

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR-OCCIDENTE**

INGENIERÍA EN AGRONOMÍA TROPICAL



EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN *L. Poaceae*“CAÑA DE AZÚCAR” EN FINCA TULULÁ, SAN ANDRÉS VILLA SECA, RETALHULEU.

JUAN LUIS AJANEL AJCOT

CARNÉ: 200640912

MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ

Agosto 2012.

Universidad de San Carlos de Guatemala

Centro Universitario del Suroccidente

Dr. Carlos Estuardo Gálvez Barrios

Rector

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

Secretario General

Miembros del Consejo Directivo del Centro Universitario de Suroccidente

Lic. José Alberto Chuga Escobar

Presidente

Representantes Docentes

MSc. Alba Ruth Maldonado de León

Secretaria

Ing. Agr. Luis Alfredo Tobar Piril

Vocal

Representante graduados del CUNSUROC

Licda. Mildred Gricelda Hidalgo Mazariegos

Vocal

Representantes Estudiantiles

Br. Cristian Ernesto Castillo Sandoval

Vocal

PEM Carlos Enrique Jalel de los Santos

Vocal

COORDINACIÓN ACADÉMICA

Coordinador Académico

MSc. Luis Gregorio San Juan Estrada

Coordinador Carrera Administración de Empresas

MSc. Rafael Armando Fonseca Ralda

Coordinador Área Social Humanista

Lic. José Felipe Martínez Domínguez

Coordinador Carrera Trabajo Social

Dr. Ralfi Obdulio Pappa Santos

Coordinador de las Carreras de Pedagogía

MSc. Nery Edgar Saquimux Canastuj

Coordinador Carrera Ingeniería en Alimentos

MSc. Gladys Floriselda Calderón Castilla

Coordinador Carrera Agronomía Tropical

MSc. Martín Salvador Sánchez Cruz

Encargado Carrera Ciencias Jurídicas y Sociales, Abogado y Notario

Lic. Eduardo Arturo Escobar Rubio

Encargado Carrera Gestión Ambiental Local

MSc. Celso Morales González

CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA DEL CUSUROC

Coordinador de las carreras de Pedagogía

Lic. Everardo Napoleón Rodas Ochoa

**Encargada Carrera Técnico Periodista Profesional y Licenciatura en Ciencias de
la Comunicación**

MSc. Paola Marisol Rabanales



Mazatenango, Julio 17 de 2011.

Ing. Agr. MsC. Martín Salvador Sánchez Cruz

Coordinador académico

Carrera de Agronomía Tropical

CUNSUROC-USAC

Respetable señor coordinador, por este medio yo Juan Luis Ajanel Ajcot, con carné número: 200640912, habiendo cumplido con los requisitos para la culminación del Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía Tropical 2011, **SOLICITO:** El inicio del proceso de acto de graduación, que en común acuerdo con el ingeniero agrónomo Carlos Antonio Barrera (Supervisor), proponemos la investigación inferencial titulada: **EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN *L. Poaceae*“CAÑA DE AZÚCAR” EN FINCA TULULÁ, SAN ANDRÉS VILLA SECA, RETALHULEU,** como documento para el trabajo de graduación. Dicho documento fue realizado durante el período de EPS, en los meses de febrero a julio de 2011, en el Ingenio Tzululá S.A.

Sin otro particular, me suscribo de usted, agradeciendo de antemano la atención prestada hacia esta solicitud.

Atentamente:

Juan Luis Ajanel Ajcot.

Carné 200640912

ACTO QUE DEDICO.

A:

DIOS: Mi amigo fiel por estar conmigo en todo momento y brindarme su apoyo incondicional durante toda mi vida, cuidándome y enseñándome el camino correcto a seguir para estar a estas alturas.

MIS PADRES: Felipe Ajanel y Josefa Ajcot, las mejores personas que conozco, por su apoyo moral y económico en los momentos más difíciles de toda mi vida académica.

MIS ABUELOS: Juan Ajanel y María Luisa por sus sabios consejos y por sus oraciones constantes, que han hecho de mi vida una fuente llena de bendición.

MIS HERMANOS: Dennis y Betzy, por su cariño, amistad y apoyo mostrado.

MI FAMILIA EN GENERAL: En especial a mi tíos Mario y Angélica, por su aprecio hacia mi persona y por sus consejos

MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS: Con mucho aprecio a todas aquellas personas que confiaron en mí y que nunca dejaron de apoyarme para alcanzar mis metas y objetivos

MIS DOCENTES: Por su esfuerzo incesante en la formación de mi persona como profesional.

AGRADECIMIENTO.

A: Dios primeramente, por su divina gracia mostrada en mi vida a pesar de no merecer sus bendiciones, gracias a Él todo esto es posible.

Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía y Centro Universitario del Sur Occidente (CUNSUROC).

A toda mi familia por mantenerme en sus oraciones y la disposición mostrada para apoyarme en todos mis proyectos de vida.

Ing. Agr. Carlos Antonio Barrera Arenales, por su amistad, consejos y apoyo mostrado no solo en el EPS, sino en toda la carrera de Agronomía Tropical.

A todas las personas que directa o indirectamente me apoyaron para culminar mi etapa universitaria, en especial a la Licda. Magda Martínez.

Docentes de la carrera de Agronomía del CUNSUROC, por haber realizado su máximo esfuerzo de enseñanza para la formación de estos profesionales.

Ingenio Tululá, por permitirme realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) y abrirme las puertas como institución privada para desarrollar mis capacidades profesionales y comenzar una nueva etapa de mi vida.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
.....	i
.....	1
..... DE	3
.....	3
.1 <i>Saccharum officinarum</i> L. Poaceae “caña de azúcar”	3
.2 El riego por	8
.3 Evaluación de un sistema de riego por	13
.4 Eficiencias del riego.	16
.....	19
.1 Localización.	19
.2 Ubicación geográfica.....	19
.3 Vías de acceso.....	19
.4 Zona de vida.	19
.5 Recursos Hidrológicos.	20
.6 Ubicación y extensión del área de estudio.....	20
.7 Climatología.	23
.8 Información edafológica.	24
.9 Información del cultivo.....	25
.10 Coeficientes del cultivo.....	25
.11 Demanda climática del cultivo.....	26
.....	28
.1. :	28
.2. :	28
.....	29
Y	30
utilizados.....	30
.....	31

.2.	los parámetros de operación de los sistemas de riego por aspersión, en las secciones evaluadas de finca Tululá.	31
.2.	el funcionamiento del equipo de riego por aspersión en la sección 8 y 14 de la finca Tululá.	33
.2.	la eficiencia de aplicación, almacenamiento y distribución de los sistemas de riego por aspersión en la sección 8 y 14 de la finca Tululá.	39
.2.	la eficiencia agronómica en cada uno de los sistemas de riego por aspersión evaluados en la sección 8 y 14 de la finca Tululá.	40
Y		41
.	los parámetros de operación de los sistemas de riego por aspersión, en las secciones evaluadas de finca Tululá.	41
.1.	de infiltración	41
.1.	netas de	41
.1.		41
.1.	de	42
.	el funcionamiento del equipo de riego por aspersión en la sección 8 y 14 de la finca Tululá.	43
.2.	de	44
.2.	general del sistema de	44
.2.	de	45
.2.	de caudal y presión de	46
.2.		48
.2.	de	49
.	la eficiencia de aplicación, almacenamiento y distribución de los sistemas de riego por aspersión en la sección 8 y 14 de la finca Tululá.	52
.	la eficiencia agronómica en cada uno de los sistemas de riego por aspersión evaluados en la sección 8 y 14 de la finca Tululá.	57
.		61
.		63
.		65
.		67

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Página
1. Eficiencias adecuadas de alcanzar con diferentes métodos de riego, en una situación óptima de diseño y operación.	17
2. Datos climatológicos en promedios mensuales para la finca Tululá, del ingenio Tululá S.A., San Andrés Villa Seca Retalhuleu.	23
3. Constantes de humedad y densidad aparente para cada estrato, en las unidades de suelo C y E en finca Tululá, ingenio Tululá S.A.	24
4. Valores de Kc según etapa fenológica y tipo de suelo, de toda la zona cañera de la costa sur de Guatemala.	26
5. Valores de evapotranspiración potencial (ET _o) promedio (mm) según etapas fenológicas, estratos altitudinales y tercios de zafra para las condiciones de la zona cañera guatemalteca.	27
6. Fechas de siembra del cultivo de caña de azúcar y fechas de las pruebas de campo para la determinación de eficiencias en los módulos de riego evaluados en la finca Tululá.	43
7. Información general del sistema de riego por aspersión utilizado en la sección 14 de la finca Tululá.	45
8. Especificaciones del equipo de bombeo utilizado en la la finca Tululá.	secciones de 46

9. Caudal y presión de operación de los aspersores evaluados en la sección 8 de finca Tululá.	47
10. Datos de caudal y presión de aspersores evaluados en los ensayos, establecidos en la sección 14 de la finca Tululá.	47
11. Parámetros de operación de los sistemas de riego por aspersión, en las secciones evaluadas de finca Tululá.	50
12. Eficiencias de riego determinadas en el equipo de aspersión, sección ocho finca Tululá.	52
13. Eficiencias de riego determinadas en los ensayos de la sección 14 de la finca Tululá, ingenio Tululá, San Andrés Villa Seca Retalhuleu.	53
14. Determinación de la eficiencia agronómica para las unidades de riego, evaluadas en la sección ocho y 14 de la finca Tululá.	57
15. Eficiencias posibles de alcanzar con diferentes métodos de riego, en una situación óptima de diseño y operación.	58
16. Boleta de registro para la evaluación del riego por aspersión, utilizando una cuadrícula de pluviómetros.	68
17. Boleta de registro para la tabulación de volúmenes recogidos en los pluviómetros instalados en la cuadrícula.	69
18. Especificaciones técnicas para el aspersor Nelson F100, utilizado en las unidades de riego evaluadas en finca Tululá	70

19. Análisis de información recopilada en el lote 12 y 21 de la sección ocho, finca Tululá.	71
20. Análisis de información recopilada en la sección 14 de la finca Tululá	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
1. Etapas fenológicas de la caña de azúcar en condiciones de la zona cañera de Guatemala.	4
2. Localización del módulo de riego en sección 8, finca Tululá.	21
3. Localización de la unidad de riego 6354 en la sección 14, finca Tululá	22
4. Distribución espacial de los pluviómetros colocados en campo	34
5. Traslape entre los aspersores evaluados en las unidades de riego en la sección ocho y 14 de la finca Tululá.	56
6. Localización del ingenio Tululá en una hoja cartográfica de Mazatenango, Suchitepéquez	67

RESUMEN

En la finca Tululá se determinaron las eficiencias con las que operan los equipos o módulos de riego por aspersión, planteándose así para este documento el objetivo general: “Evaluar el sistema de riego por aspersión en ***Saccharum officinarum L. Poaceae*** “caña de azúcar”, en finca Tululá, San Andrés Villa Seca Retalhuleu. Las evaluaciones fueron realizadas en áreas de renovación del cultivo de caña de azúcar, en donde se utilizaron aspersores de cañón tipo “Nelson F-100”.

En la fase de campo se desarrollaron actividades para obtener información primaria del funcionamiento del equipo. Una de las pruebas fue la determinación de la infiltración básica, utilizando el método del doble cilindro, este dato fue comparado con la intensidad de aplicación determinado en los módulos de riego, esto para verificar si el suelo tiene la capacidad de infiltrar el agua aplicada con los aspersores.

Se establecieron ensayos con pluviómetros colocados en forma de cuadrícula a cada nueve metros, en una franja de 45 metros de ancho sobre la línea lateral de aspersores, con el fin de calcular la lámina media aplicada por el equipo, este ensayo tuvo una duración igual al tiempo de riego utilizado normalmente en las unidades evaluadas. En el transcurso de estos ensayos, se determinaron las presiones de operación en la salida de cada uno de los aspersores de la tubería lateral evaluada y el caudal de salida; en caso de la unidad ubicada en la sección ocho, los aspersores operaban con una presión de salida de 30 psi (2.11 kg/) y un caudal de 33.29 /h (9.25 l/s); mientras que en la sección 14 la presión de salida de los aspersores fue de 33 psi (2.33 kg/) y un caudal de 39.51 /h (10.97 l/s). Estos datos recopilados fueron analizados y se determinó que operaban por debajo de las condiciones establecidas para su operación: presión de 50 psi (3.52 kg/) y caudal de 42.8 /h (11.9 l/s).

En gabinete se analizó toda la información de campo y se determinaron parámetros como lámina neta, lámina captada, intervalos de riego, intensidad de aplicación, entre otros. En la sección ocho se determinó que la lámina neta de riego necesaria para llevar a capacidad de campo la zona radicular es de 42.26 mm de agua, con los pluviómetros se captó una lámina de 36.48 mm; en la sección 14 la lámina neta necesaria de riego fue de 45.41 mm y la lámina captada por los pluviómetros es de 41.47 mm.

También se calcularon las eficiencias de riego en cada una de las secciones evaluadas: en la sección ocho de finca Tululá, se determinó que existe una eficiencia de aplicación de 50.05%, la eficiencia de almacenamiento es de 46.24% y la eficiencia de distribución fue de 68.56%. En la sección 14 se determinó que la eficiencia de aplicación en este caso es de 36.79%, la eficiencia de almacenamiento fue de 47.62% y la eficiencia de distribución de 66.96%.

En base a las eficiencias 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 mencionadas anteriormente. En la sección ocho se estableció que la eficiencia agronómica fue de 0.16; mientras tanto en la sección 14 la eficiencia agronómica fue de 0.17. Estas eficiencias agronómicas son muy bajas comparadas con los umbrales que propone Gurovich (1985), en donde la Efa adecuada para el riego por aspersión es de 0.76.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso vital para el desarrollo de los seres vivos, ya que es necesario para la sobrevivencia. Es por eso que en los cultivos agrícolas se ha implementado la práctica del riego, que no es más que el suministro de agua en forma artificial a los cultivos. Se tienen registros a través de la historia que desde hace 5,000 años la especie humana llevaba a cabo las prácticas del riego (Cárdenas 1996).

Durante varias generaciones han realizado varias prácticas y métodos de riego, pasando desde metodologías de riego por superficie (gravedad en surcos, inundación, melgas, entre otros) hasta llegar a diseñar métodos de riego localizados (micro-aspersión y goteo). Los métodos localizados han desarrollado una tecnología que persigue mejorar las eficiencias de aplicación del agua a los cultivos, mejorar el aprovechamiento y la más importante es la optimización del recurso agua, que en estos tiempo es escaso y altamente demandado.

Con las ventajas que ofrece el sistema de riego por aspersión, en la industria azucarera se ha convertido en uno de los métodos principales para el riego del cultivo ***S. officinarum*** L. Poaceae; y este sistema se ha implementado desde los años 80' en las fincas del ingenio Tululá S.A.

Esperando que este sistema de riego sea uno de los más eficientes, es necesario realizar evaluaciones periódicas que permitan diagnosticar el estado actual de los equipos, así como la determinación de las eficiencias de trabajo con la cual operan todas las unidades de riego. El presente trabajo lleva como objetivo principal la evaluación del sistema de riego por aspersión en dos secciones de la finca Tululá, Ingenio Tululá S.A.

En este trabajo se detalla la información básica necesaria para el diseño y la evaluación de cada módulo de riego, en condiciones de suelo-agua-planta diferentes. Así mismo se detalla una serie de parámetros evaluados en campo y la información técnica

recolectada, que luego fue procesado para determinar las condiciones de trabajo del equipo de riego evaluado. Se determinaron eficiencias de aplicación, almacenaje y distribución; pero sobre todo se estima la eficiencia agronómica con la cual está trabajando cada unidad de riego evaluada.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1 Saccharum officinarum L. Poaceae “caña de azúcar”.

La caña de azúcar constituye el cultivo 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 subtrópicos, 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 a 150 t/ha de caña y de 3,5 a 15 t/ha de azúcar (Romero, 2009).

1.1.1 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 ***S. officinarum***.

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)

1.1.2 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.

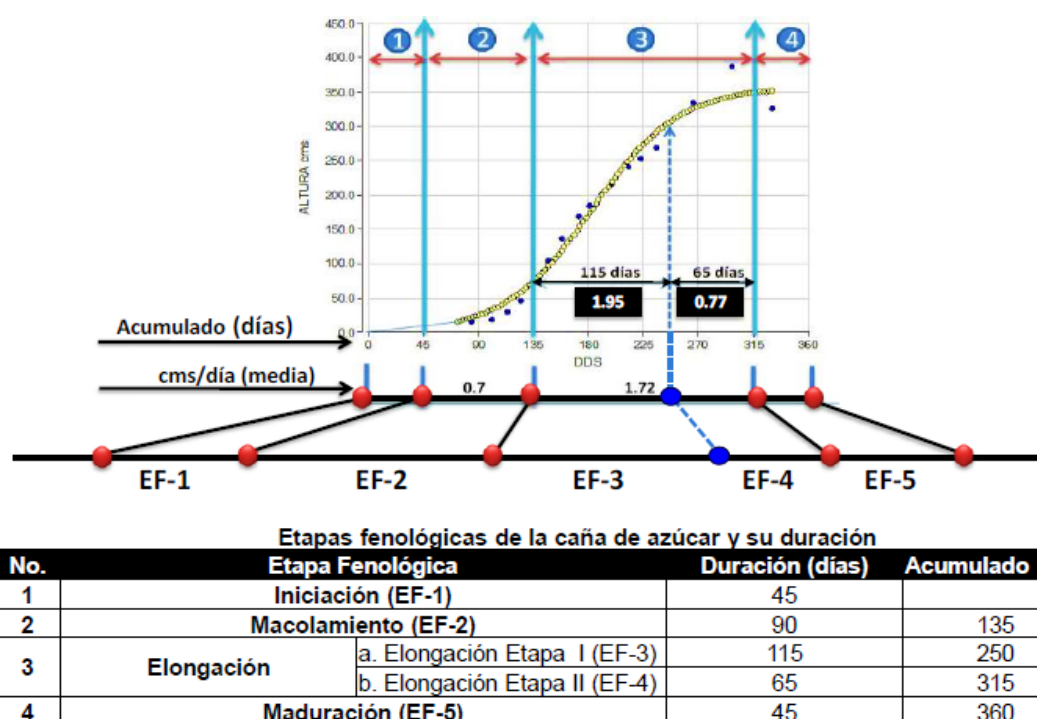


Figura 1: Etapas fenológicas de la caña de azúcar en condiciones de la zona cañera de Guatemala.

Fuente: Castro (2011).

Según Castro (2011), en la Figura 1, 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 tercio uno de zafra, luego en el tercio tres para los estratos muy bajo y litoral. Dada a 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 que una condición de baja humedad en el suelo, la población por metro lineal se reduce significativamente.

1.1.3 Requerimientos Ambientales

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

Suelos: crece satisfactoriamente en una gran variedad de tipos de suelos, pero los 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 a 5 y mayores a 8, la acidez del suelo y los problemas de alcalinidad y salinidad, se convierten en factores limitantes de la producción. Requiere además, suelos provistos de suficientes cantidades de nutrimentos o de buena fertilidad ya que es un cultivo que extrae grandes cantidades de nitrógeno, potasio y silicio (Romero, 2009).

Las condiciones ideales para el crecimiento de este cultivo serían las que cuenten con períodos de temperaturas elevadas y sostenidas durante el lapso más prolongado posible y con lluvias que satisfagan su evapotranspiración.

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 diferencias varietales, y también están en función de la disponibilidad hídrica (Romero, 2009)

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 entre 45-50°C, pero provocan retrasos en el crecimiento (Romero, 2009).

Indudablemente la duración del período con condiciones térmicas adecuadas influye significativamente en la capacidad productiva del cañaveral, si bien la selección de variedades adaptadas y un manejo adecuado a regiones agroecológicas definidas pueden reducir en cierta medida la desventaja de las zonas cañeras subtropicales (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 radiación lumínica se asocian con incrementos en la producción cultural y de azúcar por unidad de superficie, ya que este cultivo ha evidenciado ser de las especies más eficientes 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 requerimientos 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. El consumo varía en cada fase de crecimiento, presentando el máximo requerimiento durante el período de elongación (diciembre-marzo). Cuando la humedad edáfica en las capas superficiales 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 deficiencias hídricas crecientes (Romero, 2009). Para Doorenbos y Kassam (1988), es importante contar con una humedad adecuada durante todo el período vegetativo para obtener rendimientos máximos, incluyendo el crecimiento de la caña, es directamente proporcional al agua transpirada.

La frecuencia y profundidad del riego debe variar con los períodos de desarrollo de la caña. Durante el período de establecimiento (germinación y pegue de plántulas), son preferibles unas aplicaciones de riego ligeras y frecuentes. Durante el período vegetativo inicial la producción de renuevos está en proporción directa con la frecuencia del riego. Una producción temprana de renuevos es ideal, porque esto proporciona brotes de la misma edad aproximadamente. Mientras tanto en la fase de elongación del tallo y el período inicial de la formación de cosecha, puede ampliarse el intervalo de riego, pero debe aumentarse la profundidad de agua. La reacción de *S. officinarum* ante el riego es mayor durante el período vegetativo y el comienzo de formación de cosecha que durante la última parte de la formación de cosecha, cuando la superficie foliar activa está disminuyendo y el cultivo tiene menor capacidad para reaccionar a la luz solar. Durante el período de maduración, los intervalos de riego se amplían o se detiene el riego, cuando es necesario para hacer que la cosecha madure se reduce el ritmo de crecimiento vegetativo, deshidratando la caña y forzando a la sucrosa recuperable. Con la paralización del crecimiento vegetativo, aumenta también la relación entre la materia seca almacenada como sucrosa y la utilizada para nuevo desarrollo. Durante el período de formación de la cosecha un riego frecuente tiene un efecto acelerador sobre la

floración, lo que se traduce en una reducción de la producción del azúcar. (Doorenbos y Kassam, 1988)

De acuerdo a Doorenbos y Kassanm, el efecto del suministro sobre el rendimiento se cuantifica mediante el factor del efecto sobre el rendimiento (ky), que relaciona la disminución del rendimiento relativo ($1-Ya/Ym$) con el déficit de evapotranspiración relativa ($1-Eta/Etm$). Un déficit de agua de una magnitud determinada, expresado como relación entre la evapotranspiración real (Eta) y la evapotranspiración máxima (Etm), puede tener lugar ya sea de una manera continua durante todo el período vegetativo del cultivo o puede producirse durante cualquiera de los distintos períodos de desarrollo. La magnitud del primer déficit de agua en relación con las necesidades de agua se refiere en el primer caso al 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.

Doorenbos y Kasam (1998), explican que la aplicación del factor “ Ky ” para la planificación, diseño y operación de proyectos de riego, permite la cuantificación del suministro de agua y de la utilización del agua en términos de rendimiento del cultivo y de producción total para superficie del proyecto. En condiciones de agua limitada, distribuida por igual durante toda la estación vegetativa, incluyendo cultivos con distinto valor ky , el cultivo con mayor ky sufrirá mayor pérdida de este factor. Pueden cuantificarse tanto las perdidas probables de rendimiento como los ajustes necesarios en el suministro de agua para reducir al mínimo tales pérdidas.

1.2 El 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.

1.2.1 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 mucho 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.

1.2.2 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:

- 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.

1.2.3 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%.

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 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.

1.3.1 ¿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. 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.
- 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 de utilización o agronómica (EU)

Gurovich (1985) define una eficiencia que se denomina eficiencia de utilización o eficiencia agronómica (EU) y que es la que resultado de la interacción de las eficiencias de aplicación, almacenamiento y distribución.

$$EU = E_{ap} * E_{al} * E_d$$

Dónde: E_{ap} : Eficiencia de aplicación
 E_{al} : Eficiencia de almacenamiento
 E_d : 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 (E_{ap}), el correcto humedecimiento de toda la zona de raíces (E_{al}) y la uniformidad con que el agua fue aplicada en toda la parcela (E_d) (Gurovich, 1985).

En el siguiente cuadro se muestran las eficiencias posibles de alcanzar con diferentes métodos de riego, en una situación óptima de diseño y operación.

Cuadro 1: 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). Fundamentos de Sistemas de Riego IICA

1.4.2 Eficiencia de aplicación (Eap)

De acuerdo a Sandoval (sf), 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 una 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 ésta representa la habilidad con que se riega de manera precisa y sin desperdicios.

1.4.3 Eficiencia de almacenamiento (Eal)

Sandoval (sf), 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:

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

Dónde: Eal: Eficiencia de almacenamiento

Aa: Agua almacenada en la zona principal de raíces (o cm)

An: Agua necesaria para llevar la zona principal de raíces a CC (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 capacidad de campo (CC).

Una Eal menor de 100% indica que la humedad en toda la zona principal de raíces no llegó a capacidad de campo, o sea que se aplicó una lámina de riego menor que la necesaria. En este caso no existe pérdida por percolación profunda y suponiendo que se esté regando por aspersión, bordos o cuadros en los que no hay escurrimiento, entonces la eficiencia de aplicación es 100% porque no hubo desperdicio de agua; sin embargo, el riego fue mal aplicado porque no se llevó a CC la zona radicular principal y el cultivo puede sufrir por déficit de agua (Sandoval, 2000).

1.4.4 Eficiencia de distribución (Ed)

Según Sandoval (sf), 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 todo en 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 profundidad alcanzado por el agua en un perfil durante el riego y desviación de producto para un número de puntos específicos de muestreo.

$$Ed = 100 (1-(y/d))$$

Dónde: Ed. Eficiencia de distribución (%)

D: promedio de la lámina aplicada o almacenada en el suelo (cm)

Y: promedio de los valores absolutos de las desviaciones del agua aplicada o almacenada con respecto a “d” en cm.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Localización.

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

2.2 Ubicación geográfica.

De acuerdo a las coordenadas geográficas la finca Tululá se ubican entre las coordenadas: .93" a .92" longitud oeste; .48" a .92" latitud norte. Se encuentra a una altitud de 220 metros sobre el nivel del mar.

2.3 Vías de acceso.

Desde la ciudad de Guatemala siguiendo la carretera internacional hacia el pacífico CA-2 se llega al kilómetro 168 jurisdicción de Cuyotenango, Suchitepéquez. Seguidamente se transitan 4.5 kilómetros por la carretera hacia el parcelamiento La Máquina; y por último se toma un desvío de medio kilómetro para llegar al ingenio.

2.4 Zona de vida.

De acuerdo a Holdridge (1982), el ingenio se encuentra dentro de la zona de vida Bosque Muy Húmedo Subtropical Cálido. Presentando las siguientes características para 1995.

Precipitación pluvial media anual:	2383.48 mm
Temperatura máxima:	32.6
Temperatura media:	26.1
Temperatura mínima:	23.3

2.5 Recursos Hidrológicos.

Según los registros del departamento de planeación y control (PYC) del ingenio Tululá, el promedio anual de precipitación en todas las fincas es de 2,088 mm.

El sistema de riego existente en todas las fincas del ingenio es abastecido principalmente por fuentes de agua provenientes del río Samalá, río Sis, río Oc, río Ican, entre otros.

Del río Ican se deriva un caudal de agua utilizado para el riego de varias secciones de caña de azúcar en la finca Tululá.

2.6 Ubicación y extensión del área de estudio.

Las unidades de riego evaluadas se encuentran ubicadas en la sección ocho y 14 de la finca Tululá, a continuación se presenta un mapa elaborado a través de un levantamiento con ortofotos.

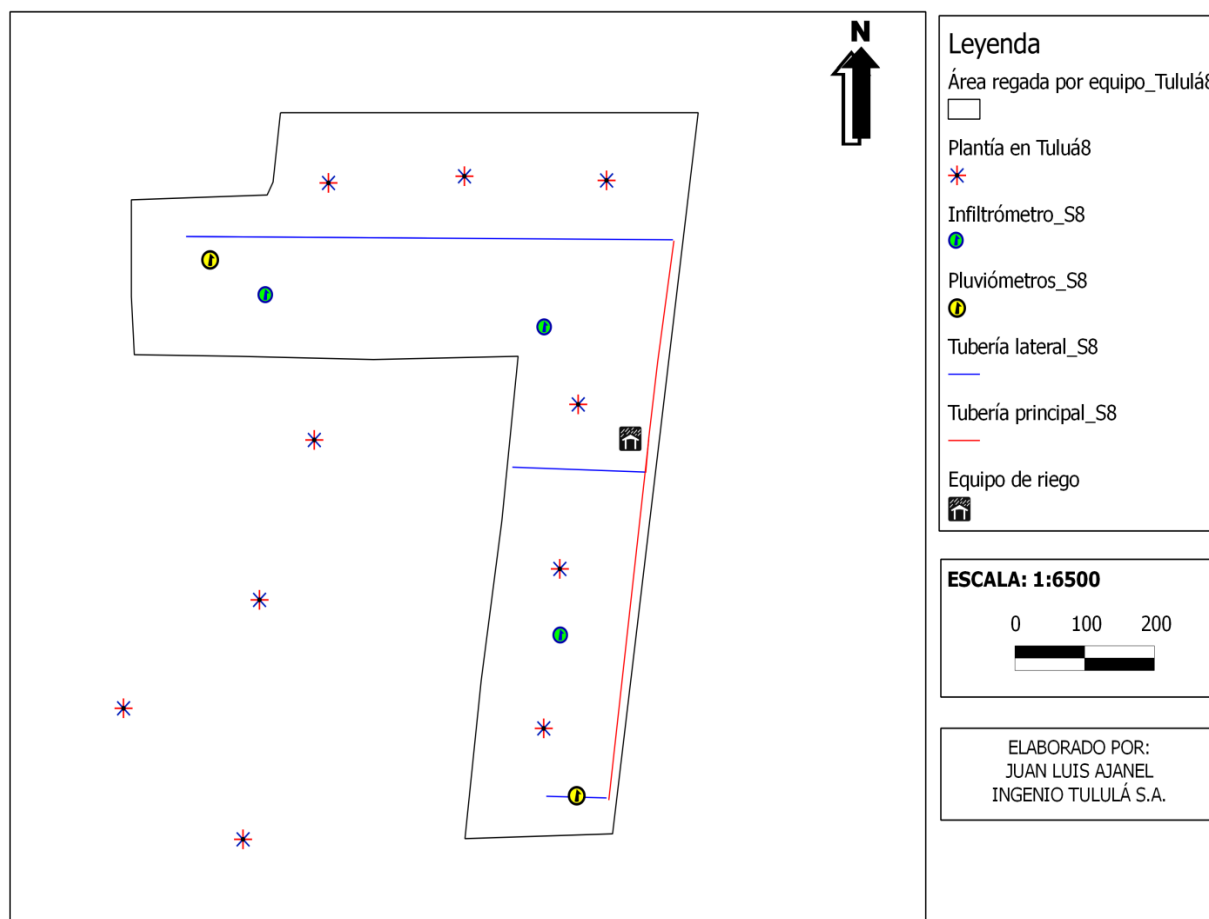


Figura 2: Localización del módulo de riego en sección 8, finca Tululá.

En la figura dos se presenta el mapa del área regada por el módulo de riego, instalado en la finca Tululá sección ocho; cabe denotar que ésta es un área con caña plantía de la variedad MEX 69-290. El equipo de bombeo utilizado posee el código 62113, asignado de manera interna en el ingenio.

Este equipo regó un área total de 61.78 hectáreas, realizando alrededor de dos riegos en cada lote de caña plantía y sobre ésta área remarcada se establecieron los respectivos ensayos de evaluación.

Así mismo se presenta el plano de ubicación de la unidad de riego evaluada en la sección 14 de la finca Tululá.

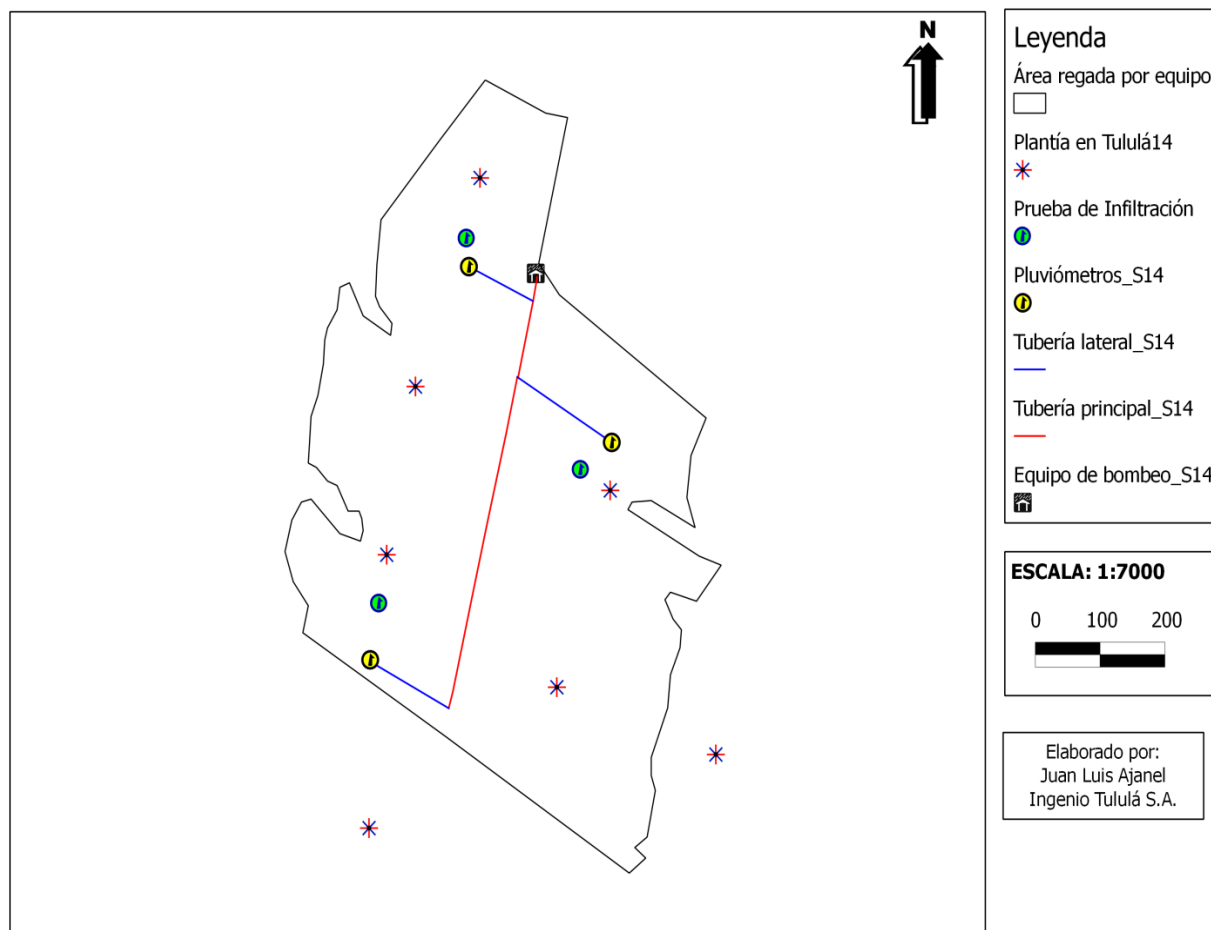


Figura 3: Localización de la unidad de riego 6354 en la sección 14, finca Tululá

Así como se puede notar en la figura tres se presenta el área regada con el equipo 6354; según los reportes, esta unidad de riego cubrió un área de 41.02 hectáreas logrando realizar dos riegos en cada lote de esta sección.

Esta sección fue sembrada con caña de tipo plantía variedad MEX 79-431 y en éstos lotes se establecieron los puntos de evaluación de eficiencias del sistema de riego por aspersion con cañones; estos puntos de evaluación se pueden identificar en la figura tres con el nombre de pluviómetros.

2.7 Climatología.

Para presentar los parámetros ambientales que afectan a la finca Tululá, se recopiló información de la estación meteorológica instalada por CENGICANA en el ingenio, y se presentan datos desde noviembre de 2010 a septiembre de 2011.

Cuadro 2: Datos climatológicos en promedios mensuales para la finca Tululá, del Ingenio Tululá S.A. San Andrés Villa Seca Retalhuleu.

Mes	Temperatura			Radiación Solar (wt/)	Humedad Relativa (%)	Velocidad de Viento (km/h)	Precipitación media (mm)
	Promedio	Mínima	Máxima				
Noviembre	24.91	16.30	30.30	911.30	83.49	4.87	0.00
Diciembre	24.12	16.20	32.90	583348.00	76.12	5.88	0.00
Enero	25.22	18.10	33.70	585799.60	71.63	6.21	8.90
Febrero	25.37	18.60	34.40	564828.80	71.95	6.34	58.00
Marzo	25.29	17.70	35.10	647183.50	75.74	5.91	81.09
Abril	25.79	20.00	33.60	636197.10	81.15	5.45	143.25
Mayo	26.17	19.50	34.00	625210.70	85.58	5.35	465.15
Junio	25.59	20.40	34.20	555001.50	88.13	5.02	428.05
Julio	25.29	19.90	33.90	603788.80	88.66	4.96	564.03
Agosto	25.46	20.10	33.50	576475.10	88.78	4.98	415.13
Septiembre	26.19	21.30	33.10	34650.20	86.16	3.74	924.90

Fuente: Departamento de planeación y control, Ingenio Tululá (2011).

El cuadro dos muestra datos obtenidos de una estación meteorológica (estación Tululá, Ingenio Tululá S.A.), la cual transmite datos desde noviembre del 2010, proporcionándonos así valores de temperatura, radiación solar, humedad relativa y velocidad de viento. Mientras tanto la precipitación mensual se obtuvo de los pluviómetros colocados estratégicamente en toda la finca Tululá.

2.8 Información edafológica.

Según la clasificación propuesta por Simmnos (1959), los suelos de la finca Tululá pertenecen a la serie Cuyotenango, presentando una profundidad teórica que va de 0.8 a 0.9 metros, son moderadamente drenados, desarrollados sobre depósitos viejos de ceniza volcánica en un clima húmedo seco.

Según la información recabada en el departamento de planeación y control, se encontró una clasificación de suelos por unidad en las fincas del Ingenio Tululá, presentada por el departamento de riegos y drenajes en el 2007. A continuación se presentan los cuadros de información edafológica de cada unidad de suelo en cada ensayo.

Cuadro 3: Constantes de humedad y densidad aparente para cada estrato, en las unidades de suelo C y E en finca Tululá, ingenio Tululá S.A.

Estrato(cm)	CC %	PMP %	Dap (g/cc)	Textura
Unidad C (Sección 14)				
0-24.40	32.40	20.60	1.07	Arcilloso
24.41-100	36.44	24.95	1.09	Arcilloso
Unidad E (Sección 8)				
0-100	31.59	20.76	1.08	Franco Arcilloso

Fuente: Departamento de riegos y drenajes, (2007).

En el cuadro tres se observa que la unidad de suelo C, corresponde a las áreas de la sección 14, en donde existen dos estratos de suelo bien diferenciados, sin embargo la textura arcillosa se mantiene en ambos estratos.

También se observa que la sección 8 posee suelos que corresponden a la unidad E, que a diferencia de la unidad C, ésta presenta un solo estrato que va de 0-100 cm, la textura de este suelo es un franco arcilloso.

Los datos de constantes de humedad y densidad aparente, son necesarios debido a que, para evaluar los módulos de riego en cada una de las secciones, será necesario

calcular la lámina neta de riego y ésta relaciona datos de capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y densidad aparente (Dap).

2.9 Información del cultivo.

En las secciones donde se realizaron los ensayos la caña de azúcar estaba en un estado de germinación, ya que las siembras fueron realizadas en los meses de marzo y abril. Los lotes de la sección 8 están plantados con caña de la variedad MEX 69-290, mientras que los lotes de la sección 14 poseen caña de la variedad MEX 79-431.

Según la información anterior se concluye que al momento de realizar la evaluación, el cultivo se encontraba en la etapa fenológica de Iniciación (EF-1).

2.10 Coeficientes del cultivo.

Este coeficiente es un indicador del cultivo de la caña de azúcar que muestra las tendencias de las necesidades de agua en todas las etapas fenológicas de la caña de azúcar.

Es por ello que de acuerdo a Castro (2011), se propone una clasificación de coeficientes de cultivo.

Cuadro 4: Valores de Kc según etapa fenológica y tipo de suelo, de toda la zona cañera de la costa sur de Guatemala.

TEXTURA	ETAPAS FENOLÓGICAS (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 Franco Arcillosos Arcillosos Arena franca Arena	0.3	0.6	0.9	1
Franco limosos Franco arcillo-limoso Francos	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 cuatro 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.

Al considerar que los suelos de las secciones evaluadas son arcillosos y franco-arcillosos, y que el cultivo estaba en la etapa de Iniciación, entonces se determina que el coeficiente de cultivo (Kc) a utilizarse en los cálculos es de 0.3.

2.11 Demanda climática del cultivo.

Según Castro (2011), la demanda climática 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 ETo son los parámetros climáticos.

Para describir de mejor manera lo anterior, en el siguiente cuadro se propone una serie de valores de Eto estimados a través del modelo de Penman-Monteith.

Cuadro 5: Valores de evapotranspiración potencial (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).

III. OBJETIVOS

4.1. General:

- Evaluar el sistema de riego por aspersión en ***Saccharum officinarum L. Poaceae*** “Caña de azúcar” en finca Tululá, San Andrés Villa Seca, Retalhuleu.

4.2. Específicos:

- Determinar los parámetros de operación de los sistemas de riego por aspersión, en las secciones evaluadas de finca Tululá.
- Caracterizar el funcionamiento del equipo de riego por aspersión en la sección 8 y 14 de la finca Tululá.
- Calcular la eficiencia de aplicación, almacenamiento y distribución de los sistemas de riego por aspersión en la sección 8 y 14 de la finca Tululá.
- Determinar la eficiencia agronómica en cada uno de los sistemas de riego por aspersión evaluados en la sección 8 y 14 de la finca Tululá.

IV. HIPÓTESIS

Hipótesis de trabajo:

El sistema de riego por aspersión utilizado para ***Saccharum officinarum* L. Poaceae** “caña de azúcar” en la finca Tululá; opera con una eficiencia agronómica igual o mayor al 76% (Gurovich 1995).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Materiales utilizados.

Para la realización de estas evaluaciones de eficiencias de riego por aspersión se utilizaron los siguientes recursos:

- Bomba y motor móvil para riego por aspersión.
- Aspersores Nelson F100 de tipo cañón
- Tuberías de aluminio de 6" de diámetro
- Manómetros
- Mangas para riego
- Tonel de 30 galones de capacidad
- Pluviómetros de 16 cm de diámetro
- Probeta de 1000 ml
- Cronómetros
- Dos cilindros de hierro
- Cinta métrica y regla graduada
- Palas y machetes
- Libreta de campo
- GPS y computadora
- Mazos de madera

6.2 Metodología.

Las metodologías presentadas se enfocan en los objetivos específicos planteados:

6.2.1 Determinar los parámetros de operación de los sistemas de riego por aspersión, en las secciones evaluadas de finca Tululá.

1. Como pruebas de campo se realizaron varias pruebas de infiltración en cada una de las secciones evaluadas en finca Tululá, para ello se utilizó la metodología del doble cilindro en cada punto seleccionado.

- Se seleccionó el lugar donde se realizó la prueba, tomando en cuenta que presente una humedad similar a la que tendrá el suelo justo antes de regar; así mismo que sea en un área plana sin grietas ni hormigueros.
- Luego se instalaron los cilindros en forma concéntrica, en el sitio escogido y con la ayuda de un mazo o plancha se golpearon los cilindros hasta que penetraran en el suelo de 10 a 15 cm.
- Se colocó una regla graduada adherida al interior del cilindro central
- Así mismo se impermeabilizó el cilindro central con la ayuda de un plástico (nylon), luego se llenó con agua hasta $2/3$ de la altura y se tomó la lectura de la regla graduada.
- También se llenó el espacio entre el cilindro exterior y el interior con agua hasta $2/3$ de la altura o hasta emparejar el nivel del agua en éste espacio con el nivel del agua del interior del cilindro central.
- Se tomó la lectura de la regla graduada a: 1, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90 y 120 minutos; esto se hizo hasta que se alcanzó el punto en que la

velocidad de infiltración se mantiene casi constante o sea sin cambio significativo entre una lectura y otra.

- Una vez que se obtuvieron los datos de la libreta de campo se procedió a calcular los parámetros del modelo de Kostakiev-Lewis, a través de un modelo potencial.

2. Como parte de la fase de gabinete, se realizaron cálculos para determinar las necesidades reales del cultivo, tomando en cuenta las características del suelo:

- ***Lámina neta del riego (Ln)***

Se calculó en base a los contenidos de humedad, densidad del suelo y profundidad radical.

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

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
- P = Umbral de riego

Los valores de cada parámetro anterior se observan en el cuadro tres del marco referencial. En el caso de la zona radicular se utilizó un valor de 60 centímetros, relacionado directamente con los estratos presentes en cada unidad de suelo evaluado.

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

Esto se determinó para el período de mayores requerimientos de agua del cultivo. Definiéndose como el tiempo en días, que tarda en consumirse una cantidad de agua en la zona radical del suelo.

$$Ir = Ln / E_{tcm} \text{ (Cárdenas, 1996)}$$

Dónde:

Ir = intervalo mínimo entre riegos

E_{tcm} = evapotranspiración máxima del cultivo

6.2.2 Caracterizar el funcionamiento del equipo de riego por aspersión en la sección 8 y 14 de la finca Tululá.

1. Estando ya en el campo se seleccionó el área donde se estableció la cuadrícula de pluviómetros, tomando en cuenta que las laterales evaluadas solo poseían tres aspersores, se decidió instalar los pluviómetros en medio de los dos extremos; esto para asegurar que estuvieran lo suficientemente lejos de los extremos de la tubería, obteniéndose así el solapamiento normal de los aspersores adyacentes.
2. Seguidamente se instalaron los pluviómetros en cuadrículas, con un espaciamiento de 9m * 9m. Estas cuadrículas estuvieron en ambos lados de la tubería lateral, de tal forma que se formaron dos cuadrículas en cada lado de la tubería (A y B respectivamente); procurando siempre estar dentro del perímetro de mojado de los aspersores bajo evaluación. Para tener una mejor comprensión de esto se presenta la siguiente figura:

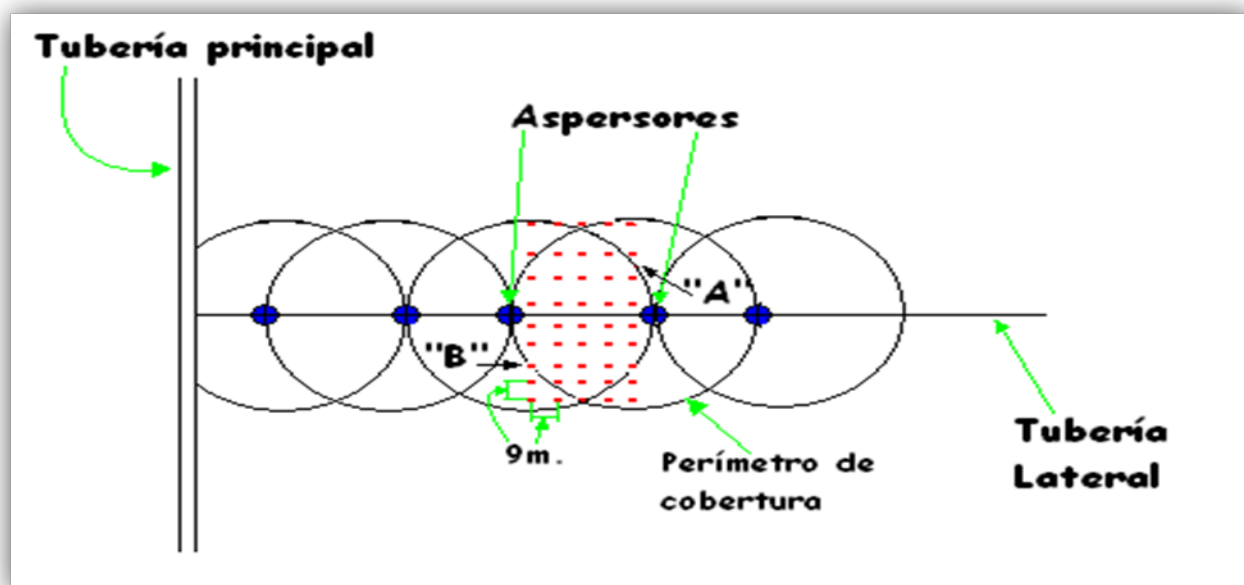


Figura 4: Distribución espacial de los pluviómetros colocados en campo

3. Después de instalar los pluviómetros en cuadrícula, se inició el ensayo o prueba de riego, anotando primero la hora de inicio, toda esta información fue registrada en boletas apropiadas (Cuadro 16 y 17 en anexos).
4. Así mismo se realizaron mediciones de presión de todos los aspersores a lo largo de la tubería lateral evaluada, incluyendo los aspersores que limitan el área de prueba; esto se hizo utilizando manómetros que se colocaron en la boquilla del aspersor para su respectiva medición en libras por pulgada cuadrada (psi).
5. Conjuntamente con la medición de presiones, se realizó el aforo del caudal de cada uno de los aspersores de la tubería lateral evaluada, utilizando el método volumétrico; esto se hizo colocando la manguera flexible en la boquilla del aspersor, la cual condujo agua hasta el recipiente de volumen conocido y se tomó el tiempo en que se llenó dicho recipiente. Obteniéndose así el caudal de cada aspersor. Es necesario mencionar que tanto la presión como el caudal fueron determinados 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.

6. Otro dato determinado fue la presión de la tubería principal y se hicieron observaciones sobre el grado de infiltración de agua aplicada por los aspersores sobre el suelo. También se observaron posibles daños físicos causados a las plantas y al suelo por efecto del riego; daños como erosión de suelo por presión de agua, anegamientos de agua, posibles quebraduras de tallos por exceso de presión, entre otros.
7. Considerando que los tiempos de riego en cada posición eran cortos (de dos a tres horas), entonces la prueba con los pluviómetros se realizó durante todo el tiempo 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 (figura 8, en anexos). Los volúmenes obtenidos se transformaron en láminas captadas, dividiéndolos entre el área de captación de cada pluviómetro. Para simular la aplicación de agua desde dos posiciones de laterales, se deben superponer las cuadrículas "A" y "B" empleadas (figura 4), es decir, sumar ordenadamente los valores de láminas o volúmenes de agua captados por los pluviómetros de la cuadrícula "A", a los captados por los pluviómetros de la cuadrícula "B". De esta manera se obtuvieron valores ajustados de láminas o volúmenes de agua captados en los pluviómetros.
8. En fase de gabinete con la información colectada anteriormente se realizó lo siguiente:

- **Lámina de riego bruta (Lr)_b**

Fue la lámina promedio aplicada por los aspersores sobre el área de prueba durante el tiempo de riego correspondiente.

$$(Lr)^b = \frac{Q}{(Ea * EI)} \quad (\text{Hernández, 1992})$$

Dónde:

- Q = Caudal promedio de los aspersores por el tiempo de riego
- Ea = separación entre aspersores
- EI = separación entre laterales

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

Se calculó porque constituye la lámina media captada por los pluviómetros ubicados sobre el área de prueba.

$$L_c = \frac{\sum L_{ci}}{N} \quad (\text{Hernández, 1992})$$

Dónde:

$\sum L_{ci}$ = sumatoria de los valores ajustados de láminas captadas en los pluviómetros.

N = número de valores ajustados luego de superponer las cuadrículas de pluviómetros empleadas y representa en consecuencia, la mitad del número total de pluviómetros empleados durante la prueba de riego.

- **Lámina promedio mínima captada ($L_{c \text{ min}}$)**

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.

$$L_{c \text{ min}} = \frac{L_{ci}}{N_{25\%}} \quad (\text{Hernández, 1992})$$

Dónde:

Lci = Lámina del 25% de pluviómetros de menor volumen
 N25% = 25% de los pluviómetros de menor lámina captada

- **Uniformidad de aplicación (UA)**

Constituyó el índice del grado de uniformidad de distribución del agua sobre la superficie del suelo.

- $$UA = \frac{Lc \text{ min}}{Lc} * 100 \text{ (Hernández, 1992)}$$

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

Este fue otro criterio utilizado para medir el grado de uniformidad en la distribución del agua sobre la superficie del suelo (Christiansen, 1942).

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

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

- **Eficiencia de aplicación (Efa)**

Es aquella eficiencia que se calcula con respecto al 25% (1/4) del área con menor infiltración y almacenamiento (Hernández, 1992). Para evaluar la eficiencia de aplicación determinada se comparó con la recomendación teórica para estas condiciones (cuadro 1)

$$Efa = \frac{Lc \text{ min}}{(Lr)b} \times 100$$

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) (Hernández, 1992)**

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

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

- **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.

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

Este parámetro fue determinado así: (Hernández, 1992)

$$Tr = \frac{Ln}{Lc \text{ min}}$$

- **Capacidad del sistema (Q)**

Constituye el gasto o caudal total con el que opera el sistema y se obtiene así:

$$Q = q\alpha * NAOS \quad (\text{Hernández, 1992})$$

Dónde:

$q\alpha$ = Caudal medio del sistema

NAOS= número de aspersores de operación simultánea.

6.2.3 Calcular la eficiencia de aplicación, almacenamiento y distribución de los sistemas de riego por aspersión en la sección 8 y 14 de la finca Tumulá.

En este caso se realizó una recopilación de los datos calculados en la metodología anterior ya que de ahí se extrae la eficiencia de aplicación.

Mientras tanto la eficiencia de almacenamiento se calcula en base al concepto siguiente:

$$Eal = L_{cmin} \text{ (mm)} / L_n \text{ (mm)}. \quad (\text{Sandoval, sf})$$

Dónde:

L_{cmin} = Lámina mínima captada por el 25% de los pluviómetros.

L_n = Lámina neta necesaria para llevar a capacidad de campo.

La eficiencia de distribución no fue necesario calcularla ya que según la revisión de literatura esta es similar a la uniformidad de distribución o bien al coeficiente de distribución de Christiansen. Estas eficiencias se compararon con las recomendaciones teóricas del cuadro uno.

6.2.4 Determinar la eficiencia agronómica en cada uno de los sistemas de riego por aspersión evaluados en la sección 8 y 14 de la finca Tululá.

Tomando como base la revisión de literatura encontramos que la eficiencia agronómica se calcula tomando en cuenta las eficiencias de aplicación, almacenamiento y distribución; a través de la siguiente fórmula:

$$E_{fa} = E_{ap} * E_{al} * E_d. \text{ (Sandoval, sf)}$$

Dónde:

- E_{fa}: Eficiencia agronómica
- E_{ap}: Eficiencia de aplicación
- E_{al}: Eficiencia de almacenamiento
- E_d: Eficiencia de distribución.

El resultado de esta operación fue comparado con la recomendación teórica del cuadro uno

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

7.1 Determinar los parámetros de operación de los sistemas de riego por aspersión, en las secciones evaluadas de finca Tululá.

7.1.1 Velocidad de infiltración básica

Al haber realizado tres pruebas de campo/sección, con el método del doble cilindro se determinó que para la sección ocho de la finca Tululá, la velocidad de infiltración básica (I_b) es de 0.9138 cm/h. Mientras que en la sección 14 de la finca, la velocidad de infiltración básica (I_b) es de 3.76 cm/h. Todos estos datos fueron obtenidos al realizar tres pruebas con el método mencionado, en cada una de las secciones evaluadas en la finca Tululá.

7.1.2 Lámina neta de riego

Para el cálculo de este parámetro, se utilizaron las características físicas del suelo, mencionados en el marco conceptual, así mismo se utilizó el 60% (0.6) del déficit permitido de manejo (factor P). Con esta información se logró determinar que la lámina neta de riego (I_n), requerida para llevar a capacidad de campo la zona radicular, en la sección 8 es de 42.26 mm y en la sección 14 de 45.41 mm de agua.

7.1.3 Evapotranspiración potencial

La Evapotranspiración potencial (E_{to}) se determinó en base a la investigación realizada por Castro (2011), en donde toma en cuenta que la finca Tululá se encuentra en el estrato altitudinal medio (100-300msnm), la etapa fenológica del cultivo y el tercio de

zafra de la misma (3/3); generando un valor promedio de Eto para la etapa de iniciación de 5.41 mm.

Castro (2011) también propone, que para la finca Tululá el valor del coeficiente del cultivo de caña de azúcar (Kc) es de 0.3, el cual se determinó tomando en cuenta que la finca Tululá posee suelos de textura franco arcilloso y que los módulos de riego evaluados, estaban regando un área con cultivo de caña en la etapa de iniciación.

7.1.4 Intervalo de riego

Este parámetro se determinó al multiplicar la evapotranspiración potencial media del cultivo (Eto) en la etapa de iniciación, por el coeficiente de cultivo, Castro (2011). El resultado fue haber determinado que específicamente para este tipo de suelos, la etapa fenológica en la que se estaba regando el cultivo y las condiciones ambientales de la región cañera, el intervalo mínimo entre riego es de 8 días. Los datos anteriores coinciden ya que según la revisión de literatura en la etapa de iniciación (EF-1), se requiere mantener suficiente humedad en el suelo para lograr una mejor producción de tallos por metro lineal.

Los valores utilizados para el cálculo del intervalo de riego, solo se aplican a cultivos de caña que se encuentren en la etapa de iniciación (EF-1), ya que esta etapa tiene una duración de 45 días, por lo que al llegar a la etapa de macollamiento el intervalo de riego variará debido a los datos de evapotranspiración del cultivo. Para el caso de las secciones evaluadas no será necesario determinar otro intervalo de riego, porque cuando se llegue a etapa de macollamiento comenzará el invierno y el riego no será necesario.

7.2 Caracterizar el funcionamiento del equipo de riego por aspersión en la sección 8 y 14 de la finca Tululá.

En el proceso de evaluación en las dos secciones de la finca Tululá, una de las primeras características tomadas en cuenta fueron las fechas de siembra y las fechas del ensayo, presentadas en el cuadro seis.

Cuadro 6: Fechas de siembra del cultivo de caña de azúcar y fechas de las pruebas de campo para la determinación de eficiencias en los módulos de riego evaluados en la finca Tululá.

Lote	Fecha de siembra	Fecha de ensayo	Días después de siembra	Etapas	Tercio de zafra
Sección 8					
12	07/04/2011	19/04/2011	12	Iniciación EF-1	3/3
21	11/04/2011	26/04/2011	15	Iniciación EF-1	3/3
Sección 14					
01	23/03/2011	01/04/2011	9	Iniciación EF-1	3/3
04	25/03/2011	05/04/2011	10	Iniciación EF-1	3/3
03	28/03/2011	07/04/2011	9	Iniciación EF-1	3/3

En el cuadro seis se puede observar las fechas de siembra del cultivo de caña, en cada uno de los lotes donde se realizaron las evaluaciones de riego en las dos secciones de la finca Tululá. Estos datos fueron utilizados para la determinación de la etapa fenológica en la que se encontraba el cultivo en el momento del riego; ya que según la revisión de literatura Castro (2011) la primera etapa fenológica tiene una duración alrededor de los 45 días. Es por ello que se estableció que el cultivo de caña, al

momento de realizar las evaluaciones de eficiencia se encontraba en la etapa de Iniciación (EF-1). (Ver cuadro seis)

Además se determinó que las dos secciones evaluadas, posee caña de azúcar perteneciente al tercer tercio de zafra ya que las fechas de este tercio van de marzo a abril (Castro, 2011).

La etapa fenológica EF-1, es en donde se define la cantidad de tallos por metro lineal que 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 de la misma (Castro, 2011).

7.2.1 Tiempo de riego

En el caso de la sección 8 se determinó que en el ensayo ubicado en el lote 12, el riego operó con un tiempo de 2.47 horas; en la prueba establecida en el lote 21, el tiempo de riego que se operó fue de 2.30 horas. Entonces se decidió que cada una de las pruebas con pluviómetros en estos lotes, tuviera la misma duración que el tiempo de riego empleado.

En la sección 14 se observó que el riego en el lote 01 y 04, tuvo un tiempo de 3 horas; y por último en el tercer ensayo (lote 03) el tiempo de riego fue de 3.1 horas. Los tiempos de riego mencionados anteriormente fueron utilizados para calcular la lámina bruta aplicada por los aspersores evaluados.

7.2.2 Información general del sistema de riego

En las dos secciones (8 y 14) se determinó que existe un espaciamiento de 45 metros entre aspersores y entre laterales, las tuberías laterales y principales poseen un diámetro de 15.24 cm (6”).

En la sección 8 la tubería lateral donde se estableció la cuadrícula en el lote 21 posee un largo de 63 metros, y la tubería principal es de 351 metros, del cual solo estaba funcionando una sola lateral y tres aspersores en funcionamiento. En el primer ensayo (lote 12), la tubería principal tenía un largo de 360 metros, mientras que la lateral tenía una longitud de 432 metros y que estaban funcionando tres aspersores por cada lateral. También se realizó una caracterización del sistema de riego que opera en la sección 14, presentando así la siguiente información:

Cuadro 7: Información general del sistema de riego por aspersión utilizado en la sección 14 de la finca Tululá.

Ensayo	Espaciamiento entre lateral (m)	Espaciamiento entre aspersor (m)	Longitud tubería lateral (m)	Longitud tubería principal (m)	Diámetro (pulgadas)
1	45	45	144	45	6
2	45	45	216	414	6
3	45	45	102	90	6

En el cuadro siete se observa que el espaciamiento entre aspersores y tubería lateral no varía en las tres evaluaciones realizadas, mientras tanto cabe notar que el ensayo dos fue el que más lejos se ubicó del equipo de bombeo.

7.2.3 Equipo de bombeo

Se realizó una recopilación de información en los registros internos de la finca, en donde se determinaron las siguientes especificaciones, para cada equipo de bombeo evaluado en las dos secciones.

Cuadro 8: Especificaciones del equipo de bombeo utilizado en la secciones de la finca Tululá.

Característica	Especificación 62113	Especificaciones 62206
Tipo	Motobomba	Motobomba U817256T
Marca	John Deere	Perkins 6354
Potencia	115 Hp	110 Hp
Galonaje	800 gal/min	800 gal/min
Turbina	Berkeley	IHM Diessel
Tipo de Alterno	3092	---
Serie	PE 4045T617603	---

Fuente: Departamento de riegos y drenajes, ingenio Tululá (2011).

El código 62113 que se observa en el cuadro ocho, corresponde al equipo que operaba en la sección 8 de la finca; esta bomba trabajaba a 1700 revoluciones por minuto (rpm). En el caso de la evaluación realizada en la sección 14, el equipo de bombeo utilizado corresponde al código 62206.

El equipo de bombeo de la sección 14 es uno de los más deteriorados, además de ello tuvo varios problemas durante el tiempo de riego no sólo en el funcionamiento, sino que también en la calidad del agua ya que en ocasiones había basura o rastros en el canal de riego. Así mismo se determinó que este equipo funcionaba a 1700 rpm, y en ocasiones por debajo de estas revoluciones; así mismo se observó que el motor se calentaba, por lo que se apaga el equipo. Estos factores se consideran una de las causas principales de que las presiones de los aspersores fueran muy bajas y por lo tanto los caudales también.

El estado deteriorado de estos equipos de bombeo y el mal funcionamiento provocó directamente la reducción de presiones y caudales emitidos por los aspersores evaluados en los ensayos de campo.

7.2.4 Determinación de caudal y presión de aspersores

Al realizar la medición de presiones y caudales en cada uno de los aspersores que se evaluaron en los ensayos de la sección 8, se determinó lo siguiente:

Cuadro 9: Caudal y presión de operación de los aspersores evaluados en la sección 8 de finca Tululá.

Ensayo	Presión de aspersor		Caudal	
	PSI	Kg/	/h	l/s
1	27	1.9	32.80	9.11
2	33	2.33	33.78	9.38

Según el cuadro nueve los caudales emitidos por los aspersores evaluados en este módulo de riego, emitieron entre 32 y 33 /h de agua a una presión que va de 1.9 a 2.33 kg/.

Así mismo en la sección 14 se determinaron las presiones y caudales de los aspersores del módulo de riego evaluado.

Cuadro 10: Datos de caudal y presión de aspersores evaluados en los ensayos, establecidos en la sección 14 de la finca Tululá.

Ensayo	Presión de aspersor		Caudal	
	PSI	Kg/	/h	l/s
1	34	2.40	42.66	11.85
2	32	2.25	38.25	10.62
3	34	2.40	37.62	10.45

El cuadro10 muestra los promedios generales de presiones y caudales, en los aspersores evaluados por cada lateral y por cada ensayo; estos datos son el resultado de tres lecturas realizadas, en cada uno de los aspersores de la lateral de riego evaluada, en cada uno de los tres ensayos.

Los aspersores evaluados en la sección 8 y 14 son “Nelson F100”, con un diámetro de boquilla de 1” (25.4 mm); Al revisar las especificaciones (Ver cuadro 18 en anexos) de este tipo de aspersores, se determinó que la presión de operación seleccionada para

estos módulos de riego es de 50 psi (3.5 kg/), con esto el aspersor tiene la capacidad de manejar un caudal de 42.8 /h (11.9 l/s).

A excepción del primer ensayo en la sección 14, se puede apreciar que los aspersores no estaban operando con la presión recomendada por las especificaciones, provocando a su vez que los caudales emitidos no sean los esperados por el diseño del sistema de riego. Al evaluar que los aspersores no están trabajando con los límites recomendados, entonces su buen funcionamiento no está garantizado, afectando así directamente las eficiencias de aplicación y distribución del agua sobre la parcela evaluada.

7.2.5 Observaciones generales

Estas observaciones fueron realizadas en las pruebas de campo, utilizando una boleta de registro (figura siete en anexos), en donde se observó que existen fugas a lo largo de las tuberías laterales, debido en ocasiones a la topografía del terreno; las fugas también existen alrededor de los cañones utilizados para el riego. Todas estas fugas lo que provocaron principalmente fue la disminución de las presiones de salida del agua en los aspersores.

No existen daños a cultivos ya que en el momento de las evaluaciones no había germinado aún la caña de azúcar; sin embargo se pudo observar que en los ensayos de la sección 8 existió una saturación de agua cerca de los aspersores.

En las dos secciones evaluadas se estableció que operaban cuatro aspersores de manera simultánea (NAOS). Sin embargo tres de estos aspersores operan simultáneamente en una misma lateral, mientras que el último operó en una lateral independiente.

En cuanto al suelo no se observaron daños graves de erosión por escorrentía, pero si existieron encharcamientos de agua en las zonas donde existían fugas y en alrededor de algunos aspersores principalmente en la sección ocho, esto debido a la baja velocidad de infiltración del suelo en esta sección.

También se logró determinar que los equipos estaban operando con una presión en la salida de la bomba de 5.64 kg/ (80 psi); esta presión se considera baja ya que estos equipos deberían de funcionar a una presión mínima de 7.75 kg/ (110 psi).

En las fechas de las evaluaciones, se tuvo una velocidad del viento media de 5.45 km/h, con mínimos de 4.9 km/h y máximas de 7.44 km/h; estos datos fueron tomados por la estación meteorológica Tululá, finca Tululá, San Andrés Villa Seca Retalhuleu.

En cuanto a las frecuencias de riego se determinó que no existe un patrón fijo para el riego ya que existe mucha variación en los intervalos de riego. En la sección 8 el ensayo en el lote 12 tuvo riegos a cada siete días, y en el lote 21 la frecuencia fue de 14 días. Mientras tanto en la sección 14 las frecuencias variaron de 8 a 12 días. Estas diferencias de deben principalmente al poco control específico que se tiene en las áreas de riego, así mismo a la preocupación que tiene el personal de la finca en avanzar en área, sin procurar que el riego que se está realizando sea eficiente.

7.2.6 Fase de gabinete

Los datos recolectados previamente en la fase de campo se tabularon e interpretaron de la siguiente manera

Para el caso de los pluviómetros se utilizaron recipientes de aproximadamente 1.5 litros de capacidad y un diámetro de 16 centímetros. Para ello utilizando el principio de que el área de un círculo es $A = \pi r^2$. Entonces se estableció que el área de captación de cada pluviómetro es de 201.0619 . Para la evaluación del sistema de riego por aspersión, se colocaron varios pluviómetros en cada una de las secciones evaluadas.

En el cuadro 11 se presentan los parámetros que indican el estado del funcionamiento de la unidad de riego evaluada en cada uno de las secciones bajo estudio.

Cuadro 11: Parámetros de operación de los sistemas de riego por aspersión, en las secciones evaluadas de finca Tululá.

PARÁMETROS	Unidades	Sección 8	Sección 14
Lámina bruta de riego	Lb (mm)	39.19	59.15
Lámina captada por pluviómetros	Lc (mm)	36.48	41.47
Lámina mínima captada	Lcmin (mm)	19.54	21.62
Uniformidad de aplicación	UA (%)	53.52	52.33
Coeficiente de uniformidad	Cu (%)	68.56	66.96
Eficiencia de aplicación	Efa (%)	50.05	55.19
Pérdidas de agua por aplicación	Pa (%)	6.86	29.82
Intensidad de aplicación	Ia (cm/h)	1.64	1.95
Tiempo requerido por posición	Tr (h)	5.31	6.47
Cambios de posición/día	NPLD	4.68	3.76
Capacidad del sistema	CS (/h)	99.87	158.03

El cuadro 11 muestra una serie de parámetros que se lograron determinar a través de las evaluaciones en la sección 8 y 14 de finca Tululá.

No se logró aplicar la lámina neta al suelo de las dos secciones, ya que en la sección 8 la lámina captada (Lc) por los pluviómetros fue de 36.58 mm y en la sección 14 se tuvo una Lc de 41.47 mm; y estos datos se tornan más bajos al analizar las láminas mínimas captadas (Lcmin), en donde los datos obtenidos son de 19.54 mm y 21.62mm para la sección 8 y 14 respectivamente.

Las bajas láminas captadas por los pluviómetros se debe principalmente a que los aspersores estuvieron emitiendo un caudal bajo y las presiones no fueron las esperadas; además de ello se determinó que existe un porcentaje de pérdida entre el aspersor y el suelo; para el caso de la sección 8 la pérdida de agua fue del 6.86% y en

la sección 14 de 29.82%. Estas pérdidas de agua se deben principalmente a factores ambientales como la velocidad del viento, ya que en estas secciones se tuvieron vientos de hasta 7km/h y las pruebas se realizaron en horarios de 10:00am-14:00pm, con temperaturas de hasta 33.6 , propiciando así una mayor evaporación del agua aplicada.

En la sección 8 se hace la comparación de que la prueba más lejana de la bomba, se ubicó en el lote 12 y el agua tuvo un recorrido desde la bomba hasta los aspersores de aproximadamente 792 metros lineales; mientras tanto el segundo ensayo ubicado en el lote 21, el agua utilizada tuvo un recorrido de 414 metros desde la bomba hasta los aspersores.

También es importante mencionar que de acuerdo a las observaciones de campo se determinó que la prueba más lejana de la bomba se realizó en el lote cuatro de la sección 14, ubicándose a más de 600 metros de la bomba incluyendo largo de tubería lateral y principal; a esto se le debe sumar que en este lote se tuvo una pérdida de 36.62% en la conducción del agua.

Se determinó con estas condiciones de trabajo, que el sistema de riego deberá tener un tiempo de 5.3 y 6.47 horas en la sección 8 y 14 respectivamente. Sin embargo los tiempos de riego actuales oscilan entre 2.30 a 3 horas en las dos secciones; este dato es determinante 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.

A todo esto hay que agregar que la presión de salida de la bomba evaluada en las secciones, fue de 5.64 kg/ (80 psi) en promedio, por lo que existió una gran pérdida de presión a lo largo de las tuberías por factores como la topografía del terreno o las fugas existentes en todas las tuberías. La presión de salida de esta bomba se considera bajo ya que este equipo debería de funcionar a 7.75 kg/

Otro dato interesante es la intensidad de aplicación calculada para la sección 8, la cual fue de 1.64 cm/h, mientras que la velocidad de infiltración de esta sección fue de 0.9138 cm/h, con lo cual se determina que el suelo no tiene la capacidad de infiltrar la cantidad de agua que están aplicando los aspersores, es por ello que en las pruebas realizadas se observaron encharcamientos en distintos puntos del área regada.

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

7.3 Calcular la eficiencia de aplicación, almacenamiento y distribución de los sistemas de riego por aspersión en la sección 8 y 14 de la finca Tululá.

Para el análisis de esta información, se tomaron en cuenta los resultados presentados en el objetivo dos, de las eficiencias de aplicación y uniformidad. Para el caso se detalla a continuación cada eficiencia por cada sección evaluada:

Las eficiencias presentadas en el siguiente cuadro, fueron determinadas a partir de los datos recopilados en campo, sobre el funcionamiento del equipo de riego ubicado en esta sección de la finca.

Cuadro 12: Eficiencias de riego determinadas en el equipo de aspersión, sección ocho finca Tululá.

Eficiencias	Lote 12 (%)	Lote 21 (%)	Media (%)
Eficiencia de aplicación	41.44	58.66	50.05
Eficiencia de almacenamiento	39.23	53.26	46.24
Eficiencia de distribución	61.48	75.64	68.56

De acuerdo al cuadro 12 la mejor eficiencia obtenida fue la de distribución (61.48% y 75.64% respectivamente), para determinar esta eficiencia se tomó como indicador el coeficiente de uniformidad propuesto por Christiansen.

Un dato importante de mencionar es que el segundo ensayo, es el que se encontraba más cercano al equipo de bombeo, ya que la tubería principal tenía una longitud de 351 metros a favor de la pendiente por lo que existía una ganancia en la carga de la tubería, así mismo la tubería lateral tenía una longitud de 63 m, por lo que en total este ensayo se encontraba a una distancia de 414m. En base a la información anterior se concluye entonces que este fue el ensayo que presentó mejores eficiencias, ya que la de aplicación fue de 58.66%, la de almacenamiento 53.26% y la de distribución fue de 75.64%.

Mientras tanto el ensayo más lejano se encontraba a 792 metros del equipo de bombeo, considerándose así que este fue el ensayo con las más bajas eficiencias ya que revisando los datos de presión y caudal en estos aspersores, éstos fueron muy bajos por lo tanto el agua se aplicó de manera deficiente.

Así mismo el respectivo análisis de eficiencias se realizó en los ensayos planteados en la sección 14 de la finca Tululá, cuyos resultados se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 13: Eficiencias de riego determinadas en los ensayos de la sección 14 de la finca Tululá, ingenio Tululá, San Andrés Villa Seca Retalhuleu.

Eficiencias	Ensayo1 (%)	Ensayo2 (%)	Ensayo3 (%)	Media (%)
Eficiencia de aplicación	29.25	36.71	44.41	36.79
Eficiencia de almacenamiento	40.72	45.83	56.31	47.62
Eficiencia de distribución	63.32	70.26	67.29	66.96

Según lo que se puede apreciar en el cuadro 13, las mejores eficiencias siguen siendo las de distribución en los tres lotes evaluados. Aunque lo que se puede resaltar es que el tercer ensayo fue el que en general presentó las mejores eficiencias y rescatando la información recolectada en campo, este fue el ensayo que se encontraba a una distancia de 192 metros del equipo de bombeo; además de ello la tubería utilizada en este caso no presentó fugas y las interrupciones del tiempo de riego fueron mínimas.

El segundo ensayo fue el más lejano del equipo de bombeo, ya que se encontraba a una distancia de 630 metros, sin embargo hay que mencionar que se encontraba ubicado a una altura de 175 msnm, mientras que el equipo de bombeo estaba a 180msnm. El primer ensayo fue el más cercano del equipo de bombeo aunque es el ensayo que tuvo más interrupciones en el tiempo de riego, debido a factores como la obstrucción del filtro del equipo de bombeo, problemas con el motor de la bomba y numerosas fugas que existieron en todo el largo de las tuberías; en este caso la bomba estaba funcionando a 1600 revoluciones por minuto (rpm), lo cual condiciona claramente que los aspersores no alcancen la presión y caudal deseada para el riego de este cultivo.

Análisis de eficiencias

Para el caso de la eficiencia de aplicación (Eal), se determinó que la unidad de riego evaluada en la sección ocho tiene un Eal de 50%; mientras que en la unidad evaluada en la sección 14 es de 36.79%. Tomando en cuenta que Rojas (1980) propone que la Eal aceptable para riego por aspersión posee un valor que varía entre el 65% y 75%, entonces se considera que las unidades evaluadas poseen una baja Eal. 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 la evapotranspiración, velocidad del viento y la lámina aplicada influye directamente sobre este tipo de eficiencia. Las causas directas de estas bajas eficiencias de aplicación, son las pérdidas de agua entre el aspersor y el suelo (6.26% y 29.82% respectivamente); así mismo las velocidades del viento que afectan la zona de riego por aspersión, ya que no permite que el suelo reciba la cantidad de agua deseada; otro de los factores son las fugas que existieron en las tuberías laterales, generalmente por la mala colocación de estas tuberías y afectaron también las fugas alrededor de los aspersores.

En el caso de la eficiencia de almacenamiento (Eal), se estableció que para esta sección el valor fue de 46.24%, mientras que la Eal evaluada en la unidad de riego de la

sección 14 fue de 47.62%. 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 la Eal en las secciones evaluadas fue inadecuada para este sistema de riego.

La baja eficiencia de almacenamiento del sistema de riego evaluado en las dos secciones, se debe principalmente a que la lámina captada por los pluviómetros, no es igual a la lámina neta de riego necesaria para llevar a capacidad de campo la zona radicular; la lámina aplicada por los aspersores también fue baja, en comparación con la lámina neta, ya que el caudal emitido por estos, no es igual al diseñado para los aspersores Nelson F100. Uno de los factores que influyeron para que el aspersor no emitiera el caudal necesario, fue el estado de deterioro de las bombas, ya que al no funcionar con las revoluciones adecuadas no emiten el caudal esperado y las pausas continuas en el tiempo de riego, debido a sobrecalentamientos en las bombas y a las obstrucciones en los filtros, provocó que no se lograra cubrir la lámina adecuada para la capacidad de campo.

La eficiencia de distribución (Ed), es la que indica la forma de distribución del agua aplicada en toda la superficie del terreno, para el caso del riego por aspersión este concepto se relaciona directamente con el coeficiente de uniformidad planteado por Christiansen (Cu); para los ensayos ejecutados en la sección ocho de la finca Tululá se determinó que la Ed es del 68.56%, mientras tanto la unidad de riego evaluada en la sección 14 presentó una Ed de 66.96%.

Según Sandoval (sf), una eficiencia de distribución del 80% en riego por aspersión se considera adecuada, por lo tanto se establece que en ninguna de las dos unidades de riego evaluadas, se logra una adecuada eficiencia de distribución. Cabe mencionar que en el método de riego por aspersión, uno de los factores que influyen directamente sobre la Ed, es el espaciamiento entre aspersores y laterales; así como la presión con que cada uno de éstos aplica el agua.

La mala distribución del agua se debe al radio de mojado, ya que según el diseño de los aspersores, éstos tendrían que mojar un radio de 45 metros; es por ello que en la fase de campo se colocaron cinco filas de pluviómetros a cada nueve metros. Sin embargo al concluir la prueba, se constató que los aspersores no lograron emitir agua sobre la última fila de pluviómetros, por lo tanto se considera que existe un área crítica en donde no se registra algún tipo de traslape entre aspersores, ya que la última fila de pluviómetros solo recibió agua de un aspersor. Este dato influyó de manera directa con la eficiencia de distribución. Para visualizar de mejor manera este aspecto, a continuación se presenta la siguiente figura:

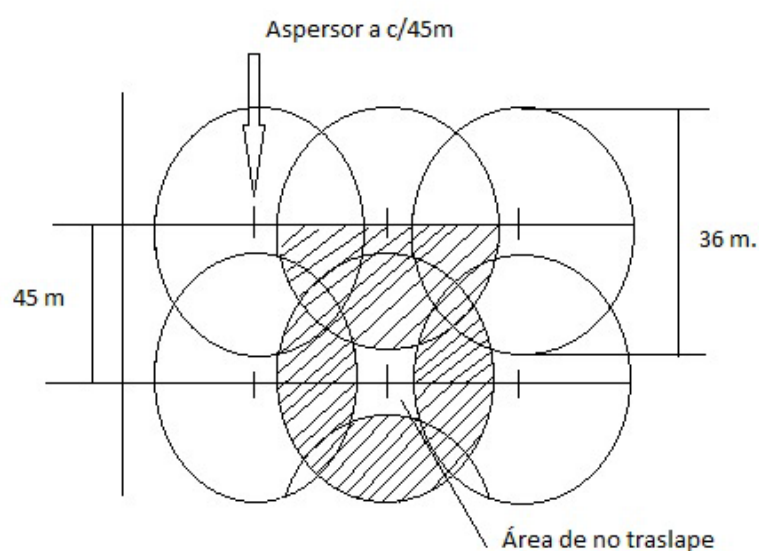


Figura 5: Traslape entre los aspersores evaluados en las unidades de riego en la sección ocho y 14 de la finca Tululá.

Fuente: Elaborado por el autor (2011).

La causa de este mal traslape son los distanciamientos entre laterales y aspersores, ya que en el campo éstos manejaban 45 metros entre aspersor y lateral. Sin embargo en la mayoría de los ensayos evaluados se determinó que los aspersores solo lograron aplicar agua hasta la línea de los pluviómetros colocados a 36 metros.

7.4 Determinar la eficiencia agronómica en cada uno de los sistemas de riego por aspersión evaluados en la sección 8 y 14 de la finca Tululá.

La eficiencia agronómica (Efa) es aquella que 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). En el siguiente cuadro se presentan las eficiencias agronómicas determinadas para cada sección en la finca Tululá.

Cuadro 14: Determinación de la eficiencia agronómica para las unidades de riego, evaluadas en la sección ocho y 14 de la finca Tululá.

Unidad de riego	Eficiencia de aplicación	Eficiencia de almacenamiento	Eficiencia de distribución	Eficiencia Agronómica
Sección 8	0.50	0.46	0.69	0.16
Sección 14	0.37	0.47	0.67	0.12

En el cuadro 14 es necesario tomar en cuenta que los valores son similares y que a su vez estos son bajos. De acuerdo a Gurovich (1985) una adecuada eficiencia agronómica para el riego por aspersión es de 0.76, pero hay que mencionar que este parámetro se obtiene al considerar que la Eap es de 0.9, la Eal 1 y la Ed es de 0.85. De acuerdo a Gurovich (1985), los valores de eficiencia agronómica (Efa) aumentan según el método de riego utilizado, para ello se analiza la siguiente tabla:

Cuadro 15: Eficiencias posibles de alcanzar con diferentes métodos de riego, en una situación óptima de diseño y operación.

Método de riego	Eap	Eal	Ed	Eficiencia agronómica
Tendido (inundación)	0.40	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)

En el cuadro 15 se presentan las eficiencias agronómicas que se pueden alcanzar, al contar con eficiencias adecuadas de riego. Sin embargo lo más interesante a analizar en nuestro caso, es que según sea la tecnología utilizada así será la eficiencia alcanzada, por eso con el riego por aspersión se pueden alcanzar altas eficiencias, ya que este es un sistema localizado. Uno de los factores determinantes en el cálculo de esta Efa 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 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.

Así mismo se comparan los datos generados por los ensayos establecidos en la finca Tululá, dónde los valores de Efa varía entre 0.16 y 0.12 respectivamente; al analizar estos datos con los propuestos por la literatura se encuentra entonces que la Efa de las unidades de riego evaluadas son muy bajas para el método de riego utilizado. Sin embargo si tomamos en cuenta el análisis del cuadro 17, se puede determinar que el principal factor que condicionó las eficiencias agronómicas obtenidas en las unidades evaluadas, fue la eficiencia de almacenamiento ya que esta determina la cantidad de agua necesaria para llevar el suelo a capacidad de campo. Por lo tanto de acuerdo a los datos presentados en los objetivos anteriores se determina que la lámina aplicada por los aspersores en la mayoría de los casos no es la suficiente para alcanzar el 100% de esta eficiencia.

Entre tanto los valores de eficiencia de aplicación también son bajos porque la lámina aplicada por los aspersores no es la suficiente para la lámina neta requerida, así como la existencia de pérdidas en el transporte del agua a lo largo de las tuberías, esto por lo

general debido a las constantes fugas que existen alrededor de los aspersores, así como de las tuberías laterales. La intensidad de aplicación y la infiltración básica es otro factor que influyó directamente sobre la eficiencia de aplicación, ya que por ejemplo en la sección ocho la intensidad de aplicación fue mayor a la infiltración del suelo, es por ello que en algunos casos existieron pérdidas de agua por escurrimiento.

En el caso de las eficiencias de distribución, tal y como se discutió en el objetivo anterior, éstas fueron bajas debido principalmente al mal traslape que tuvieron los radios de mojado de cada aspersor.

También es necesario analizar las presiones en cada aspersor ya que influyen directamente sobre las eficiencias calculadas, en este caso como se pudo observar en los objetivos anteriores estos valores no alcanzaron ni siquiera el recomendado por el fabricante para este diseño; estas bajas presiones de salida en aspersores provocó primero la reducción en el diámetro de mojado y también influyó en la reducción de los caudales. Hay que mencionar también las pérdidas de presión que hubieron a lo largo de las tuberías; por ejemplo en la sección ocho la presión en la salida de la bomba fue de 5.64 kg/ (80psi) y en la sección 14 fue de 6.34 kg/ (90psi), lo cual indica que hubo bastante pérdida de presión principalmente por fugas en tuberías y en los mismos aspersores.

De manera resumida se identifican varias causas por las cuales las eficiencias de riego estuvieron bajas, entre las cuales se mencionan las siguientes:

- Pérdidas de agua, debido a las velocidades del viento, fugas en tuberías y aspersores y la evaporación existente.
- Baja lámina aplicada por los aspersores, debido al bajo caudal emitido por los mismos y las continuas pausas en el tiempo de riego por obstrucciones en el canal de agua.
- El estado actual de los equipos de bombeo no operan adecuadamente, ya que son equipos viejos y deteriorados, que no emiten la presión y caudal necesaria para los

aspersores; así mismo poseen problemas mecánicos al momento de trabajar con revoluciones normales (1800) y presentan sobrecalentamientos.

- Existe un mal traslape del radio de mojado de los aspersores, debido a las bajas presiones de salida del agua, los distanciamientos muy largos en días de alta velocidad del viento y la topografía irregular del terreno en la sección 8, el cual restó presión en la salida de los aspersores.

Por lo anterior se considera que una de las soluciones, a estas bajas eficiencias es la evaluación previa de los equipos de bombeo, además se considera necesario el monitoreo constante de la operación del sistema de riego en campo, con el fin de corregir las deficiencias en el trabajo. Así mismo es necesario realizar diseños adecuados, para las condiciones de trabajo en las áreas de riego para la próxima temporada de producción.

Se necesitan controlar las fugas existentes en las tuberías laterales, atendiendo de manera inmediata los problemas que tienen los operadores en el campo, así mismo a través de capacitaciones se debe mejorar las técnicas de operación de los accesorios y colocación de las tuberías en campo. Se deberán cambiar los aspersores que presenten fugas en los cañones.

Así mismo se deberá modificar los espaciamientos entre aspersores, considerando las velocidades de viento existentes en una zona específica.

VII. CONCLUSIONES

- Los aspersores operaron con bajas presiones y caudales, en la sección 8 la presión fue de 2.11 kg/ (30 psi) y un caudal de 33.29 /h (9.25 l/s); la sección 14 tuvo una presión de 2.32 kg/ (33 psi) y un caudal de 39.51 /h (10.97 l/s).
- El equipo de bombeo posee desperfectos mecánicos y se encuentran en estados de deterioro, por lo que no se alcanzaron las presiones, caudales y láminas esperadas.
- La lámina neta de riego necesaria en la sección 8 es de 42.26 mm y en la sección 14 de 45.41 mm; mientras tanto las láminas captadas fueron de 36.48 mm y 41.47 mm respectivamente.
- Las láminas captadas fueron bajas, debido al bajo caudal emitido por los aspersores; las pérdidas de agua entre el aspersor y el suelo fueron de 6.86% en la sección ocho y 29.82% en la sección 14; las fugas existentes en las tuberías y aspersores; así como velocidades de viento de hasta 7 km/h.
- La alta velocidad de viento, las constantes fugas y la evaporación del agua, provocaron que la eficiencia de aplicación (E_{ap}) fuera de 0.5 y 0.37 respectivamente, en donde la E_{ap} adecuada es de 0.7
- La eficiencia de almacenamiento en la sección ocho fue de 0.46 y en la sección 14 de 0.47, considerándose inadecuado porque la ideal es de 1; estas eficiencias fueron influenciadas por el bajo caudal emitido por aspersores, el estado de deterioro de las bombas y las continuas pausas en el tiempo de riego.

- En la sección ocho se calculó una eficiencia de distribución de 0.69 y en la sección 14 de 0.67, éstas son inadecuadas porque la eficiencia ideal es de 0.8; estas eficiencias son ocasionadas por el mal traslape entre el radio de mojado de los aspersores, las bajas presiones de salida del agua y los distanciamientos amplios.
- Por las bajas eficiencias de aplicación, almacenamiento y distribución, se determinó que en la sección ocho se tuvo una eficiencia agronómica (Efa) de 0.16, mientras que en la sección 14 la Efa fue de 0.12.
- De acuerdo a Gurovich (1985), para el riego por aspersión la Efa adecuada deberá ser de 0.76, integrando todas las eficiencias de riego.

VIII. RECOMENDACIONES

- Realizar una evaluación previa al traslado de campo, para confirmar el funcionamiento de las bombas de riego y el estado del equipo, con el objetivo de tomar las decisiones pertinentes.
- Mejorar la operación a través de una estrecha supervisión, controlando parámetros como presiones en tuberías y aspersores durante el tiempo de riego, frecuencias de riego, intervalos y evaluación de traslapes. Así mismo llevar a cabo capacitaciones técnicas con todos los operadores y el personal involucrado en el riego, para dejar claro los respectivos cuidados, necesarios para optimizar el uso del agua y aumentar las eficiencias de riego.
- Evitar en lo posible las fugas en las tuberías laterales y cambiar los aspersores con fugas, para mejorar las presiones y las láminas emitidas por los aspersores. Así mismo monitorear los cambios drásticos en el viento, para reducir las pérdidas de agua entre el aspersor y el suelo.
- Aumentar los caudales emitidos por los aspersores o bien reducir las frecuencias de riego, para lograr aplicar la lámina neta de riego, requerida para llevar a capacidad de campo la zona radicular del cultivo.
- Aumentar la presión de salida de la bomba para aumentar las presiones de aspersores, con el fin de mejorar los traslapes de mojado en la superficie del suelo. Reducir los distanciamientos entre aspersor y lateral en aquellas áreas donde existan altas velocidades de viento.
- Revisar los diseños de los sistemas de riego, para mejorar la lámina neta y bruta aplicada; los intervalos de riego según la necesidad del cultivo para llegar a

capacidad de campo; así como también monitorear constantemente las pérdidas generadas por el transporte de agua en tuberías.

- Con metodologías prácticas realizar monitoreos al inicio de la temporada de riego sobre eficiencias de almacenamiento y distribución; ya que con ello se determinará las profundidades de humedecimiento y la cantidad de agua almacenada en la zona radicular.

IX. BIBLIOGRAFÍA

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. Universidad de San Carlos de Guatemala. Centro Universitario de Suroccidente. 58 p.

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.

Christiansen, J.E. 1942. Irrigation by Sprinkling. Berkeley, California. Agric. Exp. Sta. Bulletin No. 670.

Clasificación de suelos de la finca Tululá. 2007. Departamento de riegos y drenajes. Ingenio Tululá S.A. San Andrés Villa Seca, Retalhuleu. Gt

Doorenbos, J.; Kasam, A. 1988. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Italia. FAO. (33): 155. Colección Estudio FAO Riego y Drenaje.

Gurovich, L. 1985. Fundamentos y diseño de sistemas de riego. San José, C. R. IICA. 433 P.

Hernández, O. 1992. Manual de Riego por Aspersión. Caracas, Ven. Universidad Central de Venezuela. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Colección monografía 35. 139 p.

Holdridge, L.R. 1982. Ecología basada en zonas de vida. San José, C. R. CIDIA, IICA. 28 p.

Junta de Andalucía. sf. Procedimiento para la realización de evaluaciones de riego por aspersión. Servicios de Asesoramiento al Regante. Andalucía España. 12p

Rojas, R. 1976. Drenaje superficial de tierras agrícolas. Venezuela CIDIAT. 96p.

Romero, E.R; Digonzelli, P.A.; Scandaliaris, J. 2009. Manual del Cañero. Tucumán, Arg. Estación Experimental Obispo Colombres. 248 p.

Sandoval, J.E. sf. Principios de riego y drenaje. Guatemala. Edit. Universitaria. 356 p.

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: [.library.wur.nl/web Query/insric](http://library.wur.nl/web Query/insric)

Vo.Bo. Licda Ana Teresa Cap Yes

Bibliotecaria

X. ANEXOS

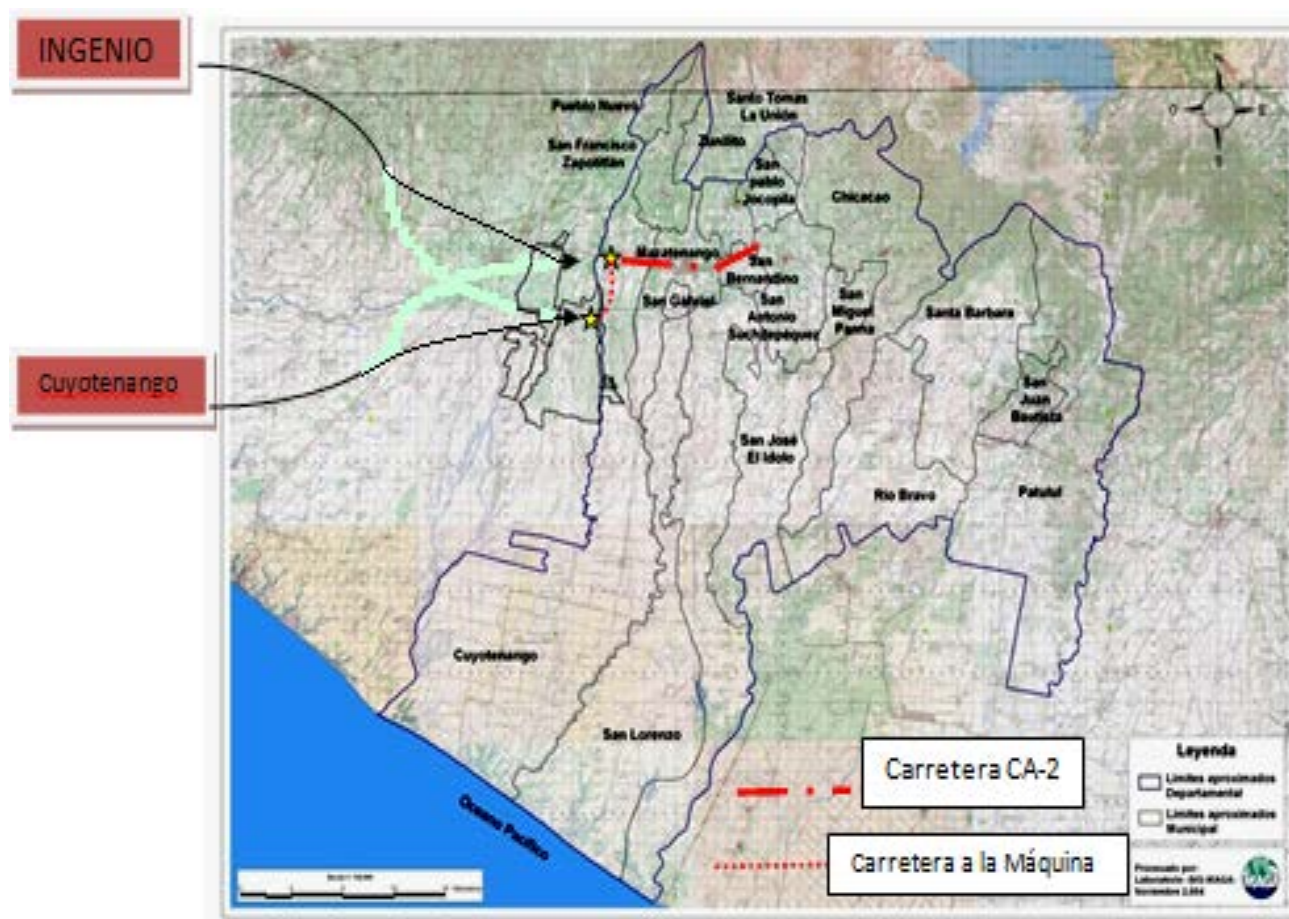


Figura 6: Localización del ingenio Tuluá en una hoja cartográfica de Mazatenango, Suchitepéquez

Fuente: MAGA, (2004)

Cuadro 16: Boleta de registro para la evaluación del riego por aspersión, utilizando una cuadrícula de pluviómetros.

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: _____

Fuente: Hernández (1992)

Fuente: Hernández (1992)

Cuadro 18: Especificaciones técnicas para el aspersor Nelson F100, utilizado en las unidades de riego evaluadas en finca Tululá.

DATOS DE FUNCIONAMIENTO DEL ASPERSOR NELSON

ASPERSOR NELSON 100 , ANGULO DE 24⁰

		Diametro de la boquilla																												
		12.70 0.50"		14.00 0.55"		15.20 0.60"		16.50 0.65"		17.80 0.70"		19.10 0.75"		20.30 0.80"		21.60 0.85"		22.90 0.90"		25.40 1.0"										
Presión	Gasto	Dia.		Gasto		Dia.		Gasto		Dia.		Gasto		Dia.		Gasto		Dia.		Gasto		Dia.		Gasto		Dia.				
kg/cm ²	lps	m ³ /h	m	lps	m ³ /h	m	lps	m ³ /h	m	lps	m ³ /h	m	lps	m ³ /h	m	lps	m ³ /h	m	lps	m ³ /h	m	lps	m ³ /h	m	lps	m ³ /h	m			
3.5	3.0	10.8	59.5	3.7	13.4	62.6	4.3	15.6	66.1	5.1	18.3	66.8	5.8	21.0	71.4	6.7	24.1	74.5	7.6	27.5	77.5	8.7	31.5	79.5	9.7	34.8	81.4	11.9	42.8	88.1
4.0	3.4	12.2	64.3	4.3	15.3	67.8	5.0	18.0	71.8	5.9	21.1	74.8	6.8	24.6	77.8	7.7	27.8	81.0	8.7	31.2	82.8	10.1	36.2	86.4	11.2	40.4	88.6	13.6	49.5	94.8
5.0	3.8	13.6	69.0	4.7	17.0	72.7	5.6	20.1	76.4	6.6	23.6	80.2	7.6	27.5	84.4	8.7	31.2	86.7	9.9	34.9	90.4	11.3	40.5	92.5	12.5	45.2	94.7	15.5	55.6	103.0
6.0	4.2	15.0	73.4	5.1	18.5	77.3	6.1	22.1	80.7	7.2	25.9	85.0	8.4	30.1	88.7	9.5	34.3	91.8	10.9	38.2	94.7	12.4	44.5	97.7	13.7	49.5	101.0	16.8	60.5	109.0
7.0	4.5	16.3	77.6	5.5	19.9	81.6	6.6	23.8	85.0	7.8	27.9	89.3	9.0	32.5	93.0	10.3	37.0	96.1	11.7	41.3	99.0	13.3	48.0	102.2	14.8	53.5	105.0	18.2	65.5	113.0
8.0	4.9	17.6	81.7	5.8	21.0	85.7	7.1	25.5	89.3	8.3	29.7	93.1	9.6	34.8	97.3	11.0	39.4	99.7	12.5	44.1	103.0	14.2	51.2	105.8	15.9	57.2	109.0	19.5	70.2	116.0

Fuente: Plástico Rex, S.A. (2005)

Cuadro 19: Análisis de información recopilada en el lote 12 y 21 de la sección ocho, finca Tululá.

PARÁMETROS	Unidades	PRUEBAS		Media
		Lote 12	Lote 21	
Lámina neta de riego	Ln (mm)	42.26	42.26	42.26
Intervalo mínimo entre riego	lr	8	8	8
Lámina bruta de riego	Lb (mm)	40.01	38.37	39.19
Lámina captada por pluviómetros	Lc (mm)	36.23	36.73	36.48
Lámina mínima captada	Lcmin (mm)	16.58	22.51	19.54
Uniformidad de aplicación	UA (%)	45.76	61.28	53.52
Coeficiente de uniformidad	Cu (%)	61.48	75.64	68.56
Eficiencia de aplicación	Efa (%)	41.44	58.66	50.05
Pérdidas de agua por transporte	Pa (%)	9.45	4.28	6.86
Intensidad de aplicación	la (cm/h)	1.62	1.67	1.64
Tiempo requerido por posición	Tr (hr)	6.30	4.32	5.31
Cambios de posición/día	NPLD	3.81	5.56	4.68
Capacidad del sistema	CS (/hr)	98.40	101.34	99.87

Fuente: Elaborado por el autor, (2011).

Cuadro 20: Análisis de información recopilada en la sección 14 de la finca Tuluá.

PARÁMETROS	Unidades	PRUEBAS			Media
		Lote 01	Lote 04	Lote 03	
Lámina neta de riego	Ln (mm)	45.41	45.41	45.41	45.41
Intervalo mínimo entre riego	lr	8.39	8.39	8.39	8.39
Lámina bruta de riego	Lb (mm)	63.19	56.67	57.59	59.15
Lámina captada por pluviómetros	Lc (mm)	42.35	35.92	46.15	41.47
Lámina mínima captada	(mm)	18.49	20.81	25.57	21.62
Uniformidad de aplicación	UA (%)	43.65	57.92	55.41	52.33
Coeficiente de uniformidad	Cu (%)	63.32	70.26	67.29	66.96
Eficiencia de aplicación	Efa (%)	29.25	36.71	44.41	55.19
Pérdidas de agua por transporte	Pa (%)	32.99	36.62	19.85	29.82
Intensidad de aplicación	la (cm/hr)	2.11	1.89	1.86	1.95
Tiempo requerido por posición	Tr (hr)	7.37	6.55	5.50	6.47
Cambios de posición/día	NPLD	3.26	3.67	4.36	3.76
Capacidad del sistema	CS (m3/hr)	170.62	153.02	150.46	158.03

Fuente: Elaborado por el autor (2011).



Mazatenango, Julio 2,012

Ing. Agr. Martin Salvador Sánchez Cruz
Coordinador de la Carrera de Agronomía Tropical
Centro Universitario de Suroccidente
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Respetable Ingeniero:

Atentamente me dirijo a usted deseándole éxitos en sus labores diarias.

Por medio de la presente hago constar que hemos procedido a revisar el trabajo de graduación titulado “**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN L. Poaceae “CAÑA DE AZÚCAR” EN FINCA TULULÁ, SAN ANDRÉS VILLA SECA, RETALHULEU.**”, presentado por el estudiante Juan Luis Ajanel Ajcot, quien se identifica con carné estudiantil 200640912.

Luego del asesoramiento otorgado y de la revisión del informe considero que el mismo llena los requisitos para continuar los trámites correspondientes, por lo que firmo la presente en calidad de revisor del trabajo de graduación.

Atentamente,

Ing. Agr. Carlos Antonio Barrera Arenales
Supervisor y revisor



Mazatenango, Julio 2012

Lic. José Alberto Chuga Escobar
Director Centro Universitario de Suroccidente
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Lic. José Alberto Chuga Escobar :

Por medio de la presente me permito informar que el estudiante Juan Luis Ajanel Ajcot, quien se identifica con carné 200640912, de la carrera de Agronomía Tropical ha concluido su trabajo de graduación titulado **“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN L. Poaceae “CAÑA DE AZÚCAR” EN FINCA TULULÁ, SAN ANDRÉS VILLA SECA, RETALHULEU”**, el cual fue supervisado y revisado por el profesional: Ing. Agr. Carlos Antonio Barrera Arenales catedrático de la Carrera de Agronomía Tropical.

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

Sin otro particular me suscribo de usted,
Atentamente.

Ing. Agr. Martin Salvador Sánchez Cruz
Coordinador de la Carrera de Agronomía Tropical



Mazatenango, julio de 2012

**Honorable Consejo Directivo
Centro Universitario de Sur Occidente
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente**

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 ASPERSIÓN *L. Poaceae* “CAÑA DE AZÚCAR” EN FINCA TULULÁ, SAN ANDRÉS VILLA SECA, RETALHULEU.”**

Trabajo de graduación presentado como requisito previo para obtener el título de Ingeniero Agrónomo en Agronomía Tropical, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas. **SOLICITO:** la autorización del acto de graduación.

Sin otro particular, agradeciendo la presente y en espera de una respuesta positiva, me suscribo de ustedes.

Deferentemente:

Juan Luis Ajanel Ajcot
Carné 200640912