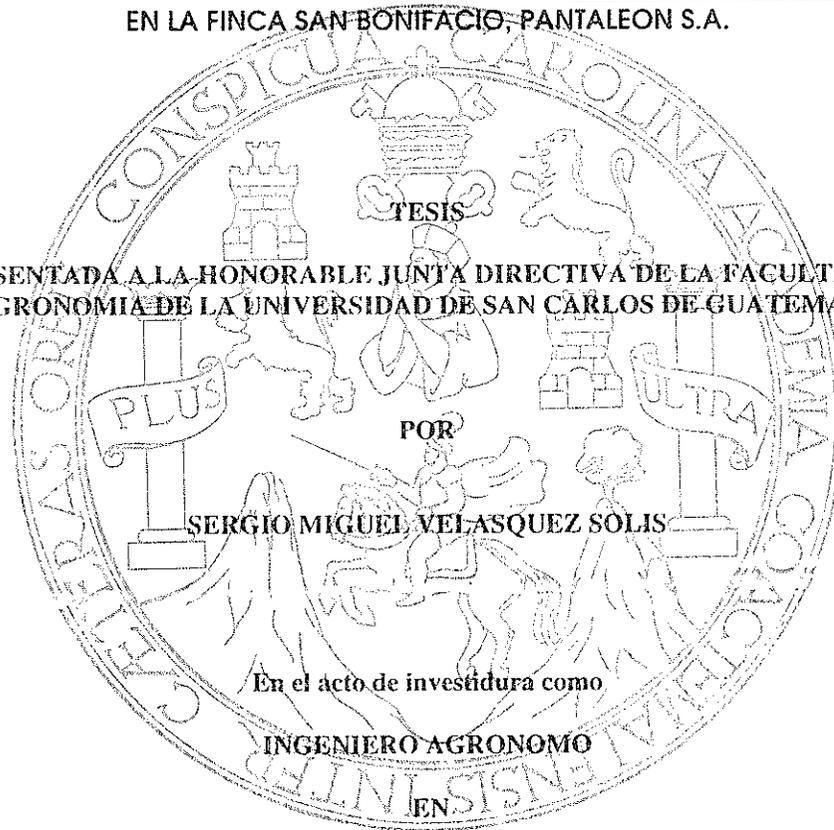


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

DETERMINACION DEL EFECTO DE SIETE FRECUENCIAS DE RIEGO  
EN EL RENDIMIENTO DE LA CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum*)  
EN LA FINCA SAN BONIFACIO, PANTALEON S.A.

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE  
AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



SERGIO MIGUEL VELASQUEZ SOLIS

En el acto de investidura como  
INGENIERO AGRONOMO

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA  
EN EL GRADO ACADEMICO DE  
LICENCIADO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 1999

# UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR  
ING. AGR. EFRAIN MEDINA GUERRA

## JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONO

DECANO	ING. AGR. EDGAR OSWALDO FRANCO RIVERA
VOCAL I	ING. AGR. WALTER ESTUARDO GARCIA TELLO
VOCAL II	ING. AGR. WILLIAM ROBERTO ESCOBAR LOPEZ
VOCAL III	ING. AGR. ALEJANDRO ARNOLDO HERNANDEZ
VOCAL IV	BR. JACOBO BOLVITO RAMOS
VOCAL V	BR. JOSE DOMINGO MENDOZA CIPRIANO
SECRETARIO	ING. AGR. EDIL RENE RODRIGUEZ QUEZADA

Guatemala, Octubre de 1999

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

Señores Miembros:

De conformidad con la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a la consideración de ustedes el trabajo de tesis titulado:

Determinación del efecto de siete frecuencias de riego, en el rendimiento de la caña de azúcar (Saccharum officinarum) en la finca San Bonifacio, Pantaleón S.A.

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

Esperando contar con la aprobación del mismo, me suscribo.

Atentamente.



SERGIO MIGUEL VELASQUEZ SOLIS

## ACTO QUE DEDICO

A DIOS:

En agradecimiento por su amor y misericordia, ya que ha permitido alcanzar esta meta tan importante en mi vida. Por que todo lo puedo en él que me fortalece.

A: MIS PADRES

Oscar Francisco Velásquez T.  
Martina Solís de Velásquez  
Porque estoy seguro que junto a Dios han estado ayudándome para que el logro de esta meta fuera una realidad. Para ellos todo mi amor, admiración y recuerdo imperecedero.

## TESIS QUE DEDICO

A:

DIOS	Fuente de vida, sabiduría y amor.
MI ESPOSA	Silvia María. Por su amor, apoyo permanente y motivación para alcanzar esta meta.
MI HIJA	María Isabel. Merecedora de todo esfuerzo y sacrificio. Como un regalo por toda la felicidad que ha traído a nuestras Vidas.
MI TIA	Cecilia Solís Sánchez. En recompensa a todo ese esfuerzo y todo lo sacrificado para poder darme las herramientas que me han sido útiles para el logro de esta meta.
MIS HERMANOS	Juan Francisco, Ana Lucía y Claudio Fernando. Que siempre han sabido brindarme su apoyo y de todos he aprendido.
LA FAMILIA	Berdúo Samayoa. Como una muestra de cariño y agradecimiento por hacerme parte de su familia.
MIS AMIGOS	Como muestra de afecto y sincera amistad.

## AGRADECIMIENTO

A:

Ing. Agr. M.S.c. Victor M. Cabrera Cruz e Ing. Agr. Edgar Martínez T. Por su apoyo, amistad y asesoramiento de esta tesis.

Ingenio Pantaleón. Empresa Agroindustrial que me brindó la oportunidad de realizar este trabajo de tesis y desarrollarme profesionalmente.

Todo el personal del Depto. De Riego y Drenaje del Ingenio Pantaleón por su amistad y apoyo al desarrollo de este trabajo. En especial a Rigoberto Osorio X. Hermenegildo Arriaga M. y Eduardo Yuc de Paz.

Carlos Anzueto y Fernando Juárez Mich por su apoyo en la edición de esta tesis

Sr. Gilberto Rivera por su apoyo en el trabajo de campo durante su administración de la Finca Sn Bonifacio.

# CONTENIDO GENERAL

INDICE DE FIGURAS	iii
INDICE DE CUADROS	iv
RESUMEN	vi
1. INTRODUCCION	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3. MARCO TEORICO	4
3.1 MARCO CONCEPTUAL	4
3.1.1 Importancia del agua de riego y finalidad en el cultivo de la caña de azúcar	4
3.1.2 Evapotranspiración	5
3.1.3 Determinación de las necesidades de agua	5
3.1.3.1 Métodos directos	5
3.1.3.2 Métodos indirectos	5
3.1.3.3 Métodos de parcelas experimentales	6
3.1.3.4 Métodos de Blaney - Criddle	7
3.1.4 El suelo y el agua	8
3.1.5 Densidad aparente (Da)	8
3.1.6 Capacidad de campo (Cc)	9
3.1.7 Punto de marchitez permanente (PMP)	9
3.1.8 Humedad aprovechable o disponible a las plantas	10
3.1.9 Profundidad de penetración de las raíces	10
3.1.10 Lámina de humedad aprovechable	11
3.1.11 Estudios realizados en Guatemala sobre riego en el cultivo de la caña de azúcar	12
3.2 MARCO REFERENCIAL	13
3.2.1 Ubicación y descripción del área	13
3.2.2 Clima	13
3.2.3 Zona de vida	13
3.2.4 Región fisiográfica	14
4. OBJETIVOS	15
4.1 GENERAL	15
4.2 ESPECIFICO	15
5. HIPOTESIS	16
6. METODOLOGIA	17
6.1 Manejo del cultivo	17
6.2 Especie y variedad	17
6.3 Manejo del experimento	18
6.3.1 Período de manejo	18
6.4 Suelo	19
6.4.1 Origen y clasificación	19
6.4.2 Características físicas	19
6.4.2.1 Textura	19
6.4.2.2 Estructura	20
6.4.2.3 Reacción pH	20
6.4.2.4 Contenido de materia orgánica	20
6.4.3 Trazo del experimento	20
6.5 Tratamientos	20
6.5.1 Lámina de agua consumida	21

6.5.2 Muestras de humedad	21
6.6 Muestras de población, crecimiento y diámetro de tallos	21
6.7 Diseño experimental	22
6.8 Variables respuesta	22
6.9 Método de análisis de resultados	22
7. RESULTADOS Y DISCUSION	24
7.1 Variables respuesta	24
7.1.1 Población de tallos	24
7.1.2 Altura de Tallos	26
7.1.3 Diámetro de tallos	28
7.1.4 Rendimiento de kilogramos de azúcar por tonelada	28
7.1.5 Rendimiento de toneladas de caña por hectárea	29
7.2 Análisis económico	30
7.3 Uso del agua	33
7.3.1 Lámina total de agua consumida y número de riegos en cada tratamiento	33
8. CONCLUSIONES	34
9. RECOMENDACIONES	35
10. BIBLIOGRAFIA	36
11. APENDICE	38

## INDICE DE FIGURAS

	Pag.
1. Población de tallos/ m. lineal por tratamiento respecto al tiempo (ddc)	26
2. Altura de tallos por tratamiento respecto al tiempo (ddc)	27
3. Rendimiento en toneladas de caña/Ha. por tratamiento	30
4. Curva de beneficios netos	31
5A. Zona ampliada del lugar donde se realizó el estudio.	39
6A. Cañal seleccionado para la ubicación del ensayo	40
7A. Croquis de las parcelas experimentales y distribución de los tratamientos	41

## INDICE DE CUADROS

		Pag.
1.	Secuencia de Labores del cultivo de la caña de azúcar	17
2.	Análisis físico del perfil del suelo, del área del ensayo	19
3.	Lecturas de población de tallos por tratamiento	25
4.	Altura de tallos promedio por tratamiento	26
5.	Comparación múltiple de medias de tukey de altura de tallos por tratamiento	28
6.	Diámetro de tallos promedio por tratamiento	28
7.	Rendimiento promedio por tratamiento de libras de azúcar/Ton	29
8.	Rendimiento promedio en Ton/Ha. y número de riegos por tratamiento	29
9.	Análisis de dominancia. Costos variables y beneficios netos/tratamiento	31
10.	Costos de aumento de producción por tratamiento.	32
11.	Láminas de agua total consumida y número de riegos en cada tratamiento	33
12A.	Resumen del análisis de varianza de la población de tallos	42
13A.	Resumen del análisis de varianza de la altura de tallos	42
14A.	Resumen del análisis de varianza del diámetro de tallos	43
15A.	Resumen del análisis de varianza del rendimiento lbs. azúcar/Ton	43
16A.	Resumen del análisis de varianza, rendimiento Ton/Ha	44
17A.	Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para todos los tratamientos en el riego general de establecimiento	44
18A.	Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F -20	45
19A.	Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F - C	45
20A.	Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F -30	46

21A.	Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F -40	46
22A.	Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F -50	47
23A.	Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F -60	47
24A.	Valores de evaporación registrados en el tanque tipo "A" de la estación Mangalito durante el tiempo del ensayo	48
25A.	Valores de precipitación registrados en la estación Mangalito durante el tiempo del ensayo	49

**DETERMINACION DEL EFECTO DE SIETE FRECUENCIAS DE RIEGO EN EL RENDIMIENTO DE LA CAÑA DE AZUCAR (Saccharum officinarum) EN LA FINCA SAN BONIFACIO, PANTALEON S.A.**

**DETERMINATION OF SEVEN IRRIGATION FRECUENCIAS ON SUGAR CANE (Saccharum officinarum) YIELD IN SAN BONIFACIO FARM, PANTALEON S.A.**

**RESUMEN**

El presente estudio de la caña de azúcar, el cual evaluó el efecto de siete frecuencias de riego sobre su rendimiento, se llevó a cabo en la finca San Bonifacio del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa del departamento de Escuintla, y el período experimental estuvo comprendido de Noviembre de 1992 a Noviembre de 1993. La variedad de caña utilizada fué la CP-72-2086 la cual ocupa el mayor porcentaje de área sembrada dentro de la empresa Pantaleón S.A. y toda la zona cañera en general. Los tratamientos evaluados fueron los siguientes: con riego cada 20 días (F-20), cada 30 días (F-30), cada 40 días (F-40), cada 50 días (F-50) y cada 60 días (F-60) así como un testigo comercial (riego cada 25 días) y un testigo absoluto el cual recibió únicamente un riego de establecimiento, el tipo de riego utilizado fué superficial por surcos (gravedad). Se empleó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones, en un suelo con textura franco - arenosa.

El consumo de agua fué calculado en base a la determinación de la humedad por el método gravimétrico 24 horas antes de cada riego y 48 horas después de regar por tratamiento. Siendo los tratamientos F-20 y F-C los que mayor consumo de agua tuvieron, 28.11 y 31.11 cm. respectivamente; siendo estos los que recibieron, cinco riegos en total. Lo contrario sucedió con el testigo, que únicamente recibió un riego para un consumo de 6.19 cm. de lámina de agua.

El efecto de las frecuencias evaluadas se midió en las variables respuesta de producción tanto de caña de azúcar en peso (Ton/ha), como de azúcar (kg/Ton caña), así también la población de tallos, altura de tallos y diámetro de los tallos. Para todas las variables ninguno de los tratamientos presentó diferencia estadística significativa, a excepción de la longitud de tallos que luego de realizarse la prueba de tuckey presentó una separación de la siguiente manera: La frecuencia F-20 fué el mejor de los tratamientos con 2.28m, agrupando en un segundo lugar los tratamientos F-30, F-40, F-50, F-60 y F-C con valores entre 1.79 y 2.22 ; correspondiendo el tercer lugar para el testigo o sea el peor de los tratamientos para esta variable con 1.73m.

La producción de caña en Ton/Ha , aunque no reportó diferencias estadísticas entre tratamientos si se vió afectada por el número de riegos, ya que aumentó la producción en 5.87 ton. por riego aplicado.

Dentro de las recomendaciones resalta la siguiente: para suelos franco arenosos se recomienda aplicar como mínimo dos riegos en la fase de crecimiento del cultivo durante la época seca, y uno al establecimiento de la plantación.



1

2

# 1. INTRODUCCIÓN

La Importancia que ha adquirido el cultivo de la caña de azúcar en Guatemala en los últimos años ha sido notorio, lo cual se ratifica al observar que Guatemala se encuentra ubicada dentro de los 10 exportadores más importantes a nivel mundial y ocupa el tercer lugar dentro de los países de América Latina y El Caribe después de Cuba y Brasil. (2)

El crecimiento a partir de la zafra 1959/60 ha sido constante. En la última década la producción de azúcar se incrementó en un 142%; lo que ha permitido que se exportar el 48% de azúcar producido en la zafra 1986/87, se incrementó al 72% en la zafra 1996/97, esto ubica al país entre los principales países exportadores del mundo. (7) En 1992 se alcanzó la cifra de 110.9 millones de dólares en exportaciones, mientras que para 1993 esta cifra fue de 153.1 millones lo cual implica un crecimiento de 12.2%. (6)

Es necesario por consiguiente que a la par del crecimiento de la producción y del área cultivada, se incremente también la búsqueda de nuevas técnicas o el mejoramiento de las ya establecidas del cultivo de la caña de azúcar. Es así como ha surgido la inquietud de realizar un estudio para determinar el efecto del riego en la producción de caña de azúcar y su calidad; evaluando específicamente diferentes frecuencias de riego; ya que son pocos los estudios realizados hasta la fecha en esta materia.

Esta investigación se realizó en la finca San Bonifacio, propiedad de la empresa Pantaleón S.A., en caña de soca de la variedad CP-72-2086 y las frecuencias de riego evaluadas fueron: cada 20, 30, 40, 50, 60 días así como un testigo comercial además del testigo absoluto al cual no se le aplicó ningún riego a excepción del riego general, necesario para el establecimiento del ensayo. El período de realización del estudio abarcó un año completo, tiempo que dura el ciclo del cultivo.

El trabajo tuvo como objetivo evaluar siete frecuencias de riego que incluyeron un testigo comercial y un testigo absoluto; con el fin de determinar la más adecuada desde el punto de vista agronómico y económico.

Para las siete frecuencias de riego evaluadas no hubo diferencias significativas en las variables: rendimiento de caña en ton./ha., rendimiento de azúcar en kg./ha., población de tallos y diámetro de tallos; a excepción de la altura de tallos, la cual si presentó diferencias estadísticamente significativas, siendo la frecuencia de 20 días con cinco riegos, el mejor de los tratamientos respecto a esta variable.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo de la agroindustria azucarera de Guatemala ha tenido un ritmo creciente notorio en la última década, lo cual se confirma con las estadísticas publicadas por GEPLACEA (2), las cuales indican que Guatemala ocupa el sexto lugar en volumen de producción y el tercero por su nivel de exportación dentro de los países de América Latina y el Caribe.

El incremento de las exportaciones de la agroindustria ha colocado al azúcar como el segundo renglón más importante de la economía del país, en lo que a la generación de divisas se refiere, inmediatamente después del café (2).

La industria azucarera es fuente directa de empleo para distintos niveles de la población guatemalteca. Aproximadamente 65.000 empleos son generados anualmente en la producción, industrialización y comercialización de azúcar. Esto favorece a unas 325,000 personas dependientes de las primeras.(7) Lo anterior trae consigo beneficios para el país, principalmente en lo que se refiere a la mejora en el nivel de vida de la población que habita en la zona cañera.

Lo anteriormente expuesto, ha venido a despertar el interés de muchos productores de caña de azúcar, quienes han incrementado las áreas de cultivo con el fin de obtener mayores producciones. Esto además trae consigo la búsqueda de técnicas que les permita hacer uso eficiente de los recursos e incrementar la producción de caña y azúcar por unidad de área. Siendo el riego una de las prácticas de cultivo que satisface este requerimiento, ha experimentado un incremento en su uso durante los últimos años.

El incremento de la práctica del riego en el cultivo de la caña de azúcar, hace necesario su investigación para hacer de ella una práctica rentable, porque no sólo se trata de aplicar agua al cultivo, sino de hacerlo de una forma adecuada para que el uso del recurso agua se realice de forma sostenible.

Debido a que los trabajos de investigación de riego en caña de azúcar realizados hasta la fecha son muy pocos; y los publicados menos, surge la necesidad de realizar varios estudios por parte del Ingenio Pantaleón con el fin de hacer más eficiente el uso del recurso agua. Así también los estudios e investigaciones en la materia, principalmente por parte del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICANA), encaminadas a orientar a los productores de caña respecto al número de riegos necesarios para el desarrollo del cultivo haciéndolo más rentable. Ya que lo observado demuestra que se aplica uno o dos riegos durante toda la época seca, siendo estos en cantidades excesivas o simplemente no se realiza ningún riego.

El objetivo del presente trabajo de investigación, ha sido generar información acerca del número de riegos adecuados para el cultivo de la caña de azúcar, así mismo hacer énfasis en la importancia del uso eficiente del recurso agua, que cada vez se torna más difícil su obtención y distribución para cubrir las necesidades de los agricultores, ganaderos y población en general.

## 3. MARCO TEÓRICO

### 3.1 MARCO CONCEPTUAL

#### 3.1.1 Importancia del Agua de Riego y Finalidad en el Cultivo de la Caña de Azúcar.

La producción de material vegetal es tanto mayor cuando la evapotranspiración se acerca más a la evapotranspiración potencial. El objetivo del riego es completar el suministro de agua natural y satisfacer en la mejor forma posible las necesidades de evapotranspiración del cultivo.(12)

En Colombia, expone Buenaventura (4), la caña de azúcar presenta demandas de agua que oscilan entre 1,200 - 1,500 mm/año, siendo necesaria bajo las condiciones locales la aplicación de 6 - 10 riegos por período vegetativo, de donde resalta la importancia económica del riego al constituir más del 50% de los costos de producción de caña en pie.

El riego de la caña de azúcar fue empleado en principio en las regiones muy secas, en donde sin el suministro de agua, el cultivo de la caña no era posible. Posteriormente, y con la tendencia general a intensificar la producción se han suministrado los riegos de auxilio para conseguir un aumento en los rendimientos. Este es el caso de varias regiones tropicales con estación seca acentuada o con lluvias concentradas en sólo algunos meses. El riego de la caña cuando está en fase de crecimiento durante la estación seca frecuentemente muy soleada, aumenta los rendimientos en una gran proporción. En otras regiones la finalidad del riego es compensar la insuficiencia o irregularidad de las precipitaciones. (14)

Se considera que el rendimiento mínimo de la caña bajo riego debe ser en promedio 100 ton/ha. En algunas regiones cañeras el aumento en el rendimiento debido al riego es del orden de 30 ton. de caña /ha.(14)

La finalidad de las prácticas de riego es asegurar que las plantas tengan un suministro adecuado de agua en la zona de sus raíces, para producir rendimientos óptimos. El diseño y la administración del riego se ocupan de dos problemas principales: la oportunidad del riego y las cantidades de agua aplicadas.(14)

Los suelos pueden retener una cantidad limitada de agua y, de ella, solo una parte se encuentra a disposición de las plantas. Se debe aplicar agua, antes de que esa porción del agua retenida se agote por completo. El problema del tiempo implica el cálculo de la humedad disponible y el ritmo al que se agota. El problema de las cantidades de agua que se deben aplicar consiste en determinar la cantidad que hará que las condiciones de humedad del suelo sean más favorables para las plantas. Esto, por lo común, es el máximo que puede retener el suelo en la zona de las raíces.(23)

### 3.1.2 Evapotranspiración.

El uso consuntivo, o sea, la evapotranspiración, es la suma de los términos: a) transpiración, que es el agua que penetrando a través de las raíces de las plantas es utilizada en la construcción de tejidos o emitida por las hojas y reintegrada a la atmósfera, y b) evaporación, que es el agua evaporada por el terreno adyacente, por la superficie del agua o por la superficie de las hojas de las plantas. El agua depositada por el rocío, la lluvia o la lluvia artificial y que se evapora sin ser utilizada por el sistema de la planta, forman parte de la evapotranspirada. La evapotranspiración puede ser calculada para un cultivo, una parcela, una finca, un proyecto o una cuenca. Cuando se conocen las necesidades de agua de un cultivo, se pueden calcular las de unidades superiores.(15)

### 3.1.3 Determinación de las necesidades de Agua.

Las necesidades globales de agua por la caña de azúcar pueden ser establecidas por una evaluación de la evapotranspiración potencial (ETP).(14)

La ETP puede ser determinada por los procedimientos siguientes:

#### 3.1.3.1 Métodos Directos:

Estos proporcionan la evapotranspiración a través de medidas, pudiéndose obtener en el mismo lugar donde se localicen los aparatos con que se realice, para esto se pueden utilizar los siguientes métodos y aparatos (16): lisímetros, evapotranspirómetros, atmómetros, parcelas experimentales, estudios sobre humedad del suelo y métodos de integración, métodos de entradas y salidas. También se mencionan otros como tensiómetros y los instrumentos a base de resistencia eléctrica, además los bloques porosos de resistencia y el método de dispersión de neutrones.(16)

#### 3.1.3.2 Métodos Indirectos:

Los métodos indirectos se basan en el cálculo a partir de los datos meteorológicos al utilizar las fórmulas de varios autores entre los cuales se citan a Penman, Thornwaite, Turc y Blaney-Criddle. La fórmula de Penman es muy precisa pero de cálculo engorroso, ya que en ella intervienen numerosos datos. Los resultados obtenidos con fórmulas más sencillas tienen la suficiente aproximación, para poder establecer la programación de riego. (16)

Es difícil una gran precisión en estas medidas y en la práctica uno se limita a una estimación de la ETP por meses y en el mejor de los casos por decenas de días, con una precisión aceptable.(14)

La cantidad teórica de agua que se debe proporcionar al cultivo mediante el riego es igual a la diferencia entre la evapotranspiración medida por alguno de los métodos anteriores y la aportación de las lluvias en un período dado. Para la estimación de las necesidades reales en la parcela deberán considerarse las pérdidas por conducción ya que se trata de lámina neta. (14)

### 3.1.3.3 Método de Parcelas Experimentales.

Israelsen y Hansen (15), menciona que este método proporciona datos más reales que los lisímetros y que para la obtención de la humedad del suelo se recurre al método gravimétrico, que aunque laborioso y costoso es de gran valor.

La práctica consiste en barrenar hasta las profundidades deseadas, extraer las muestras de suelo húmedo, colocarlas en cajas de aluminio con tapa hermética y llevarlas al laboratorio para su posterior desecación y pesado. Este método está limitado por el tiempo que transcurre entre las tomas de muestras y su desecación en el horno, que por lo regular es de 24 horas. El porcentaje de humedad de la muestra se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$ps = \frac{psh - pss}{pss} \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

donde:

ps = Porcentaje de humedad de la muestra

psh = Peso de suelo húmedo

pss = Peso de suelo seco

Según Grassi (11), existen dos variantes para determinar los tratamientos a aplicar a un complejo de cultivo - suelo y agua son:

- a) Frecuencia fijada por el umbral de riego electo para cada tratamiento, en donde la lámina de reposición es constante.
- b) El intervalo de riego en número preestablecido de días constante para cada tratamiento, en donde la lámina de reposición es variable.

En el caso de la lámina de reposición constante, se requiere de determinaciones frecuentes a fin de regar al nivel de humedad preestablecido. En cambio la lámina variable solo es necesario conocer la humedad antes de riego, a fin de calcular la lamina a reponer. (17)

### 3.1.3.4 Método de Blaney-Criddle.

En este método se toma en cuenta, además de la temperatura y las horas de sol diarias, el tipo de cultivo, la duración de su ciclo vegetativo, la temporada de siembra y la zona.(1)

El ciclo vegetativo de un cultivo es el tiempo que transcurre entre la siembra y la cosecha y, por supuesto, varía de cultivo a cultivo. Para la caña de azúcar, este se considera perenne y se le asigna un Coeficiente global (Kg) entre 0.75 y 0.90. (1)

Si se desea estimar la evapotranspiración durante un ciclo vegetativo completo, se puede emplear la fórmula:

$$Et = Kg F \quad \text{Ec. 2}$$

donde:

Et = evapotranspiración durante el ciclo vegetativo, cm.

F = factor de temperatura y luminosidad.

Kg = coeficiente global de desarrollo.

El factor de temperatura y luminosidad F se calcula como:

$$F = \sum_{i=1}^n f_i \quad \text{Ec. 3}$$

donde:

n = número de meses que dura el ciclo vegetativo.

$$f_i = P_i \frac{T_i + 17.8}{21.8} \quad \text{Ec. 4}$$

f<sub>i</sub> = factor de temperatura y luminosidad del mes i.

P<sub>i</sub> = porcentaje de horas de sol del mes i con respecto al año

T<sub>i</sub> = temperatura media del mes i en grados centígrados.(1)

### 3.1.4 El Suelo y El Agua.

Los suelos deben clasificarse de acuerdo con su adaptabilidad para el riego. Algunos suelos absorben agua rápidamente y retienen grandes cantidades, otros se humedecen lentamente y retienen poca agua, y otros más la absorben con facilidad y la pierden rápidamente. La velocidad de infiltración y la capacidad de retención de humedad deben conocerse antes de iniciar el sistema práctico del riego.(14)

La velocidad de infiltración puede ser definida como la velocidad de penetración del agua en el perfil del suelo, cuando la superficie del terreno se cubre con una delgada lámina de agua.

Si se aplica agua a un área de terreno, la cantidad absorbida aumenta menos que proporcionalmente con respecto al tiempo, evidenciando una disminución de la velocidad de infiltración.

Los valores de velocidad de infiltración que normalmente se obtienen en el campo, presentan una gran variabilidad en cuanto a su distribución espacial, debido a la influencia de: a) características físicas del suelo; b) características del perfil del suelo; c) niveles de humedad en el suelo; d) método de riego y manejo del agua; e) otros factores (influencia de la temperatura, aire atrapado, etc.)

Es en razón de tales factores, algunos de los cuales son extremadamente dinámicos, que aún no ha sido posible llegar a una cifra para la capacidad de infiltración, perteneciente a una específica unidad taxonómica de suelo, excepto cuando se requiere una estimación aproximada de la velocidad de infiltración básica, o cuando se usa una expresión cualitativa, como alta, moderada o baja. (11)

Los límites extremos de permeabilidad estabilizada para un terreno a regar son 2 mm/hora y 100 mm/hora; pero de hecho permeabilidades inferiores a 5 mm/hora y superiores a 50 mm/hora; es decir, para suelos muy impermeables o por el contrario muy permeables, únicamente es posible el riego por aspersión o por inundación.(11)

### 3.1.5 Densidad Aparente ( $D_a$ ):

Es el peso aparente del suelo en el lugar, y sus valores varían de 0.8 (suelos húmiferos) a 2.0 (suelos arenosos) g/ml.(11)

Es el peso de los sólidos del suelo por unidad de volumen total del mismo. El volumen de poros es una parte del volumen de suelo medido para la estimación de la densidad.

La medición directa de la densidad aparente requiere operaciones de campo y de laboratorio. Los datos se expresan necesariamente en unidades de peso y volumen. El tipo de unidades es indiferente con tal que estén bien especificadas (por ejemplo libras por pie cúbico), aunque las unidades más corrientemente empleadas son los gramos por centímetro cúbico.

### 3.1.6 Capacidad de Campo (Cc):

Se define a la capacidad de campo como el contenido de humedad que tiene el suelo inmediatamente después de que el agua gravitacional ha drenado. O sea que es la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener en contra de la fuerza de gravedad. El concepto de capacidad de campo es de gran utilidad por ser el límite superior de agua aprovechable o disponible para el desarrollo de las plantas y además porque es el porcentaje de humedad al que la zona radicular debe regarse para que no existan desperdicios ni falta de agua a la planta. (22)

Cuando se está en capacidad de campo, los poros grandes del suelo se llenan de aire, los microporos se encuentran llenos de agua y el movimiento del agua en el suelo es lento, debido a fuerzas capilares principalmente. Después de aplicar un riego pesado o una lluvia fuerte hasta humedecer completamente el perfil del suelo, el agua gravitacional tarda normalmente de 2 a 3 días para drenar, aunque el rango puede variar de pocas horas en suelos muy arenosos hasta 5 días o más en suelos muy arcillosos o con mal drenaje (presencia de capas impermeables o niveles freáticos superficiales). (22)

La tensión a la cual el agua está retenida en un suelo libre de sales cuando se está a capacidad de campo varía entre 1/10 de atmósfera para suelos arenosos y 1/3 de atmósfera para suelos arcillosos. (22)

La capacidad de campo como su nombre lo indica, es un dato que se obtiene en el campo, mediante muestreo periódico del contenido de agua practicado después de un riego abundante, en un área donde se ha detenido la evapotranspiración, hasta que la velocidad de disminución del contenido hídrico sea prácticamente despreciable. (11)

### 3.1.7 Punto de Marchitez Permanente (PMP):

El punto de marchitez permanente (PMP) se define como el porcentaje o contenido de humedad del suelo al cual las plantas no pueden obtener suficiente humedad para satisfacer sus requerimientos de transpiración. (22)

El PMP corresponde al límite inferior del agua disponible a las plantas y la tensión a la cual el agua está retenida por el suelo varía de 7 a 32 atmósferas, dependiendo de la velocidad de utilización del agua por la planta (transpiración), del tipo de cultivo, textura del suelo y contenido de sales en el suelo. Cuando aumenta la velocidad de transpiración, el marchitamiento se produce con tensiones más bajas y contenido de humedad mayor. Para la mayoría de cultivos comerciales el PMP se alcanza cuando la tensión de la humedad en el suelo es de 15 atmósferas, y es por eso que también al PMP se le define como el contenido de humedad que tiene el suelo cuando el agua está retenida a 15 atmósferas.(22)

El punto de marchitamiento permanente se determina en el laboratorio por métodos biológicos, o midiendo el contenido de agua del suelo en equilibrio con una presión de desplazamiento de 15 atm. (11)

### 3.1.8 Humedad Aprovechable o Disponible a las Plantas (HA):

La humedad aprovechable a las plantas (HA) es la diferencia entre el contenido de humedad del suelo a capacidad de campo (como límite superior aprovechable o sea 100% aprovechable) y el punto de marchitez permanente (como límite inferior aprovechable o sea 0% de humedad aprovechable). (22)

La humedad aprovechable puede ser expresada como un porcentaje de humedad de suelo, así:

$$HA(\%) = CC(\%) - PMP(\%) \quad \text{Ec. 5}$$

donde:

HA = humedad aprovechable (%)

CC = capacidad de campo (%)

PMP = punto de marchitez permanente (%).(16)

### 3.1.9 Profundidad de Penetración de las Raíces:

Dato importante que se debe conocer, ya que representa la tercera dimensión del suelo como material de reserva.(11)

El muestreo sucesivo de suelo, con un determinado intervalo después de un riego o lluvia, permite determinar la potencialidad del sistema radical. Ello no es absolutamente exacto, ya que el movimiento lento en suelo no saturado reduce su contenido hídrico, aun fuera del alcance de las raíces.

El agua extraída puede representarse gráficamente en porcentaje absoluto, en porcentaje relativo al total del agua disponible, o en espesor de la lámina de agua. Un procedimiento recomendable es dividir la profundidad de enraizamiento, o rizosfera, en capas que coinciden con las de muestreo y expresar el agua extraída en cada capa en porcentaje del total. El cuadro típico de distribución radical, puede asimilarse a un triángulo equilátero con el vértice hacia abajo. En tal caso, considerando la profundidad de suelo que exploran las raíces dividida en cuatro capas, la cantidad de agua extraída en cada una de arriba hacia abajo, sería 40%, 30%, 20%, 10%. Para programar el riego se toma en consideración la profundidad de máxima exploración radical, D, que comprende entre el 70% y el 90% de las raíces.(11)

Se han encontrado raíces de caña hasta la profundidad de 4m., pero al considerar el conjunto del sistema radicular se aprecia que en relación con la absorción del agua, esta se efectúa en un 60% en los 30 primeros centímetros de suelo y que el sistema radicular activo está situado en un 90% en los primeros 60 centímetros de profundidad del suelo y es la que debe considerarse para el riego de la caña a partir de los 4 meses. En cañas más jóvenes es necesario considerar profundidades más pequeñas (30 cm en la siembra). (11)

### 3.1.10 Lámina de Humedad Aprovechable:

Para fines de riego es conveniente expresar la humedad aprovechable como una lámina de agua (en cm) que el suelo puede retener para uso de las plantas entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente, así:

$$\text{LHA(cm)} = \frac{(\text{CC} - \text{PMP}) \times \text{Da} \times \text{ZR}}{100} \quad \text{Ec. 6}$$

100

donde:

LHA = lámina de humedad aprovechable (cm)  
 CC = capacidad de campo (%)  
 ZR = grosor del estrato del suelo considerado.

PMP = punto de marchitez permanente (%)  
 Da = densidad aparente del suelo (gr/cc)

### 3.1.11 Estudios Realizados en Guatemala sobre Riego en el Cultivo de la Caña de Azúcar.

Juárez (8), evaluó cinco programaciones de riego, con el fin de explorar la respuesta a riego en parcelas pequeñas en plantilla, primera y segunda soca. Usando un diseño experimental en bloques al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, el tipo de riego utilizado fué por surcos y la variedad fué la CP 722086. Los tratamientos evaluados fuerón cinco programaciones de riego aplicados durante la etapa de macollamiento y/o primeros días de la etapa de elongación hasta el inicio de las lluvias aplicados según el balance de humedad del suelo, en seis localidades correspondientes a seis ingenios azucareros: El Baúl, Pantaleón, Madre Tierra, Tululá, Tierra Buena y La Unión, localizados en la zona cañera que abarca los departamentos de Escuintla y Mazatenango.

Las programaciones fueron definidas asumiendo diferente nivel de evapotranspiración de la evaporación diaria del tanque tipo A ( $E_v$ ), variando el factor K en la ecuación  $E_t = K \times E_v$ .

De los resultados obtenidos, solo el ensayo del ingenio Tululá presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para la variable producción (t/ha). Para las demás variables analizadas (% sacarosa, altura y población), no encontró diferencia significativa para ninguno de los sitios donde se estableció el ensayo. Sin embargo, se produjo un leve incremento en el tonelaje con los tratamientos de riego. El incremento promedio obtenido con la máxima producción supera en 9.48 t/ha (8.23 %) al testigo y el obtenido con el coeficiente K 0.4, que se determinó, es el tratamiento a partir del cual se obtienen las mayores ganancias, supera al testigo en 6.19 t/ha (5.87 %).

## 3.2 MARCO REFERENCIAL

### 3.2.1 Ubicación y Descripción del Area.

El trabajo de investigación se realizará en la finca San Bonifacio, (específicamente cañal San Antonio), la cual pertenece a la empresa Pantaleón S.A. y se encuentra ubicada a 14° 19' latitud norte y 90° 59' longitud oeste a una altitud de 250 msnm; siendo sus colindancias al norte con la finca Pantaleón, al sur con el parcelamiento agrario El Cajón, al este con la finca El Bálsamo y al oeste con el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa.(Fig. 6A)

### 3.2.2 Clima.

El área de estudio se encuentra localizada a 250 msnm. El clima para esta zona es cálido sin estación fría bien definida, húmedo con invierno seco, de acuerdo con el sistema Thornthwaite. (18)

Además se presentan las siguientes condiciones climáticas, reportadas para el año 1994 por la estación meteorológica (tipo B) Mangalito ubicada a seis kilómetros aproximadamente del área experimental.

- Humedad relativa promedio anual =	70%
- Precipitación pluvial media anual =	3,776 mm
- Días de lluvia promedio anual =	210
- Temperatura mínima promedio anual =	21.16o C
- Temperatura máxima promedio anual =	32.25o C
- Oscilación térmica promedio anual =	11.09o C
- Horas sol promedio anual =	2,471
- Evaporación promedio anual a la intemperie =	1,545 mm

### 3.2.3 Zona de Vida.

El área se encuentra ubicada en la zona de vida bmh-s (C) Bosque Muy Húmedo Subtropical (Cálido) según Holdridge (10) Donde las biotemperaturas van de 21 grados centígrados a 25 grados centígrados y la evapotranspiración potencial puede estimarse en promedio 0.45. (12)

### 3.2.4 Región Fisiográfica.

La finca San Bonifacio se encuentra ubicada en la región fisiográfica denominada Llanura Costera del Pacífico.(7)

Dentro de esta provincia fisiográfica del sur, está comprendido el material aluvial cuaternario que cubre los estratos de la plataforma continental. Los fluvios que corren desde el altiplano volcánico, al cambiar su pendiente han depositado grandes cantidades de materiales que han formado esta planicie de poca ondulación y de aproximadamente unos cincuenta kilómetros de ancho a lo largo de la costa del Pacífico. (7)

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 GENERAL:

Determinar la respuesta del crecimiento y rendimiento de la caña de azúcar a diferentes frecuencias de riego bajo las condiciones específicas de cultivo de la finca San Bonifacio, suelo franco arenoso y variedad CP-722086.

### 4.2 ESPECIFICO:

Determinar entre siete frecuencias de riego, la más adecuada para el cultivo de la caña de azúcar bajo las condiciones del área, con respecto a la producción de caña en toneladas/ha.

Determinar cual de las frecuencias de riego evaluadas, reúne las condiciones de menor costo y máxima ganancia.

## 5. HIPÓTESIS

**Ho:** El riego aplicado bajo diferentes frecuencias, incidirá en el rendimiento de la caña de azúcar tanto en peso (Ton.caña/Ha.) como en azúcar (Lbs/ton), respecto al testigo.

**Ha:** La respuesta en ganancia económica del cultivo de la caña de azúcar será diferente para cada uno de los intervalos de riego evaluados.

## 6. METODOLOGIA

### 6.1 MANEJO DEL CULTIVO:

En lo que se refiere a las labores del cultivo, fueron las mismas que se realizan en los cañales comerciales de la empresa Pantaleón, específicamente en finca San Bonifacio, con la variante de iniciar la secuencia de labores que se describe en el Cuadro 1; una semana después de cortada la caña y los riegos de acuerdo al cronograma preestablecido.

CUADRO 1. Secuencia de Labores agronómicas del cultivo de la caña de azúcar, en el Ingenio

Pantaleón, Siquinalá Escuintla 1992.

LABORES	SEMANA DESPUES DEL CORTE
Desbasurado manual	5
Subsuelo ó descarne	6
Primer rondeo manual	9
Primer cultivo	11
Primer riego por gravedad	11
Primera fertilización	11
Primera aplicación de herbicida	12
Segundo riego por gravedad	16
Segunda aplicación de herbicida	18
Tercer riego por gravedad	23
Segunda fertilización	23
Rondeo con chapiadora	31
Primera limpia manual	32
Primer control químico de rondas	35
Segundo rondeo con chapiadora	35

### 6.2 ESPECIE Y VARIEDAD:

El cultivo motivo de esta experiencia fue caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) planta liliópsida o monocotiledonea perteneciente a la familia de las gramíneas, tribu andropogonae, género *Saccharum*.

La variedad con que se trabajó fue la CP-722086 por ser la que mayor área ocupa dentro de la empresa, aproximadamente un 41.41% del total cultivada.

Esta proviene de los progenitores Cp-62374 x Cp-63588 y posee las siguientes características:(13)

**Características Botánicas:** sus tallos son erectos, color amarillo verdoso con ligeros tintes rosados, corteza de dureza media y longitud moledera de 2.5 a 3.0 metros; entrenudos cilíndricos de 2.5 a 3.5 centímetros de diámetro y 10 a 12 centímetros de longitud, cubiertos por una moderada capa oscura en la parte que envuelve la vaina; yema pentagonal, pequeña que no toca la cicatriz foliar ni el anillo de crecimiento; hojas de anchura media, erectas con ápice caído, color verde normal y con escasa pubescencia.

**Características Fitosanitarias:** es resistente a las enfermedades del carbón de la caña de azúcar (Ustilago scitaminea Sydow), Roya, (Puccinia melanocephala) y moderadamente resistente al virus del Mosaico de la Caña de Azúcar (VMCA). Es atacada por el barrenador (Diatraea saccharalis).

**Características Agroindustriales:** es de buena germinación, macollamiento bueno y temprano, buen desarrollo cuando se siembra en la época adecuada; despaje regular, las hojas permanecen adheridas al tallo, se desprenden fácilmente con la mano, resistente al Acame, regular tenacidad. Abundante floración que generalmente ocurre en los meses de Octubre y Noviembre. Prospera bien en siembras de humedad y bajo riego, a una altitud de 0 - 220 metros sobre el nivel del mar, se adapta bien a suelo francos, franco-limosos, franco-arenosos y franco-arcillosos, profundos. Alto rendimiento de campo en caña planta y renuevo.

Es de maduración temprana-intermedia (Noviembre - Enero), rica en sacarosa, alta pureza en los jugos y regular contenido de fibra.

## 6.3 MANEJO DEL EXPERIMENTO

Es importante señalar que el cañal seleccionado para el experimento tiene un año de haberse sembrado por lo tanto se le ha dado sólo un corte, luego del cual se iniciaron las prácticas del manejo del experimento.

### 6.3.1 Período de Manejo:

Este comprenderá todo el ciclo del cultivo, aproximadamente 12 meses, comprendiendo este período desde la primera semana después del corte hasta el final de la cosecha; a excepción de los riegos, los cuales se realizarán a partir del riego general o de establecimiento (a las dos semanas después del corte) hasta el establecimiento de las lluvias.

## 6.4 SUELO

### 6.4.1 Origen y Clasificación:

Los suelos pertenecientes al cañal San Antonio de la Finca san Bonifacio, se localizan en una unidad geomorfológica correspondiente a la Planicie Fluviovolcánica de Pie de Monte. Conformados por encontrarse en el cuerpo del abanico, por lahares y derrames de materiales coluvio-aluviales, de origen volcánico (cenizas, pómez, lapilli, escorias); con un relieve plano y ligeramente inclinado.(7) Son de tipo aluvial formados a partir de bancos de arena y grava de donde se han originado los suelos actuales. (3)

Según la clasificación taxonómica, de acuerdo al Sistema Soil Taxonomy, citada en el Estudio Semidetallado de Suelos de la Zona Cañera del Sur de Guatemala (7); describe estos suelos en el orden de los Andisoles, Sub orden Udans, Gran grupo Melanudands, sub grupo y familia Pathic Malanudands Medial.

### 6.4.2 Características Físicas:

Para determinar las características físicas de los suelos de la parcela experimental, se efectuó una microcalicata de 0.6 X 0.6 X 0.6 m. para identificar los diferentes perfiles u horizontes que presentaba la misma, de los cuales se tomaron las profundidades , así como muestras de los mismos , que fueron enviadas al laboratorio de suelos de la Dirección de Riego y Avenamiento (MAGA), de donde se obtuvieron los siguientes resultados:

CUADRO 2: Análisis Físico del Perfil del Suelo.

Horizonte	Prof. (cm)	Textura	% Ar.	% L	% A	1/3 Atm.	15 Atm.	D. Ap. gr/cc	% M.O.	pH	LHA (mm)	LHRA (mm)
Ap	0 - 35	Franco arenosa	9.25	25.75	64.98	24.92	11.5	1.29	6.49	6.4	60	36
2C	35-60	Mezcla heterogenea de gravilla y arena										

#### 6.4.2.1 Textura:

Se analizó una sola muestra debido a las características del perfil del suelo que presentó a los 35 cm. una capa de gravilla y arena (heterogénea); se obtuvo que el suelo presente una textura Franco Arenoso.

#### 6.4.2.2 Estructura:

Es variable de acuerdo a la humedad existente en el suelo; en seco la estructura se presente en bloques subangulares de medio a moderadamente fuertes; mientras que la adición de agua torna el suelo en una masa amorfa.

#### 6.4.2.3 Reacción pH:

El valor promedio del pH de la muestra de suelo es de 6.4; lo cual indica que es ligeramente ácido casi neutro, por lo tanto no existe ningún peligro para el cultivo ya sea por acidez o alcalinidad.

#### 6.4.2.4 Contenido de Materia Orgánica:

El contenido de ésta en el primer y único estrato, se considera alto ya que presenta un valor de 6.49%. Sánchez et. al.(7) se refiere a estos suelos con respecto a la materia orgánica , que ésta forma moléculas complejas con los minerales amorfos del suelo, lo cual se refleja en el color oscuro que caracteriza la parte superior del perfil.

### 6.5 TRAZO DEL EXPERIMENTO:

El tamaño de las parcelas comprendió un número de 5 surcos de 10 m. de largo; dejando entre parcela un surco muerto y 4 m. de ronda entre bloques (Figura 7A), la distancia entre parcelas y la toma de agua es de 15m. aproximadamente. En total el área del lote experimental será de 4,321.5 metros cuadrados.

### 6.5 TRATAMIENTOS:

Los riegos se realizarán por el método de surcos, tomando el agua de una toma principal establecida en la cabecera de los surcos, para lo cual se utilizaran sifones plásticos de 2 pulgadas de diámetro, para llevar el agua a cada parcela.

Las frecuencias de riego serán las siguientes:

F-20 = riego cada 20 días.

F-30 = riego cada 30 días.

F-40 = riego cada 40 días.

F-50 = riego cada 50 días.

F-60 = riego cada 60 días.

F-C = riego cada vez que se riega en la finca.

T = Testigo del experimento

### 6.5.1 Lámina de Agua Consumida:

Esta se calculó para un período determinado, usando valores de porcentaje de humedad después del riego y antes del siguiente, según la fórmula:

$$Lc = \left[ \frac{\% \text{ de HDR} - \text{HAR}}{100} \right] (Da) (Pe) \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

Lc = Lámina de agua consumida en centímetros

% HDR = Porcentaje de humedad después del riego

% HAR = Porcentaje de humedad antes del riego

Da = Densidad aparente del suelo

Pe = Profundidad efectiva de las raíces.

Para el establecimiento del cultivo se le proporcionó un riego general 65 días después del corte (ddc). Los riegos se hicieron por el método superficial (por gravedad) utilizando sifones de 1.5 pulgadas de diámetro.

### 6.5.2 Muestreos de Humedad:

Para el muestreo se empleó un barreno helicoidal, sacando dos muestras en triplicado por parcela, de 0 - 30 y de 30 - 60 cm., los puntos de muestreo se tomaron al azar antes y después del riego. Antes del riego se muestreó con 24 hrs. de anticipación y 48 hrs. después del riego; teóricamente a ese tiempo se alcanza el porcentaje de humedad de capacidad de campo.

## 6.6 Muestreos de Población, Crecimiento y Diámetro de Tallos:

Estos se realizaron cada dos meses a partir del corte, mediante la técnica utilizada en la empresa, por el departamento de investigaciones; para este tipo de muestreos. El cual consiste en contar los tallos de los tres surcos

centrales, de cinco que tiene la parcela experimental por 10 metros de largo. Dentro de cada uno de estos tres surcos, se selecciona una macoña de la cual cinco tallos son medidos en altura y diámetro.

## 6.7 Diseño Experimental

Se usará el diseño de bloques al azar, con siete tratamientos y cuatro repeticiones. Cuyo modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ij} = U + B_j + T_i + E_{ij} \quad \text{Ec. 8}$$

$Y_{ij}$  = Variable respuesta en la  $ij$ -ésima unidad experimental

$U$  = Efecto de la media poblacional

$B_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo bloque

$T_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento

$E_{ij}$  = Error experimental asociado a la  $ij$ -ésima unidad experimental

## 6.8 Variables Respuesta

Las variables por medir serán las siguientes:

- Rendimiento de caña de azúcar en peso (Ton/ha).
- Rendimiento de azúcar (Kg/Ton)
- Población de Tallos
- Altura de Tallos
- Grosor de Tallos.

## 6.9 Método de Análisis de Resultados:

Los resultados obtenidos fueron analizados por medio del método de análisis de varianza con niveles de significancia de 1 y 5%. Y la prueba de Tukey al 5% de significancia, si se presentaran diferencias entre tratamientos.

A los mejores tratamientos se les analizará económicamente, por medio de la Tasa de Retorno Marginal, el cual nos permitirá determinar exactamente como los beneficios netos de una inversión aumentan al incrementar la cantidad invertida. La Tasa de Retorno Marginal es el beneficio neto marginal (es decir, el aumento en beneficios netos) dividido por el costo marginal (aumento en los costos que varían), expresada en un porcentaje.

$$\text{TRM} = (\text{BNM} / \text{CM}) \cdot 100 \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

TRM = Tasa de Retorno Marginal

BNM = Beneficio Neto Marginal

CM = Costo Marginal.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos del presente trabajo y su discusión se desarrollarán en este capítulo de la siguiente manera: La primera parte se analizarán una a una las variables evaluadas y una segunda parte en la cual se presentará el análisis económico de la variable rendimiento en toneladas, que aunque no registró diferencias estadísticas entre los tratamientos, si presentó una diferencia real que puede ser de importancia para el manejo del cultivo dentro de la empresa.

Por último se describe lo referente al uso del agua, en cuanto al consumo por tratamientos específicamente.

### 7.1 Variables Respuesta:

Las variables utilizadas como parámetro de medición entre cada uno de los tratamientos fueron: población de tallos, diámetro de tallos, rendimiento en ton/ha de caña y rendimiento en lbs. de azúcar /ton. de caña; las cuales se analizan a continuación.

#### 7.1.1 Población de Tallos:

La media de los tratamientos nos muestran que el tratamiento dos es el que presenta la mayor población de tallos con 98 tallos en 10 metros lineales, seguido por los tratamientos 3 y 1 con una unidad de diferencia entre ambos; una diferencia insignificante como se puede observar en el análisis de varianza (cuadro 12A) que nos indica una diferencia estadísticamente no significativa entre los tratamientos.

Si se observan detenidamente los resultados de las lecturas que se presentan (cuadro 3) y mejor aún si se ve la figura 1 se dará cuenta el lector de un comportamiento particular en la población de tallos del cultivo de la caña de azúcar; el cual consiste en lo que podría llamarse una autorregulación, que mientras las condiciones adversas o de sequía se acentúan, la población se reduce gradualmente encontrando su punto de equilibrio al establecerse las lluvias.

El rebrote de las socas está influenciado por la variedad y por factores externos. El déficit o el exceso de humedad y la temperatura son los factores ambientales más importantes que determinan el desarrollo inicial de las socas de caña.

La fotosíntesis es un proceso fundamental que determina la productividad del 90% o más de la biomasa seca y, en el caso de la caña de azúcar, del 100 % de los productos útiles: la sacarosa y el bagazo.(4 )

La tasa de fotosíntesis de las hojas de la caña está estrechamente relacionada con la conductancia estomática. Esta última, a la vez, es controlada por varios factores, entre los cuales los más importantes son la intensidad de la luz y el balance hídrico del complejo planta-suelo-aire. (4)

Las investigaciones en CENICANA confirmaron que la fotosíntesis neta es más alta en plantas jóvenes. En la zona azucarera de Colombia, la fotosíntesis neta máxima ocurre en plantas de 3 meses de edad y luego decrece notoriamente.

En el valle geográfico del río Cauca, durante los primeros tres meses de crecimiento de la planta ocurre un período en el cual el macollamiento es rápido y el alargamiento de los tallos mínimo. Luego, cuando aumenta la biomasa del cultivo, hay poca luz en la parte basal de la planta y, como consecuencia, el macollamiento es mínimo y muchos de los tallos formados se mueren. A partir del quinto mes, el número de tallos permanece más o menos estable (4); lo cual es evidente en la figura 1 al observar el descenso brusco que sufren todos los tratamientos entre la tercera y cuarta lectura que corresponden al 18 de abril y 16 de mayo respectivamente que coincide con la terminación de los riegos y las primeras lluvias de la época lluviosa.

CUADRO 3. Lecturas de Población de Tallos por Tratamiento.

TRATAMIENTOS	POBLACION TALLOS/M. LINEAL
F-20	9.60
F-30	9.78
F-40	9.70
F-50	9.00
F-60	9.35
F-C	9.28
T	9.10

De lo anterior podemos concluir que la variable población de tallos no es influenciada por ninguno de los tratamientos.

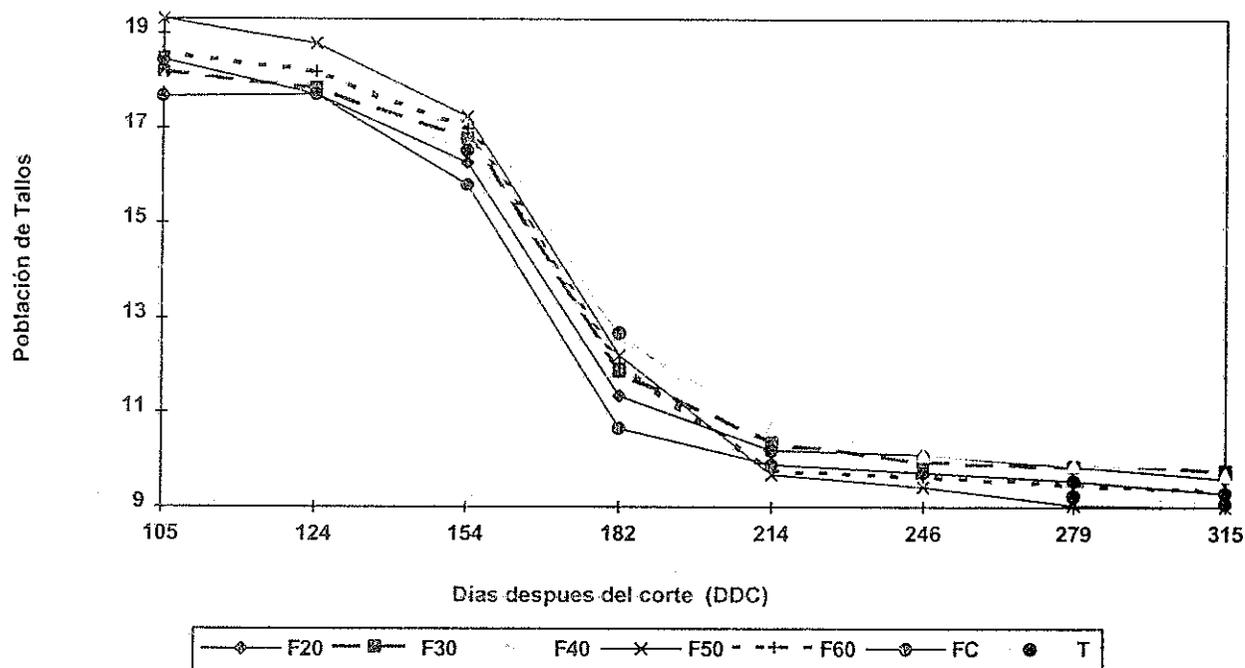


FIGURA 1. Población de tallos/m. lineal por tratamiento respecto al tiempo (ddc)

### 7.1.2 Altura de Tallos:

Esta es la única de las variables que estadísticamente presenta diferencias entre tratamientos, lo cual se podrá constatar al observar el resumen del análisis de varianza (cuadro 13A). Los promedios de las lecturas para cada tratamiento se presentan (cuadro 4); donde se observa claramente que los valores más altos de longitud de tallos corresponden a los tratamientos que mayor número de riegos recibieron, en este caso F20 y FC.

CUADRO 4. Resultados, Altura de Tallos promedio por Tratamiento.

TRATAMIENTO	ALTURA DE TALLOS (M).
F-20	2.28
F-30	2.06
F-40	1.8
F-50	1.88
F-60	1.96
F-C	2.22
T	1.73

Mientras que la figura 2 nos muestra como el patrón de crecimiento se comporta homogéneo y estático durante los primeros meses del cultivo (120 - 150 ddc) para luego iniciar un crecimiento acelerado.

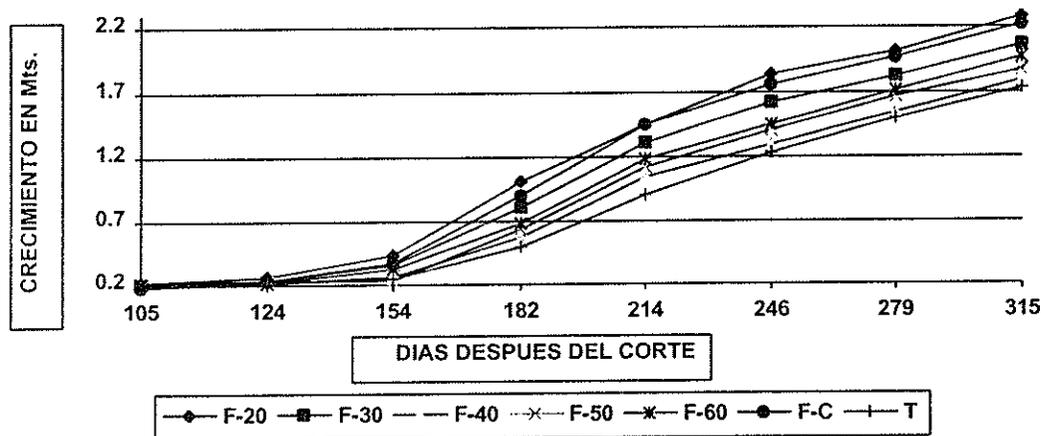


FIGURA 2 Altura de tallos por tratamiento respecto al tiempo (ddc)

La prueba de Tuckey realizada a las medias de este tratamiento (Cuadro 5) nos da una separación de la siguiente manera: El mejor de los tratamientos o sea el primer lugar corresponde al tratamiento F-20, luego en el segundo lugar con la misma letra, es decir tratamientos estadísticamente iguales, agrupa a F-30, F-40, F-50, F-60 y F-C y por último en el tercer lugar se presenta el Testigo que únicamente recibió un riego de establecimiento.

Algo muy importante que se da en el análisis de estos resultados es observar de que existe dependencia, es decir una relación directa entre el número de riegos y el crecimiento longitudinal, para ser más exactos la elongación de los entrenudos; siendo esta que a mayor número de riegos mayor crecimiento.

CUADRO 5. Comparación Múltiple de Medias de Tukey de altura de tallos por tratamiento.

Tratamiento	Medias	Tukey *
F-20	2.275	a
FC	2.217	ab
F-30	2.055	ab
F-60	1.965	ab
F-50	1.982	ab
F-40	1.797	ab
T	1.73	b

\*Medias con la misma letra no presentan diferencias estadísticamente significativas.

### 7.1.3 Diámetro de tallos:

Se observa en el resumen del análisis de varianza (Cuadro 14A) que al igual que la mayoría de las variables, no existe una diferencia estadísticamente significativa. De mejor forma se puede determinar en el (Cuadro 6) que nos presenta las medias por tratamiento; notándose siempre cierta superioridad entre la frecuencia que más riegos recibió (F-20) y el testigo ( T ).

CUADRO 6. Diámetro de Tallos promedio por tratamiento.

Tratamientos	Diámetro (cm)
F-20	2.44
F-30	2.34
F-40	2.16
F-50	2.26
F-60	2.26
F-C	2.30
T	2.24

### 7.1.4 Rendimiento de Kilogramos de Azúcar por Tonelada.

Si se toma en cuenta que el déficit de agua dentro de la planta afecta indirectamente la fotosíntesis disminuyéndola hasta en un 42%. Se podría pensar que el déficit de agua incide en la disminución de producción de sacarosa y los azúcares reductores glucosa y fructosa.

Tomando como cierto lo anteriormente expuesto, los resultados del presente estudio no lo demuestran; ya que el resumen del análisis de varianza (Cuadro 15A) no existen diferencias significativas.

Los resultados obtenidos y presentados (Cuadro 7) manifiestan que con poca o con mucha agua la producción de azúcar tiene un comportamiento similar.

CUADRO 7. Rendimiento Promedio por tratamiento de kgs. de azúcar/Ton. de caña.

Tratamientos	Rendimiento (kgs Az/Ton)
F-20	101.15
F-30	102.14
F-40	100.20
F-50	101.53
F-60	101.06
F-C	103.09
T	100.70

### 7.1.5 Rendimiento de Toneladas de Caña por Hectárea.

Este podría ser a nivel de empresa uno de los parámetros de mayor interés. Ya que mucho se ha dicho sobre el efecto del riego en cuanto a incremento de toneladas y es que en base a dichos incrementos es que se plantean las inversiones en cuanto a equipos de riego.

Vale la pena resaltar que depende mucho de las propiedades físicas de los suelos ya que los resultados obtenidos en el presente trabajo, si bien es cierto según el análisis de varianza (Cuadro 16A) no presenta diferencias significativas; si se produjo un efecto positivo del riego sobre el rendimiento como se puede observar (Cuadro 8) y figura 3.

CUADRO 8. Rendimiento promedio y número de riegos por tratamiento.

Tratamientos	No de Riegos	Peso Ton/Ha
F-20	5	75.14
F-30	3	70.28
F-40	3	62.07
F-50	2	56.81
F-60	2	60.28
F-C	5	70.69
T	1	51.66

Se observa que el tratamiento F - 30 (3 riegos) y el F - C (5 riegos) tienden a ser similares, es decir que con dos riegos menos que como actualmente lo hace la empresa se obtendría la misma producción a un menor costo.

El incremento obtenido por el tratamiento que recibió cinco riegos (incluyendo el riego de establecimiento) supera en 23.48 Ton/Ha al testigo que únicamente recibió el riego de establecimiento.

Tomando en cuenta los resultados del resto de las variables se puede pensar que el riego afecta directamente la elongación de entrenudos provocando de esta forma un efecto directo sobre el rendimiento en peso del cultivo. Ya que se observa claramente, a excepción del tratamiento F - 60 que supera al tratamiento F - 50 con el mismo número de riegos, que los tratamientos que recibieron mayor número de riegos produjeron una mayor producción en tonelaje.

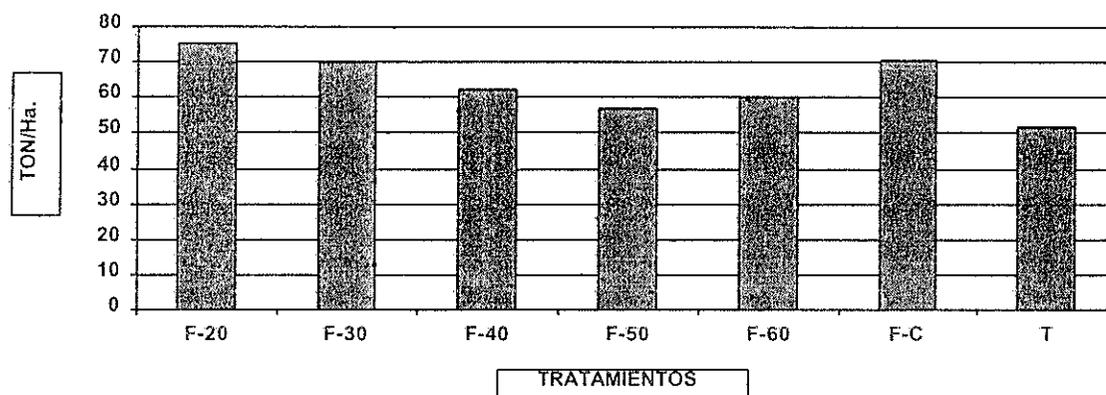


FIGURA 3. Rendimiento en toneladas de caña por Hectárea por tratamiento

## 7.2 Análisis Económico:

Aunque no haya existido diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, se consideró necesario realizar un análisis económico a los resultados de rendimiento en peso por hectárea, por la importancia que este parámetro representa para el productor y para establecer que si un incremento de casi seis toneladas por riego para el presente ensayo pueden ser buenas o no.

Por medio del análisis marginal se procedió a determinar cual de los tratamientos es el más rentable para el agricultor. En el cuadro siguiente, (Cuadro 9) se enumeran el total de los costos que varían y los beneficios netos de cada uno de los tratamientos.

CUADRO No. 9 Análisis de Dominancia. Costos Variables y Beneficios Netos.

Tratamientos	No de Riegos	Total de costos variables (Q/Ha)	Beneficios Netos (Q/Ha)
T (7)	1	Q 184.42	4494.42
F-50(4)	2	Q 368.84 D	4941.60
F-60(5)	2	Q 368.84	5243.49
F-40(3)	3	Q 553.26 D	5400.09
F-30(2)	3	Q 553.26	6114.36
F-C(6)	5	Q 922.10 D	6150.03
F-20(1)	5	Q 922.10	6537.18

Nótese que los tratamientos se ordenaron en una escala ascendente de los totales de los costos variables. Los beneficios netos también aumentan; los tratamientos F-50, F-40 y F-C difícilmente serán preferidos por el productor ya que cada uno posee un tratamiento que con el mismo número de riegos, es decir con el mismo costo obtuvo mayores beneficios. Este tipo de tratamiento es un tratamiento "dominado" se marca con una "D" (Cuadro 9) y se excluye de la consideración.

Es importante destacar que, para aumentar los ingresos del productor, debe darse importancia a los beneficios netos, no a los rendimientos.

Por medio del análisis de dominancia se han eliminado tres tratamientos debido a sus bajos beneficios netos, pero aun no tenemos una recomendación definida. Es aquí donde resulta útil la curva de beneficios netos figura 6.

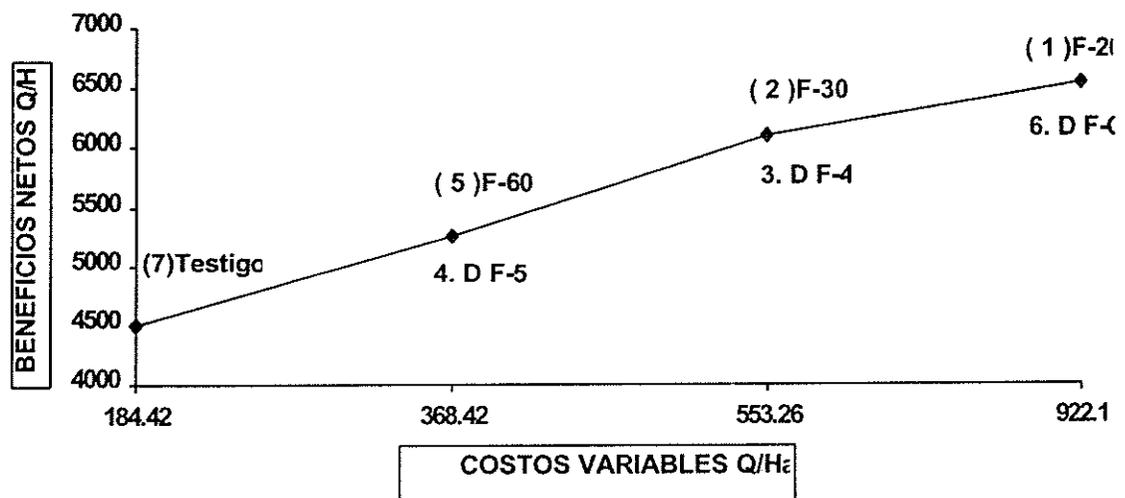


FIGURA 4. Curva de Beneficios Netos

La curva de beneficios netos en la figura 6 ilustra la relación entre los costos variables y los beneficios netos de los cuatro tratamientos no dominados. Nótese que la pendiente de la línea que une el tratamiento cinco al dos es la más pronunciada de las tres, esto nos indica que es más rentable económicamente, cambiar de aplicar dos riegos a aplicar tres riegos durante el ciclo del cultivo.

Mediante el análisis del punto de equilibrio se determina la unidad o nivel en dinero en que el ingreso total iguala al costo total ( $IT = CT$ ). Los costos básicos pertinentes al análisis son variables y fijos. Los variables son los costos que cambian al cambiar las unidades producidas (21) para este caso, el número de riegos. Por lo que para cada uno de los tratamientos se presenta un punto de equilibrio diferente.

Lo importante de este análisis es lo que se observa en el (cuadro 10) en cuanto al costo de aumento de producción, es decir el costo que equivale producir una tonelada de caña más aplicación efecto del riego, lo cual equivale a dividir el costo de riego del tratamiento, dentro de la resta de las toneladas producidas del tratamiento menos las producidas aplicación el testigo.

De esta manera observamos que el tratamiento F-30 (tres riegos) es el que a menor costo aumenta la producción de caña en toneladas. Lo que se va a ver confirmado más adelante con el análisis marginal.

CUADRO 10. COSTOS DE AUMENTO DE PRODUCCION POR TRATAMIENTO.

TRATAMIENTO	Nº. DE RIEGOS	COSTOS DE PRODUCCION	COSTOS DE RIEGO	COSTOS TOTALES	TON. DE CAÑA PRODUCIDAS	COSTOS DE AUMENTO DE PRODUCCION
T	1	Q 1,926.76	Q 184.42	Q 1,481.18	51.66	Q 71.62
F - 20	5	Q 1,926.76	Q 368.84	Q 1,665.60	75.14	Q 39.27
F - C	5	Q 1,926.76	Q 368.84	Q 1,665.60	70.69	Q 48.46
F - 30	3	Q 1,926.76	Q 553.26	Q 1,850.02	70.28	Q 29.71
F - 40	3	Q 1,926.76	Q 553.26	Q 1,850.02	62.07	Q 53.15
F- 60	2	Q 1,926.76	Q 922.10	Q 2,218.86	60.28	Q 71.62
F- 50	2	Q 1,926.76	Q 922.10	Q 2,218.86	56.81	Q 53.15

Además se realizó el análisis de retorno marginal, el cual aplica la fórmula que es el beneficio neto marginal (es decir, el aumento en beneficios netos) dividido por el costo marginal (aumento en los costos que varían), expresada en un porcentaje.

Para el presente estudio, si se cambiara del tratamiento siete (T) al cinco (F60), la tasa de retorno marginal es de  $4.06 = 406\%$ . Esto significa que por cada Q. 1.00 invertido en aplicar riego, el agricultor recuperará el Q. 1.00 invertido más Q. 4.06 adicionales.

Mientras que la tasa de retorno marginal que se obtiene de cambiar del tratamiento cinco (F60) al dos (F30) es de  $4.72 = 472\%$ ; es más alta, por lo que al aplicar un riego más se incrementa la producción lo que hace mejorar la recuperación de la inversión por lo tanto por cada Q. 1.00 invertido recuperará lo invertido más Q. 4.72.

Esto nos indica que para las condiciones de la finca en la que se realizó el estudio es más conveniente económicamente, aplicar tres riegos. Ya que por comprobación se calculó también el resultado de cambiar del tratamiento dos al uno, del cual se obtendría una recuperación de Q. 1.15 por cada quetzal invertido. Lo cual debe confirmarse con la continuación de dicho ensayo y mejor aún si los riegos son aplicados mediante láminas medidas, para tener un mejor parámetro de comparación.

### 7.3 Uso del Agua:

#### 7.3.1 Lámina Total de Agua Consumida y Número de Riegos en cada Tratamiento:

En el (cuadro 11) puede observarse la lámina total de agua consumida y el número de riegos aplicados en cada tratamiento; según los valores que se presentan, la lámina total aumenta cuando el intervalo de riego es más corto.

CUADRO 11. Láminas de Agua Total Consumida y No. de riegos en cada tratamiento.

TRATAMIENTO	LAMINA TOTAL CONSUMIDA (cm)	NUMERO DE RIEGOS APLICADOS
F - 20	28.11	5
F - 30	20.29	3
F - 40	17.64	3
F - 50	9.99	2
F - 60	12.24	2
F - C	31.11	5
T	6.19	1

En los cuadros del 17A al 23A, se presenta el control en la aplicación de agua para los riegos y para cada tratamiento; a cada lámina consumida se le agregaron 6.19 cm., los cuales corresponden a la cantidad de agua aplicada en el riego general de establecimiento del cultivo; el cual se aplicó 64 ddc.

## 8. CONCLUSIONES

1. La respuesta de la caña de azúcar a las diferentes programaciones de riego es negativa en cuanto a la población de tallos se refiere.
2. Para las condiciones específicas de cultivo de la finca San Bonifacio y un suelo franco arenoso, la caña de azúcar responde favorablemente en longitud y diámetro de tallos.
3. La producción de azúcar por tonelada de caña no fué influenciado por ninguno de los tratamientos.
4. La producción de caña en Ton/Ha. aunque no reporta diferencias significativas estadísticamente si es afectada por el número de riegos. Ya que los resultados del experimento reportaron un incremento de 5.87 Ton./Riego.
5. Para la variedad CP 722086 es más conveniente económicamente, aplicar tres riegos con una frecuencia de 30 días, porque ello nos garantiza que por cada Q. 100.00 invertidos se tiene una recuperación de Q. 472.00.
6. A nivel de campo la frecuencia de riego que presentó mayores efectos en cuanto a crecimiento y rendimiento bruto del cultivo de la variedad CP 722086 fué la frecuencia de 20 días.
7. A nivel estadístico la frecuencia de 20 días tuvo un efecto positivo en la longitud de los tallos alcanzando una longitud de 29 centímetros más que el promedio general.

## 9. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar con este tipo de investigaciones, pero a diferencia de la actual deben de hacerse con láminas de riego medidas para poder comparar consistentemente el número de riegos. Y además en parcelas semicomerciales para poder validar la investigación.
2. Es necesario establecer ensayos bajo diferentes condiciones de suelo y clima al actual ya que las condiciones del presente no se pueden generalizar.
3. Se recomienda para condiciones de la finca San Bonifacio aplicar, un riego de establecimiento o de germinación y dos riegos en la fase de crecimiento del cultivo durante la época seca.

## 10. BIBLIOGRAFIA

1. APARICIO, F. 1989. Fundamentos de hidrología de superficie. México, Limusa. p. 56-67.
2. ASOCIACION DE AZUCAREROS DE GUATEMALA. 1993. Aspectos generales de la agroindustria azucarera de Guatemala. Guatemala. 20 p.
3. BARAHONA, R. 1982. Estudio detallado de suelos ingenio pantaleón. Guatemala, Ingenio Pantaleón. 265 p.
4. BUENAVENTURA, C. 1986. El cultivo de la caña de azúcar. Ed. por Carlos Buenaventura. Cali, Colombia, Centro de Investigación de la Caña de Azúcar. p 255 - 281.
5. CENTRO DE INVESTIGACION DE LA CAÑA DE AZUCAR DE COLOMBIA. 1995. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cassalet, C.; Torres, J.; e Isaacs, C. eds. Cali, Colombia. 412 p.
6. CENTRO GUATEMALTECO DE INVESTIGACION Y CAPACITACION DE LA CAÑA DE AZUCAR. 1998. Desarrollo de la agroindustria azucarera guatemalteca. Boletín Técnico Informativo. (Gua). 6 (1) : 1- 2.
7. \_\_\_\_\_. 1996. Estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. Guatemala. 242 p.
8. \_\_\_\_\_. 1995. Requerimientos de riego. Boletín Técnico Informativo. (Gua). 3 (2) : 16 - 18.
9. CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO. 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. México D.F., México. 79p.
10. CRUZ, J.R. DE LA. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala, a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
11. GRASSI, C. J. 1976. Diseño y operacion del riego por superficie. Venezuela, CIDIAT. Serie Riego y Drenaje Material Didáctico No. RD-36. 414 p.
12. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. s.f. Mapa de regiones fisiográficas. Guatemala. Esc. 1: 1,000,000. Color.
13. INGENIO CENTRAL IZALCO (Sal.). 1991. Catálogo de variedades de caña de azúcar. El Salvador, Centro de Experimentación y Capacitación, Departamento Agrícola. 61 p.
14. INSTITUTO TECNICO DE CAPACITACION Y PRODUCTIVIDAD. 1976. Producción rentable y futuro de la caña de azúcar. Guatemala. 123 p.
15. ISRAELSEN, O.W.; HANSEN, V.E. 1979. Principios y aplicaciones del riego. 2 ed. España, Reverté. 369 p.
16. MARROQUIN, J.F. 1991. Evaluación de seis frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración en tomate (*Lycopersicum esculentum* L.) en la unidad de riego El Rancho, El Progreso. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 81 p.
17. MORALES, M.A. 1992. Efecto de cinco frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración del cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) para el valle central de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 102 p.
18. OBIOLS DEL CID, R. 1975. Mapa climatológico preliminar de la República de Guatemala; según el sistema Thornthwaite. Guatemala, Instituto Geográfico Nacional. Esc. 1:000,000. Color.

19. ORTEGA, J.; VALENZUELA, R.; PEREZ, O. 1997. Descripción del método de imputación contable del excedente económico y su aplicación en la evaluación financiera de los proyectos de investigación y desarrollo en caña de azúcar. Guatemala, CENGICANA. Documento Técnico. 13. 41 p.
20. PANTALEON S.A. (Gua). 1993. Visita de campo, Ingenio Pantaleón S.A. Escuintla, Guatemala. p. 1 - 5.
21. RUIZ, W. 1992. Fundamentos de administración de empresas agrícolas. 2 ed. Guatemala, Guatemala. Tipografía Nacional. 274 p.
22. SANDOVAL, J. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 345 p.
23. \_\_\_\_\_. 1989. Resumen de la investigación realizada en frecuencias de riego y evapotranspiración de 1982 a 1987. Tikalía (Gua.) 7 (1): 82 - 85.
24. WITHERS, B.; VIPOND, D. 1979. El riego; diseño y práctica. Trad. por Agustín Contin. México, Diana. 210 p.

*Patualla*

*Vo.Bo.*



## 11. APENDICE

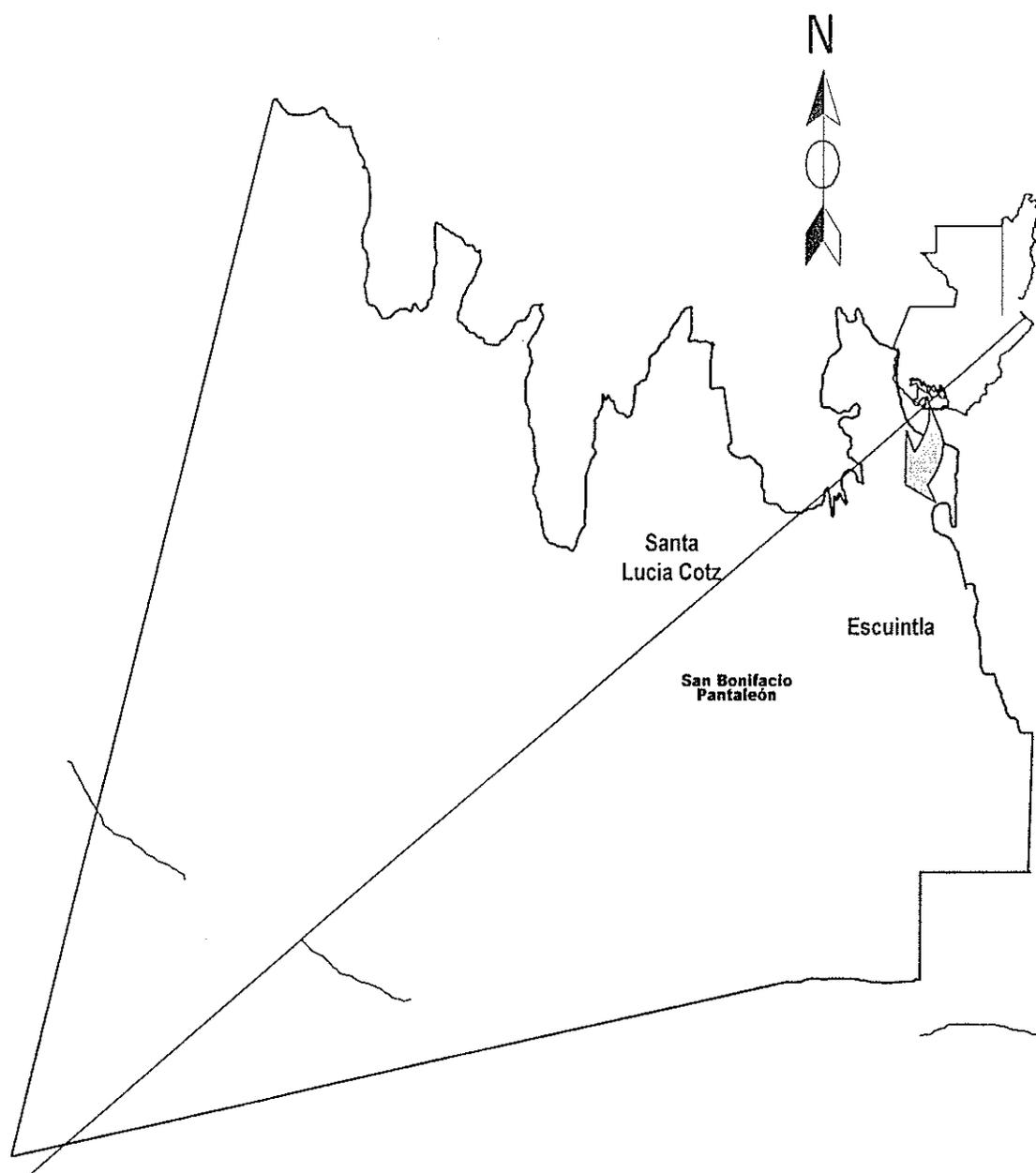
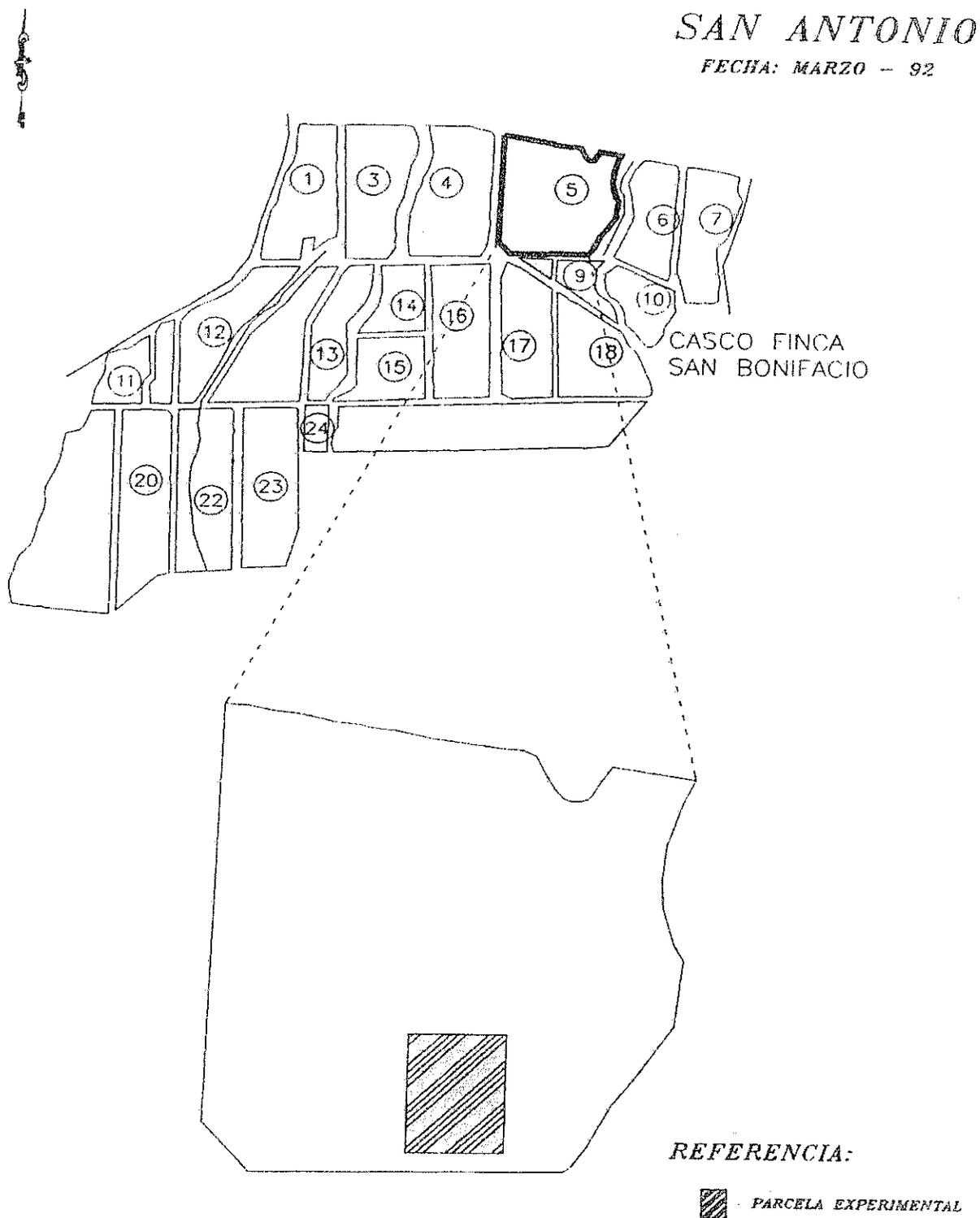


Fig. 5A. Zona ampliada del lugar donde se realizó el estudio.



Fuente: Maestro de Lotes Pantaleón S.A.

FIGURA 6A. Cañal seleccionado para la ubicación del ensayo

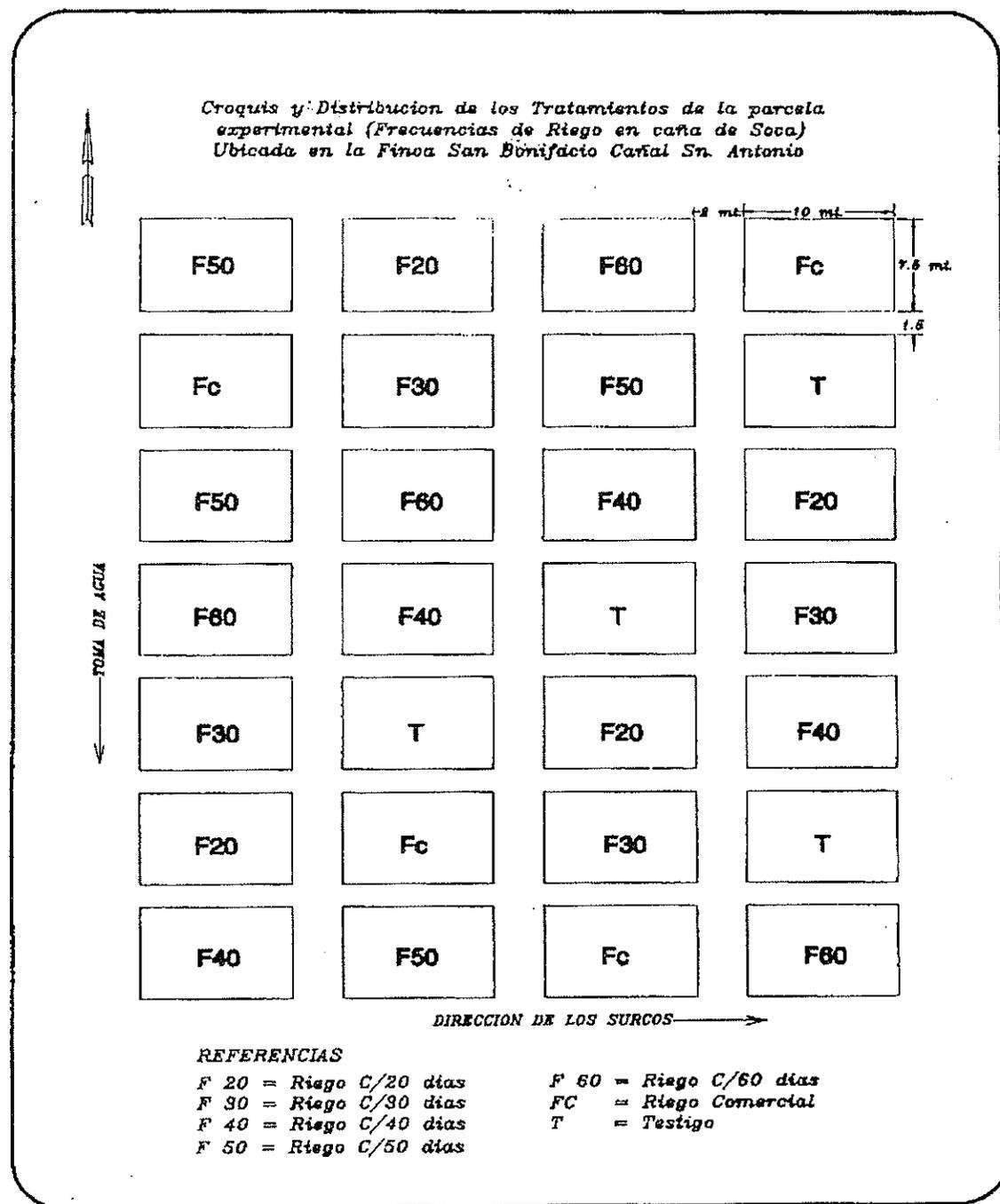


FIGURA 7A Croquis de las parcelas experimentales

Cuadro 12A. Resumen del análisis de varianza de la Población de Tallo.

Factor de Varianza	G.L.	C.M.	F.C	F.t
Bloques3	3	210.14	5.86	
Tratamientos	6	3158	0.88	2.66 4.01 N.S.
Error	18	35.84		

$$CV (\%) = 6.33$$

NS = no significancia

Cuadro 13A. Resumen del análisis de varianza de la Altura de Tallos.

Factor de Varianza	G.L.	C.M.	F.C	F.t
Bloques3	3	0.0763	1.749	
Tratamientos	6	0.168	3.86	2.66* 4.01
Error	18	0.0436		

$$CV (\%) = 10.50$$

\* = significancia

Cuadro 14A. Resumen del análisis de varianza del Diámetro de Tallos.

Factor de Varianza	G.L.	C.M.	F.C	F.t
Bloques3	3	0.17	0.462	
Tratamientos	6	3.25	0.875	2.66 4.01 NS
Error	18	3.72		

CV (%) = 8.43

NS = No significancia

Cuadro 15A. Resumen del análisis de varianza. del Rendimiento Lbs./Azúcar/Ton.

Factor de Varianza	G.L.	C.M.	F.C	F.t
Bloques3	3	30.21	0.89	
Tratamientos	6	21.10	0.62	2.66 4.01 N.S.
Error	18	33.83		

CV (%) = 2.60

NS = no significancia

Cuadro 16A. Resumen del análisis de varianza. Ton/Ha.

Factor de Varianza	G.L.	C.M.	F.C	F.t		
Bloques3	3	396.63	3.07			
Tratamientos	6	286.48	2.21	2.66	4.01	N.S.
Error	18	129.38				

$$CV (\%) = 17.82$$

NS = no significancia

CUADRO 17 A. Control de Humedad Antes y Después de Riego y Cálculo de la Lamina consumida para todos los tratamientos en el riego general de establecimiento.

ESTRATO (cms)	PORCENTAJE DE HUMEDAD		DIFERENCIA	LAMINA CONSUMIDA (cms)
	DDR	ADR		
0 - 30	42%	22%	20	5.16
30 - 60	33%	29%	4	1.03
			<b>TOTAL</b>	<b>6.19 cms.</b>

CUADRO 18 A. Control de Humedad Antes y Después de Riego y Cálculo de

la Lamina consumida para el tratamiento F - 20

ESTRATO O (cms)	PORCENTAJE DE HUMEDAD		DIFERENCIA	LAMINA CONSUMIDA (cms)	LAMINA PARCIAL
	DDR	ADR			
0 - 30	33%	22%	11%	2.83	
30 - 60	38%	24%	14%	3.63	6.46
0 - 30	77%	29%	48%	12.5	
30 - 60	28%	27%	1%	0.3	12.8
0 - 30	21%	19%	2%	0.44	
30 - 60	26%	24%	2%	0.44	0.88
0 - 30	34%	33%	1%	0.23	
30 - 60	33%	27%	6%	1.55	1.78
			<b>TOTAL</b>		<b>21.92 cm.</b>

CUADRO 19 A. Control de Humedad Antes y Después de Riego y Cálculo de

la Lamina consumida para el tratamiento F - C

ESTRATO (cms)	PORCENTAJE DE HUMEDAD		DIFERENCIA	LAMINA CONSUMIDA (cms)	LAMINA PARCIAL
	DDR	ADR			
0 - 30	33%	22%	11%	2.83	
30 - 60	38%	24%	14%	3.63	6.46
0 - 30	27%	15%	12%	3.04	
30 - 60	30%	14%	16%	4.02	7.06
0 - 30	34%	16%	18%	4.66	
30 - 60	34%	22%	12%	3.13	7.79
0 - 30	42%	32%	10%	2.58	
30 - 60	33%	29%	4%	1.03	3.61
			<b>TOTAL</b>		<b>24.92 cm.</b>

CUADRO 20 A. Control de Humedad Antes y Después de Riego y Cálculo de

la Lamina consumida para el tratamiento F - 30

ESTRATO (cms)	PORCENTAJE DE HUMEDAD		DIFERENCIA	LAMINA CONSUMIDA (cms)	LAMINA PARCIAL
	DDR	ADR			
0 - 30	26%	10%	16%	4.03	
30 - 60	34%	14%	20%	50.3	9.06
0 - 30	26%	12%	14%	3.59	
30 - 60	20%	14%	6%	1.45	5.04
			<b>TOTAL</b>		<b>14.10 cm.</b>

CUADRO 21 A. Control de Humedad Antes y Después de Riego y Cálculo de

la Lamina consumida para el tratamiento F - 40

ESTRATO (cms)	PORCENTAJE DE HUMEDAD		DIFERENCIA	LAMINA CONSUMIDA (cms)	LAMINA PARCIAL
	DDR	ADR			
0 - 30	25%	18%	7%	1.88	
30 - 60	37%	15%	22%	5.73	7.61
0 - 30	42%	32%	10%	2.59	
30 - 60	34%	29%	5%	1.25	3.84
			<b>TOTAL</b>		<b>11.45 cm.</b>

CUADRO 22 A. Control de Humedad Antes y Después de Riego y Cálculo de la Lamina consumida para el tratamiento F - 50

ESTRATO (cms)	PORCENTAJE DE HUMEDAD		DIFERENCIA	LAMINA CONSUMIDA (cms)
	DDR	ADR		
0 - 30	22%	13%	936%	2.41
30 - 60	22%	16%	539%	1.39
			<b>TOTAL</b>	<b>3.80 cms.</b>

CUADRO 23 A. Control de Humedad Antes y Después de Riego y Cálculo de la Lamina consumida para el tratamiento F - 60

ESTRATO (cms)	PORCENTAJE DE HUMEDAD		DIFERENCIA	LAMINA CONSUMIDA (cms)
	DDR	ADR		
0 - 30	22%	9%	936%	3.29
30 - 60	23%	12%	539%	2.76
			<b>TOTAL</b>	<b>6.05 cms.</b>

CUADRO 24 A. Valores de Evaporación registrados en el Tanque Tipo "A" de la Estación Mangalito durante el tiempo del ensayo.

DIA	1993		1994										
	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
1		4.12	3.63	2.52	4.05	4.35	1.05	2.17	3.93	3.78	3.41	3.00	3.81
2	3.57	3.46	4.78	4.39	4.74	4.50	3.30	1.20	3.83	3.95	2.94	3.15	3.65
3	4.34	3.35	3.35	4.33	4.54	4.88	3.00	3.55	8.16	3.29	4.48	2.54	3.14
4	3.88	3.82	4.09	3.73	5.56	5.13	3.71		4.39	4.04	4.73	4.77	3.40
5	4.17	3.54	3.70	4.45	4.55	5.87	3.62	3.02	2.24	7.65	2.71	0.00	1.86
6	4.11	3.53	5.09	4.25	3.41	5.22	3.06	3.80	3.47	4.09	3.12	3.94	3.21
7	4.03	3.44	4.60	4.64	4.72	5.02	4.21	2.73	3.95	4.71	4.52	3.46	2.90
8	4.61	3.65	4.84	4.36	5.37	5.00	3.95	4.63	3.19	3.28	3.81	0.00	3.10
9	3.92	4.05	4.47	4.50	4.69	4.45	4.13	3.75	2.71	3.73	4.12	2.13	4.14
10	4.17	4.48	0.55	4.30	3.67	4.74	1.88	4.74	4.52	3.58	4.35	1.97	4.56
11	4.62	4.32	4.21	4.45	3.53	4.27	4.66	3.13	4.44	3.06	4.75	2.98	3.00
12	3.21	4.05	4.02	3.70	4.51	3.44	3.44	3.90	7.18	3.50	4.59	0.00	3.12
13	4.19	4.03	4.17	3.92	4.05	4.52	3.25	3.46	5.42	4.29	3.02	1.79	4.06
14	3.86	3.65	4.50	4.74	3.93	3.68	4.02		4.12	2.45	3.80	3.08	3.97
15	3.74	4.02	4.05	4.70	3.83	3.48	4.10	4.34	3.36	2.68	2.22	3.20	3.92
16	3.91	3.81	4.47	4.34	4.64	3.24	3.54	4.10	3.86		2.24	3.76	3.57
17	4.08	3.72	4.41	4.43	4.99	3.55	4.28	4.53	3.57	3.41	3.21	4.54	4.44
18	3.19	3.67	3.80	5.04	2.13	4.24	3.85	2.15	4.54	3.79	4.72	3.54	3.87
19	3.89	4.09	2.16	4.14	3.15	4.26	3.39	4.58	4.11	3.42	3.53	4.71	3.49
20	4.30	4.34	4.42	4.66	3.02	4.40	3.45	3.18	3.10	4.17	3.55	2.90	3.92
21	3.98	4.43	3.81	4.45	3.52	3.42	3.73	3.23	4.39	4.12	3.39	3.65	3.32
22	2.95	4.34	4.42	4.07	2.62	4.03	3.43	3.74	3.41	2.19	3.55	3.43	3.41
23	4.60	4.94	4.57	4.52	3.51		3.33	3.37	5.08	4.01	0.00	4.68	3.37
24	4.68	4.80	4.18	4.35	4.55	3.77	3.46	3.76	4.46	4.11	2.60	4.43	4.18
25	2.76	3.64	4.81	1.61	3.10	4.01	3.70	3.97	3.80	4.09	2.74	2.41	3.33
26	3.12	4.13	3.92	4.15	3.64	3.30	4.71	4.24	4.77	4.25	3.24	4.17	4.49
27	3.95	3.71	4.94	1.15	4.48	4.22	4.23	3.79	4.01	4.01	2.02	2.60	4.18
28	3.52	4.60	4.63	4.71	4.61	4.51	4.20	3.52	4.04	3.70	1.75	4.20	3.79
29	3.60	3.95	3.45		4.62	3.42	2.06	4.59	4.67	2.90	2.08	4.68	3.89
30	3.69	4.39	4.13		4.77	4.33	2.19	3.79	4.82	4.13	3.22	3.81	1.85
31		2.73	4.35		4.05		4.19		4.28	4.30		4.60	
TOT	112.64	122.80	126.52	114.60	126.55	123.25	109.12	100.96	131.82	114.68	98.41	98.12	106.94
PRO	3.88	3.96	4.08	4.09	4.08	4.25	3.52	3.61	4.25	3.82	3.28	3.17	3.56

CUADRO 25 A. Valores de Precipitación registrados en la Estación Mangalito durante el tiempo del ensayo.

DIA	1993		1994										
	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.75	1.25	0.25	9.50	34.75	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.25	0.50	0.25	0.00	1.00	11.50	36.75	0.25
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.25	0.00	1.00	28.75	0.00	0.25	7.50
4	0.00	4.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	98.25	34.50	23.25	41.50	0.00	17.75
5	13.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.25	6.00	4.50	46.75	105.75	54.75
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.00	2.25	10.75	15.50	50.75
7	36.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.25	0.25	34.50	5.50	0.00	22.75	0.00
8	19.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	39.25	10.25	63.50	35.50	32.50	94.00	3.75
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.50	1.00	0.00	2.50	20.50	15.25	22.00
10	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	21.50	0.00	28.50	42.25	8.50	57.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	43.25	0.00	1.00	13.25	0.00	17.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.50	14.25	19.75	14.75	0.00	89.75	13.75
13	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50	35.50	0.00	1.00	1.75	8.00	10.50
14	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	135.25	0.00	36.50	36.25	51.25	2.25
15	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	16.00	62.25	12.50	3.75
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.00	4.00	0.00	3.00	76.25	15.75	8.25	54.50
17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	17.50	2.75	51.50	18.75	26.75	0.00
18	2.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	140.50	5.25	7.25	20.50	0.00	12.75	0.00
19	0.00	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	39.75	0.00	5.00	2.75	20.25	57.50	0.00
20	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.75	6.00	3.50	3.75	0.00	5.25	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.75	6.50	0.75	5.25	13.25	3.75	33.25	0.00
22	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00	10.00	20.25	0.75	0.00	0.25	0.00
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	166.50	17.75	61.25	0.00	29.50	151.50	12.50	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	1.25	4.25	0.00	0.00	2.50	14.50	0.00
25	0.25	0.00	0.00	2.50	0.00	8.00	47.25	1.25	42.25	0.00	7.75	1.50	1.50
26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50	53.50	0.00	0.00	17.25	3.50	31.75	0.00
27	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	3.50	7.00	12.50	13.75	0.00	70.75	1.50	0.00
28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	0.25	12.75	11.25	7.50	0.00
29	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	5.25	0.00	5.75	11.75	10.75	2.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00		0.00	20.50	8.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50
31		0.00	0.00		5.00		3.00		6.50	7.50		0.00	
TOT	76.00	6.25	3.75	4.50	5.50	234.75	485.75	453.75	322.00	470.25	657.25	692.50	301.50
PRO	2.53	0.20	0.12	0.16	0.18	7.83	15.67	15.13	10.39	15.17	21.91	22.34	10.05





FACULTAD DE AGRONOMIA  
CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12  
GUATEMALA, CENTROAMERICA

LA TESIS TITULADA: "DETERMINACION DEL EFECTO DE SIETE FRECUENCIAS DE RIEGO  
EN EL RENDIMIENTO DE LA CAÑA DE AZUCAR (Saccharum  
officinarum) EN LA FINCA SAN BONIFACIO, PANTALEON S.A.".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: SERGIO MIGUEL VELASQUEZ SOLIS

CARNET No: 8615295

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Isaac R. Herrera Ibáñez  
Ing. Agr. José Rolanda Lara Alecio  
Ing. Agr. Negli R. Gallardo Pérez  
Ing. Agr. Fernando Rodríguez Bracamonte

Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ing. Agr. M.Sc. Víctor Manuel Cabrera Cruz  
A S E S O R

Ing. Agr. Edgar Amilcar Martínez Tambito  
A S E S O R

Ing. Agr. M.Sc. Alvaro Hernández Dávila  
DIRECTOR DEL TIA.

ALVARO GUSTAVO HERNANDEZ DAVILA  
ING. AGRONOMO  
COLEGIADO # 602



I M P R I M A S E

Ing. Agr. M.Sc. Edgar Osvaldo Franco Rivera  
D E C A N O



cc:Control Académico  
Archivo