system is 0.76. As an important activity it is suggested to realize a complete evaluation of the equipment in use, (pump, sprinklers and piping) this is to go hand in hand with a field supervision in order to have a better management and working of the equipment (water pressure, sheet being applied and the amount of water flow). Last but not least it is also needed to have adequate personnel working the irrigation system, this can be achieved through various training and coaching sessions.

I. INTRODUCCIÓN

El Ingenio Tululá, ubicado en el municipio de San Andrés Villa Seca, Retalhuleu, es una empresa dedicada a los procesos industriales de elaboración de alcoholes, debido a que su cultivo principal es la caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*).

Con el objetivo de aumentar la productividad de los suelos se han implementado una diversidad de tecnologías en los cultivos, durante varias generaciones se han realizado varios ensayos de evaluación de los diferentes tipos de riego (inundación, melgas, gravedad por surcos, aspersión y por goteo). En el cultivo de caña de azúcar se hace necesaria la aplicación de láminas de agua para suplir la escases hídrica durante su etapa fenológica hasta a cosecha. Esto lleva a los productores y administradores a manejar sistemas de riego, que deben ser evaluados para observar su correcto funcionamiento, surgiendo términos como eficiencia agronómica.

El siguiente documento contiene los resultados de la evaluación del sistema de riego por mini – aspersión realizado en dos finca del Ingenio Tululá, las cuales son Santander y El Minar, utilizando dos modalidades de riego; ya que en El Minar se tiene un sistema de riego móvil en las secciones 1 y 2 y en Santander el sistema es semi – fijo que consta de la tubería principal enterrada en toda el área de la sección 2.

En este trabajo se detalla y se caracteriza cada uno de los módulos de riego por mini – aspersión que operan en las fincas; en el caso del Minar se llegó a determinar que usan aspersores VYR -36 que aplican un caudal 6.86 gpm, y los de Santander son de modelo Senninger 4023 con un caudal de 4.91 gpm. También se llegaron a determinar la textura de los suelos, densidad aparente para realizar los cálculos de porcentaje de humedad de suelo.

Teniendo estas características de cada uno de los módulos de los sistemas de riego, que están en El Minar y Santander; surge la inquietud de cómo están funcionando los sistemas de operación, en tal razón se realizaron varias pruebas de evaluación como

infiltración básica de suelo, medición de presiones y caudales de los aspersores, prueba de pluviometría, medición de velocidad de viento, entre otros factores.

Se calculó la eficiencia agronómica de los sistema de riego por mini – aspersión. Por medio de datos obtenidos en la prueba de pluviometría realizada en campo; y el resultado fue que en El Minar se tiene una eficiencia agronómica de 54% y en Santander un 30%, luego se comparó con la recomendación dada por Gurovich en 1985 sugiriendo que un sistema de aspersión debe estar con una eficiencia agronómica de 76%. Se determinó que el sistema operó con una eficiencia agronómica baja debido principalmente a una mala aplicación de almacenamiento y de aplicación del la lámina de agua, afectada por la presencia de corrientes de viento, ya que la finca se ubica muy cerca de océano Pacifico.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. CAÑA DE AZÚCAR (*Shaccharum officinarum*).

Para Doorenbos y Kassam (1988), la caña de azúcar procede originalmente de Asia. La mayor parte de azúcar comercial se produce entre los 35° al Norte y 35° al Sur del Ecuador.

Doorenbos y Kassam (1988), indican que es importante contar con una humedad adecuada durante todo el período vegetativo para obtener rendimientos máximos, incluyendo el crecimiento de la caña que es directamente proporcional al agua transpirada. Dependiendo del clima, las necesidades de agua de la caña de azúcar son de 1500 a 2500 mm distribuidos de manera uniforme durante la temporada de desarrollo.

Según Romero (2009), la caña de azúcar es el sacarífero más importante del mundo, responsable del 70% de la producción total de azúcar. Este cultivo se extiende a lo largo de los trópicos y subtropicos, entre los 36.5° latitud Norte (España) hasta los 31° latitud Sur (Uruguay, Australia). Su capacidad productiva varía entre las zonas cañeras tropicales y subtropicales, de 40 150 t/ha de caña y de 3.5 a 15 t/ha de azúcar.

La zona cañera de la Costa Sur de Guatemala se encuentra ubicada entre las coordenadas geográficas 91°50'00" – 90°10'00" Longitud Oeste y 14°33'00" – 13°50'00" Latitud Norte. Abarca los departamentos de Retalhuleu, Suchitepéquez, Escuintla, Santa Rosa y actualmente se está expandiendo hacia el departamento de Jutiapa. La zona cañera se encuentra en las cuencas de los ríos: Ocosito, Samalá, Sis-Icán, Nahualate, Madre Vieja, Coyolate, Acomé Achiguate, María Linda, Paso Hondo, Los Esclavos y la Paz; las cuales se originan en la parte alta de la zona y desembocan en el océano Pacífico (CENGICANA 1996).

1.1.1. Taxonomía de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

Victoria, Guzman y Ange (1995), indican que la caña de azúcar forma parte de la familia de las Poáceas del género *Saccharum*, donde tiene 6 especies, de las cuales 4 son domesticadas y 2 silvestres. Las domesticadas corresponden a *S. edule*, *S. barberi*, *S. sinensi* y *S. officinarum*; las silvestres *S. spontaneum* y *S. robustum*. La especie *S. officinarum* es la que se siembra comercialmente y se deduce que fue domesticada a partir de la *S. robustum*.

Características agronómicas del cultivo.

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. (Romero, 2009).

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).

Según Castro (2011), el estrato altitudinal y el período de zafra permiten planificar el inicio y el final de la temporada de la aplicación del agua, a través de cada uno de los sistemas de riego. El tipo de riego define si es riego pos-corte y/o pre-corte en cada uno de los estratos y períodos seleccionados. Para el caso del riego pre-corte es necesario definir el último riego según el tipo de suelo. En estos casos es recomendable planificar.

1.1.2. Requerimientos Ambientales.

Para Romero (2009), este cultivo está adaptado a un amplio rango de climas tropicales y subtropicales. No tolera temperatura de congelamiento (bajo 0°C) y el crecimiento prácticamente cesa por debajo de los 10 – 12 °C.

Suelos: crece satisfactoriamente en una gran variedad de tipos de suelos, pero lo más adecuados son los de textura franca o franco – arcillosa, bien drenados y los suelos aluviales de textura mediana. Toleran un amplio rango de acidez y alcalinidad del suelo y pueden obtenerse altas producciones en suelos con pH entre 5 y 8. Con pH menores de 5 y mayores de 8, la acidez del suelo y los problemas de alcalinidad y salinidad, se convierten en factores limitantes de la producción. Requiere además, suelos provistos de suficientes cantidades de nutrimentos o de buena fertilidad ya que es un cultivo que extrae grandes cantidades de nitrógeno, potasio y silicio (Romero, 2009).

Régimen térmico: es importante destacar que cada fase de crecimiento tiene requerimientos diferentes. La germinación se inicia o activa con temperaturas superiores a 10°C pero hasta los 16 -18°C la velocidad es baja, generalizándose con valores mayores a 20°C. Las temperaturas óptimas de germinación y macollaje fluctúan entre los 28 – 32°C, es de interés destacar que los valores citados presentan diferencia varietales, y también están en funciones de la

disponibilidad hídrica. En cuanto al período de elongación, temperaturas inferiores a 16-17°C afectan el crecimiento vegetativo, manifestando su óptimo térmico entre 28-35°C. Este cultivo puede soportar temperaturas máximas de 45-50°C, pero provocan retraso en el crecimiento (Romero, 2009).

Radiación solar: es otro factor importante, no solo por sus efectos indirectos (variaciones térmicas, evapotranspiración, entre otros), sino fundamentalmente por su incidencia en la actividad fotosintética, la que determinará el nivel de crecimiento y la acumulación de materia seca. En general, intensidades crecientes de radiaciones lumínica se asocian con incrementos en la producción cultural y de azúcar por unidad de superficie, ya que este cultivo ha evidenciado ser la especie más eficiente en responder a elevadas intensidades lumínicas (Romero, 2009).

Disponibilidad hídrica: es otro factor decisivo en el crecimiento de la caña de azúcar. Al ser un cultivo de gran capacidad de producción de material vegetal por unidad de superficie, involucra altos requerimiento de agua, ya que para construir un gramo de materia seca de tallo molible requiere 0,5 L de agua y con igual cantidad de agua se acumulan de 0,25 – 0,40 g de sacarosa. Si bien se cultiva caña a secano en zonas desde 700 a 2000 mm anuales, las mejores producciones se obtienen en los ambientes que satisfacen adecuadamente sus necesidades hídricas. De acuerdo al valor orientativo citado por la bibliografía internacional, la evapotranspiración oscila entre 1300 – 1600 mm para cañaverales de ciclo anual (Romero, 2009).

El consumo varía en cada fase de crecimiento, presentado el máximo requerimiento durante el periodo de elongación (Diciembre – Marzo). Cuando la humedad edáfica superficial del suelo es deficiente, la evapotranspiración actual es fuertemente limitada por el desarrollo radicular, si el cierre del cañaveral es completo, la evapotranspiración actual es similar a la máxima hasta que el cultivo

consume el 60 – 70% del agua fácilmente extraíble del suelo. Por debajo de este nivel, el cultivo soporta deficiencia hídricas crecientes (Romero, 2009).

Para Doorenbos y Kassam (1988), es importante contar con una humedad adecuada durante todo el periodo vegetativo para obtener rendimientos máximos, incluyendo el crecimiento de la caña de azúcar, es directamente proporcional al agua transpirada.

De acuerdo a Doorenbos y Kassam, el afecto del suministro sobre el rendimiento se cuantifica mediante el factor del efecto sobre el rendimiento (k_y), que relaciona la disminución del rendimiento relativo ($1 - Y_a/Y_m$) con el déficit de evapotranspiración relativa ($1 - E_a/E_m$). Un déficit de agua de una magnitud determinada, expresada como relación entre la evapotranspiración real (E_a) y la evapotranspiración máxima (E_m), puede tener lugar ya sea de una manera continua durante todo el periodo vegetativo del cultivo o puede producirse durante cualquiera de los distintos periodos de desarrollo. La magnitud del primer déficit en relación las necesidades de agua del cultivo durante todo su período vegetativo y, en el segundo, al déficit en relación con necesidad de agua del cultivo en un período determinado de desarrollo.

1.2. Etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar.

De acuerdo a Castro (2011), 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, estas variables se ilustran en la figura uno.

Cuadro 1. 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	A. Elongación etapa I (EF-3)	115	250
		B. Elongación etapa II (EF-4)	65	315
4	Maduración (EF-5)		45	360

Fuente: Castro (2011).

En el cuadro anterior 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 (2011).

La demanda climática: Esta se determina a través de la evapotranspiración de un cultivo de referencia (ET_o), el cual es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder evaporante de la atmósfera. Los únicos factores que afectan la ET_o son los parámetros climáticos (FAO, 2008). En el Cuadro 2, se

detallan para cada tercio de zafra y etapa fenológica los valores de ETo estimados a través de Penman-Monteith.

Cuadro 2. Valores de ETo promedio (mm) según etapas fenológicas, estratos altitudinales y tercios de zafra para las condiciones de la zona cañera guatemalteca.

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	5.00	4.84	5.08		5.16		4.48		4.44	4.45
Medio	4.70	5.30	5.41	5.39	5.54		5.47		4.66		4.60	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	5.50	4.89	5.18		4.40		4.37	4.59
Litoral	4.51	5.03	5.55	5.14	5.48	5.10	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-3 en el 2/3 coincide con el invierno. La EF-4 no aplica para el 1/3

Fuente: Castro, (2011).

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.

Con base en la aptitud de la caña de azúcar a evapotranspirar se seleccionan los valores de Kc que servirán para cuantificar las cantidades de agua que estará requiriendo el cultivo en cada etapa fenológica.

Cuadro 3. Valores de 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)	Elongación	
			EF-3 (135-250)	EF-4 (250 - 315)
Kc (aptitud de la caña para evapotranspirar)				
Franco arenosos	0.3	0.6	0.9	1
Franco arcillosos				
Arcillosos				
Arena franca				
Arena				
Franco limosos	0.3	0.3	0.6	0.7
Franco arcillo limosos				
Franco				
Franco limoso + aporte capilar	0.3	0.3	0.3	0.3

Fuente: Castro (2011).

El cuadro tres, muestra distintos valores de 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); EF-4 (Elongación fase II); EF-5 (Maduración). Esta investigación fue desarrollada por el especialista de riegos en CENGICAÑA y se fundamenta principalmente en las texturas de suelo de toda la zona cañera de Guatemala.

Relación suelo-planta-ambiente.

Subirós (2000) indica que es una condición de adecuada humedad en el suelo. (Cuando este se encuentra a capacidad de campo), la 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 atmosfera, ocurre de una manera termodinámicamente continúa. 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_o), 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" ó "humedad total disponible.

1.3. Riego por aspersión.

De acuerdo a Hernández (1992), 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.

1.3.1. Condiciones de suelo-planta-clima a considerar para una aplicación eficiente del riego por aspersión.

Para Hernández (1992), el riego por aspersión exige o necesita de algunas condiciones para que pueda ser utilizado con ventajas sobre los otros métodos:

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.

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.

Cultivos: Son muchos los cultivos que pueden ser regados mediante aspersión. Hay en realidad pocas excepciones tales como el arroz debido a sus condiciones de manejo muy particulares y ciertos cultivos susceptibles al ataque de enfermedades fungosas que tienden a proliferar bajo condiciones de alta humedad en el aire que rodea a los cultivos, situación que puede favorecer a veces el riego por aspersión al condicionar un microclima de alta humedad alrededor de ellos.

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.

1.3.2. Ventajas y desventajas en el uso del riego por aspersión.

Hernández (1992), enumera una serie de ventajas y desventajas del sistema de riego por aspersión en relación a los métodos superficiales y localizados.

Ventajas (Hernández, 1992).

- 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.

Desventajas (Hernández, 1992).

- 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.

1.3.3. Diseño del riego por aspersión

De acuerdo a la metodología propuesta en el manual del riego por aspersión, en forma general las condiciones necesarias se agrupan de la siguiente manera:

Información básica requerida para el diseño (Hernández, 1992).

En este caso hay que considerar una serie de factores como topografía del lugar, cultivos a regar, tipos de suelo a manejar, agua disponible, condiciones climáticas de la región, fuente de energía disponible para trabajar con el equipo de riego, disponibilidad y costo de mano de obra, hábitos del trabajo del agricultor y la disponibilidad del equipo.

Criterios y requisitos para un diseño adecuado (Hernández, 1992).

- La tasa de aplicación de agua no debe sobrepasar a la tasa de infiltración del suelo, ya que de lo contrario se produciría almacenamiento y/o escurrimiento superficial, disminuyendo así la eficiencia del riego.
- 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 entre los círculos mojados de aspersores vecinos.

- 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 lateral 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%.

1.3.4. Diseño agronómico y diseño hidráulico (Hernández, 1992).

Básicamente el diseño agronómico comprende el conjunto de actividades que tienen por finalidad el determinar la lámina de agua a aplicar (L_n), en cantidad (caudal) y oportunidad (frecuencias e intervalos), sobre toda la superficie sembrada con el cultivo a ser regado, tomando en consideración las

características de suelos, topografía, clima y cultivos para las cuales se va a diseñar.

Mientras tanto el diseño hidráulico abarca el conjunto de operaciones que permitirán satisfacer el diseño agronómico dentro de condiciones de un buen funcionamiento hidráulico del sistema. Ello se logra mediante la escogencia de los diámetros apropiados de las tuberías principales y laterales, así como de la potencia de la bomba requerida.

1.3.5. Evaluación de un sistema de riego por aspersión

De acuerdo a la Junta de Andalucía (sf), 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.

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.

1.3.6. ¿Cuándo realizar una evaluación del riego por aspersión?

Según la Junta de Andalucía (sf), se debe realizar una evaluación del 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.

Hernández (1992), de manera general con la evaluación se trata de determinar seis 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.

➤ Daño a los cultivos.

La aplicación del agua debe realizarse en forma tal, que no produzca daño físico a los cultivos.

En la evaluación de sistemas por aspersión de tipo normal o usual, es decir, aquellos dotados de una tubería principal que alimenta a una o más laterales, Hernández (1992) utiliza el procedimiento general que se indica a continuación:

1. Determinar el patrón de distribución de agua sobre el área efectiva ubicada entre dos aspersores de una tubería lateral.
2. Determinar la lámina necesaria para reponer la humedad faltante en la zona radical del suelo (lámina neta de riego).
3. Identificar las partes de las que consta el sistema de aspersión y determinar el procedimiento de operación del mismo.
4. Tomar datos de las características de operación del sistema. Se deberán efectuar mediciones de caudales, presiones, y temperatura.
5. Analizar toda la información obtenida.
6. De ser necesario, dar las recomendaciones para mejorar el funcionamiento del sistema.

1.4. Eficiencias del riego.

Sandoval (sf), menciona que 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.

1.4.1. Eficiencia agronómica.

Gurovich (1985), 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.

$$EU = Eap * Eal * Ed$$

Dónde:

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) (Gurovich, 1985).

En el siguiente cuadro se representan los valores adecuados de eficiencias de riego para los sistemas de riego por inundación, por surcos, por bordes, por aspersion y por goteo, todos funcionando bajo condiciones óptimas de diseño y operación.

Cuadro 4: Eficiencias adecuadas de alcanzar con diferentes métodos de riego, en una situación óptima de diseño y operación.

Método de riego	Eap	Eal	Ed	EU
Tendido (inundación)	0.4	0.85	0.60	0.20
Surcos	0.55	0.85	0.75	0.35
Bordes	0.60	0.90	0.70	0.38
Aspersión	0.90	1.00	0.85	0.76
Goteo	0.95	1.00	0.90	0.86

Fuente: Gurovich L. (1985).

1.4.2. Eficiencia de aplicación.

De acuerdo a Sandoval (1989), 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.

1.4.3. Eficiencia de almacenamiento (Eal)

Sandoval (1989), 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 (m³ o cm)

An: Agua necesaria para llevar la zona principal de raíces a CC (m³ o cm)

El An cuando se expresa en cm 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).

1.4.4. Eficiencia de distribución (Ed)

Según Sandoval (1989), 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.

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

Donde:

$\sum|x|$ = 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 promedio mínima captada

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Localización.

El Ingenio Tumulá 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 la Aldea Pajales.

2.2. Ubicación geográfica.

De acuerdo a las coordenadas geográficas la finca Tumulá se ubican entre las coordenadas: 91° 38'1.93", 14° 27'57.82", en el eje X mínimo y 91° 34'42.92", 14° 34'42.92" en el eje X máximo; 91° 35'12.73", 14° 26'25.48" en el eje Y mínimo, y 91°35'8.84", 14° 31'3.29" en el eje Y máximo. Se encuentra a una altitud de 220 metros sobre el nivel del mar.

2.3. Vías de acceso.

La principal vía de acceso que conduce al Ingenio Tumulá 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 la San José La Máquina, de éste lugar al área central de la empresa hay 0.5 kilómetros de camino de terracería transitable todo el año.

2.4. 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.

2.5. Recursos hidrológicos.

Dentro del área que abarca la finca Tumulá se encuentran los ríos Sís, Oc, e Ican y los arroyos: Tumulá 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.

2.6. Ubicación y extensión de las áreas de estudio.

El Ingenio Tululá esta dividida en dos zonas de producción de caña de azúcar que son Zona uno (fincas internas) y zona dos (fincas externas). En el siguiente cuadro se presentan las diferentes fincas en cada zona de producción de caña de azúcar.

Cuadro 5. Zonas de producción de caña de azúcar del Ingenio Tululá.

Zona 1				Zona 2			
No.	Código	Finca	Codificación	No.	Código	Finca	Codificación
1	001	Tululá	F001	10	007	Maricón	
2	003	Santa Ana	F003	11	008	Ralda	F007
3	004	Santa Teresa	F004	12	010	El Establo	F008
4	005	Santa Julia	F005	13	015	La Cruz	F010
5	006	Santa Margarita	F006	14	016	San Caralampio	F015
6	014	Felicidad	F014	15	019	Pradera	F016
7	017	Minar	F017	16	020	Danubio	F019
8	120	San Carlos	F120	17	111	Santander	F020
9	189	Normandía	F189	18	122	Buena Vista	F111
				19	170	Maricón Sarti	F122
						Vaquil	F170

Fuente: Departamento Planeación y Control, Ingenio Tululá (2015).

La evaluación de eficiencia de riego de mini-aspersión se realizó en la Finca El Minar (F017) que es de zona 1, a la cual se le adaptó el sistema de riego por mini – aspersión móvil. La otra área de estudio es Finca Santander (F020), que tiene establecido el sistema de riego de mini – aspersión semi – fijo.

El Minar es la finca con codificación de F017 para el Ingenio Tzulá que está ubicada en el municipio de Cuyotenango, del Departamento de Suchitepéquez, con las siguientes coordenadas 14° 25'57.65" latitud Norte (N) y 91° 34'18.22" longitud Oeste (W), esta a una altura de 142 metros sobre el nivel del mar. El Minar colinda al norte con la Finca Entre Ríos, al Sur la sección uno colinda con la Finca Primavera y la sección dos y tres colinda con la Finca Normandía, al Este con la comunidad Sicán y al Oeste con la Finca Santa Teresa que pertenece al Ingenio Tzulá.

Según Holdridge (1982), la Finca El Minar se ubica en la zona de vida de Bosque Muy Húmedo Subtropical (cálido); con precipitación pluvial media anual de 3000 mm a 2100 mm, una temperatura máxima de 32.6 °C, una temperatura media de 26.1 °C y una temperatura mínima de 23.3 °C. Según CENGICANÁ, la finca el Minar se encuentra en altitudinales del estrato alto

Cuadro 6. Distribución de variedades y tipo de riego de la Finca El Minar.

Sección	Área ha	Variedad	Tipo de riego
1	90.4583	CP -731547	Aspersión – Cañón
2	42.0438	CP -731547	Mini – aspersión
3	59.2118	CP - 881165 y CP – 731547	Aspersión – Cañón
	191.7139		

Fuente: Autor 2015.

Dentro de las áreas que se evaluaron fueron 58.60 ha, que son de la sección 1, y 42.04 ha, de la sección 2. En ambas áreas de estudio el sistema de riego es de mini – aspersión móvil (tubería central y laterales). Al Oeste (W) de la finca se encuentra el río Sís, ya que este es el que utilizan para abastecerse del recurso hídrico para toda la época de riego. Utilizando un motor Cummins, 1200 Hp, trabajando con una presión de salida de 55 psi.

El sistema de operación que se utilizó para la evaluación es de 12 m entre aspersores y 18 m entre laterales, adaptándole tubería de 6" de diámetro como

primaria y secundaria; a la tubería secundaria se le adaptaron hidrantes de salida para conectar a la tubería latería de 63 mm de diámetro.

Los aspersores son VRY – 36, utilizando una boquilla de 4 mm, en donde las presiones de salida de caudal fueron variadas entre 40 a 55 psi. El aspersor va conectado con un prolongador de $\frac{3}{4}$ *70 cm de altura que va sujetado a un estabilizador de 60"*60mm, esto con la finalidad que el aspersor se mantenga en vertical durante el turno de riego. El turno de riego fue de 12 horas/día. El área de regado fue de 6 – 8 ha; simultáneamente se activaban entre 190 a 220 aspersores.

Otra finca de interés de evaluación es la Finca Santander que cuenta con un sistema de riego por mini – aspersion, con sus coordenadas de 14° 20' 31.94" latitud Norte (N) y 91° 45' 34.26" longitud Oeste (W), a 56 metros sobre el nivel del mar; en el departamento de Retalhuleu.

Según Holdridge (1982), la Finca Santander se ubica en la zona de vida de Bosque Húmedo Subtropical (cálido); con precipitación pluvial media anual de 1200 mm a 2000 mm.

La finca Santander cuenta con una extensión de 723.2577 ha de cultivo de caña de azúcar, la finca esta dividida en cuatro secciones en donde la sección uno cuenta con 130.42ha, la sección dos con 173.05ha, la sección tres con 227.13 ha y la sección cuatro con 192.65 ha, con la variedad sembrada de la CP – 722086.

La finca colinda al Norte con la Finca La Severa, al Sur la sección tres colinda con la Finca Covadonga y la sección cuatro con la Finca La Loma, al Este con potreros y al Oeste con la Finca Covadonga.

En la finca Santander se cuenta con tres sistemas de riego, que son riego por aspersión tipo cañón que lo utilizan en la sección uno; en la sección tres y cuatro cuenta con el sistema de riego por gravedad y en la sección dos se diseñó un sistema de riego mini – aspersión, que cuenta con un pozo mecánico de 500 pies, para el abastecimiento del recurso hídrico, con un motor marca John Deereserie 6068TF150 de 127 HP 1800 rpm y la bomba tipo turbina vertical, marca Goulds, modelo 10DHHC de ocho etapas, capacidad de producción $Q=1200$ GPM con 250 pies de carga dinámica total, 82% de eficiencia girando a 1770 RPM, demandando BHP = 92.4 al eje de la bomba, diámetro del tazón 9.5". Cuenta con un cabezal de descarga de acero negro al carbón tipo "A", tamaño 8"x16.5"x8", clase 175 psi; transmisión de engranajes en ángulo recto, marca Johnson, modelo H110, relación para revoluciones de entrada x salida de 1:1; un eje kardan de 36" modelo SL55, como a continuación se ve la siguiente figura.



Figura 1. Motor John Deere con sus accesorios instalados

Fuente: el autor 2014.

El sistema de riego de mini – aspersión es semifijo ya que cuenta con la tubería principal enterrada de 8", 6" y 4" de diámetro de tubería PVC como se puede ver en la figura 4.

El sistema de riego mini – aspersión está diseñado para que trabajen simultáneamente 240 aspersores con las siguientes características: el modelo Senninger 4023 con un caudal de 4,91gpm con una presión de 35 psi con una boquilla de $\frac{3}{4}$ ". La distancia entre aspersores es de 12 m y de lateral es de 18 m.



Figura 2. Modelo del aspersor.

Fuente: autor 2014.

Se tiene diseñado regar 10.36 has, al día; y el tiempo por riego por turno es de 12 horas/día, con una frecuencia de 10.5 días.

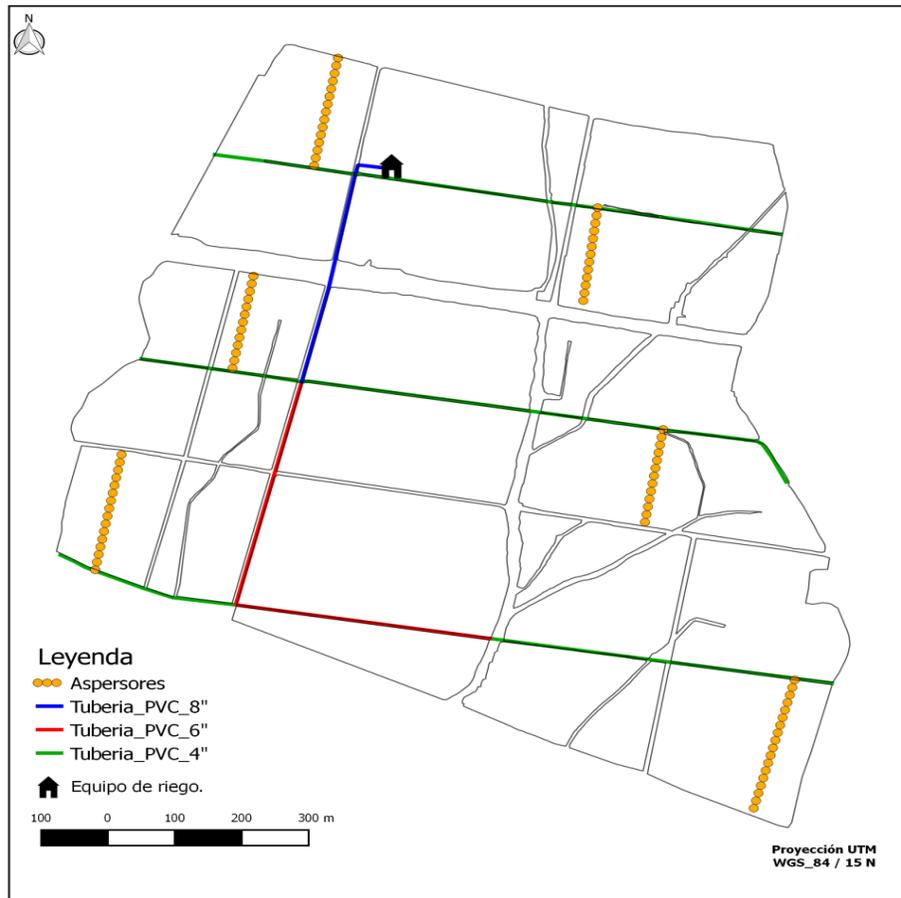


Figura 3. Distribución de tubería principal con diferentes diámetros de instalación.

Fuente: autor 2014.

La distribución de los aspersores se realizó de la siguiente manera, con tubos de aluminio de 63 mm de conectaron a los hidrantes que están a cada 54 metros. Cada aspersor utiliza un regulador de presión (35 psi, 2,41 bar); esto para mantener la presión uniforme en toda el área de riego.

Ya en el campo el aspersor va conectado con un prolongador de $\frac{3}{4}$ "*70 cm de altura que va sujetado a un estabilizador de 60"*600mm, esto con la finalidad que el aspersor se mantenga vertical durante todo el turno de riego, como se puede ver en la siguiente figura.



Figura 4. Aspersor instalado en el campo.

Fuente: autor 2014.

Para los módulos de evaluación de riego, en la finca el Minar se realizaron muestreos de suelo en donde se determinaron las unidades de suelos; para determinar los estratos, textura y densidad aparente de suelo, se realizaron calicatas en donde las muestras fueron enviadas al laboratorio de CENGICAÑA para sus respectivos análisis de interés. A continuación se muestran los resultados siguientes:

Cuadro 7. Resultado del análisis físico de la unidad de suelo de la finca El Minar.

Textura	Estrato	Arcilla	Limos	Arena	Dap gr/cc
Franco Arcillo Arenoso	0 - 25	26.70	28.94	44.38	1.17
Arcilloso	25 - 100	51.04	20.00	28.96	1.02

Fuente: CENGICAÑA.

En el cuadro anterior se observan los resultados de suelo, en donde se puede confirmar que solo hay dos estratos de 0 – 24 cm, la textura es Franco Arcillo Arenoso, con una densidad aparente de 1.17 gr/cc.

Los resultados de arcilla, limos y arena son importantes para determinar la humedad del suelo así como capacidad de campo y punto marchitez permanente.

Cuadro 8. Constantes de humedad y densidad aparente para cada estrato, en la unidad de suelo de la finca El Minar.

Estrato	% CC	% PMP	Dap gr/cc
0 - 25	19.006	11.6655	1.17
25- 100	31.0252	17.8797	1.02

Fuente: autor 2014.

Estos datos de humedad y densidad aparente de la unidad de evaluación de la finca el Minar, son necesarios para calcular la lámina neta de riego y está relacionado con datos como capacidad de campo (% CC), punto marchitez permanente (% PMP) y densidad aparente (gr/cc).

Para los módulos de evaluación de riego, en la finca Santander se realizaron muestreo de suelo en donde se determinaron las unidades de suelos; para determinar los estratos, textura y densidad aparente de suelo, se realizaron calicatas en donde las muestras fueron enviadas al laboratorio de CENGICAÑA

para sus respectivos análisis físicos. A continuación se muestran los resultados siguientes

Cuadro 9. Resultado del análisis físico de la unidad de suelo de la finca Santander.

Estrato	Arcilla	Limos	Arena	Dap gr/cc	Textura
0 - 21	53.20	27.65	19.15	1.12	Franco Arcilloso
21 - 100	51.63	24.34	24.04	1.09	Arcilloso

Fuente: CENGICAÑA 2012.

En el cuadro 9 se pueden observar los resultado del análisis físico que se realizó en el laboratorio de CENGICAÑA, estos datos son recopilados por el Departamento de Agronomía. En donde se puede observar que son suelos muy pesados (arcillosos) por el alto contenido de porcentaje de arcilla.

Teniendo en cuenta que los porcentajes de los agregados del suelo, es de suma importancia para realizar los cálculos de humedad para cada estrato. Estos cálculos se realizaron por la siguiente fórmula, según Sandoval 1994.

$$CC\% = 0.48(A\%) + 0.162(L\%) + 0.023(a\%) + 2.62$$

$$PMP\% = 0.302(A\%) + 0.102(L\%) + 0.0147(a\%)$$

A = Porcentaje de arcillas.

L = Porcentaje de limos.

a = Porcentaje de arenas.

Esta fórmula se utilizó en ambos resultado para realizar los cálculos de porcentaje de capacidad de campo y porcentajes de puntos marchitez permanente, en cada finca de evaluación.

Los resultados de cada unos de los estratos según los porcentajes de humedad son los siguientes:

Cuadro 10. Constantes de humedad y densidad aparente para cada estrato, en la unidad de suelo de la finca Santander.

Estrato	% CC	% PMP	Dap gr/cc
0 – 21	28.8197	19.1682	1.12
21 – 60	31.8974	18.4277	1.09

Fuente: autor 2014.

Los resultado de humedad de capacidad de campo (%CC), punto marchitez permanente (%PMP) y densidades aparente (gr/cc) de cada uno de los estratos, es de importancia para realizar los cálculos de riego como la lámina neta de riego en cada unos de los módulos de evaluación.

2.7. Coeficiente de cultivo.

Este coeficiente es un indicador del cultivo para caña de azúcar que muestra las tendencias de las necesidades de agua en todas las etapas fenológicas de la caña de azúcar. De acuerdo con Castro (2011), una clasificación de coeficiente de cultivo.

Cuadro 11. Valores de Kc según la etapa fenológica y tipo de suelo, de toda la zona cañera de la costa sur de Guatemala.

TEXTURA	ETAPAS FENOLOGICAS (DDC)			
	EF-1 (0 - 45)	EF-2 (46 - 135)	ELONGACIÓN	
			EF - 3 (136 - 250)	EF - 4 (251 - 315)
Kc (aptitud de la caña para evapotranspirar)				
Franco Arenosos Arcillosos Arena Franca	0.3	0.6	0.9	1
Franco limosos arcillo-limoso Franco	0.3	0.3	0.6	0.7
Franco Limoso + aporte capilar	0.3	0.3	0.3	0.3

Fuente: Castro (2011).

El cuadro 11 muestra distintos valores de Kc para la caña de azúcar en sus diferentes etapas fenológicas, considerando así como EF-1 (iniciación), EF-2 (macollamiento), EF-3 (elongación fase 1), EF-4 (elongación fase 2) y EF-5 (maduración). Estos valores son recomendados por el especialista en riego y drenajes de CENGICAÑA que se realizó en las texturas de suelo en toda la zona cañera de Guatemala.

Al considerar la textura de suelo del Minar es Franco Arcillo en el estrado de 0 – 25 cm y el de 25 – 100 cm se determinó el factor de Kc de 0.6.

III. OBJETIVOS

3.1. General:

- Evaluar el sistema de riego por mini – aspersión, en el cultivo de caña de azúcar *Saccharum officinarum*, en las fincas El Minar y Santander, del Ingenio Tululá, San Andrés Villa Seca, Retalhuleu.

3.2. Específicos:

- Caracterizar los sistemas de riegos por mini – aspersión, en la finca El Minar y Santander del Ingenio Tululá.
- Caracterizar los parámetros de operación de los sistemas de mini – aspersión (lamina neta, lamina bruta entre otros), en las finca El Minar y Santander del ingenio Tululá.
- Determinar la eficiencia de aplicación, almacenamiento y uniformidad de distribución del sistema de riego en las finca El Minar y Santander del Ingenio Tululá.
- Determinar la eficiencia agronómica en cada uno de los sistemas de riego por mini – aspersión en la finca evaluadas del ingenio Tululá.

IV. HIPÓTESIS.

Hipótesis de trabajo.

- El sistema de riego por mini – aspersión utilizado para la caña de azúcar, *Saccharum officinarum*, en la finca El Minar del Ingenio Tululá, opera con una eficiencia agronómica menor del 76% (Gurovich 1985).
- El sistema de riego por mini – aspersión utilizado para la caña de azúcar, *Saccharum officinarum*, en la finca Santander del Ingenio Tululá, opera con una eficiencia agronómica menor del 76% (Gurovich 1985).

V. MATERIALES Y MÉTODOS.

5.1. Materiales utilizados.

Para las evaluaciones realizadas en Finca El Minar y Santander se utilizaron los siguientes recursos:

- Bomba y motor móvil para riego por aspersión.
- 250 Aspersores modelo Senniger 4023.
- Tuberías de aluminio de 6" y 63mm de diámetro.
- Un manómetro de tubo pitot.
- Una cubeta de 14 litros de capacidad.
- 80 Pluviómetros
- Una probeta de 100 ml
- Un cronómetros
- Dos cilindros de hierro
- Una cinta métrica y regla graduada
- Dos palas y machetes
- Una libreta de campo
- Un mazos de madera
- Una computadora
- 250 Aspersor VRY - 36

5.2. Metodología.

La metodología que se utilizó obedeció al sistema de riego por mini – aspersión al cual se enfocan los objetivos específicos.

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

En la finca el Minar y Santander se realizaron varias pruebas de infiltración en cada una de las secciones evaluadas, para ello se utilizó la metodología del doble cilindro en cada punto seleccionado.

- Lo primero fue la selección del lugar, con las siguientes características: que no existieran hormigueros, que el lugar fuera plano, que no existieran grietas, área representativa del lote o sección y la humedad fue similar a la ocurrida luego de un evento de riego.
- La colocación de los cilindros se realizó con un mazo para que quedaran enterrados aproximadamente entre 10 a 15 cm con una escala para medir la altura de la lámina de agua, para ello se colocó una regla graduada en milímetros.
- Se impermeabilizó el cilindro central, se utilizó un nylon, se llenó de agua hasta $\frac{2}{3}$ de la altura y se tomó la lectura en milímetros, seguidamente se llenó el espacio entre el cilindro externo e interno calculando que quedara a la misma altura del cilindro interno o central ($\frac{2}{3}$ de la altura).
- En ese momento empezó la infiltración y las lecturas que se tomaron fueron las siguientes, con intervalos en minutos: 1, 2, 5, 10, 20 y 60, la última lectura se tomo cuando no existía un cambio bien marcado entre lecturas o se puede decir que son iguales, en este momento se llego a la infiltración básica.
- Luego se procesaron los datos con el modelo matemático de Kostakiev-Lewis, para calcular la infiltración básica.



Figura 5. Colocación y aplicación de agua a los cilindros para determinar la infiltración básica del suelo

Fuente: el autor 2014.

En el campo seleccionado se estableció la cuadrícula de pluviómetros, tratando en lo posible que ésta se localizara en medio de dos aspersores que trabajan

aproximadamente con la presión promedio de la tubería lateral; así mismo que esté lo suficientemente lejos de los extremos de la tubería, obteniéndose así el solapamiento normal de los aspersores adyacentes.

Seguidamente se instalaron los pluviómetros en cuadrículas, con un distanciamiento de tres por tres metros. Esta cuadrícula estuvo en ambos lados de la tubería lateral, de tal manera que se formen dos cuadrículas en cada lado de la tubería; procurando siempre estar dentro del perímetro de mojado de los aspersores bajo evaluación.

Luego de instalar los pluviómetros en cuadrícula, se inició el ensayo o prueba de la tubería lateral a evaluar, incluyendo los aspersores que delimitan el área de prueba; esto se hizo utilizando manómetros con tubo Pitot que se colocarán en la boquilla del aspersor para su respectiva medición en libras por pulgadas cuadradas (psi).

Conjuntamente con la medición de presiones, se realizó el aforo del caudal de cada uno de los aspersores de la tubería lateral a evaluar, utilizando el método volumétrico; esto se hizo colocando la manguera flexible en la boquilla del aspersor, la cual conduce agua hasta el recipiente de volumen conocido y se tomó el tiempo en que se llene dicho recipiente.

Es necesario mencionar que tanto la presión como el caudal se determinaron al menos en tres ocasiones durante todo el ensayo (al inicio de la prueba, otra a la mitad y por último una al final de la misma).

Considerando que el tiempo de riego en cada posición es de 11 horas, entonces la prueba de pluviómetros se realizó durante un tiempo de 4 hrs de riego. Al finalizar la prueba, se midieron los volúmenes recogidos o captados en cada uno de los pluviómetros de las cuadrículas, utilizando para ello una probeta de 100 ml para calcular el volumen recogido se divide entre el área de captación de cada pluviómetro (latas de leche) obtenemos la lámina captada. Para simular la aplicación de agua desde dos posiciones de laterales, se deben superponer las cuadrículas empleadas, es decir, sumar ordenadamente los valores de láminas o volúmenes de agua captada por pluviómetros de cada cuadrícula. De esta manera

obtenemos valores ajustados de láminas o volúmenes de aguas captadas por los pluviómetros.

Los resultados finales que se obtuvieron de las eficiencias de almacenamiento, aplicación, distribución y agronómica; se analizó estadísticamente con los intervalos de confianza con un 95% de confiabilidad, aplicando un análisis de distribución de “t” de Student para poder aceptar o rechazar las hipótesis propuestas para la evaluación de riego de mini – aspersión para las dos fincas evaluadas.

5.2.2. Determinación de los parámetros de operación de los sistemas de riego por aspersión.

Esta metodología es puramente de gabinete para ello es importante tener los datos de las características del suelo y los datos recopilados en el sistema de riego.

- **Lámina neta del riego (Ln)**

Para el cálculo es necesario tener la capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente del suelo y zona radicular del cultivo. Datos determinados previamente, se utiliza la siguiente formula. Recomendada por Cárdenas en 1,996.

$$Ln = \frac{(\%CC - \%PMP)}{100} * Da * Zr$$

Dónde:

Ln	=	Lamina neta de riego
%CC	=	Humedad a capacidad de campo
%PMP	=	Punto de marchitez permanente
Da	=	Densidad aparente del suelo
Zr	=	Zona radicular del cultivo

- **Intervalo mínimo entre riegos (Ir)**

Este dato también se puede tomar como la frecuencia de riego, y se calculó para el mes de mayor exigencia o mayor evapotranspiración. Recomendada por Cárdenas en 1,996.

$$Ir = Ln / E_{tcm}$$

Dónde:

Ir = intervalo mínimo entre riegos

E_{tcm} = evapotranspiración máxima del cultivo

L_n = Lámina neta de riego

- **Lámina de riego bruta (Lr)^b.**

Es la lámina de riego promedio aplicada por los aspersores sobre el área de prueba durante el tiempo de riego. Recomendada por Hernández en 1,992.

$$(Lr)^b = q\alpha / (E_a * E_l)$$

Dónde:

$q\alpha$ = Caudal promedio de los aspersores por el tiempo de riego

E_a = separación entre aspersores

E_l = separación entre laterales

- **Lámina promedio captada por pluviómetros (Lc)**

Se calculó para tener un promedio de la lámina aplicada por los aspersores. Recomendada por Hernández en 1,992.

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

Dónde:

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

N = número de pluviómetros.

- **Lámina promedio mínima captada (Lc min).**

Debido al hecho de que cualquier valor individual de lámina captada puede ser grandemente afectado por errores experimentales, se prefirió tomar como valor de lámina mínima captada, al promedio del 25% (1/4) de los valores ajustados del pluviómetro, dando un número de 9 pluviómetros. De esta manera se evita incluir los pluviómetros que quedan en el límite del área de cobertura de los aspersores. Recomendada por Hernández en 1,992.

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

Dónde:

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

L_{ci} = Lámina del 25% de pluviómetros de menor volumen

- **Uniformidad de aplicación (UA)**

Constituyó el índice del grado de uniformidad de distribución del agua sobre la superficie del suelo. Se expresa en porcentaje. Recomendada por Hernández en 1,992.

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

- **Coefficiente de uniformidad de Christiansen (Cu)**

Se utilizó para medir la uniformidad de la distribución del agua sobre la superficie se mide en porcentaje. (Recomendado por Hernández en 1,992)

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

Dónde:

$\sum|x|$ = 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 promedio mínima captada

- **Eficiencia de aplicación (Efa)**

Se calculó con respecto al 25% (1/4) del área con menor infiltración y almacenamiento, se expresa en porcentaje. Recomendada por Hernández en 1,992.

$$Efa = \frac{Lcmin}{(Lr)b} \times 100$$

Dónde:

Efa = Eficiencia de aplicación con respecto al 25% del área con menor almacenamiento

Lc min= corresponde a la lámina media captada por el 25% de los pluviómetros que tuvieron menor captación de agua en el área de prueba.

Lb = lámina de riego bruta aplicada por los aspersores sobre el área de la prueba.

- **Pérdidas de agua por transporte (Pa)**

Es un parámetro que se utilizó para calcular el porcentaje de agua que se pierde por el viento o evaporación. Recomendada por Hernández en 1,992.

$$Pa = \left(\frac{(Lr)b - Lc}{(Lr)b} \right) \times 100$$

Lb= lámina de riego bruta aplicada por los aspersores sobre el área de la prueba.

(Lr)b.= Lámina riego bruta

Lc = Lámina promedio mínima captada

- **Intensidad de aplicación (Ia)**

Se obtuvo al dividir el caudal medio de los aspersores entre el área efectiva de los mismos, quedando expresada como una lámina de agua (cm o mm) en la unidad de tiempo (hora). Este valor no debe exceder la tasa de infiltración básica, de lo contrario existe un mal diseño del sistema de riego.

$$Ia = (qa / \text{Área}) * 100$$

Dónde:

qa= caudal de los aspersores promedio (m³/h).

Área= el área que hay entre los aspersores y lateral (m²).

- **Tiempo requerido por el aspersor en cada posición para aplicar la lámina de riego (Tr)**

Este parámetro se relaciona con la duración de cada evento de riego se divide la lámina neta entre la lámina media captada por el 25% de los pluviómetros que tuvieron menor captación de agua en el área de prueba: Recomendada por Hernández en 1,992.

$$Tr = \frac{Ln}{Lcmin}$$

- **Capacidad del sistema (Q)**

Prácticamente obedece al volumen total con el que opera el sistema, es el caudal total, se obtiene por la multiplicación del caudal promedio por aspersores con el número de aspersores. Recomendada por Hernández en 1,992.

$$Q = q\alpha * NAOS$$

Dónde:

NAOS= Número de aspersores de operación simultánea.

$q\alpha$ = Caudal promedio de los aspersores por el tiempo de riego

- **Determinar la eficiencia agronómica**

La eficiencia agronómica se calculó tomando en cuenta las eficiencias de aplicación, almacenamiento y uniformidad de aplicación; a través de la siguiente fórmula. Recomendada por Sandoval en 1,994.

$$Efa = Eap * Eal * Ed.$$

Dónde:

Efa: Eficiencia agronómica

Eap: Eficiencia de aplicación

Eal: Eficiencia de almacenamiento

Ed: eficiencia de distribución

Finalmente se realizó un análisis de toda la información, para la evaluación de la eficiencia agronómica se utilizó el criterio de Gurovich en 1,995 donde resalta que debido a la naturaleza del sistema debe operar arriba de un 76%.

VI. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Los siguientes resultados de pluviometría se presentan son en base de los módulos de riego que se evaluaron en las fincas Santander y El Minar.

6.1. Caracterizar el funcionamiento del equipo de riego por mini – aspersión de las finca El Minar y Santander.

Antes de iniciar las evaluaciones en los módulos de riego, se tomaron como inicio la fecha de corte de cada uno de las secciones a evaluar, ya que son caña soca, como se describe en el cuadro siguiente:

Cuadro 12. Fechas de corte del cultivo de caña de azúcar y las fechas de ensayo de campo en las diferentes secciones de cada finca evaluada.

Finca	Sección	Fecha de corte	Fecha de evaluación	Días después del corte
Minar	1	04/01/2014	10/02/2014	36
	2	23/12/2013	17/02/2014	31
Santander	2	25/12/2013 - 17/01/2014	24/02/2014	38

Fuente: autor 2014.

En el cuadro 12 se puede observar las diferentes fechas de corte en las secciones de las finca evaluadas. Estos datos fueron utilizados para la determinación de la etapa fenológica del cultivo en que la se encontraba en el momento del riego; ya que según la revisión de literatura Castro (2011) la primera etapa fenológica (EF – 1 iniciación), que nos dice que esta etapa tiene una duración de 45 días. Es por ello que se estableció que el cultivo de caña, al momento de realizar las evaluaciones se encontraba en la etapa EF – 1 iniciación.

Otro factor importante es que de las dos tres secciones poseen caña que son cosechados en el primer tercio de la zafra.

La etapa fenológica EF – 1, es en donde se define la cantidad de tallos por metro lineal que se puede alcanzar el cultivo de caña de azúcar, esto se logra garantizando una buena humedad en la zona radicular del cultivo para satisfacer las necesidades hídricas del mismo (Castro 2011).

6.1.1. Evapotranspiración.

Según Castro (2011), la finca El Minar el valor de coeficiente del cultivo de caña de azúcar (K_c) es de 0.3, el cual se determinó tomando en cuenta que la finca posee suelos de textura Franco – Arcilloso y la etapa fenológica de la evaluación es de iniciación.

De igual forma para la finca Santander, el valor del coeficiente del cultivo de caña (K_c) es de 0.3, ya que la finca posee suelo de textura Arcillosos y la etapa fenológica de la evaluación es de iniciación.

6.1.2. Velocidad de infiltración básica de suelos.

En la finca El Minar en la sección uno y dos, se llegó a determinar que la infiltración básica promedio es de $I_b = 1.83$ cm/hora, y en la finca Santander la infiltración básica es de $I_b = 0.41$ cm/hora. Estos resultados se obtuvieron por el método de doble cilindro y por el modelo de Kostakiev-Lewis.

Cabe mencionar que los resultados de la infiltración básica demuestran que en la finca El Minar los suelos son de textura Franco – arcillosa, en donde hay una buena relación de las partículas (arenas, limos y arcillas) que al aplicar la cantidad necesaria de recurso hídrico evitan problemas como el encharcamiento. En la finca Santander las condiciones de suelo varían, los muestreos dan como resultado suelos 100% arcillosos (suelos pesados), en donde existe un porcentaje alto de arcilla, estas partículas al llenarse de agua se expanden y es difícil que pierdan humedad, como consecuencia al aplicar el riego al cultivo de caña, vamos a encontrar encharcamiento debido a la baja infiltración que tiene los suelos arcillosos.

6.1.3. Tiempo de riego.

Para la finca Santander y Minar que utilizan el riego por mini – aspersion el tiempo de riego que operan es de 11 horas; después se realiza el cambio de posición de los aspersores.

Los ensayos que se realizaron en las diferentes áreas de evaluación tuvieron una duración de 4 horas, utilizando dos aspersores para la evaluación. En las diferentes posiciones de riego.

6.1.4. Determinación de caudal y presiones de aspersores.

Durante las evaluaciones de riego se midieron presiones al inicio, intermedio y final de cada uno de los aspersores, en los diferentes ensayos. Así mismo se realizaron los aforos de caudales y se determinó el tiempo en el que se llenaba un recipiente de 14 litros de volumen. En el cuadro siguiente se observan los resultados de los diferentes aspersores evaluados durante la prueba, los valores promedio de presión, y el caudal obtenido en l/s, m³/h y l/h:

Cuadro 13. Caudal y presiones promedio de operación de los aspersores evaluados en la finca El Minar.

Aspersor					
	Psi	Kgf/cm ²	Caudal (l/s)	Caudal (m ³ /h)	Caudal l/h
1	49	3.45	0.35	1.27	1270.59
2	50	3.53	0.36	1.28	1278.11

Fuente: autor 2014.

En el cuadro anterior se muestran los promedios generales de las presiones y caudales de los dos aspersores evaluados del módulo de riego. Estos datos proporcionan el resultado de tres lecturas realizadas en cada uno de los aspersores del lateral de riego. Los caudales que emitieron los aspersores evaluados en este módulo de riego fueron entre 1.27 y 1.28 m³/h de agua a una presión que va desde 3.45 a 3.53 kgf/cm².

Según las especificaciones de este tipo de aspersor VYR – 36, es un aspersor de medio caudal con conexiones macho ó hembra de $\frac{3}{4}$ ". El ángulo de inclinación es de 25° . La boquilla que utiliza es de 4 mm de diámetro, estos aspersores están diseñados para operar a 50 psi (3.5 BAR) con un caudal de $1.8 \text{ m}^3/\text{h}$ (1800 l/h).

Las presiones que se tomaron en la Finca El Minar proporcionan un dato de 45 psi, emitiendo un caudal promedio de $1.27 \text{ m}^3/\text{h}$; teniendo en cuenta las especificaciones técnicas del aspersor se puede confirmar que no se está operando en las condiciones óptimas para el uso adecuado del mismo, dando pauta de la mala aplicación del caudal de diseño comparado con el caudal aplicado, esto repercute en la aplicación del agua en todo el perímetro de mojado y el cultivo es afectado por estrés hídrico.

Así mismo en la finca Santander se determinaron las presiones y caudales de los aspersores del módulo de riego evaluado.

Cuadro 14. Caudal y presión promedio de operación de los aspersores evaluados en la Finca Santander.

Aspersor					
	Psi	Kgf/cm ²	Caudal (lt/s)	Caudal (m ³ /h)	Caudal l/h
1	26	1.83	0.25	0.90	903.53
2	25	1.76	0.24	0.88	876.05

Fuente: autor 2014.

En el cuadro anterior son el resultado de las presiones y caudales, evaluados por cada lateral y por cada ensayo; estos datos son de tres lecturas realizadas, en cada uno de los aspersores de la lateral del módulo de riego. Los valores obtenidos en los aspersores Senninger 4023, de la finca Santander en los diferentes módulos de evaluación. Se obtiene que por tener presiones de promedio de 26 psi, el tiempo para llenar el recipiente de 14 litro, promedio de 64.25 segundos.

El aspersor de Senninger 4023 está diseñado para operar con una presión de 35 psi (2.4 BAR) con un caudal de $1.11 \text{ m}^3/\text{h}$ (1115.17 l/h).

Según las evaluaciones que se realizaron en el campo se llegaron a determinar que el riego no estaba operando el sistema de riego diseñado, en donde se obtuvieron lecturas de presiones promedio de 26 psi en donde la presión debería estar a 35 psi, así mismo el caudal promedio obtenido de las evaluaciones es de $0.89\text{m}^3/\text{h}$ y el aspersor está diseñado para aplicar un caudal de $1.11\text{ m}^3/\text{h}$. obteniendo estos resultados no acorde al diseño se realizó una evaluación al motor y pozo que abastece el riego por mini – aspersion .

6.1.5. Observaciones generales.

Durante las evaluaciones en los módulos de riego en las diferentes fincas se observaron que existe un mal manejo del equipo de riego (mini – aspersion). Así como la instalación de los aspersores en cada estabilizador. Los colocan de una forma incorrecta en el campo.

En la finca El Minar todo el equipo de riego mini – aspersion es móvil, esto nos da la pauta que todo el sistema es de diferentes diámetros, incluyendo las tuberías de aluminio que utilizan. Teniendo así que las tuberías principales son de un diámetro de 6”, en la cual utilizan reductores como hidrantes a cada 54 metros. En estos puntos de hidrantes se utilizan tubos de 63 mm; los tubos laterales son colocados a cada 18 metros entre laterales y los aspersores son colocados a cada 12 metros entre sí. Concretando el marco de riego de 216 m^2 .



Figura 6. Distanciamiento de laterales y aspersores de riego mini – aspersion.

Fuente: autor 2014.

Durante las evaluaciones que se realizaron en los diferentes módulos de riego no se observó ningún daño en el cultivo; las instalaciones del sistema no es apropiado ya que se observaron varios puntos fugas de agua en las conexiones de tubería (primaria, secundaria y lateral), esto nos afecta en las eficiencia de almacenamiento y aplicación de agua.

En cuanto al suelo no se observaron daños graves de erosión por escorrentía, pero si existió encharcamiento de agua en las zonas donde existía fuga, así como en las tuberías principales como las laterales.

Cuadro 15. Distanciamiento de tubería en el riego mini – aspersión.

Tubería	Distanciamiento
Lateral	18 X 18 m
Aspersor	12 X 12 m
Hidrante	54 m

Fuente: autor 2014.

En la finca Santander está diseñado el sistema de riego por mini – aspersión, en donde cada hidrante se encuentran a cada 54 metros lineal, y los laterales se colocan a cada 18 metros de distancia entre sí, y los aspersores se colocan a cada dos tubos de 6 metros de longitud.

En la finca el Minar el riego es móvil, se utiliza tubería de 8” como tubería principal, y las laterales de 6” y 4”, en cada 54 metros lineal se tiene un adaptador en la tubería que funciona como hidrante que se conectan tubos de 63 mm de diámetros. Se utiliza el mismo distanciamiento del aspersor y lateral a la finca Santander.

En las fechas de evaluación se midió la velocidad del viento con el aparato de anemómetro y los resultados son los siguientes: en la finca El Minar se tuvo una

velocidad máxima de 19.44 km/h, y la mínima de 8 km/h. como se en la siguiente figura la medición del viento.

En el caso del Minar las corrientes de viento comienzas a sentirse sensible entre las 11:00 horas y llega a ser fuerte (19.44 km/h) entre 13:00 y 15:00 horas que son las velocidades máxima y la dirección del viento fue de Suroeste (SW), estos datos fueron tomados en campo.



Figura 7. Medición del viento con el anemómetro.

Fuente: autor 2014.

Los resultados de la medición del viento con el aparato de anemómetro durante el ensayo, se grafica en la siguiente imagen:

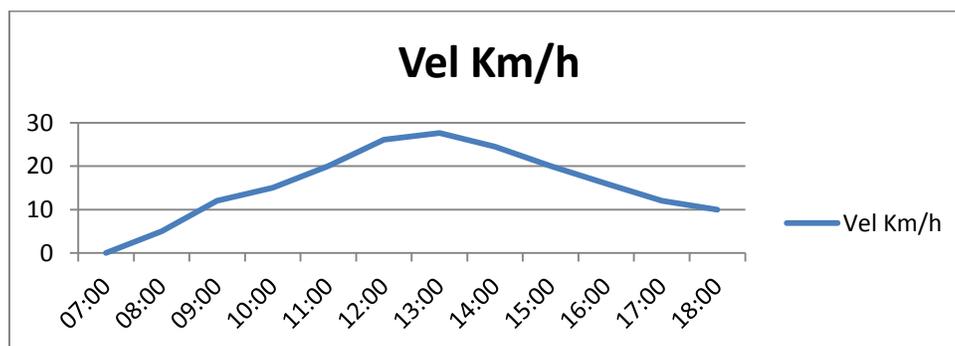


Figura 8. Gráfica de la velocidad de viento realizado en la finca Santander.

Fuente: autor 2014.

Como se demuestran en la figura 7, las velocidades máxima que se registraron en la finca Santander fue de 27.36 km/h, obteniéndolo entre las 12:00 a 14:00 horas, las

dirección del viento se mantuvo al Suroeste. Estos datos de medición se realizaron en el campo durante la evaluación de riego.

Otro dato muy interesante que tienen el sistema de riego por mini – aspersión es el tiempo de riego, ya que en el Minar el tiempo se realiza a cada 11:00 hrs de riego continuo, semejante a la Finca Santander. En cambio la frecuencia de riego es totalmente diferente ya que en la finca Santander se tiene diseñado a cada 10.5 días en cada posición de lateral; en cambio en la Finca el Minar no tiene ese diseño, ya que en cada posición de lateral regresa a cada 10 u 11 días en la posición uno de riego.

6.2. Determinar los parámetros de operación de los sistemas de riego por mini – aspersión (lamina neta, lamina bruta, entre otros) en las finca El Minar y Santander del Ingenio Tululá.

Para calcular los parámetros de operación del sistema de riego por mini – aspersión en las fincas El Minar y Santander, se utilizaron los datos de campos que se recolectaron en las cuadrículas de pluviómetros, se tabularon e interpretaron; en cada uno de los ensayos de las secciones evaluadas de las finca del Ingenio Tululá.

Para los pluviómetros se utilizaron recipientes (latas) de leche de aproximadamente 1 litro de capacidad y un radio de 7.8 centímetros. Entonces para calcular la lámina de riego se utilizó el principio de que área es un círculo es $A= \pi r^2$. Según los cálculos el área de captación de los pluviómetros es de 191.1410 cm².

En el siguiente cuadro se presentan los parámetros promedio de las evaluaciones que se realizaron en la Finca el Minar, en que indican el estado del funcionamiento de la unidad de riego evaluada.

Cuadro 16. Parámetros de operación de los sistemas de riego por aspersión de la finca El Minar.

PARÁMETROS	ABREV.	VALOR	UNIDADES
Lámina neta de riego	Ln	41.0	mm
Intervalo mínimo entre riego	Ir	6.8	días
Lámina bruta de riego	Lb	55.8	mm
Lámina captada por pluviómetros	Lc	59.4	mm
Lámina mínima captada	Lcmin	46.7	mm
Uniformidad de aplicación	UA	77.1	%
Coefficiente de uniformidad	Cu	88.4	%
Eficiencia de aplicación	Efa	85.1	%
Pérdidas de agua por transporte	Pa	19.8	%
Intensidad de aplicación	Ia	0.5	cm/hr
Tiempo requerido por posición	Tr	7.8	horas
Cambios de posición/día	NPLD	3.1	Cambio
Capacidad del sistema	CS	264.2	m ³ /hr

Fuente: autor 2014.

En el cuadro 16 se pueden observar los resultados obtenidos de las evaluaciones que se realizaron en la finca El Minar.

Para las evaluaciones de la finca se utilizaron las características físicas del suelo, mencionado en el marco conceptual, así mismo se utilizó el 60% (0.6) del déficit permisible de manejo (factor P). Que esto quiere decir que el 60% del agua disponible que está en el suelo la planta la puede aprovechar sin tener que llegar al punto de marchitez permanente. Con estos valores establecidos se llegó a determinar que la lámina neta de riego (Ln) es de 41.04 mm promedio. Este dato es fundamental para llevar a capacidad de campo la zona radicular.

Según el resultado de la intensidad de aplicación se llegó a aplicar la lámina neta necesaria ya que la lámina captada por los pluviómetros es de 59.45 mm y la lámina mínima captada es de 46.72 mm, esto quiere decir que durante el ensayo

los aspersores aplicaron en exceso con respecto a la lámina neta que es 41.04 mm. Esto resultados obedecen que en la finca se tiene un tiempo de riego de 11:00 horas continua; según los datos analizados por los ensayos el tiempo de riego debe ser de 7.76 horas.

Otro dato importante que se observó en la finca, que operan el sistema de riego de mini – aspersión, que no tienen un patrón o el intervalo entre riego definido; sino que operan desde el día uno de riego y vuelven al mismo punto cuando hayan terminado de regar toda el área de cultivo de caña de azúcar, esto sin importar si haya pasado más de siete días. Estos factores de decisiones pueden afectar al cultivo al llevar al estrés hídrico.

Las pérdidas de viento o transporte corresponden a un 19.84 % el cual se considera aún aceptable; cabe recordar que las evaluaciones se realizaron en diferentes horarios del días (mañana – tarde). En donde se obtuvieron medidas de viento con una máxima de 19.44 km/h, eso se ve reflejado el efecto más por tardes.



Figura 9. Puntos observados en la tubería principal y ramales con fuga de agua.

Fuente: autor 2014.

Estos factores de pérdida de agua por mal manejo de las instalaciones de las tuberías, se ve reflejado en la eficiencia de aplicación y de almacenamiento, ya que el aspersor no aplica el caudal para el cual está diseñado.

Otro dato interesante es la intensidad de aplicación calculada para la finca el Minar que es de 0.53 cm/h, mientras tanto la infiltración básica es de: 1.83 cm/h, esto afirma que el suelo es capaz de infiltrar la cantidad de agua que están aplicando los aspersores.

Así mismo se tomaron en cuenta los datos de evapotranspiración máxima del cultivo; los cuales fueron calculados al multiplicar la evapotranspiración potencial media del cultivo (Eto) en la etapa de iniciación, por el coeficiente de cultivo Castro (2011).

Los valores utilizados para el cálculo del intervalo de riego, solo se aplican al cultivo de caña de azúcar que se encuentra en la etapa iniciación (EF-1), ya que esta etapa tiene una duración de 45 días después de la germinación, por lo que al llegar a la etapa de macollamiento el intervalo variará debido a los datos de evapotranspiración del cultivo. Para las evaluaciones de la finca Santander se utilizaron la misma metodología de pluviometría como se describen con anterioridad en las evaluaciones de la Finca El Minar.

Cuadro 17. Parámetros de operación de los sistemas de riego por aspersión de la finca Santander.

PARÁMETROS	ABREV.	Valor	Unidades
Lámina neta de riego	Ln	47.92	mm
Intérvulo mínimo entre riego	Ir	9.98	días
Lámina bruta de riego	Lb	38.51	mm
Lámina captada por pluviómetros	Lc	29.94	mm
Lámina mínima captada	Lcmin	25.74	mm
Uniformidad de aplicación	UA	83.93	%
Coeficiente de uniformidad	Cu	87.76	%
Eficiencia de aplicación	Efa	64.84	%
Pérdidas de agua por transporte	Pa	25.75	%
Intensidad de aplicación	Ia	0.37	cm/hr
Tiempo requerido por posición	Tr	12.48	horas
Cambios de posición/día	NPLD	1.95	Cambio
Capacidad del sistema	CS	191.77	m3/hr

Fuente: autor 2014.

También se utilizaron las características del suelo, mencionado en el marco conceptual, así mismo se utilizó el 60% (0.6) del déficit permitido de manejo (como factor P). Con esta información se realizó el cálculo la capacidad de retención de humedad (L_n) que necesita el cultivo para llevarlo a capacidad de campo la zona radicular. Según los resultado la finca necesita una lámina neta de 47.9 mm de agua. Con respecto a la lámina bruta aplicada los resultados promedio de las evaluaciones es de 38.51 mm, esto quiere decir que el sistema de riego no llega a aplicar la cantidad de agua que el suelo requiere para llegar a la capacidad de retención de humedad (lámina neta de riego) que se calculó por medio de datos de las constantes de humedad y densidad aparente del suelo.

Estos resultados negativos de láminas captadas por los pluviómetros se debe principalmente a que los aspersores estuvieron emitiendo un caudal bajo y las presiones no fueron las esperadas (psi 26.25 promedio). En relación a estos datos se puede hacer la comparación que el diseño de riego está diseñado para que los aspersores trabajen a 35 psi.

Además la evapotranspiración que se utilizó para el diseño del riego de mini – aspersión es de 4.8 mm, este dato se dividen entre la eficiencia de aplicación de riego que es 80% (0.8); que nos da un evapotranspiración máxima de 6 mm para el cultivo de riego de mini – aspersión para las condiciones de Santander.

Existe un porcentaje alto de pérdida entre el aspersor y el suelo, correspondiente al 25.8%, en el cual el parámetro no debe ser mayor del 20%. Estas pérdidas se deben principalmente a los factores ambientales como la velocidad del viento y ráfagas de viento, ya que durante la evaluación se obtuvieron lecturas de 27.36 km/h como la velocidad máxima de viento, cabe recordar que las evaluaciones se realizaron durante varios horarios del día (mañana y tarde).

Otro de los factores que influyeron es que los aspersores no estaban aplicando el caudal suficiente, este problema puede tener origen en el nivel dinámico del pozo, estaban aplicando aire en vez de agua, como se puede observar en la siguiente figura:



Figura 10. Aspersores en mal funcionamiento.

Fuente: autor 2014.

Durante los módulos de riego, el sistema por mini – aspersión, trabaja con intervalos de riego de 10.5 días, para regresar a la misma posición anterior, después del décimo día sin aplicar el riego el cultivo entra en un estado crítico por estrés hídrico; en estas condiciones puede provocar estrés hídricos en el cultivo de caña de azúcar, por tal razón esto afectaría en las estimaciones de tonelaje por hectárea, rendimiento en azúcar entre otros.

El resultado del tiempo requerido por posición calculado de riego es de 12.5 horas, pero este dato se debió a que el sistema no estaba operando al 100%, en donde se obtuvieron presiones bajas de 26.25 PSI promedio y el sistema está diseñado para que opere con una presión de 35 PSI. Estos datos son de suma importancia al momento de calcular las eficiencias de almacenamiento ya que no se llegará a la lámina neta deseada, para llevar a capacidad de campo la zona radicular.

Otro dato interesante es la intensidad de aplicación calculada para la evaluación que se realizó en la finca Santander, que fue de: 0.37 cm/h, mientras que la velocidad de infiltración básica es de 0.41 cm/h; con lo cual se determina que el suelo aun es capaz de infiltrar la cantidad de agua que están aplicando los aspersores.

El análisis de las eficiencias de aplicación y coeficiente de uniformidad se realizaron en el siguiente objetivo específico.

6.3. **Calcular la eficiencia de aplicación, almacenamiento y distribución de los sistemas de riego por aspersión en las finca El Minar y Santander.**

Para realizar el análisis de las eficiencias se toman en cuenta los resultados presentados en el objetivo dos.

Cuadro 18. Eficiencia de riego determinada en el equipo de riego de mini – aspersión finca El Minar.

Pruebas	Ed	Eal	Eap	EU
1	87.96	79.28	79.28	0.55
2	87.66	67.78	89.24	0.53
3	92.15	69.56	88.09	0.56
4	85.65	82.67	83.79	0.59
X Promedio	88.36	74.82	85.10	0.56
Desviación	2.73	7.27	4.53	0.03
Límite inferior	84.85	65.47	79.27	0.53
Límite Superior	91.86	84.17	90.93	0.59
Gurovich 1985	85	1	0.95	0.76

Fuente: autor 2014.

Según el cuadro 18, se pueden observar los resultados obtenidos en cada uno de las evaluaciones realizadas; estos resultados son el producto de los datos obtenidos en la prueba de pluviometría realizada en campo de la finca El Minar.

Con respecto a la Eficiencia de Distribución se tomó el indicador el coeficiente de uniformidad propuesto por Christiansen, que se utiliza para riego de mini – aspersión.

Según Gurovich (1985), la eficiencia de distribución es de 85%, con los resultados obtenidos de las pruebas de evaluación la eficiencia obtenida es de 88.36% promedio. Estadísticamente con los intervalos de confianza al 95%, se obtienen los límites inferior correspondiente al 79.27% y el superior de 90.93%; en el cual se confirma que esta eficiencia está dentro de límites del comparador de Gurovich,

Mientras que el resultado de la eficiencia de aplicación nos da un 85.10%, de los datos promedios de las evaluaciones realizadas en campo; estadísticamente con los intervalos de confianza al 95%, se tiene un límite inferior de 84.71 y el superior de 93.77. Según los intervalos de confianza, la eficiencia de aplicación no es correcta con el comparador de Gurovich que dice que esta eficiencia debe ser igual o mayor al 95%. Los factores que influyeron de la eficiencia esta discutidos en el objetivo anterior.

Para Rojas (1980) propone que la Eficiencia de Aplicación aceptable también para riego de aspersión posee un valor que varía entre el 65% y 75%, entonces se considera aun así que las unidades evaluadas para Rojas aceptable. La eficiencia de aplicación influye directamente sobre la cantidad de agua que se está aplicando sobre la superficie del suelo, ya que toma en cuenta las pérdidas existentes en el sistema de riego durante la aplicación; por lo tanto los factores de evapotranspiración, velocidad de viento y la lámina aplicada (L_b) de los aspersores, influyen directamente sobre este tipo de eficiencia

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 el 100% , sin embargo los resultado que se obtuvieron en las evaluaciones es de 74.82% promedio. Estadísticamente los intervalos de confianza al 95%, nos da como resultado que los límites inferior es de 65.47 y el superior 84.17; esto quiere decir que esta eficiencia no está dentro del comparador de Gurovich.

Este resultado nos indica que esta eficiencia es baja. Según Sandoval (sf) una eficiencia de almacenamiento menor al 100%, indica que la humedad en toda la zona principal de raíces no llegó a capacidad de campo, es por eso que el resultado obtenido de la finca El Minar fue inadecuada para el sistema de riego.

Mas sin embargo la eficiencia agronómica es las interacciones que existen entre las eficiencias de Almacenamiento, Aplicación y Distribución; en este caso el resultado agronómico de la Finca El Minar es de 0.56, este resultado se analizó con los intervalos con confianza al 95%, obteniendo los límites inferior de 0.53 y el superior de 0.59; esto quiere decir que la eficiencia agronómica no es aceptable, porque los intervalos de confianza no están adentro del comparador de Gurovich que dice que esta interacción debe ser el 0.76 de la eficiencia agronómica.

Unas de las causas principal de sobre esta baja eficiencia es la pérdida de agua por transporte que existe entre el aspersor y el suelo (que es de 19.84%). Estos factores se ven afectado cuando por las tarde aumenta la velocidad de viento, esto no permite que el suelo reciba la cantidad de agua deseada; sin embargo no solo el viento afecta sino que también las fugas de agua que existe en la tuberías lateras y generalmente por la mala colocación de estos mismos. Y esto no aplica el caudal adecuado para que la humedad llegue a capacidad de campo en las raíces.

Cuadro 19. Eficiencia de riego determinada en el equipo de riego de mini – aspersión finca Santander.

Pruebas	Ed	Eal	Eap	EU
1	85.95	54.05	58.89	0.2735792
2	90.87	54.69	64.31	0.3196001
3	85.35	65.1	75.72	0.4207219
4	90.08	51.49	68.99	0.3199907
5	87.06	44.52	60.52	0.2345701
6	87.26	43.24	60.6	0.2286512
X Promedio	87.76	52.18	64.84	0.30
Desviación	2.23	7.95	6.45	0.07
Límite inferior	87.85	43.54	62.54	0.25
Límite Superior	92.31	59.44	75.44	0.39
Gurovich	85	1	0.95	0.76

Fuente: autor 2014.

En el cuadro 19, se pueden observar los valores promedio de las eficiencias evaluadas que se obtuvieron en la finca Santander. Con respecto a la eficiencia de distribución se tomó como indicador el coeficiente de uniformidad propuesto por Christiansen, que se utiliza para riego de mini – aspersión. Estos datos se obtuvieron de las evaluaciones que se realizaron en campo, por medio de los pluviómetros en cada uno de los ensayos realizados.

Según Gurovich (1985), la eficiencia de distribución es de 85%, y en los resultados obtenidos en la fase gabinete corresponden al 87%; estos datos se analizaron estadísticamente con los intervalos de confianza al 95%, dando como resultado los límites inferior de 87.85 y el superior de 92.31, en donde el promedio de esta eficiencia se encuentra en el rango aceptado para Gurovich; que es un buen indicador para el buen funcionamiento de la distribución en toda el área de cultivo de caña de azúcar. Según Sandoval (sf), una eficiencia de distribución del 80% en riego de mini – aspersión se considera adecuada, por lo tanto se establece que esta eficiencia es aceptable con respecto al resultado obtenido durante los ensayos realizados.

Mientras 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 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 resultado que se obtuvieron en las evaluaciones es de 52.18%. Este resultado nos indica que esta eficiencia es baja. Según Sandoval (sf) una eficiencia de almacenamiento menor al 100%, indica que la humedad en toda la zona principal de raíces no llegó a capacidad de campo, es por eso que el resultado obtenido de la finca Santander fue inadecuada para el sistema de riego.

Una de las causas sobre esta baja eficiencia es la pérdida de agua que existe entre el aspersor y el suelo (que es de 25.8%). Esto no permite que el suelo reciba la cantidad de agua deseada; sin embargo no solo el viento afecta sino que también las fugas de agua que existe en las tuberías laterales y generalmente por la mala colocación de estos mismos. Y por ende los aspersores no aplican el caudal adecuado para que la humedad llegue a capacidad de campo en las raíces.

6.4. Determinar la eficiencia agronómica en cada uno de los sistemas de riego por mini – aspersión evaluados en las finca El Minar y Santander.

La eficiencia agronómica (EU) es aquella que se agrupa e interrelaciona las eficiencias de aplicación, almacenamiento y distribución; indica principalmente la manera en que se está utilizando el agua, 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).

Cuadro 20. Representación de las eficiencias promedios de cada uno de las fincas evaluadas.

Eficiencias	Ed	Eal	Eap	EU
El Minar	88.36	74.83	85.10	0.56
Santander	87.76	52.18	64.84	0.30

Fuente: autor 2014.

Uno de los factores determinantes en el cálculo de esta EU es el valor de la eficiencia de almacenamiento, ya que se puede observar claramente que el avance en tecnología de los métodos de riego, influye directamente sobre la aplicación adecuada de agua que necesita la zona radicular del cultivo, para llegar a capacidad de campo; es decir por ello que tanto el riego por aspersión como el de goteo poseen el 100% en Eal, lo que genera una alta eficiencia agronómica, porque esta resulta de la multiplicación de las eficiencias anteriores.

En las fincas evaluadas las eficiencias Agronómicas (EU), la eficiencia para la finca El Minar es de 54% y el para Santander es de 30% promedio respectivamente.

Estadísticamente se comprobó con los intervalos de confianza al 95%, que no son las eficientes ya que según Gurovich la eficiencia agronómica debe estar en el 76%, más sin embargo los resultados que se calcularon de las evaluaciones realizadas en las diferentes fincas son bajas.

Sin embargos los resultados de la eficiencia de almacenamiento de ambas fincas fue bajo con lo que recomienda Gurovich, en cual determina que la lámina aplicada por los aspersores en la mayoría de los casos no es la suficiente para alcanzar el 100% de la eficiencia. En los objetivos anteriores se discute sobre el porqué se obtuvieron un porcentaje bajo de la eficiencia.

Otro de los valores de eficiencia bajo y crítico es la de Aplicación en la finca Santander en donde la lámina aplicada por los aspersores no es lo suficiente para aplicar el caudal necesario para llevarlo a capacidad de campo. Ahí debemos de incluir los factores que afecta a la pérdida de agua que son los datos climatológicos y de transporte (colocación de tuberías). Con se discutió en el objetivo anterior de los parámetros de eficiencia.

En el caso de la eficiencia de distribución que se utilizó la fórmula de Christiansen, nos dice que el coeficiente de uniformidad de ambas fincas, está dentro de lo que recomienda Gurovich. En el caso de la Finca El Minar no hubo una variación significativa, ya que la eficiencia agronómica se puede decir que se mantuvo casi uniforme en todas las pruebas realizadas.

VII. CONCLUSIONES.

1. El resultado de eficiencia agronómica para la finca El Minar corresponde a un 54%, quiere decir que se acepta la hipótesis nula que dice que el sistema de riego por mini – aspersión utilizado para la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), en la finca El Minar del Ingenio Tululá, opera con una eficiencia agronómica menor del 76% (Gurovich 1985).
2. La capacidad de retención de humedad que se calculó por medio de la textura de suelos en la finca el Minar, es de 41.04 mm, y la lámina bruta de aplicación fue de 55.78 mm respectivamente.
3. Por medio de pruebas de infiltración de suelo se estableció que la infiltración básica del suelo de la finca El Minar es de 0.91 cm/h y la intensidad de aplicación de los aspersores es de 0.53 cm/h, esto nos da la pauta que el suelo tiene la capacidad de infiltrar el agua que el aspersor está aplicando.
4. En la finca el Minar no existe un intervalo de riego definido, el criterio de riego que utilizan es completar toda el área del cultivo, sin importar cuantos días pasen para llegar al día uno de riego.
5. Por medio del anemómetro se determinó que el porcentaje de pérdida por viento o transporte (instalación) en la finca el Minar es de 19.8%, el cual es un rango aceptado, ya que el parámetro está entre el 15% - 20%.
6. En la Finca El Minar el sistema de riego por mini – aspersión es móvil, esto quiere decir que toda la tubería principal, laterales y ramales se mueven; por ende las fugas de agua se presentan en la conexiones de tubería y las pérdidas de aspersor y suelo suelen aumentar en cada cambio que se realizan en el cambio de turno.
7. Según el resultado de la eficiencia agronómica para la finca Santander es de 30%, esto quiere decir que se acepta la hipótesis nula que dice el sistema de

riego por mini – aspersión utilizado para la caña de azúcar, *Saccharum officinarum*, en la finca Santander del Ingenio Tululá, opera con una eficiencia agronómica menor del 76% (Gurovich 1985).

8. La capacidad de retención de humedad que se calculó por medio la textura de suelos en la finca Santander es de 47.92 mm, y la lamina bruta de aplicación fue de 38.51 mm respectivamente. Esto quiere decir que no se estuvo aplicando la lámina necesaria para llegar la humedad de las raíces a capacidad de campo.
9. La infiltración básica del suelo de la Finca Minar corresponde a un 1.83 cm/h, esto debido a que la textura es franco – arcilloso y los suelos de la Finca Santander son de textura Arcillosa y su infiltración básica es de 0.41 cm/h
10. Se comprueba que el intervalo de riego para la finca Santander es de 10 días según los cálculos realizados, y el intervalo de riego que realizan de operación en la finca es de 10 días.
11. La eficiencia agronómica es la interacción de las eficiencia de almacenamiento, aplicación y de distribución; en la finca Santander eficiencia es de 0.3 = 30%, que se considera una mala eficiencia agronómica. Según Gurovich la eficiencia agronómica debe ser el 76%.
12. En la finca Santander el porcentaje de pérdida por viento es de 25.75%, este dato está arriba del rango aceptado que es de 15% - 20%; el alto porcentaje de pérdida se debe que en la finca se realizaron lecturas de viento y la máxima es de 27.35 km/h.
13. En la finca Santander el sistema de riego por mini – aspersión es semifija, ya que las tuberías principales están enterradas y en la superficie se encuentra hidrantes que conectan a la tubería principal. Así mismo el sistema de riego lo abastece un pozo mecánico que se encuentran en el área de riego.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Según las especificaciones técnicas del fabricante, el aspersor que utiliza la Finca es el modelo VYR – 36, el cual se puede utilizar con un marco de riego de 18m * 18m con una presión de 50 psi, esto con la finalidad de aumentar el perímetro mojado y así poder reducir el tiempo de riego por posición.
2. Realizar los cambios de tiempo de riego por posición en el horario de 13:00 a 15:00, de la finca Santander, ya que en este intervalo se presentan las lecturas de viento máxima de 27.36 km/h. Con el fin de reducir las pérdidas de viento y mejorar las eficiencias de aplicación y almacenamiento. Esto aplica para las dos fincas que son El Minar y Santander.
3. Mejorar la operación a través de una estrecha supervisión, controlando parámetros como presiones en la tuberías y aspersores durante el tiempo de riego, frecuencia de riego, intervalos y evaluación de traslapes. Esto con el objetivo de reducir las pérdidas de agua por medio de una fuga posible que pueda darse entre las tuberías laterales para luego cambiar los aspersores con fugas, para mejorar las presiones y las láminas emitidas por los aspersores. Esto con el objetivo de aumentar el porcentaje de eficiencia agronómica al 76% según Gurovich.
4. Realizar una evaluación al pozo mecánico (chequear el nivel dinámico), sin embargo el pozo es el que abastece del recurso hídrico al sistema de riego por mini – aspersión, ya que los aspersores durante la evaluación estuvieron aplicando aire en vez de agua como debería de ser.
5. Seguir realizándola labor de mecanización de suelo, especialmente el cincelado (subsuelo de dos ganchos) en la sección dos en donde se encuentra el sistema de riego por mini – aspersión, esto con el objetivo de aumentar la infiltración básica del suelo para no tener anegamiento de agua durante el riego.

6. En la finca Santander seguir con las evaluaciones pertinentes y calcular las eficiencias de almacenamiento, aplicación, coeficiente de uniformidad y eficiencia agronómica; cuando el sistema operativo de riego este trabajando al 100%, después de la limpieza o cheque del pozo mecánico.

7. En la finca el Minar establecer por medio del diseño de riego el intervalo mínimo entre riego, esto con el objetivo que el cultivo no sufra daño de estrés hídrico.

IX. BIBLIOGRAFÍA

1. Cárdenas, Y. 1996. Informe final de Investigación Inferencial. Rediseño Agronómico del riego por Aspersión en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), en Ingenio Tululá, San Andrés Villa Seca, Retalhuleu. Informe Inferencial Agronomía Tropical. Mazatenango Suchitepéquez, GT. Universidad de San Carlos de Guatemala. Centro Universitario de Suroccidente. 58 p.
2. Castro, O.R. 2011. La Planificación del uso de la tecnología del riego con base a procesos: zona cañera de Guatemala. Especialista en riegos del Centro Guatemalteco de Investigación y capacitación de la caña de azúcar (CENGICAÑA). Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, GT. 11p.
3. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). 2004. Informe anual 2002–2003. Guatemala, GT. 62 p.
4. Christiansen, J.E. 1942. Irrigation by Sprinkling. Berkeley, California. Agric. Exp. Sta. Boletín (670): 4 – 12 p.
5. Doorenbos, J.; Kassam, A. 1988. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Colección Estudio FAO riego y drenaje No. 33. Roma, IT. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 40-44, 151-155 p.
6. Flores, F. 2015. Recopilación de información histórica. (Entrevista). Jefe del Departamento de Planeación y Control. Ingenio Tululá. San Andrés Villa Seca Retalhuleu. GT.
7. Gurovich, L. 1985. Fundamentos y diseño de sistemas de riego. San José, C. R. IICA. 433 P.

8. Hernández, O. 1992. Manual de Riego por Aspersión. Caracas, VE. Universidad Central de Venezuela. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Colección Monografía 35. 139 p.
9. Holdridge, L.R. 1982. Ecología basada en zonas de vida. San José, C. R. CIDIA, IICA. 28 p.
10. Junta de Andalucía. sf. Procedimiento para la realización de evaluaciones de riego por aspersión. Servicios de Asesoramiento al Regante. Andalucía, ES. 12p
11. Romero, M. A. (2009). Consejería para la administración de empresas enfocado en el manejo del recurso hídrico. República Dominicana, DO. 22p.
12. Sandoval Illescas, J.E. 2007. Principios de riego y drenaje. Guatemala, GT. Edit. Universitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala. 356 p.
13. Simmons, Ch.S.; Tárano T., J.M.; Pinto Z., J.H. 1959. Clasificación taxonómica de suelos de Guatemala. 1000 p. (En línea) gt. Consultado el 8 de feb. 2011. Disponible en: www.library.wur.nl/webQuery/insric.
14. Subirós Ruiz, F. (2000). Cultivo de la caña de azúcar. San Jose, C.R., Edit. Universidad Estatal a Distancia. 211 – 239 p.
15. Victoria, J; I. M.L. Guzmán, F. Angel. 1995. Enfermedades de la Caña de Azúcar en Colombia. En: C. Cassalett, J. Torres, C. Isaacs (eds). El cultivo de la Caña en la zona azucarera de Colombia. CENICAÑA. Cali, CO. p. 265- 293.

13. ANEXOS

INFORMACIÓN GENERAL SOBRE EL EQUIPO Y SU OPERACIÓN

Aspersores

Marca: _____ Modelo: _____ No. Boquillas: _____
 Tamaño de boquillas: _____ Caudal: _____ Presión: _____

Laterales

No. Laterales: _____ No. Aspersores/lateral: _____
 Espac. Entre aspersores: _____ Espac. Entre laterales: _____
 Altura de los aspersores: _____ Long. Lateral: _____
 Diámetro de lateral: _____

Principal

No. Válvulas o hidrantes: _____ Espac. Entre válvulas _____
 Longitud: _____ Diámetro: _____

Bomba

Marca: _____ Modelo: _____
 Capacidad: _____
 Carga: _____ Motor, tipo, modelo,
 marca: _____
 Potencia: _____ Fuente de
 energía: _____

Agua

Fuente de abastecimiento: _____
 Caudal disponible: _____

Observaciones: _____

Figura 11. Boleta de registro para la evaluación del riego, utilizando una cuadrícula del pluviómetro.

Fuente: Hernández (1992)

															
	1/8" 3,2 mm.		9/64" 3,6 mm.		5/32" 4,0 mm.		11/64" 4,4 mm.		3/16" 4,8 mm.		13/64" 5,2 mm.		7/32" 5,6 mm.		
PSI	GPH	Ø Ft.	GPH	Ø Ft.	GPH	Ø Ft.	GPH	Ø Ft.							
36	164	85	209	87	256	90	306	98	367	105	433	107	454	112	
44	180	85	227	87	277	92	335	100	399	105	473	110	496	115	
51	195	87	246	89	301	97	364	103	433	108	510	113	565	118	
58	209	87	264	92	322	97	388	107	462	112	544	116	59	121	
65	222	89	280	95	341	98	409	110	491	115	576	118	636	126	
73	232	90	296	97	359	100	433	112	517	118	605	123	665	130	
80	246	92	309	98	378	102	454	115	544	120	628	125	697	131	

Figura 13. Especificaciones técnicas para el aspersor VYR- 36

Fuente: Vyrsa

	3006 (Naranja)	4006 (Blanco)	5006 (Azul)	2014
Tamaños de Boquillas				
Mínimos	#8 1/8" (3.18 mm)	#10 5/32" (3.97 mm)	#13 13/64" (5.16 mm)	#7 7/64" (2.78 mm)
Máximos*	#9 9/64" (3.57 mm)	#12 3/16" (4.76 mm)	#18 9/32" (7.14 mm)	#7 7/64" (2.78 mm)
Caudales				
Mínimos	2.40 gpm (545 L/hr)	3.80 gpm (863 L/hr)	6.20 gpm (1408 L/hr)	1.69 gpm (384 L/hr)
Máximos	4.35 gpm (988 L/hr)	7.70 gpm (1749 L/hr)	16.00 gpm (3634 L/hr)	1.99 gpm (452 L/hr)
Diámetros				
Mínimos – Vena Roja	70 pies (21.3 m)	71 pies (21.6 m)	71 pies (21.6 m)	N/A
Máximos – Vena Roja	76 pies (23.2 m)	78 pies (23.8 m)	78 pies (23.8 m)	N/A
Mínimos – Vena Blanca	78 pies (23.8 m)	80 pies (24.4 m)	80 pies (24.4 m)	79 ft (24.1 m)
Máximos – Vena Blanca	87 pies (26.5 m)	93 pies (28.3 m)	93 pies (28.3 m)	81 ft (24.7 m)
Presión en la boquilla				
Mínimos	30 psi (2.07 bar)	30 psi (2.07 bar)	30 psi (2.07 bar)	25 psi (1.72 bar)
Máximos	60 psi (4.14 bar)	60 psi (4.14 bar)	60 psi (4.14 bar)	35 psi (2.41 bar)

Figura 14. Especificaciones técnicas para el aspersor Senninger.

Fuente: Senninger Irrigation Inc.

PARÁMETROS	ABREV.	FÓRMULA	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Unidades	Promedios
Lámina neta de riego	Ln	$((\%CC-\%PMP)/100)*Da*Zr*P$	41.04	41.04	41.04	41.04	mm	41.04
Intervalo mínimo entre riego	lr	Ln/Etc	8.55	6.84	6.84	6.84	días	7.27
Lámina bruta de riego	Lb	$(qa/Ea * El)*10*100*Tr$	54.20	60.27	59.00	49.65	mm	55.78
Lámina captada por pluviómetros	Lc	$\sum Lc i / N$	60.17	40.37	76.22	61.01	mm	59.45
Lámina mínima captada	Lcmin	25%Lc mínimos	42.97	27.82	67.72	48.38	mm	46.72
Uniformidad de aplicación	UA	$Lcmin/Lc * 100$	71.41	68.90	88.84	79.30	%	77.11
Coefficiente de uniformidad	Cu	$(1 - (\sum x / Lc * N)) * 100$	87.96	87.66	92.15	85.65	%	88.36
Eficiencia de aplicación	Efa	$Lcmin/Lb * 100$	79.28	89.24	88.09	83.79	%	85.10
Pérdidas de agua por transporte	Pa	$(Lb-Lc)/Lb * 100$	11.03	33.02	17.96	17.33	%	19.84
Intensidad de aplicación	la	$(qa/Área)*100$	0.49	0.55	0.59	0.50	cm/hr	0.53
Tiempo requerido por posición	Tr	Ln/lap	8.33	7.49	6.96	8.27	horas	7.76
Cambios de posición/día	NPLD	Horas al día / Tr	2.88	3.20	3.45	2.90	Cambio	3.11
Capacidad del sistema	CS	$qa * Aspersores/lateral$	244.77	272.22	293.10	246.64	m3/hr	264.18

Figura 15. Parámetros finales de la evaluación de riego por mini – aspersión de la finca El Minar.

Fuente: Elaborado por el autor 2014.

PARÁMETROS	ABREV.	FÓRMULA	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Unidades	Promedio
Lámina neta de riego	Ln	$((\%CC - \%PMP)/100) * Da * Zr * P$	47.92	47.92	47.92	47.92	47.92	47.92	mm	47.92
Intervalo mínimo entre riego	lr	Ln/Etc	9.98	9.98	9.98	9.98	9.98	9.98	días	9.98
Lámina bruta de riego	Lb	$(qa/Ea * El) * 10 * 100 * Tr$	43.97	40.75	41.19	35.76	35.22	34.19	mm	38.51
Lámina captada por pluviómetros	Lc	$\sum Lc i / N$	31.38	29.47	39.41	29.39	26.89	23.10	mm	29.94
Lámina mínima captada	Lcmin	25%Lc mínimos	25.90	26.20	31.19	24.67		20.72	mm	25.74
Uniformidad de aplicación	UA	$Lcmin/Lc * 100$	82.52	88.93	79.14	83.94	79.32	89.70	%	83.93
Coeficiente de uniformidad	Cu	$(1 - (\sum x / Lc * N)) * 100$	85.95	90.87	85.35	90.08	87.06	87.26	%	87.76
Eficiencia de aplicación	Efa	$Lcmin/Lb * 100$	58.89	64.31	75.72	68.99	60.56	60.60	%	64.84
Pérdidas de agua por transporte	Pa	$(Lb - Lc)/Lb * 100$	28.63	27.69	24.28	17.82	23.64	32.44	%	25.75
Intensidadde aplicación	la	$(qa / \text{Área}) * 100$	0.40	0.37	0.41	0.36	0.35	0.34	cm/hr	0.37
Tiempo requerido por posición	Tr	Ln/lap	10.42	11.69	11.69	13.40	13.61	14.05	horas	12.48
Cambios de posición/día	NPLD	Horas al día / Tr	2.30	2.05	2.05	1.79	1.76	1.71	Cambio	1.95
Capacidad del sistema	CS	$qa * \text{Aspersores/lateral}$	207.24	192.03	213.55	185.38	182.59	169.85	m3/hr	191.77

Figura 16. Parámetros finales de la evaluación de riego por mini – aspersión de la finca Santander.

Fuente: Elaborado por el autor 2014.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS FINCAS DE EVALUACIÓN DEL RIEGO MINI-ASPERSIÓN INGENIO TULULÁ.

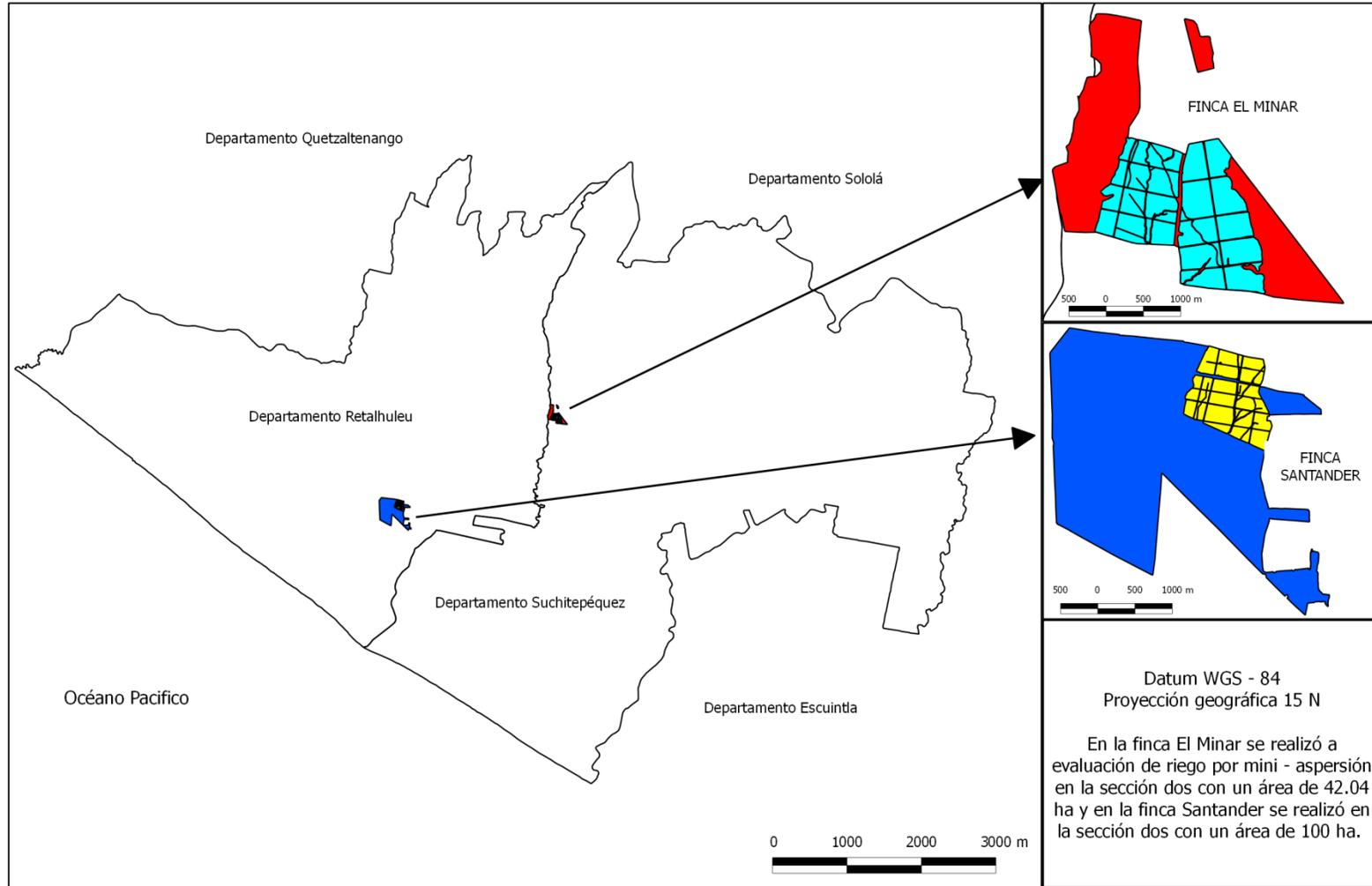


Figura 17. Ubicación geográfica de las fincas, donde se realizaron las evaluaciones del riego por mini – aspersión.

Fuente: autor 2015.

Mazatenango, 17 de Agosto de 2015.

Ph.D.:
Reynaldo Humberto Alarcón Noguera
Coordinador Carrera de Agronomía Tropical
Centro Universitario de Suroccidente.
Universidad de San Carlos de Guatemala.
Su despacho.

Ph.D. Reynaldo Humberto Alarcón Noguera:

Por medio de la presente me permito informar que procedí a revisar el documento: **“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”**; presentado por el estudiante Alexander Herrera Ramos, quien se identifica con carné 200740443 de la carrera de Agronomía Tropical, el que considero cumple con lo establecido en el reglamento de Trabajo de Graduación de la carrera de Agronomía Tropical.

Sin otro en particular me despido de usted, atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Agr. María Clarisa Rodríguez García.
Asesor



CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE
AGRONOMÍA TROPICAL
Mazatenango, Suchitepéquez, gt

Mazatenango, 17 de agosto de 2015.

Doctora:
Alba Ruth Maldonado de Chávez.
Directora Centro Universitario del Sur Occidente.
Universidad de San Carlos de Guatemala.
Su despacho.

Dra Alba Ruth Maldonado:

Por medio de la presente me permito informar que el estudiante Alexander Herrera Ramos, quien se identifica con carné 200740443 de la carrera de Agronomía Tropical, ha concluido su trabajo de graduación titulado: **“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”**; el cuál fue supervisado y revisado por el profesional: Ing. Agr. María Clarisa Rodríguez García, catedrática de la carrera de Agronomía Tropical.

Como coordinador de la carrera de Agronomía Tropical, hago constar que el estudiante Alexander Herrera Ramos, ha cumplido con el normativo del trabajo de graduación, razón por la que someto a consideración el documento, para que continúe con el trámite correspondiente.

Sin otro en particular me despido de usted, atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ph.D. Reynaldo Alarcón Noguera
Coordinador Carrera de Ingeniería en Agronomía Tropical

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario del Sur Occidente
AGRONOMÍA



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

CUNSUROC/USAC-I-28-2015

DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE, Mazatenango,
Suchitepéquez, 21 de julio de dos mil quince.-----

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes del asesor y revisor, SE
AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO:
"EVALUACIÓN EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR MINI-
ASPERSIÓN EN CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*), EN LAS FINCAS
EL MIÑAR Y SANTANDER, DEL INGENIO TULULÁ, S.A., SAN SANDRÉS
VILLA SECA, RETALHULEU", del estudiante: T.P.A. Alexander Herrera Ramos,
carné 200740443 de la carrera Ingeniería en Agronomía Tropical.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



DRA. ALBA RUTH MALDONADO DE LEÓN
DIRECTORA

/gris

