

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

USO DEL BALANCE HIDRICO PARA LA PROGRAMACION  
DE RIEGOS EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum* L.),  
BAJO LAS CONDICIONES DE SAN LUCAS TOLIMAN, SOLOLA.

TESIS

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

POR

RICARDO CESAR IRUNGARAY GUZMAN

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRONOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA

EN EL GRADO ACADEMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 1997

GUATEMALA, OCTUBRE DE 1997  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR

Dr. JAFETH ERNESTO CABRERA FRANCO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO                    Ing. Agr. José Rolando Lara Alecio  
VOCAL PRIMERO    Ing. Agr. Juan José Castillo Mont  
VOCAL SEGUNDO    Ing. Agr. William Roberto Escobar López  
VOCAL TERCERO    Ing. Agr. Alejandro A. Hernández Figueroa  
VOCAL CUARTO    Br. Estuardo Enrique Lira Prera  
VOCAL QUINTO    P. Agr. Edgar Danilo Juarez Quim  
SECRETARIO        Ing. Agr. Guillermo E. Méndez Beteta

Guatemala, octubre de 1997

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

Señores Miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de tesis titulado.

**USO DEL BALANCE HIDRICO PARA LA PROGRAMACION DE RIEGOS  
EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZUCAR (Saccharum officinarum L.),  
BAJO LAS CONDICIONES DE SAN LUCAS TOLIMAN, SOLOLA**

Al presentarlo como requisito, previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola en el grado Académico de Licenciado.

Atentamente,

  
Ricardo César Irungaray Guzmán



## AGRADECIMIENTO

A:

Mi asesor de tesis Ing. Agr. Msc. Víctor Cabrera por toda la ayuda, apoyo y colaboración brindada para llevar a cabo el presente trabajo de investigación.

La empresa "Plantaciones El Paraiso S.A." por todas las facilidades proporcionadas, así como a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en la realización del presente trabajo.

## INDICE GENERAL

## CONTENIDO

PAG.

1. INTRODUCCION .....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
3. MARCO TEORICO	
3.1 MARCO CONCEPTUAL .....	3
3.1.1 Descripción de las regiones cañeras .....	3
3.1.2 Estratos cañeros .....	6
3.1.2 Características y propiedades físicas del suelo relacionadas con el riego .....	7
A) Textura .....	7
B) Estructura .....	8
C) Minerales amorfos, grupo de la alofana .....	10
C) Capacidad de campo (CC) .....	10
D) Punto de marchitez permanente .....	11
E) Densidad aparente .....	11
3.1.3 Evaporación .....	11
3.1.4 Transpiración .....	12
3.1.5 Evapotranspiración .....	13
3.1.6 Evapotranspiración de la caña de azúcar .....	13
3.1.7 Requerimientos de agua de la caña de azúcar .....	13
3.1.8 Coeficiente "K" .....	14
3.1.9 Programación de los riegos en caña de azúcar .....	15
3.1.10 Balance Hídrico .....	15
3.2 MARCO REFERENCIAL .....	16
3.2.1 Ubicación geográfica .....	16
3.2.2 Clima .....	17
3.2.3 Suelos .....	17
3.2.4 Recursos hídricos .....	18
3.2.5 Extensión y colindancias .....	18
3.2.6 Cuenca .....	18
4. OBJETIVOS .....	19
5. HIPOTESIS .....	19
6. METODOLOGIA .....	20
6.1 Tratamientos .....	20
6.2 Tamaño de parcela .....	20
6.3 Diseño experimental .....	21
6.4 Variables respuesta .....	21
6.5 Manejo del experimento .....	22
6.5.1 Trazo del experimento .....	22
6.5.2 Determinación de las características y propiedades físicas del suelo relacionadas con el riego .....	23
6.5.3 Volumen de agua a aplicar .....	23
6.5.4 Tiempo de riego .....	24
6.5.5 Monitoreo de la humedad del suelo .....	25

Continuación índice general.

<b>CONTENIDO</b>	<b>PAG.</b>
6.5.6 Determinación de la fecha de riego para cada tratamiento . . . . .	25
6.5.7 Determinación del uso consuntivo . . . . .	26
<b>7. RESULTADOS Y DISCUSION . . . . .</b>	<b>27</b>
7.1 Características y propiedades físicas del suelo relacionadas con en riego . . . . .	27
7.1.1 Evapotranspiración (Blaney-Criddle) . . . . .	28
7.2 Monitoreo de la humedad del suelo . . . . .	30
7.3 Determinación de la fecha de riego para cada tratamiento . . . . .	30
7.3.1 Aplicación de balance hídrico . . . . .	32
7.4 Determinación de uso consuntivo . . . . .	41
7.5 Análisis de la información . . . . .	42
7.5.1 Análisis estadístico . . . . .	42
A) Producción (toneladas caña/ha) . . . . .	42
B) Rendimiento (kg azúcar/tonelada caña) . . . . .	43
7.5.2 Análisis de Costos-Beneficios . . . . .	43
7.5.3 Representación gráfica . . . . .	45
A) Longitud total de tallo . . . . .	45
B) Tamaño de hojas . . . . .	46
C) Diámetro de entrenudo central . . . . .	47
D) Población . . . . .	48
E) Número de entrenudos por tallo . . . . .	49
F) Longitud de entrenudo central . . . . .	50
<b>8. CONCLUSIONES . . . . .</b>	<b>51</b>
<b>9. RECOMENDACIONES . . . . .</b>	<b>52</b>
<b>10. BIBLIOGRAFIA . . . . .</b>	<b>53</b>
<b>11. APENDICE . . . . .</b>	<b>55</b>

### INDICE DE CUADROS

<b>NUMERO</b>	<b>PAG.</b>
1. Resultados análisis físico de suelos . . . . .	27
2. Cronograma de actividades . . . . .	28
3. Evapotranspiración Blaney-Criddle . . . . .	29
4. Balance hídrico y fecha de aplicación de riego, caso No. 1 (T5, K = 1.2) . . . . .	30
5. Caso No. 2 (T4, K = 0.9) . . . . .	35
6. Caso No. 3 (T3, K = 0.6) . . . . .	37
7. Caso No. 4 (T2, K = 0.3) . . . . .	39
8. Uso consuntivo . . . . .	41
9. Resumen ANDEVA variable Producción (tonelada caña/ha) . . . . .	43
10. Resumen ANDEVA variable Rendimiento (kg azúcar/tonelada caña) . . . . .	44
11A. Datos climáticos . . . . .	57
12A. Muestreo gravimétrico, caso 1 . . . . .	58

## Continuación Índice de Cuadros.

**NUMERO**

	<b>PAG.</b>
13A. Caso 2	.58
14A. Caso 3	.59
15A. Datos de Producción/Tratamiento (toneladas caña/ha)	.59
16A. Datos de Rendimiento/Tratamiento (kg azúcar/tonelada caña)	.59
17A. Datos de porcentaje de BRIX	.60
18A. Resumen ANDEVA (% Brix)	.60
19A. Datos de Grados Pol (%)	.60
20A. Resumen ANDEVA (% Pol)	.60
21A. Datos de variable Pureza	.61
22A. Resumen ANDEVA (Pureza)	.61

**INDICE DE FIGURAS****FIGURA**

	<b>PAG.</b>
1. Precipitación y evaporación	.32
2. Comportamiento humedad del suelo, caso 1	.34
3. Caso 2	.36
4. Caso 3	.38
5. Caso 4	.40
6. Longitud total de tallo (m)	.45
7. Tamaño de hojas (cm <sup>2</sup> )	.46
8. Diámetro de entrenudo central (cm)	.47
9. Población (Número tallos/mt. lineal de surco)	.48
10. Número de entrenudos por tallo	.49
11. Longitud de entrenudo central (cm)	.50

## RESUMEN

"USO DEL BALANCE HIDRICO PARA LA PROGRAMACION DE RIEGOS EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZUCAR (Saccharum officinarum L.); BAJO LAS CONDICIONES DE SAN LUCAS TOLIMAN, SOLOLA."

"HIDRIC BALANCE USE FOR PROGRAMATION OF IRRIGATION IN SUGAR CANE CROP (Saccharum officinarum L.) AT SAN LUCAS TOLIMAN, SOLOLA."

En las regiones donde se cultiva la caña de azúcar (Saccharum officinarum L.), ésta puede ser sembrada y cosechada durante todo el año y los requerimientos de riego dependen conjuntamente de la etapa de crecimiento del cultivo como de las condiciones edafo-climáticas.

En la presente investigación se evaluaron cuatro valores del coeficiente "K" del cultivo (que permite corregir la evaporación medida desde una superficie libre (Tanque evaporímetro Clase "A") a través de la expresión  $ET = EV * K$ ) y un testigo sin riego, 5 tratamientos en total (T1, testigo absoluto; T2, K=0.3; T3, K=0.6; T4, K=0.9; T5, K=1.2). Esta evaluación se realizó durante las dos primeras etapas de desarrollo, germinación-macollamiento (0 - 5 meses de edad) y crecimiento (5 - 10 meses de edad); mediante el análisis del balance hídrico y un control gravimétrico de humedad en el suelo.

Se determinaron las características físicas del suelo relacionadas con el riego y a partir de las mismas se inició el análisis del balance hídrico para cada tratamiento mediante la expresión:  $TAS(n) = TAS(1) + PP + Lr - Et$ . La fecha de inicio del análisis de balance hídrico fue el 10 de febrero de 1995, partiendo del contenido de humedad en el suelo determinado por el método gravimétrico (en ese momento se encontraba a Capacidad de Campo).

Las variables de respuesta analizadas estadísticamente para evaluar el efecto de los diferentes tratamientos fueron: Producción de caña (t/ha) y Rendimiento de azúcar (kg/t). El análisis de varianza

realizado mostró que el efecto entre tratamientos fue estadísticamente igual.

La producción de caña media obtenida fue de 92.12 t/ha y el rendimiento medio de azúcar fue de 121.87 kg/t.

El control gravimétrico realizado antes, después y entre riegos permitió ir comparando el contenido de humedad en el suelo con el registro de la lámina de agua que indicaba el balance hídrico. El tratamiento 2 ( $K=0.3$ ) coincidió en la primer etapa de desarrollo con el muestreo gravimétrico efectuado el 16 de marzo de 1995, por lo que el valor de  $K=0.3$  corrige adecuadamente a la evaporación en dicha etapa.

# 1. INTRODUCCION

En las regiones donde se cultiva la caña de azúcar (Saccharum officinarum L.), ésta puede ser sembrada y cosechada durante todo el año y los requerimientos de riego dependen conjuntamente de la etapa de crecimiento del cultivo, de las condiciones climáticas y de las condiciones edáficas. En la época seca, la evaporación supera ampliamente a la precipitación siendo necesario recurrir a la aplicación de riegos.

Tradicionalmente, la programación de los riegos de la caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) se hace en forma empírica y casi siempre sin tomar en cuenta las relaciones suelo-agua-planta, implicando el riesgo de aplicar un número excesivo de riegos o de someter el cultivo a períodos de déficit de humedad que pueden afectar la producción (19).

Por medio de la presente investigación se evaluaron cuatro valores del coeficiente "K" del cultivo durante las dos primeras etapas de desarrollo del mismo, germinación-macollamiento (0 a 5 meses) y crecimiento (5 a 10 meses); mediante el análisis de un balance hídrico y un control gravimétrico de humedad en el suelo.

El ensayo se realizó en la finca Plantaciones El Paraiso S.A., que se encuentra ubicada al sur del municipio de San Lucas Tolimán, Sololá; a una altura aproximada de 800 msnm (bocacosta).

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Tradicionalmente la aplicación de riegos se hace en forma empírica ya que se desconocen las características físicas del suelo relacionadas a la capacidad de retención o almacenamiento de agua en el rango de la profundidad radicular de la caña de azúcar, asimismo se desconoce la demanda de agua durante las etapas de desarrollo del cultivo; ésto puede redundar básicamente en dos problemas: Uno es la aplicación de un excesivo número de riegos que eleve los costos de producción al incrementarse el número de jornales en mano de obra utilizados, disminuyendo así las utilidades que el cultivo pueda generar. El otro problema por el contrario es la aplicación de muy pocos riegos, lo que puede ocasionar un déficit de agua para la planta que afecte la producción y rendimiento económico del cultivo.

Adicionalmente a esto, si la disponibilidad de agua es limitada, el recurso debe optimizarse para evitar un uso ineficiente.

### **3. MARCO TEORICO**

#### **3.1 MARCO CONCEPTUAL:**

##### **3.1.1 DESCRIPCION DE LAS REGIONES CAÑERAS:**

###### **A. Localización Geográfica:**

La región cañera, productora de azúcar de Guatemala, se localiza en la vertiente del Pacífico, en los departamentos de Guatemala, Santa Rosa, Escuintla y Suchitepéquez, a lo largo de la planicie costera; de Norte a Sur, comienza en las estribaciones de la Sierra Madre a unos 1200 msnm y se extiende hasta cerca del litoral a unos 150 metros sobre el nivel del mar (6).

La sierra Madre como gigantesco espinazo del país, marca la división de las aguas territoriales de manera que las que se derivan hacia el Norte constituyen la Región Hidrográfica del Atlántico, y las que se derivan hacia el Sur, forman la región Hidrográfica del Pacífico. Los ríos principales que forman esta última son: Suchiate, Naranjo, Ocosito, Samalá, Nahualate, Madre Vieja, Coyolate, Guacalate, Michatoya y numerosos de sus afluentes que son alrededor de 84. Las aguas de muchos de ellos se utilizan para generar energía eléctrica, para la irrigación de terrenos agrícolas y para el sustento de nuestra población y animales domésticos (6).

El cultivo de la caña para fines de producción de panela tiene mayor distribución y se cultiva por todo el territorio nacional ocupando los valles y cañadas donde predominan los terrenos de topografía ondulada y de poca profundidad, hasta aquellos de superficie plana que disponen de buena capa arable (6).

### B. Clima de las regiones cañeras:

Guatemala por su posición en el globo terráqueo, debería ser un país inminentemente tropical, sin embargo, por el número y altura de sus montañas tiene gran variedad de climas que permiten diversidad de cultivos desde el cálido de las costas donde prosperan las palmeras, hasta el frío de las mesetas elevadas donde predominan los árboles forestales, existiendo intermedio los climas templados de 600 a 1370 metros sobre el nivel del mar propicios para el cultivo de la caña de azúcar y el café (6).

El área de dispersión de la caña está limitada por un conjunto de factores que influyen para su buen desarrollo, entre los cuales el clima es uno de los más importantes. La temperatura, la humedad y la insolación, son determinantes para el crecimiento normal de las plantas y para inducir su madurez industrial, elevando al mismo tiempo los rendimientos de campo y mejorando la pureza de los jugos cuando llega la época de la zafra. De los meses de noviembre a febrero la caña retrasa su crecimiento aproximadamente un tercio en relación con el período comprendido entre mayo a agosto, y esto, más que el descenso de la temperatura, se debe al descenso de la insolación, ya que durante los meses fríos los días son más cortos y por lo tanto las horas luz tienden a ser menores (6).

Indices de temperatura para el mejor desarrollo de la caña de azúcar (6):

- a) La óptima germinación de las yemas se obtiene entre los 32 ° y 38 °C.
- b) La temperatura óptima tanto para el crecimiento como para la mejor absorción de nutrimentos es de 27 °C.
- c) El margen de desarrollo normal fluctúa de 21 ° a 38 °C; las plantas retardan su crecimiento de 10 ° a 21 °C; las funciones fisiológicas se paralizan a menos de 10 °C y la caña sufre daños a menos de 2 °C por efectos de bajas temperaturas.

### C. Factores edafológicos:

a) Profundidad del suelo: Para que la caña de azúcar pueda proliferar un sistema radicular abundante se requiere un suelo que tenga por lo menos 0.60 metros de capa arable, que permita el uso de implementos mecánicos y formar una buena "cama de siembra" para que las plantas profundicen sus raíces y logren absorber la humedad del subsuelo. De acuerdo con el crecimiento normal de la caña plantilla, el 85 % de las raíces se concentra en los primeros 0.60 metros de profundidad y en la medida que envejecen las socas, las raíces pueden profundizar hasta 1.50 a 1.80 metros (6).

b) Drenaje del suelo: El drenaje es básico en la salud de las plantas y favorece la capacidad para emitir raíces profundas y vigorosas, por lo tanto tiene gran influencia en el desarrollo de la caña, pues en un terreno mal drenado, el agua se posesiona de parte del volumen de los espacios vacíos existentes y evita la circulación del aire en el área ocupada por las raíces. Cuando el agua se estanca en la parte baja, impermeable de un terreno y su textura se encuentra saturada, se presentan condiciones inadecuadas para el crecimiento de las raíces debido a la falta de oxígeno; ésto causa marchitamiento del follaje, las hojas toman un color verde pálido. Cuando el suelo se seca, aumenta la concentración de sales en pequeñas áreas del terreno lo cual afecta el sistema radicular y sus funciones de absorción de los nutrimentos (6).

En estudios recientes realizados por CENGICANA (15), se han determinado 3 estratos cañeros:

### 3.1.2 ESTRATOS CAÑEROS:

#### ESTRATO I:

El estrato I o zona alta es un área comprendida de 300 a 800 msnm y se caracteriza por la predominancia de los suelos del orden Andisol y con precipitaciones mayores a 3000 mm anuales. La temperatura media anual es menor de 25 °C. El estrato I representa la menor superficie cultivada con caña de azúcar en el país, pero su gradiente altitudinal es mayor que en los demás estratos (15).

#### ESTRATO II:

El estrato II (100 - 300 msnm) o zona media respecto a sus suelos, es una zona de transición. Aquí los órdenes de suelo predominantes son Andisol e Inceptisol y ocupan áreas diferentes en ese orden de importancia. La precipitación anual en las partes más altas del estrato alcanzan los 3000 mm anuales, mientras que en las partes bajas 2000 mm. En este estrato la temperatura promedio anual es 25 °C (15).

#### ESTRATO III:

En las áreas del estrato III o zona baja (menor de 100 msnm) predominan los suelos mollisoles, aunque también se encuentran suelos del orden Andisol, Entisol e Inceptisol. La precipitación promedio anual en áreas arriba de los 50 msnm varía de 1500 a 2000 mm, mientras que abajo de los 50 msnm es menor a los 1500 mm. La temperatura promedio anual es mayor a los 25 °C (15).

### 3.1.3 CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO RELACIONADAS CON EL RIEGO.

#### A. Textura:

La textura del suelo hace referencia a las proporciones relativas de los diversos tamaños en los que se presentan sus partículas minerales con independencia de su composición química.

La descripción de la textura de un suelo se realiza especificando los porcentajes de partículas totales cuyo tamaño está comprendido entre límites determinados, según diversas escalas. Entre las empleadas, las más en uso hoy son las del USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) y la de la ISSS (Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo) (17).

---

#### Escala del USDA (17)

---

Arena muy gruesa	2-1 mm (2,000 - 1,000 $\mu$ )
Arena gruesa	1-0.5 mm (1,000 - 500 $\mu$ )
Arena mediana	0.5-0.25 mm (500-250 $\mu$ )
Arena muy fina	0.25-0.1 mm (250-100 $\mu$ )
Limo	0.05-0.002 mm (50-2 $\mu$ )
Arcilla	< 0.002 mm (< 2 $\mu$ )

---

#### Escala del ISSS (17)

---

Arena gruesa	2-0.2 mm (2,000-200 $\mu$ )
Arena fina	0.2-0.02 mm (200-20 $\mu$ )
Limo	0.02-0.002 mm (20-2 $\mu$ )
Arcilla	< 0.002 mm (<2 $\mu$ )

a) Suelos arenosos: Retienen poca humedad y tienden a secarse. Tienen poca habilidad para retener los nutrientes. Poseen por naturaleza baja fertilidad. Tienen rápida percolación. Es necesario aplicar frecuentemente materiales orgánicos y nutrientes inorgánicos. Se trabajan con facilidad (17).

b) Suelos Francos y Franco-limosos: Poseen buena penetración y retienen bien el agua y los nutrientes. Su fertilidad natural va de media a alta. Se pierde poca agua y nutrientes por lixiviación. Los mejores suelos agrícolas quedan dentro de éste rango (17).

c) Suelos Franco-arcillosos y Arcillosos: Tienen poca penetración de agua, retienen grandes cantidades de humedad, parte de la cual no está disponible para la planta. La pérdida de nutrientes por percolación es muy reducida. Sus principales problemas son la compactación, la formación de costras, el drenaje y la labranza (17).

#### B. Estructura:

La estructura del suelo hace referencia a la agregación de las partículas primarias del mismo (arena, limo y arcilla) formando partículas compuestas llamadas “agregados”, separados de otros adyacentes por superficies débiles (17).

La clasificaciones de la estructura de los suelos son muy variadas, siendo la más empleada la del Soil Survey Staff, que la caracteriza según la forma y ordenación de los agregados, su tamaño y su estabilidad (17).

Mientras que la textura se puede considerar como una propiedad constante, en cada horizonte o suelo homogéneo, es de destacar la gran variabilidad que puede experimentar la estructura en relación con las condiciones climáticas o el manejo que se efectúe (17).

La estructura del suelo proporciona un almacén tridimensional ocupado por sólidos que dejan numerosos espacios vacíos. Estos espacios vacíos o “poros” pueden presentarse tanto dentro de los agregados como entre los agregados, siendo por lo general el tamaño de estos últimos considerablemente superior al de los primeros. Así pues, el tamaño y la cantidad de poros presentes está condicionado en gran medida por la estructura (17).

Las fuerzas que unen las partículas primarias dentro de los agregados son de naturaleza bastante débil, con lo cual estos son susceptibles de ser destruidos con relativa facilidad. Entre los factores degradantes de la estructura merecen destacarse el laboreo excesivo de las gotas de lluvia y la compactación por el empleo de equipos agrícolas o por pisoteo del ganado (17).

La estructura, para los agricultores es con frecuencia más importante que su textura. La estructura determina la proporción con que el agua y el aire pueden atravesar las diferentes capas del suelo y el grado en que el aire y el agua pueden ser retenidos en los poros. La penetración de las raíces, su anclaje y el drenaje dependen también de la estructura del suelo (5).

La estructura puede cambiarse para mejorar las condiciones del suelo y obtener un crecimiento óptimo de la planta (5).

Para establecer y mantener una buena estructura del suelo es necesario tomar las siguientes medidas (5):

- Aplicar materia orgánica al suelo.
- No utilizar máquinas en suelos demasiado húmedos.
- Evitar la compactación del suelo por maquinaria pesada.
- Utilizar subsoladores para romper capas impermeables.
- Mantener suelta la capa superficial del suelo.

C. Minerales Amorfos, grupo de la alófana:

La alófana representa a un grupo de minerales arcillosos amorfos en los cuales los tetraedros de sílice y los octaedros de alúmina se disponen irregularmente y en ocasiones se forma con frecuencia durante la meteorización de cenizas volcánicas o sea en suelos andosólicos. Contiene  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$  y  $H_2O$  en proporciones variables. Si bien se le considera amorfa por no tener orden dentro de la distribución de octaedros y tetraedros, estas unidades mantienen la estructura atómica establecida. De este carácter amorfo resulta que la alófana es un compuesto poroso de gran superficie y con gran cantidad de intraagregaciones de óxidos de Fe, Mn. Por sus características, la alófana ocupa una posición intermedia entre los minerales arcillosos y los óxidos del suelo. Su estructura porosa facilita el lavado de los suelos, que al ser intensivo, causa una gran pobreza de los mismos. Su capacidad de cambio es menos que 100 meq/100 g de arcilla y tienen un alto poder de fijación de fosfatos. Su descomposición lleva a la formación de caolinita, de haloisita y de gibbsita (13).

D. Capacidad de campo: (CC)

Es el contenido de humedad que tiene el suelo inmediatamente después que el agua gravitacional ha drenado. Es decir que es la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener en contra de la fuerza de gravedad. El concepto de capacidad de campo es de gran utilidad por ser el límite superior de agua aprovechable o disponible para el desarrollo de las plantas y además porque es el porcentaje de humedad al que la zona radicular debe regarse para que no existan desperdicios ni falta de agua a la planta (16).

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 (16).

Los valores de CC se utilizan para determinar la cantidad de agua a aplicar por riego (17).

E. Punto de marchitez permanente: (PMP)

Es definida como el porcentaje o contenido de humedad del suelo al cual las plantas no pueden obtener suficiente humedad para satisfacer sus requerimientos de transpiración. Al alcanzar el suelo valores de PMP las plantas se marchitan y no son capaces de recuperarse aún cuando se coloquen durante una noche en una atmósfera saturada en la que casi no se produce consumo de agua (16).

El PMP corresponde al límite inferior de la humedad aprovechable por los vegetales (14).

F. Densidad aparente: (Da)

La densidad aparente de un suelo es el peso de suelo seco por unidad de volumen de suelo, incluyendo los poros, se expresa en gramos por centímetro cúbico (16).

$$Da = Pss/Vt$$

Donde:

Da: densidad aparente, (gr/cc)

Pss: peso de suelo seco, (gr)

Vt: volumen total de suelo, (cc)

### 3.1.4 EVAPORACION:

Es la pérdida de agua en forma de vapor que se da en el terreno que rodea a la planta, así como en el agua libre de la superficie en la planta misma.

La evaporación del agua del suelo se ve afectada por los mismos factores que afectan a la evaporación de una superficie libre de agua, como lo son, principalmente, la radiación solar, la temperatura, el viento y la presión de vapor; sin embargo la diferencia está en que, a medida que la velocidad de evaporación se incrementa, el suelo es incapaz de mantener humedad en la superficie evaporante superficial, por lo que baja la evaporación del suelo. A lo anterior hay que agregar el hecho de que muy difícilmente existe un mecanismo de suministro permanente de agua, por lo que la disponibilidad de agua para evaporarse baja y entonces baja la evaporación del suelo (2).

### 3.1.5 TRANSPIRACION:

Es la pérdida de agua de la superficie de las hojas en forma de vapor. Aún cuando es fundamentalmente un proceso de evaporación, se encuentra afectado por la estructura y fisiología de la planta, así como por los factores físicos que controlan la evaporación (2).

La planta absorbe agua del suelo y lo transporta a través del xilema hasta llegar al mesófilo de las hojas, después de haberla utilizado en sus procesos fisiológicos. En la hoja están los estomas a través de los cuales se escapa el agua en forma de vapor. Existe también la transpiración a través de la epidermis, llamada transpiración cuticular (2).

Las plantas retiene sólo una pequeña parte del agua que absorben las raíces. Si la velocidad de evaporación en las hojas excede a la absorbida por las raíces, se pone en marcha el proceso de marchitamiento y el desarrollo vegetal se dificulta. Por otro lado si las condiciones son tales que estimulan la excesiva transpiración (exceso de lluvia o riego) el agua utilizable no se emplea de modo eficaz (2).

### 3.1.6 EVAPOTRANSPIRACION (ET):

Tal como su nombre lo indica es la sumatoria de la evaporación y la transpiración: Evaporación del agua del terreno adyacente a la planta y del agua sobre la planta misma, Transpiración del agua que ha sido utilizada por la planta en sus procesos fisiológicos (2).

### 3.1.7 EVAPOTRANSPIRACION DE LA CAÑA DE AZUCAR:

Los métodos más sencillos y prácticos para controlar los riegos se basan en el conocimiento de la evapotranspiración del cultivo. La evapotranspiración o uso consuntivo, corresponde al proceso combinado del agua perdida por evaporación directa desde la superficie del suelo y transpiración a través de las hojas de las plantas (19).

La evapotranspiración (ET) es afectada por factores tales como edad del cultivo, condiciones de clima y suelo. Cuando las condiciones de humedad del suelo permiten un adecuado suministro de humedad, la planta, puede transpirar a su máxima capacidad y el valor obtenido de evapotranspiración es conocido como ET potencial. Bajo las condiciones de los cultivos comerciales el contenido de humedad del suelo es variable y el valor de ET obtenido es conocido con el nombre de ET actual y es utilizado para asignar los requerimientos de agua de las plantas, permitiendo a su vez establecer programas de riego con base en el balance hídrico (19).

### 3.1.8 REQUERIMIENTOS DE AGUA DE LA CAÑA DE AZUCAR:

El período vegetativo de la caña de azúcar puede ser dividido en 3 etapas: germinación y macollamiento (0-5 meses), crecimiento (5-10 meses) y maduración (10-14 meses).

En los primeros estados de cultivo, las plantas son pequeñas y los requerimientos de agua no son muy altos; cuando el cultivo entra en la etapa de crecimiento la población se estabiliza, durante este

período los requerimientos de agua y nutrientes son altos y el cultivo no debe ser sometido a déficit de humedad de lo contrario la producción puede ser afectada; en el período de maduración, el crecimiento del cultivo se disminuye y la planta concentra azúcares en los tallos; en este período es conveniente restringir los riegos con el propósito de no estimular el crecimiento, lo cual afectaría la calidad de la caña. Para obtener una máxima producción de azúcar por unidad de área, es necesario aplicar suficiente agua en el período de crecimiento, restringir los riegos y no aplicar fertilizantes nitrogenados en el período de maduración (19).

### 3.1.9 COEFICIENTE "K":

Las variables características de la cobertura vegetal (natural o cultivada), de las condiciones edáficas y de los niveles de humedad en el suelo, tanto en las tres dimensiones del espacio como en la dimensión del tiempo, modifican la evapotranspiración definida como potencial (ETp). De esta manera, ETp incluye los aspectos de orden físico que dependen del clima, mientras que el factor de cultivo K, considera el efecto que se deriva de la planta, el suelo, el nivel de humedad y el manejo del cultivo (7).

El coeficiente K y su variación a lo largo del ciclo vegetativo, es una expresión de las características morfológicas y fisiológicas del cultivo y de la incidencia que en él tiene el ambiente edáfico, en cuanto al volumen de suelo que las raíces exploran y la disponibilidad de nutrientes, agua y aire (7).

Los factores que afectan a K pueden agruparse en tres coeficientes (Grassi, 1966):

$$K = K_c K_h K_s$$

Donde:

$K_c$  es el coeficiente del cultivo

$K_h$  es el coeficiente de nivel de humedad del suelo

$K_s$  es el coeficiente de suelo y otros factores agro-culturales

### 3.1.10 PROGRAMACION DE LOS RIEGOS EN CAÑA DE AZUCAR:

El manejo adecuado del agua exige la determinación de la cantidad y frecuencia de aplicación de los riegos. El tanque evaporímetro Clase A, ha sido utilizado en Hawaii, Sur Africa y Taiwan, para estimar los requerimientos de riego de la caña de azúcar con buenos resultados. Los factores climáticos que afectan la evaporación del agua desde una superficie libre, son los mismos que afectan la transpiración desde la superficie de las hojas, por consiguiente, el valor de la evaporación del tanque clase A es un buen estimativo de la evapotranspiración (ET), a través de la siguiente expresión  $ET = K * E_v$  (19).

El valor de K permite corregir la evaporación del tanque y su valor depende de la edad del cultivo y condiciones de suelo,  $E_v$  corresponde a la evaporación medida desde una superficie de agua libre. El uso del tanque evaporímetro para la programación de los riegos involucra el seguimiento de un balance hídrico en donde se cuantifican las diferencias entre las pérdidas y las ganancias de humedad en el suelo (19).

### 3.1.11 BALANCE HIDRICO:

El balance hídrico del suelo en equilibrio con el clima, es una forma de cuantificar la situación hídrica de un área determinada para un intervalo de tiempo dado. Al respecto, cabe destacar que se

realiza con fines de planificación agrícola e hidráulica nacional, regional o zonal, o bien con fines de planificación, diseño y funcionamiento de un sistema de riego (7).

El balance hídrico puede realizarse con cualquiera de las formas para estimar la evapotranspiración potencial que se considere idónea, fijando la capacidad de almacenaje (Lámina de humedad disponible) que corresponda a las características de los suelos y cultivos que se presenten en el caso en consideración (7).

El período de déficit marca el lapso en el cual el cultivo dependerá del riego, y permite conocer la lámina de agua que representa la necesidad de riego. El período de exceso por el contrario, da una indicación de la existencia de potenciales problemas de drenaje, si es que no existen condiciones naturales favorables para la evacuación de los excedentes (7).

Un balance hídrico de intervalos de una semana permitirá individualizar períodos de sequía, que en ocasiones afectan sensiblemente el rendimiento de los cultivos, en especial cuando por tratarse de cultivos anuales, de raíz superficial, los lapsos del déficit aumentan al disminuir la capacidad de almacenaje de agua (7).

### 3.2 MARCO REFERENCIAL:

#### 3.2.1 UBICACION GEOGRAFICA:

El experimento se realizó en la finca El Paraiso la cual se encuentra localizada al Sur-Este del municipio de San Lucas Tolimán, Sololá, a una distancia de 140 km de la ciudad capital hasta la entrada de la finca (via Patulul). El acceso al casco de la finca es a través de un tramo carretero de terracería de 2 Km (14).

Se encuentra ubicada geográficamente en las coordenadas 14° 32' 09" Latitud Norte y 91° 07' 10" Longitud Oeste, a una altura de 800 msnm (10).

### 3.2.3 CLIMA:

El clima presenta las siguientes características: Semi-cálido, sin estación fría bien definida, muy húmedo y con invierno seco (9).

Las condiciones climáticas son variables por la influencia de los vientos. El régimen de lluvias es de mayor duración; por lo que influyen grandemente en la composición florística y en la fisonomía de la vegetación (3).

El patrón de lluvia varía entre 2136 y 4327 mm, promediando 3284 mm de precipitación anual. Las biotemperaturas van de 21 ° a 25 °C. La ET potencial puede estimarse en promedio 4.5 mm/día (3).

La finca se ubica dentro de la clasificación Bosque muy Húmedo Subtropical (cálido) (11).

### 3.2.4 SUELOS:

Los suelos pertenecen a la serie Atilán (At). El suelo superficial es de color café oscuro, textura franco-arenosa suelta, espesor 40 cm. El subsuelo es de color café amarillento, consistencia friable, textura franca, estrato de 30 a 40 cm (18).

### 3.2.5. RECURSOS HIDRICOS:

La finca es atravesada por el río Santa Teresa de donde es derivada el agua de riego para la misma, este río es afluente del río Madre Vieja, el cual queda al medio de la colindancia con la finca Concepción (14).

### 3.2.6 EXTENSION Y COLINDANCIAS:

La finca El Paraiso cuenta con una extensión de 341 hectáreas (aproximadamente 63 ha están cultivadas con caña de azúcar variedad Q96 -caña de tallo medio, crecimiento erecto, color violeta y muy rica en sacarosa (4)-. Sus colindancias son las siguientes: al Norte con la finca Santa Teresa y finca Sajbiná; al Sur con la finca Concepción y finca Quixayá; al Este con la finca Concepción y al Oeste con la finca Quixayá (14).

### 3.2.7 CUENCA:

La finca El Paraiso se encuentra dentro de la cuenca Madre Vieja, en la vertiente del Pacífico, la cual cuenta con un área de 905 Km<sup>2</sup> (8).

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 GENERAL:

Evaluar cuatro valores del coeficiente "K" en el cultivo de la caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) mediante el análisis de balance hídrico, bajo las condiciones de San Lucas Tolimán Sololá.

### 4.2 ESPECIFICOS:

- 4.2.1 Determinar el efecto que tiene sobre la producción de caña (t/ha) y rendimiento de azúcar (kg/t caña), la aplicación de riegos en frecuencias variables a través del análisis del balance hídrico, asumiendo valores de evapotranspiración mediante la variación del coeficiente "K" del cultivo que permite corregir la evaporación medida desde una superficie libre.
- 4.2.2 Evaluar cuatro coeficientes "K" de cultivo durante las etapas de germinación - macollamiento y crecimiento, para establecer cual de ellos permite estimar adecuadamente la evapotranspiración durante dichas etapas.

## 5. HIPOTESIS

A mayor frecuencia de aplicación de riegos mediante la variación del valor del coeficiente "K" del cultivo que permite estimar la evapotranspiración a través del análisis de balance hídrico, se obtiene un mejor desarrollo y rendimiento del cultivo de la caña de azúcar (Saccharum officinarum L.).

## 6. METODOLOGIA

### 6.1 TRATAMIENTOS:

Los tratamientos fueron frecuencias de riego variables, definidos por valores asumidos de evapotranspiración mediante la selección de 4 valores del coeficiente "K" del cultivo que permiten corregir la evaporación medida directamente del tanque evaporímetro clase "A", a través de la expresión  $ET=EV*K$ .

Los tratamientos de riego fueron:

- T1: Sin riego (Testigo)
- T2: Riegos programados a través del balance hídrico usando un valor de  $K=0.3$
- T3: Riegos programados a través del balance hídrico usando un valor de  $K=0.6$
- T4: Riegos programados a través del balance hídrico usando un valor de  $K=0.9$
- T5: Riegos programados a través del balance hídrico usando un valor de  $K=1.2$

Los riegos fueron suspendidos al establecerse las lluvias.

### 6.2 TAMAÑO DE PARCELA:

Las parcelas estuvieron conformadas por 7 surcos de 20 metros de largo y un distanciamiento entre surcos igual a 1.40 m para un área por parcela experimental igual a 196.0 m<sup>2</sup>.

Se utilizó el método de riego por surcos, la parcela neta estuvo constituida por los 5 surcos centrales. Cada bloque o repetición estuvo alimentado por una acequia de cabecera, la cual fue revestida con plástico para evitar efectos de agua infiltrada sobre los tratamientos.

Las características del área experimental se resúmen así:

AREA TOTAL DEL EXPERIMENTO: 7571.2 m<sup>2</sup>

AREA NETA DEL ENSAYO: 3780 m<sup>2</sup>

AREA POR UNIDAD EXPERIMENTAL: 196 m<sup>2</sup>

AREA NETA POR UNIDAD EXPERIMENTAL: 126 m<sup>2</sup>

NUMERO DE PARCELAS: 30

NUMERO DE SURCOS POR PARCELA BRUTA: 7

NUMERO DE SURCOS POR PARCELA NETA: 5

### 6.3 DISEÑO EXPERIMENTAL:

Se utilizó un diseño de bloques al azar con 5 tratamientos y 6 repeticiones, el factor bloqueado fue la gradiente de humedad.

### 6.4 VARIABLES RESPUESTA:

El modelo estadístico utilizado para el análisis de las variables es:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \alpha_j + \epsilon_{ij}$$

donde:

$Y_{ij}$ : rendimiento asociado a la i,j-ésima unidad experimental.

$\mu$ : valor de la media general

$\alpha_j$ : efecto de tratamientos

$\beta_j$ : efecto de bloques

$\epsilon_{ij}$ : error experimental

6.4.1 Las variables analizadas estadísticamente (ANDEVA) fueron:

- A) Producción de caña (t/ha): para determinar la producción de caña se pesaron los tallos de los 5 surcos centrales de cada parcela.
- B) Rendimiento de azúcar (kg/t caña): el rendimiento fue determinado a nivel de laboratorio en el ingenio Tierra Buena.

6.4.2 Representación gráfica: las variables representadas gráficamente permiten visualizar el comportamiento del cultivo, la lectura de las mismas se realizó mensualmente hasta el momento en que el crecimiento se estabilizó; para la medición se tomaron al azar 10 macollas (3 tallos de cada una) de cada parcela neta. Este análisis dió apoyo a la interpretación de resultados.

Las variables representadas gráficamente son:

- A) Longitud de tallo (m): la medición se hizo desde la base hasta el punto natural de quiebre.
- B) Población (número tallos/m lineal de surco)
- C) Longitud entrenudo central (cm)
- D) Diámetro entrenudo central (cm)
- F) Número de entrenudos por tallo
- G) Tamaño de hojas (largo \* ancho, cm<sup>2</sup>)

## 6.5 MANEJO DEL EXPERIMENTO:

### 6.5.1 TRAZO DEL EXPERIMENTO:

El trazo del experimento se hizo en el cañaveral 40 días después de la cosecha de la plantilla (tercera semana enero '95), para establecer las unidades experimentales y trazar las acequias de cabecera.

### 6.5.2 DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO RELACIONADAS CON EL RIEGO.

Para conocer las características físicas del suelo se hizo una calicata en el área del experimento en la cual se determinó la profundidad de los diferentes horizontes y se tomó para cada horizonte una muestra de suelo para determinar en laboratorio su capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y densidad aparente (Da). Además se midió la profundidad radicular.

La lámina de humedad aprovechable (LHA) está definida por el agua retenida en el suelo entre la Capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP), tomando en cuenta además la Densidad aparente (Da); estas consideraciones se tomaron para cada estrato hasta cubrir la profundidad radicular promedio.

$$LHA = ((CC - PMP)/100) * Da * Pr$$

Donde:

LHA: Lámina de humedad aprovechable (cm).

CC: Capacidad de campo (%).

PMP: Punto de marchitez permanente (%).

Da: Densidad aparente (g/cc)

Pr: Profundidad radicular (cm)

### 6.5.3 VOLUMEN DE AGUA A APLICAR:

El volumen de agua aplicado por parcela se determinó a partir del área establecida por parcela experimental ( $A_p$ ) y la lámina de humedad rápidamente aprovechable (LHRA) que está definida como el porcentaje de abatimiento de la lámina de humedad disponible o aprovechable (LHA), conocido como Déficit permitido de manejo (DPM); además se considera la eficiencia de aplicación de riego.

$$\text{LHRA} = \text{DPM} * \text{LHA}$$

$$\text{Vp} = (\text{LHRA} * \text{Ap}) / \text{Efr}$$

Donde:

LHRA: Lámina de humedad rápidamente aprovechable (cm)

DPM: Déficit permitido de manejo (se tomó 50% (forma decimal))

LHA: Lámina de humedad aprovechable (cm)

Vp: Volumen por parcela (m<sup>3</sup>)

Ap: Area por parcela (m<sup>2</sup>)

Efr: Eficiencia de riego (90%)

#### 6.5.4 TIEMPO DE RIEGO:

El tiempo de riego (Tr) se determinó a partir de la relación existente entre el volumen de agua a aplicar por parcela y el caudal descargado por los sifones. A cada tratamiento se aplicó la misma cantidad de agua en cada riego.

$$\text{Tr} = \text{Vp} / \text{Qs} * \text{n}$$

Donde:

Tr: Tiempo de riego (minutos)

Vp: Volumen por parcela (m<sup>3</sup>)

Qs: Caudal/sifón (m<sup>3</sup>/min)

n: Número de sifones

### 6.5.5 MONITOREO DE LA HUMEDAD DEL SUELO:

A efecto de conocer los estados de humedad del suelo en los diferentes tratamientos de riego para una mejor interpretación de las relaciones agua-producción, se hicieron determinaciones de los estados de humedad antes, después y entre cada riego, para hacer comparaciones con las estimaciones que se fueron registrando en el balance hídrico y establecer que valor del coeficiente "K" se adecuaba mas a cada etapa. Asimismo, estos datos sirvieron para hacer estimaciones de la evapotranspiración del cultivo.

Las determinaciones de humedad se hicieron por el método gravimétrico.

### 6.5.6 DETERMINACION DE LA FECHA DE RIEGO PARA CADA TRATAMIENTO:

La programación de los riegos se hizo mediante el método del balance hídrico, el cual consistió en llevar registros de las pérdidas estimadas por evapotranspiración (asumido diferente para cada tratamiento, mediante variación del coeficiente "K" del cultivo), a partir del contenido de humedad presente en el suelo al momento del primer muestreo (10/febrero 1995) y las entradas de agua por concepto de riego y precipitación.

• Cuando el análisis del balance hídrico indicaba que la lámina de humedad rápidamente aprovechable (LHRA) estaba agotada, se efectuaba el riego.

La ecuación simplificada del balance hídrico diario a utilizada en la programación de los riegos fue:

$$TAS(n) = TAS(1) + PP + Lr - Et$$

Donde:

TAS(n): Total de agua en el suelo un día (n).

TAS(1): Total de agua en el suelo el día 1 (después del riego).

PP: Precipitación.

Lr: Lámina de riego aplicada.

Et: Evapotranspiración considerada.

Diariamente se estimó el agua aprovechable y todavía disponible en el suelo (TAS(n)), haciendo los cálculos de pérdidas por evapotranspiración y excesos, y de las entradas por concepto de riego y lluvias. Cuando el Total de agua en el suelo TAS(n) calculado era igual a cero, indicaba que la Lámina de humedad rápidamente aprovechable (LHRA) se había agotado totalmente, por lo que era momento de aplicación del riego.

#### 6.5.7 DETERMINACION DEL USO CONSUNTIVO:

La estimación del consumo de agua por el cultivo en cada tratamiento, está definido por los valores de evapotranspiración estimados, según la evaporación del tanque Tipo A. Estos valores fueron aplicados a la ecuación general de Balance Hídrico, a efecto de programar los riegos.

$$TAS(n) = TAS(1) + PP + Lr - Et$$

El uso de agua total por el cultivo está definido por la sumatoria de los valores de evapotranspiración evaluada durante las etapas de germinación-macollamiento y crecimiento; así como la medición gravimétrica. La ecuación citada fue aplicada diariamente.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSION

### 7.1 CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO RELACIONADAS CON EL RIEGO:

Los resultados del análisis físico de suelos muestran lo siguiente:

Cuadro 1. Resultados análisis físico de suelos.

PROF. HORIZONTE(cm)	TEXTURA	CC (%)	PMP (%)	Da (g/cc)	LHA (cm)
A 0-25	Franco arenoso	39.05	20.81	0.89	4.06
B 25-45	Franco arenoso	47.80	26.83	0.86	3.60
C 45-75	Franco	46.68	26.23	0.84	5.15

Fuente: análisis físico de suelos, laboratorio de suelos DIRYA.

Donde:

CC: Capacidad de campo

PMP: Punto de marchitez permanente

Da: Densidad aparente

LHA: Lámina de humedad aprovechable

LHA (0-50 cm) = 85.20 mm

LHRA (0-50 cm) = 42.60 mm

Aunque el análisis de laboratorio presenta texturas franco y franco-arenosa, los porcentajes de Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP) no corresponden a esa clase de texturas; esto se debe a que estos suelos son alofánicos (arcillas amorfas).

La profundidad muestreada de 75 cm corresponde a los horizontes encontrados en el suelo, la profundidad tomada de 0 a 50 cm obedece a la profundidad radicular media del cultivo. Además se determinó el contenido de humedad por el método gravimétrico para establecer el porcentaje de humedad en el suelo e iniciar el análisis del balance hídrico para los diferentes tratamientos.

El volumen de agua aplicado por parcela en cada riego se determinó en 9.28 m<sup>3</sup> en un tiempo de 36 minutos de aplicación.

Cuadro 2. Calendarización de principales actividades.

ACTIVIDAD	FECHA
Cosecha plantilla	10 de diciembre de 1,994
Trazo experimento	Tercera semana enero de 1,995
Muestreo de suelos para análisis físico	Tercera semana enero de 1,995
Muestreo de suelos para análisis gravimétrico	10 de febrero de 1,995
Análisis de balance hídrico	10 de febrero de 1,995 a 20 marzo de 1,996
Lectura variables representadas gráficamente	Marzo a Septiembre 1,995 y al momento del corte
Inicio del invierno	24 de abril de 1,995
Cosecha del ensayo	21 y 22 de marzo de 1,996

#### 7.1.1 EVAPOTRANSPIRACION CALCULADA:

Por medio de la fórmula de Blaney-Criddle(7) se puede determinar la evapotranspiración mensual a partir de la temperatura media mensual:

$$U = k*f$$

Donde:

U: uso consuntivo o evapotranspiración

k: coeficiente de cultivo mensual

f: factor de uso consuntivo mensual en mm

Además:

$$- f = (0.457T + 8.13)P$$

Donde:

T: temperatura media mensual (°C)

P: porcentaje mensual de horas luz, variable con la latitud y la época del año.

$$- k = k_i k_c$$

Donde  $k_c$  es un coeficiente de desarrollo del cultivo y  $k_i$  un coeficiente de corrección por temperatura tal que:  $k_i = 0.24 + 0.0312T$

Cuadro 3. Datos de evapotranspiración calculada.

MES	TEMP. (°C)	f	k	ET (mm/día)
enero	20.44	4.54	0.35	1.60
febrero	21.31	4.65	0.45	2.10
marzo	22.45	4.96	0.52	2.60
abril	23.19	5.24	0.58	3.04

Fuente: Evapotranspiración calculada fórmula Blaney-Criddle (8).

Partiendo de la capacidad de retención de humedad del suelo para una profundidad de 0 a 50 cm (85 mm) y teniendo una evapotranspiración media en los meses iniciales de 2.33 mm/día (cuadro 3), se puede establecer un intervalo de riego (teórico) de 36 días.

El análisis anterior muestra la importancia del balance hídrico ya que con la cuantificación de los aportes de agua por precipitación se puede ampliar el intervalo de riegos, si los mismos se hacen necesarios.

#### 7.2 MONITOREO DE LA HUMEDAD DEL SUELO:

El presente trabajo se basó en el seguimiento de un balance hídrico, por lo que fue importante llevar un control de la variación del contenido de humedad en el suelo.

El primer muestreo gravimétrico se realizó a los 60 días después del corte, por lo que a partir de ese contenido de humedad se aplicó la ecuación de balance hídrico y se efectuaron muestreos periódicos (antes, después y entre riegos).

#### 7.3 DETERMINACION DE LA FECHA DE RIEGO PARA CADA TRATAMIENTO:

Para el análisis del balance hídrico fue necesario registrar datos de precipitación y evaporación durante el ciclo del cultivo (14 meses) y así establecer cuando era oportuno el riego en los diferentes tratamientos.

En el climadiagrama (FIGURA 1), claramente se puede observar que el déficit de humedad se presentó en los meses de febrero, marzo y abril, tiempo durante el cual se efectuaron los riegos de acuerdo al balance hídrico aplicado.

El invierno empezó formalmente el 24 de abril y fue hasta el mes de noviembre cuando la precipitación fue menor que la evaporación, mes durante el cual el cultivo ya se encontraba en la etapa de maduración.

Debido a las características físicas del suelo, estado de desarrollo (edad) del cultivo y condiciones climáticas que se dieron durante los meses de diciembre de 1994 y enero de 1995; en el momento en que se efectuó el primer muestreo gravimétrico (10 de febrero de 1995, 60 días después de la cosecha) para establecer el contenido de humedad en el suelo, éste se encontraba a Capacidad de Campo (CC), por lo que a partir de ese momento se inició el análisis del balance hídrico para cada uno de los tratamientos.

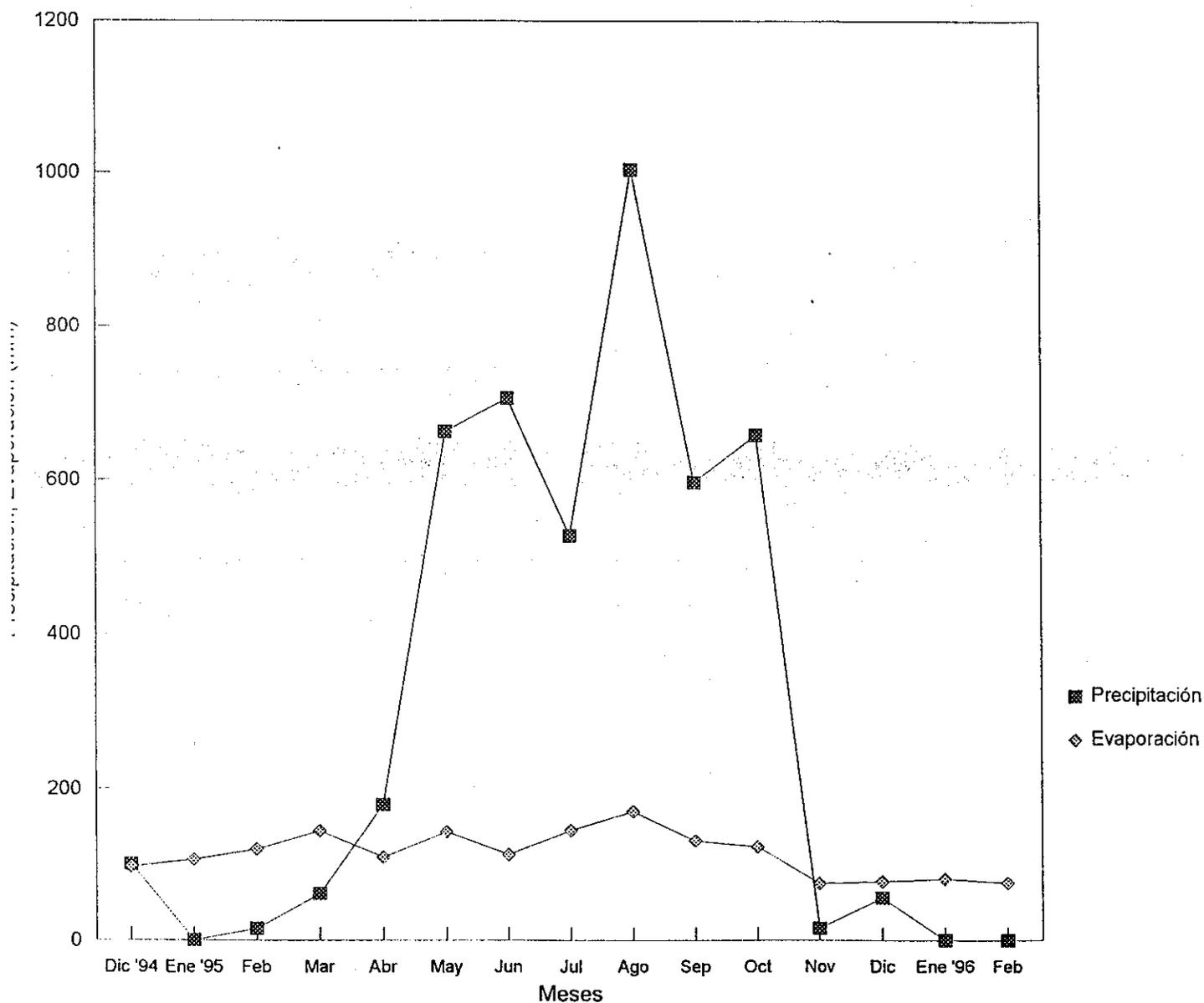


FIGURA 1. Ploteo de datos de precipitación y evaporación

## 7.3.1 APLICACION DE BALANCE HIDRICO:

- Para el Tratamiento 5 ( $K=1.2$ ) en el período del 10 al 22 de febrero hubo una precipitación de 16 mm y una evapotranspiración de 59 mm, por lo que el 23 de febrero se aplicó el primer riego. El período del 23 de febrero al 3 de marzo no hubo precipitación alguna y la evapotranspiración en dicho período fue de 44.70, por lo que el 4 de marzo se aplicó el segundo riego y reponer así el agua consumida.

En los días del 4 al 20 de marzo, hubo una precipitación de 66 mm y 107 mm de evapotranspiración, por lo que el 21 de marzo fue necesario aplicar un tercer riego. Del 22 al 30 de marzo no se dió ninguna precipitación y fueron 46 mm los que se evapotranspiraron, por lo cual el 31 de marzo fue necesario aplicar un cuarto y último riego, ya que a partir de esa fecha se dieron precipitaciones suficientes para reponer el agua consumida.

Cuadro 4. Balance hídrico y fecha de aplicación de riego. Caso 1 (T5,  $K=1.2$ )

FECHA	PP (mm)	ET (mm)	PP-ET (mm)	R. UTIL (mm)	C A (mm)	E (mm)	D (mm)
10 - 22 feb	16	59	-43	42.6	-43	-	0.4
23/feb **	-	-	-	42.6	+43	-	-
23/feb - 03/mar	0	44	-44	0	-44	-	1.4
04/mar **	-	-	-	42.6	+44	-	-
04 - 20/mar	66	107	-41	1.6	-41	-	-
21/mar **	-	-	-	42.6	+41	-	-
21 -30/mar	0	46	-46	0	-46	-	3.4
31/mar **	-	-	-	42.6	+46	-	-
Abril	179	132	47	42.6	0	47	-
Mayo	663	172	491	42.6	0	491	-

Continuación Cuadro 4

FECHA	PP (mm)	ET (mm)	PP-ET (mm)	R. UTIL (mm)	C A (mm)	E (mm)	D (mm)
Junio	706	135.4	570.6	42.6	0	570.6	-
Julio	527	173.9	353.1	42.6	0	353.1	-
Agosto	1004	203.8	800.2	42.6	0	800.2	-
Septiembre	596	157.3	438.7	42.6	0	438.7	-
Octubre	658	147.6	510.4	42.6	0	510.4	-
Noviembre	16	90.5	-74.5	0	-42.6	-	32
Diciembre	56	93.6	-37.6	0	0	-	37.6
Enero '96	0	97.1	-97.1	0	0	-	97
Febrero	0	91.9	-91.9	0	0	-	92

PP: Precipitación

ET: Evapotranspiración = 1.2(Evaporación)

CA: Cambio en el almacenamiento

E: Excesos

D: Déficit

\*: Contenido de humedad inicial (10/feb'95, muestreo gravimétrico).

\*\* : Fecha de riego

En el cuadro 4 se presenta el balance hídrico analizado con una evapotranspiración asumida a partir del valor de  $K=1.2$ ; en la misma se aprecia el déficit de humedad (174 mm) durante el período del 10 de febrero al 30 de marzo de 1,995. Dicho déficit se repuso en 4 riegos.

A partir de abril hasta octubre, se presentaron excesos de agua, siendo el mayor durante agosto con 800 mm.

Los muestreos gravimétricos que permitieron ir comparando los contenidos de humedad en el suelo al momento de reponer el agua consumida (FIGURA 2), muestran que la Lámina de humedad rápidamente aprovechable (LHRA) aún no se había consumido al momento de hacer efectivos los riegos, por lo que el valor del coeficiente  $K=1.2$ , sobreestima la evapotranspiración del mismo.

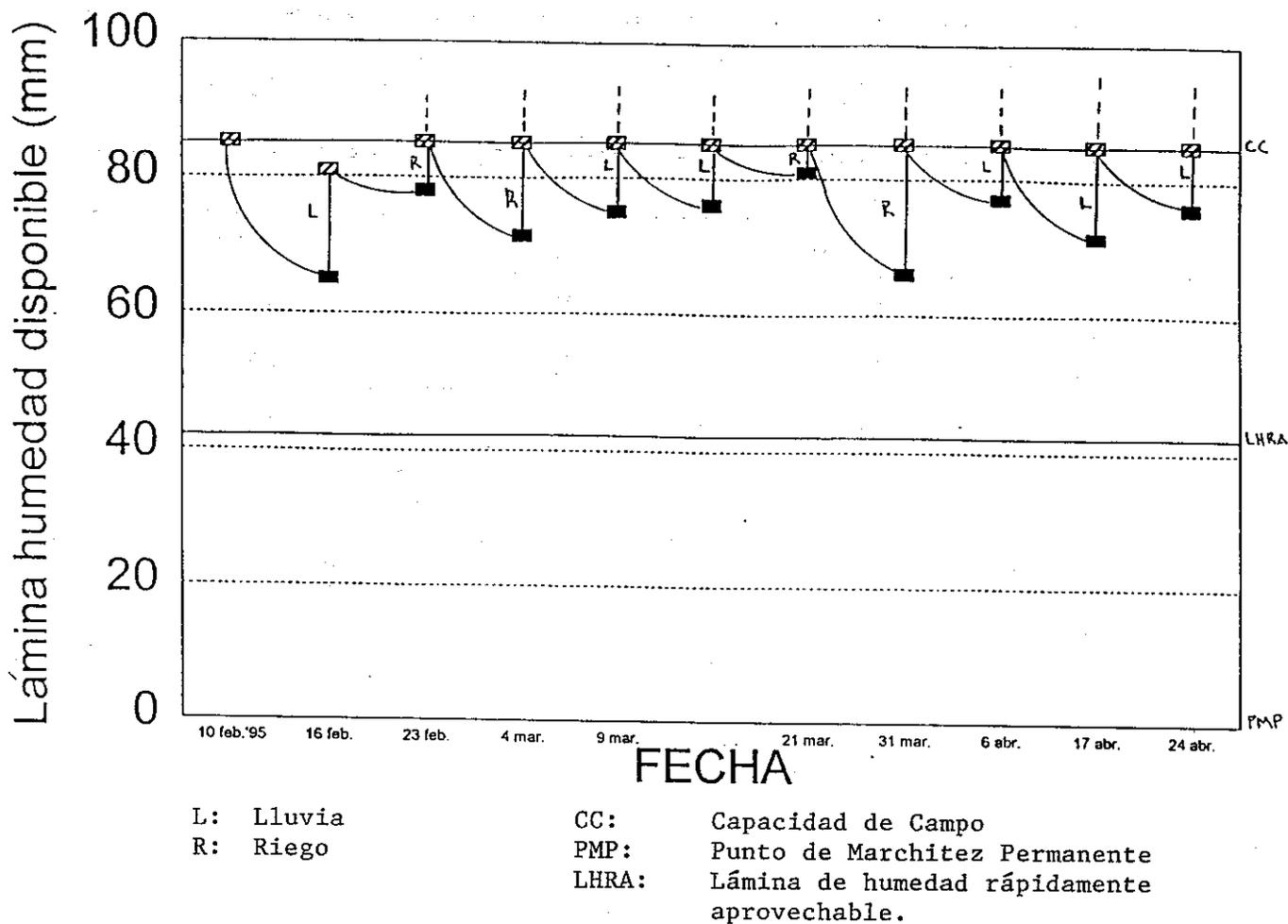


FIGURA 2. Comportamiento de la humedad en el suelo. Caso 1 (T5, K=1.2)

- En el **Tratamiento 4** ( $K=0.9$ ) durante el período del 10 al 25 de febrero, se tuvo una precipitación de 16 mm y una evapotranspiración de 57.91 mm, por lo que el 26 de febrero se aplicó el primer riego. Para el período del 26 de febrero al 10 de marzo, se tuvo una precipitación de 22 mm y 66.80 de evapotranspiración, por lo cual el 11 de marzo se efectuó el segundo riego. Durante los días del 11 de marzo al 3 de abril, hubo un total en precipitación de 44 mm y una evapotranspiración de 89 mm, por lo que el 4 de abril se efectuó el tercer y último riego, ya que a partir de esa fecha el régimen de lluvias suplió el consumo de agua y más aún se registraron los primeros excesos.

Cuadro 5. Balance hídrico y fecha de aplicación de riego. Caso 2 (T4, K=0.9)

FECHA	PP (mm)	ET (mm)	PP-ET (mm)	R. UTIL (mm)	C A (mm)	E (mm)	D (mm)
10/feb *	-	-	-	42.6	-	-	-
10 - 25/feb	16	58	-42	0.6	-42	-	-
26/feb **	-	-	-	42.6	+42	-	-
26/feb - 10/mar	22	67	-45	0	-45	-	2.4
11/mar **	-	-	-	42.6	+45	-	-
11/mar - 03/abr	44	89	-45	0	-45	-	2.4
04/abr **	-	-	-	42.6	+45	-	-
04 - 30/abr	179	89.55	89.45	42.6	0	89.45	-
Mayo	663	129	534	42.6	0	534	-
Junio	706	101.54	604.46	42.6	0	604.46	-
Julio	527	130.46	396.54	42.6	0	396.54	-
Agosto	1004	152.83	851.17	42.6	0	851.17	-
Septiembre	596	117.96	478.04	42.6	0	478.04	-
Octubre	658	110.70	547.30	42.6	0	547.30	-
Noviembre	16	67.85	-51.85	0	-42.6	-	9.25
Diciembre	56	70.2	-14.2	0	0	-	14.2
Enero '96	0	72.84	-72.84	0	0	-	72.84
Febrero	0	68.95	-68.95	0	0	-	68.95

PP: Precipitación

ET: Evapotranspiración = 0.9 (Evaporación)

CA: Cambio en el almacenamiento

E: Excesos

D: Déficit

\*: Contenido de humedad inicial (10/feb'95, muestreo gravimétrico).

\*\* : Fecha de riego

El balance hídrico analizado con una evapotranspiración asumida a partir del valor de  $K=0.9$  (Cuadro 5) se observa que el déficit se presentó durante el lapso del 10 de febrero al 3 de abril de 1995 (equivalente a 132 mm), dicho déficit se repuso en 3 riegos.

El control gravimétrico realizado (FIGURA 3), muestra que al momento de efectuar los riegos, aún existía humedad disponible para el cultivo; por lo que el valor del coeficiente  $K=0.9$  también sobreestima la evapotranspiración del cultivo en la etapa de germinación-macollamiento.

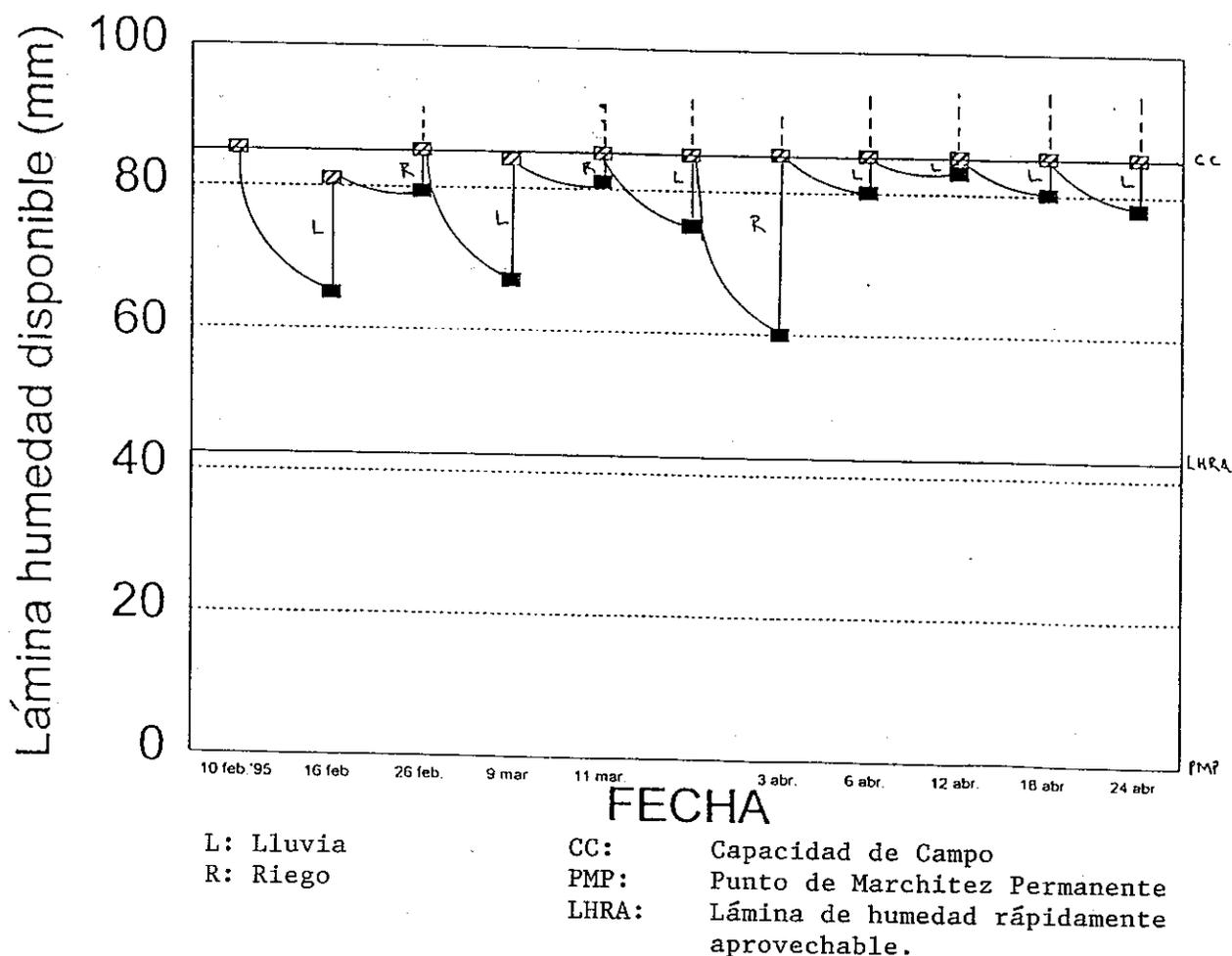


FIGURA 3. Comportamiento de la humedad en el suelo. Caso 2 (T4,  $K=0.9$ )

- En el **Tratamiento 3** ( $K=0.6$ ) durante el período del 10 de febrero al 4 de marzo, hubo una precipitación de 16 mm y una evapotranspiración estimada de 58.18 mm, por lo que el 5 de marzo se efectuó el único riego, ya que a partir de esa fecha, la cantidad y distribución de las lluvias cubrieron y excedieron el agua consumida.

Cuadro 6. Balance hídrico y fecha de aplicación de riego. Caso 3 (T3,  $K=0.6$ )

FECHA	PP (mm)	ET (mm)	PP-ET (mm)	R. UTIL (mm)	CA (mm)	E (mm)	D (mm)
10/feb *	-	-	-	42.6	-	-	-
10/feb - 04/mar	16	58	-42	0.6	-42	-	-
05/mar **	-	-	-	42.6	+42	-	-
05 - 31/mar	66	72.79	-6.79	35.81	-6.79	-	-
Abril	179	66	113	42.6	+6.79	106.21	-
Mayo	663	86	577	42.6	0	577	-
Junio	706	67.69	638.31	42.6	0	638.31	-
Julio	527	87	440	42.6	0	440	-
Agosto	1004	101.9	902.1	42.6	0	902.1	-
Septiembre	596	78.64	517.36	42.6	0	517.36	-
Octubre	658	73.8	584.2	42.6	0	584.2	-
Noviembre	16	45.23	-29.23	13.37	-29.23	-	-
Diciembre	56	46.8	9.2	22.57	+9.2	-	-
Enero '96	0	48.56	-48.56	0	-22.57	-	26
Febrero	0	45.97	-45.97	0	0	-	45.97

PP: Precipitación

ET: Evapotranspiración = 0.6 (Evaporación)

CA: Cambio en el almacenamiento

E: Excesos

D: Déficit

\*: Contenido de humedad inicial (10/feb'95, muestreo gravimétrico).

\*\* : Fecha de riego

El balance hídrico analizado partiendo de un valor de  $K=0.6$  para asumir la evapotranspiración (Cuadro 6), muestra que el déficit de humedad (42 mm) se presentó entre el 10 de febrero y el 4 de marzo de 1995, por lo que únicamente fue necesario un riego para reponer dicho déficit.

El control gravimétrico realizado (FIGURA 4), muestra claramente que al momento del riego aún no se había consumido la lámina de humedad rápidamente aprovechable (LHRA), por lo que el valor de  $K=0.6$  aún sobre-estima la evapotranspiración del cultivo en la etapa de germinación-macollamiento.

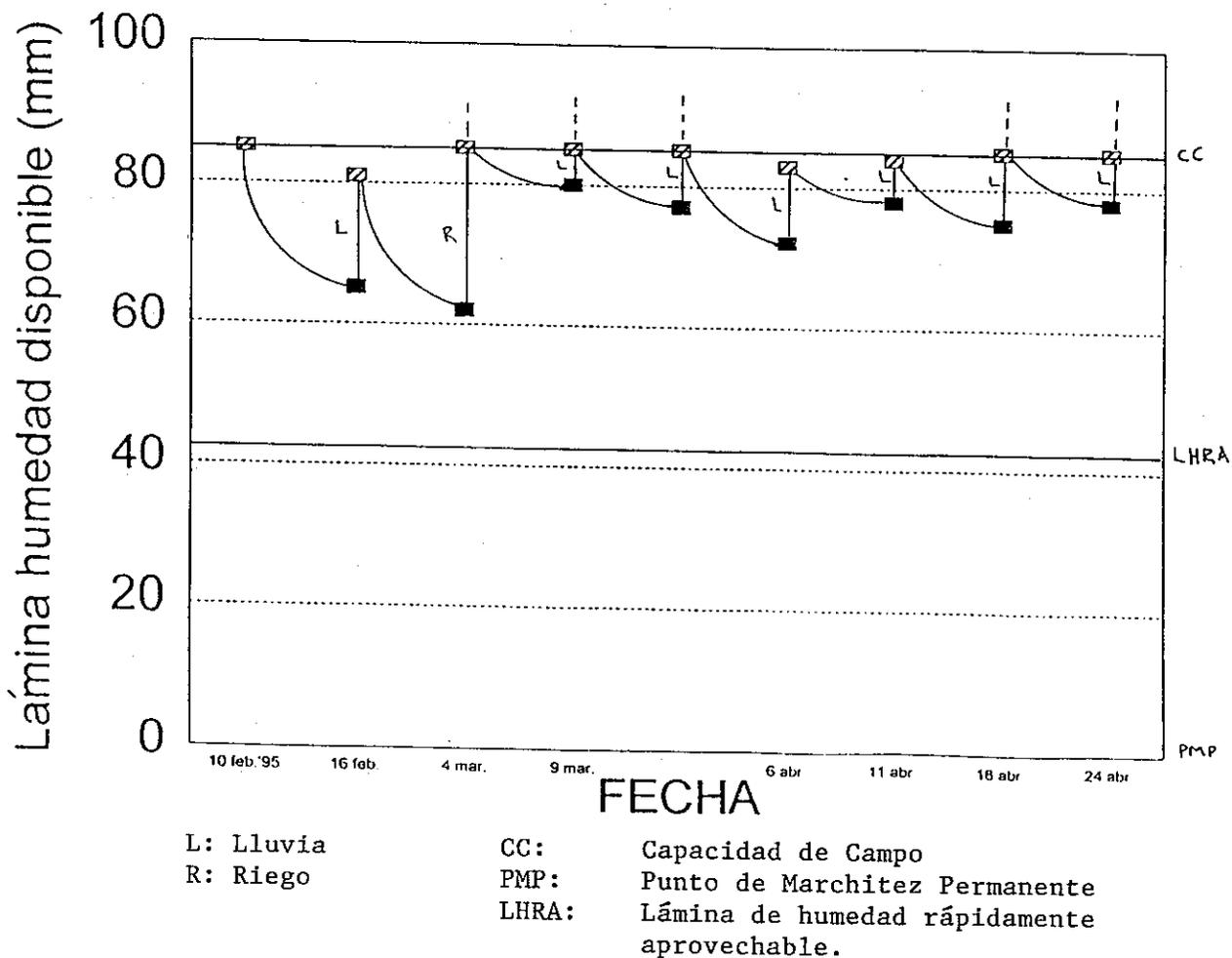


FIGURA 4. Comportamiento de la humedad del suelo. Caso 3 (T3,  $K=0.6$ )

- En el **Tratamiento 2** ( $K=0.3$ ), durante el período de déficit de agua, no fue necesario aplicar riego alguno, ya que la distribución (frecuencia e intensidad) de las lluvias, evitó que se consumiera en su totalidad la lámina de humedad rápidamente aprovechable (LHRA), tal y como se muestra en el balance hídrico analizado (Cuadro 7).

Cuadro 7. Balance hídrico. Caso 4 (T2,  $K=0.3$ )

FECHA	PP (mm)	ET (mm)	PP-ET (mm)	R. UTIL (mm)	CA (mm)	E (mm)	D (mm)
10/feb '95 *	-	-	-	42.6	-	-	-
10 - 28/feb	16	24.48	-8.48	34.12	-8.48	-	-
Marzo	66	43.44	22.56	42.6	+8.48	14.08	-
Abril	179	33	146	42.6	0	146	-
Mayo	663	43	620	42.6	0	620	-
Junio	706	33.85	672.15	42.6	0	672.15	-
Julio	527	43.49	483.52	42.6	0	483.52	-
Agosto	1004	50.94	953.06	42.6	0	953.06	-
Septiembre	596	39.32	556.68	42.6	0	556.68	-
Octubre	658	36.90	621.10	42.6	0	621.10	-
Noviembre	16	22.62	-6.62	35.98	-6.62	-	-
Diciembre	56	23.40	32.60	42.6	+6.62	25.98	-
Enero '96	0	24.28	-24.28	18.32	-24.28	-	-
Febrero	0	22.98	-22.98	0	-18.32	-	4.66

PP: Precipitación

ET: Evapotranspiración =  $0.3$  (Evaporación)

CA: Cambio en el almacenamiento

E: Excesos

D: Déficit

\*: Contenido de humedad inicial (10/feb'95, muestreo gravimétrico).

Según el análisis del balance hídrico, el 16 de marzo existían 42.60 mm de agua en el suelo (equivalente a Capacidad de campo); comparando este contenido con el control gravimétrico que fue de 42.0 milímetros en la misma fecha (FIGURA 5), indica que el valor del coeficiente  $K=0.3$  estima adecuadamente la evapotranspiración del cultivo en la etapa de germinación-macollamiento (0 a 5 meses).

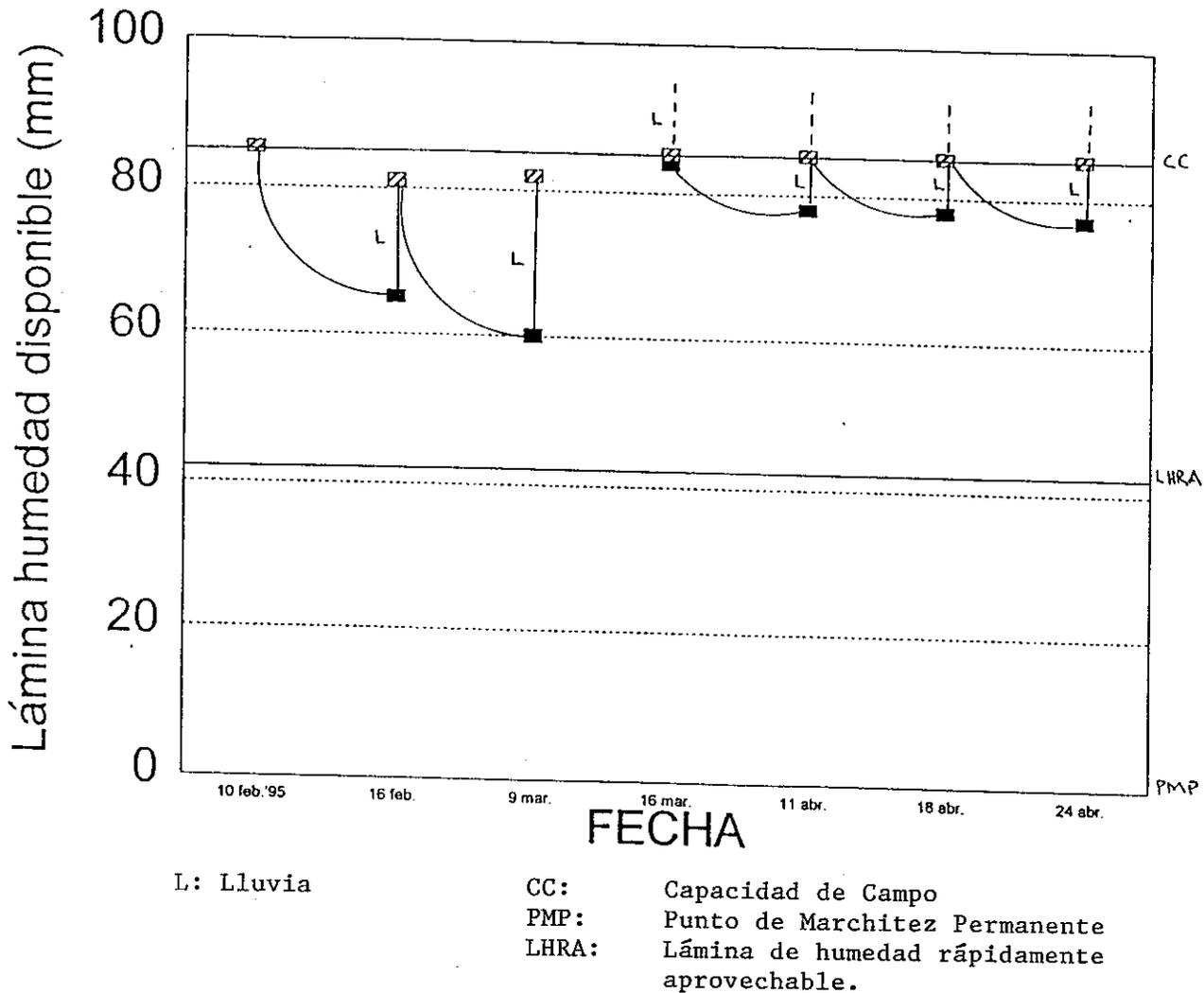


FIGURA 5. Comportamiento de la humedad del suelo. Caso 4 ( $T_2, K=0.3$ ).

- Para el Tratamiento 1 (testigo, sin riego), el comportamiento de la humedad en el suelo fue prácticamente el mismo que para el Tratamiento 2 ( $K=0.3$ ) al cual no se aplicó ningún riego.

## 7.4 DETERMINACION DE USO CONSUNTIVO:

Cuadro 8. Evapotranspiración estimada para cada etapa (uso consuntivo).

TRAT.	K	EV(mm) E1	EV(mm) E2	EV(mm) E3	ET(mm) E1	ET(mm) E2	ET(mm) E3
T2	0.3	636.61	688.86	356.05	190.98	206.66	106.82
T3	0.6				381.96	413.32	213.63
T4	0.9				572.95	619.17	320.44
T5	1.2				763.93	826.63	427.26

DONDE:

E1: Etapa 1, Germinación-macollamiento (0 a 5 meses)

E2: Etapa 2, Crecimiento (5 a 10 meses)

E3: Etapa 3, Maduración (10 a 14 meses)

EV: Evaporación

ET: Evapotranspiración =  $K * EV =$  Uso consuntivo

## 7.5 ANALISIS DE LA INFORMACION:

### 7.5.1 Análisis estadístico:

#### A. VARIABLE PRODUCCION DE CAÑA (t/ha):

Cuadro 9. Resumen de resultados del análisis de varianza.

FUENTE	GL	SC	CM	F	Pr > F
TRAT	4	1856.516	464.129	1.61	0.21
REPET.	5	2953.272			

Coefficiente de variación (CV): 18.45 %

Producción media: 92.12 Ton caña/Ha

La producción promedio fue de 92.12 Toneladas de caña por hectárea; el coeficiente de variación (CV) = 18.45 % indica que no hubo mucha variación de los datos obtenidos con respecto al promedio por lo que el manejo que se le dió al experimento es aceptable.

La probabilidad de que exista un valor mayor al valor de F ( $Pr > F$ ) indica que no existen diferencias significativas entre tratamientos, es decir, que estadísticamente el efecto de los tratamientos es el mismo, por lo que no procedió efectuar prueba de medias.

B. RENDIMIENTO DE AZUCAR (kg/t caña):

Cuadro 10. Resumen de resultados del análisis de Varianza.

FUENTE	GL	SC	CM	FC	Pr > F
TRAT	4	855.051	213.636	0.73	0.58
REPET.	5	952.628			

Coefficiente de Variación (CV): 9.47 %

Rendimiento medio: 121.87 Kg azúcar/Ton caña

El coeficiente de variación (CV = 9.47 %) muestra la poca variación existente entre los rendimientos obtenidos en los diferentes tratamientos. Esto muestra que el error experimental asociado al manejo del mismo es bajo. El rendimiento promedio obtenido por tonelada de caña es de 121.87 Kg de azúcar.

El valor de probabilidad existente (Pr > F), indica que el efecto entre tratamientos no tuvo diferencias significativas, por lo que no procedió efectuar prueba de medias.

#### 7.5.2 ANALISIS DE COSTOS-BENEFICIOS:

La caña de azúcar en la zona se cultiva con un doble propósito; producción de panela y producción de azúcar (venta a los ingenios). Debido a las condiciones topográficas de la zona, los productores cultivan la mayor cantidad de área posible, el fin principal es la producción de Panela; el excedente de caña que no pueden procesar debido a la capacidad instalada, es la que se destina para venta a los ingenios (producción de azúcar).

Tomando como base las 63 hectáreas (90 Mz.) cultivadas con caña de azúcar en la finca "Plantaciones El Paraiso S.A." y los rendimientos medios obtenidos se tiene:

- A. La panela se comercializa a Q 410.00 la carga ( 1 carga de panela = 32 mancuernas, 1 mancuerna tiene 8 marquetas que equivalen a 5 kg en peso).

En promedio 2.3 toneladas de caña de azúcar producen una carga de panela, por lo que de cada hectárea se obtienen 40 cargas de panela equivalentes a Q 16,400.00. El costo de producción de panela es de Q 287.91/carga que equivalen a Q 11,516.40/ha, por lo que el ingreso neto equivale a Q 4,883.60/ha.

- B. El ingenio compra la caña a Q 63.00 la tonelada (en pie), por lo que se obtiene un promedio de Q 5,803.56/ha. El costo de producción por tonelada de caña es de Q 34.24 equivalentes a Q 3,154.19/ha, por lo que el ingreso neto equivale a Q 2,649.37/ha.

- C. Considerando el rendimiento medio de azúcar/tonelada de caña (121.87 kg) y la producción media/ha (92.12 t), el potencial de azúcar de la finca se encuentra alrededor de 707.28 toneladas métricas.

### 7.5.3 Representación gráfica:

#### A. Variable Longitud Total de tallo (cm):

Las lecturas se hicieron mensualmente a partir de los 4 meses de edad. Se observa claramente que a partir del quinto mes se dió el marcado incremento en la longitud del tallo (etapa de mayor crecimiento), el crecimiento se estabilizó a los 10 meses y se mantuvo hasta el momento de la cosecha (14 meses). Las diferencias de longitud existentes en las lecturas de los 10 y 14 meses de edad, obedecen a la forma de muestreo (10 macollas al azar, 3 tallos de cada una). El valor promedio máximo alcanzado es de 2.88 metros.

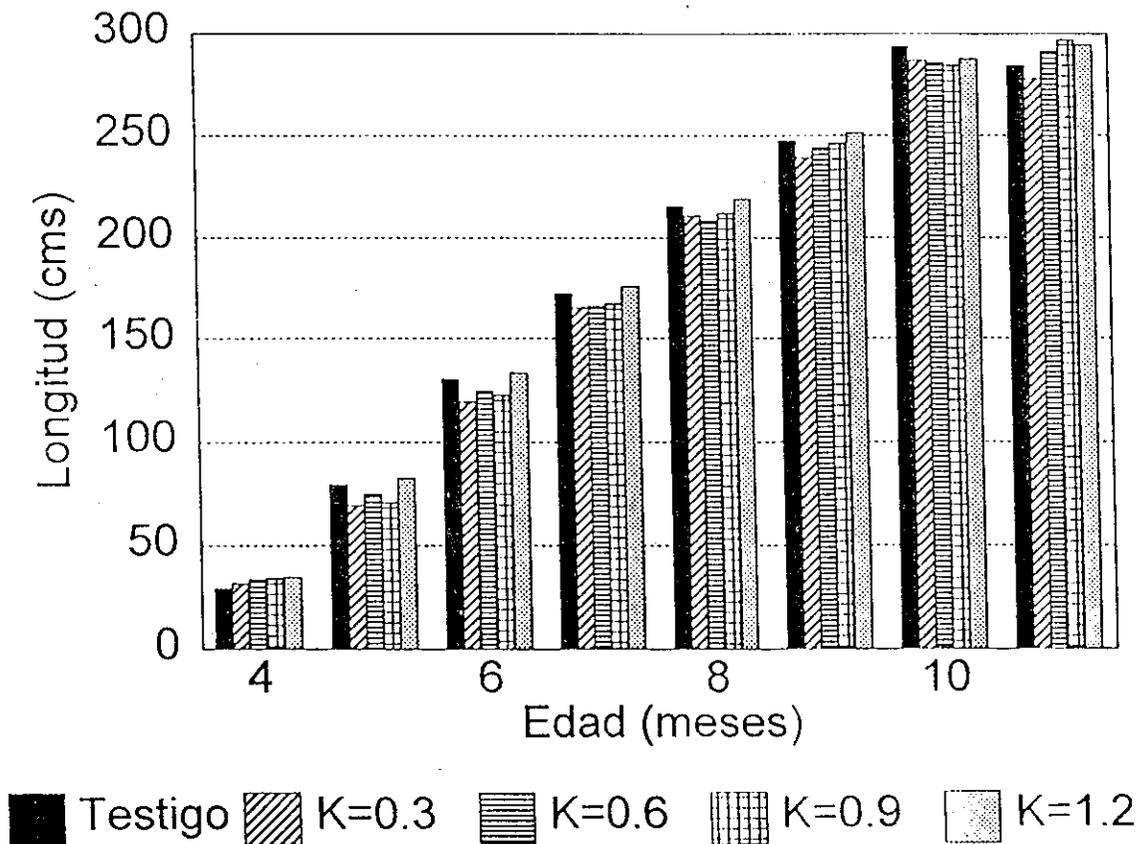


FIGURA 6. Longitud total de tallo (cm)

### B. Variable Tamaño de hojas:

Las lecturas se efectuaron desde los 3 meses hasta los 7 meses de edad (julio) momento en el cual se estabilizó el crecimiento alrededor de  $720.35 \text{ cm}^2$  en promedio.

Las hojas del cultivo de la caña de azúcar tienen un tiempo de vida menor al ciclo de cultivo. Conforme el cultivo va creciendo las hojas van muriendo de abajo hacia arriba (hojas bajas) y su mayor tamaño lo alcanzaron al séptimo mes.

Las lecturas se hicieron en 3 tallos de 10 macollas tomadas al azar y se medía el largo y ancho en la parte media (parte más ancha) de cada hoja.

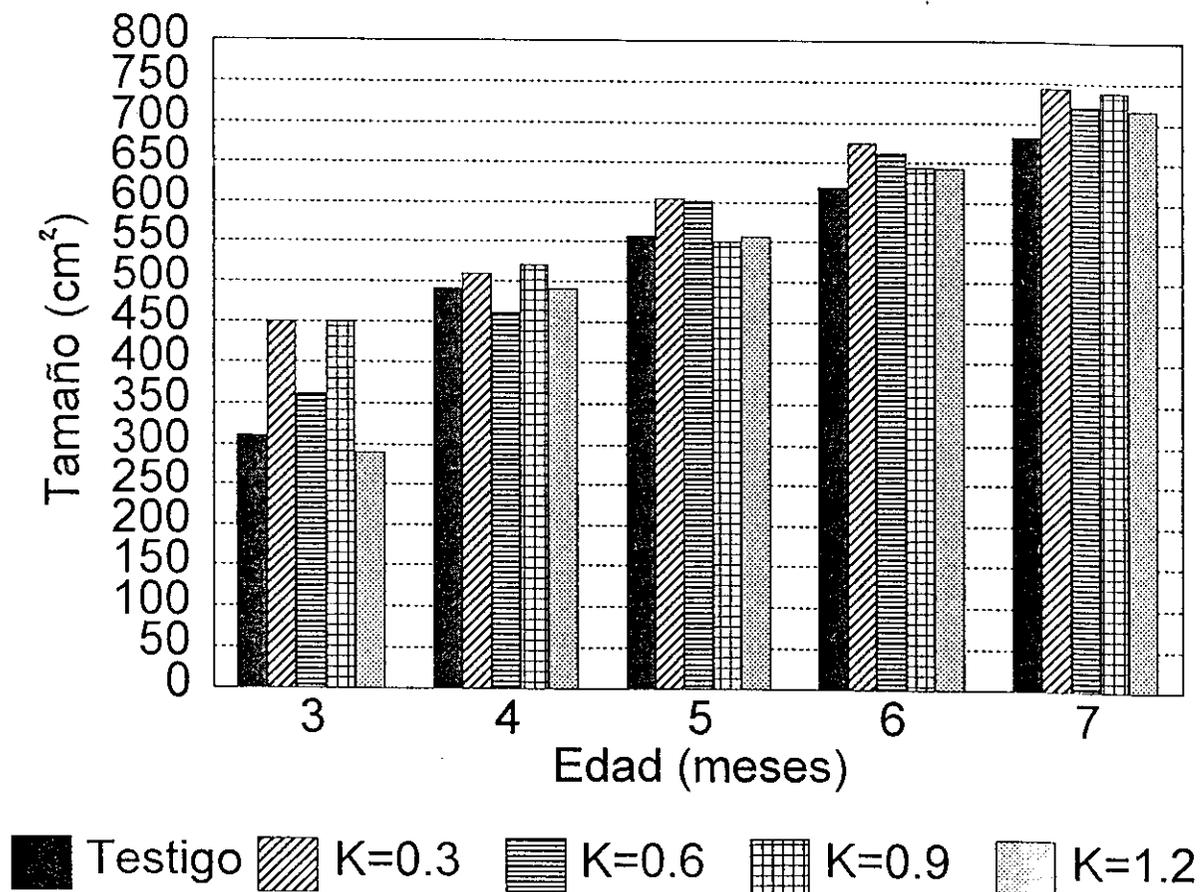


FIGURA 7. Tamaño de hojas ( $\text{cm}^2$ ).

### C. Variable Diámetro de entrenudo central:

El diámetro del entrenudo central alcanzó su mayor tamaño a los 6 meses de edad, el mismo se estabilizó alrededor de 2.82 cm hasta el momento de la cosecha (14 meses). Los cambios que se presentan en el diámetro a partir del sexto mes, obedecen por un lado al tipo de muestreo (al azar) y por otro lado al incrementarse el número de entrenudos en el tallo, la posición del entrenudo central varía.

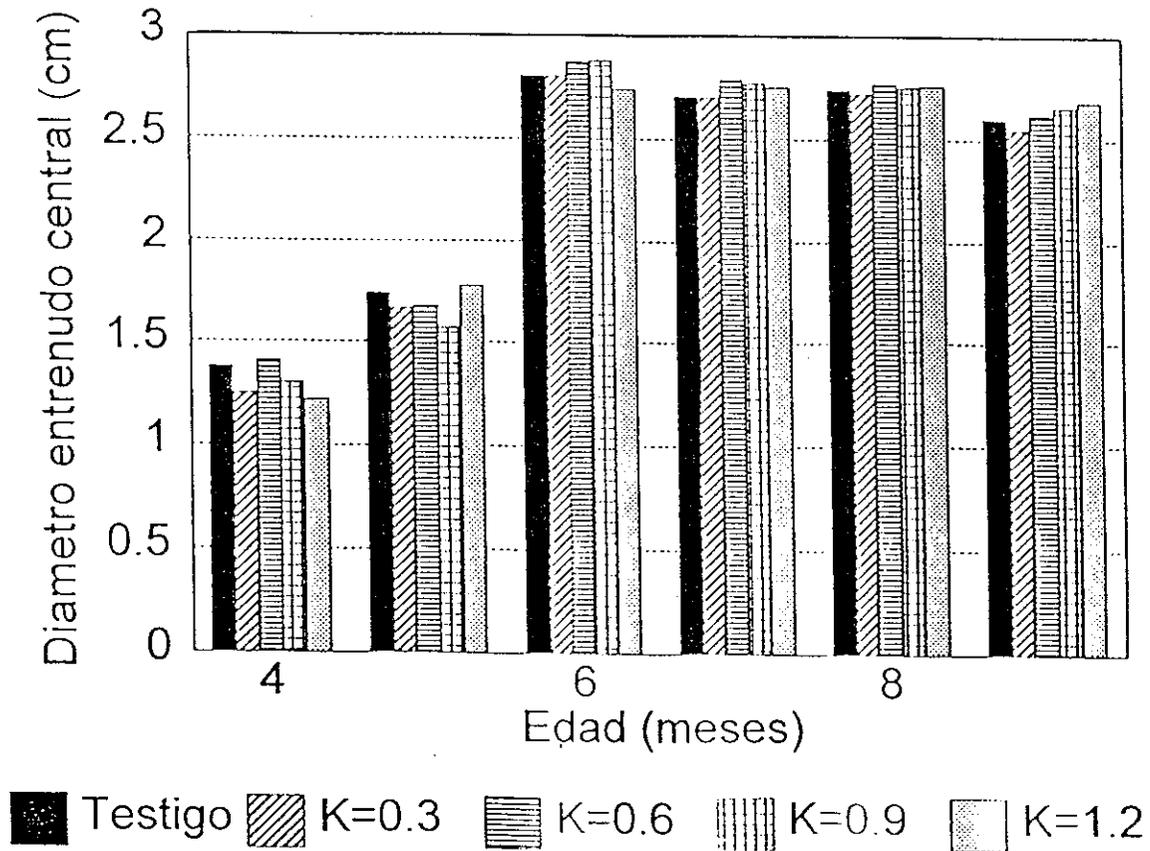


FIGURA 8. Diámetro de entrenudo central (cm).

#### D. Variable Población:

Para las lecturas de esta variable se contaba el número de tallos en 5 metros lineales de surco 3 veces y se promediaba para determinar al final el No. de tallos por metro lineal de surco. A los 3 meses después del corte (MDC), los tratamientos 3 y 5 ( $K=0.6$  y  $K=1.2$  respectivamente), presentaron un número mayor a los 30 tallos/metro lineal de surco; conforme creció el cultivo, el número de tallos por metro lineal de surco se redujo debido a la competencia que se da entre los mismos. A los 5 meses de edad la población se estabilizó en un promedio de 13 tallos por metro lineal de surco, en ese momento el tratamiento 5 ( $K=1.2$ ) presentó la mayor cantidad de tallos aprovechables/metro lineal de surco.

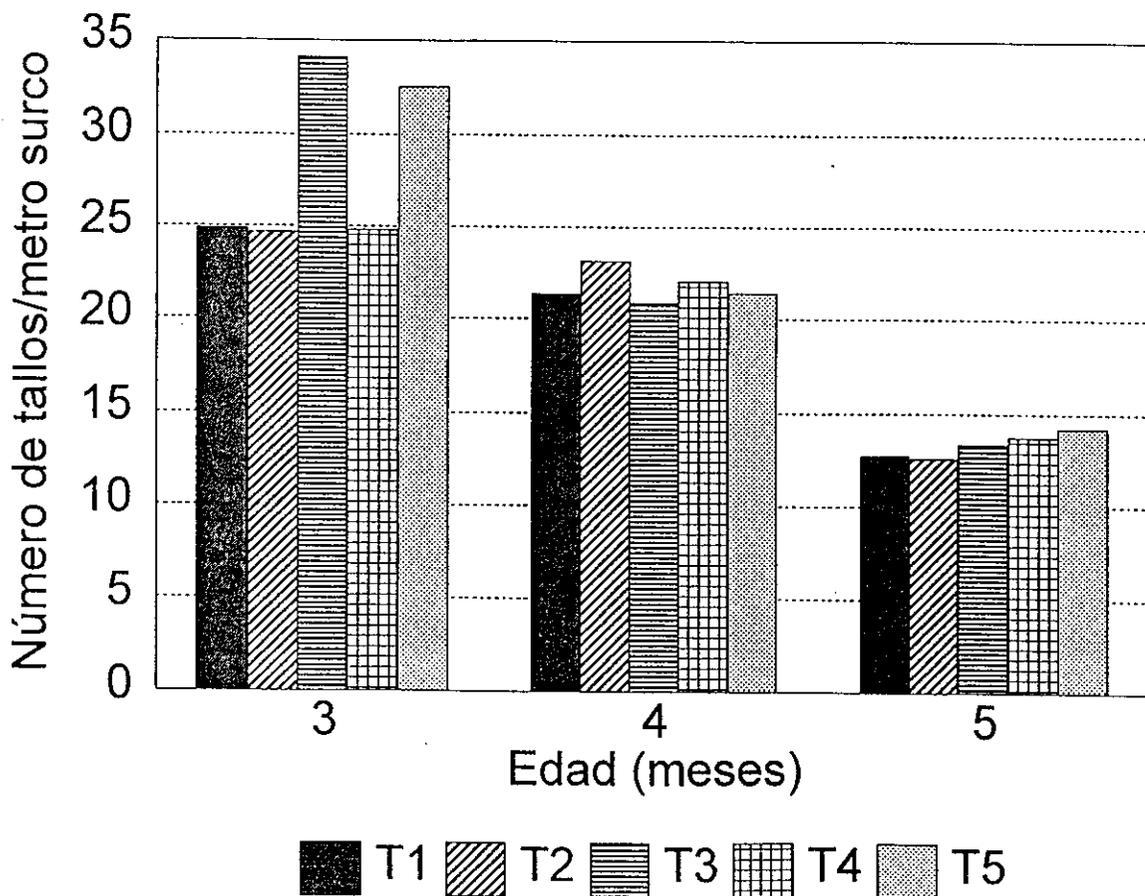


FIGURA 9. Población (Número tallos/mt lineal surco).

### E. Variable Número de entrenudos por tallo:

A los 7 meses de edad se observó una cantidad relativamente pequeña de tallos comparada con la existente al momento de la cosecha (14 meses), esto se debió a que durante el desarrollo del cultivo las hojas envuelvían a los tallos y una buena parte de los entrenudos en la etapa de crecimiento se encontraban ocultos por las vainas de las hojas. Conforme fue creciendo el cultivo y las hojas fueron muriendo, se incrementó la cantidad de entrenudos descubiertos; la marcada diferencia en la cantidad de entrenudos al momento de la cosecha (14 meses) y los 9 meses de edad del cultivo, obedeció a que al momento de la última lectura (14 meses) la totalidad del tallo se encontraba al descubierto (sin hojas). La cantidad promedio de entrenudos por tallo fue de 22 al momento de la cosecha (14 meses).

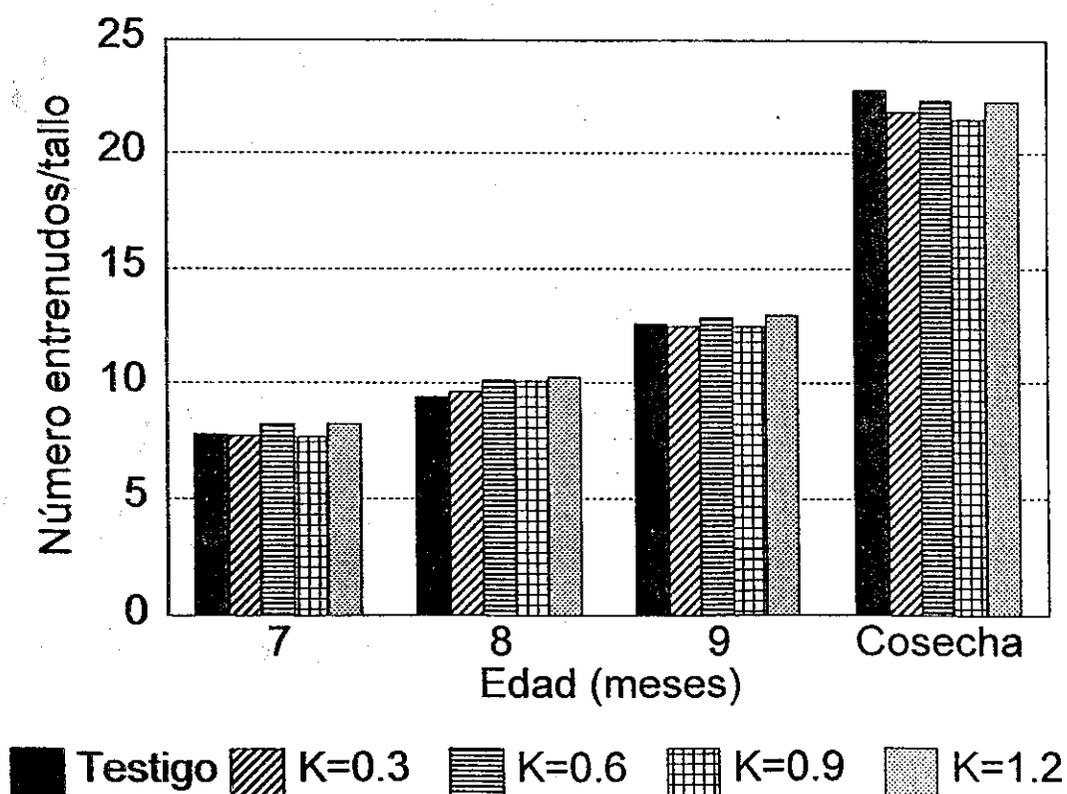


FIGURA 10. Número de entrenudos por tallo.

F. Variable Longitud de entrenudo central (cm):

La mayor longitud del entrenudo central se alcanzó a los 8 meses después del corte (MDC), a partir de ese momento se estabilizó la misma en un promedio de 17 centímetros. Las diferencias que se presentaron entre los dos últimos meses analizados, obedecen a que fue un muestreo realizado al azar y adicionalmente a esto, la posición del entrenudo central varió conforme se fue incrementando el número de entrenudos por tallo. El Tratamiento 4 ( $K=0.9$ ) fue el que presentó la mayor longitud de entrenudo central durante el séptimo, octavo y noveno mes muestreado.

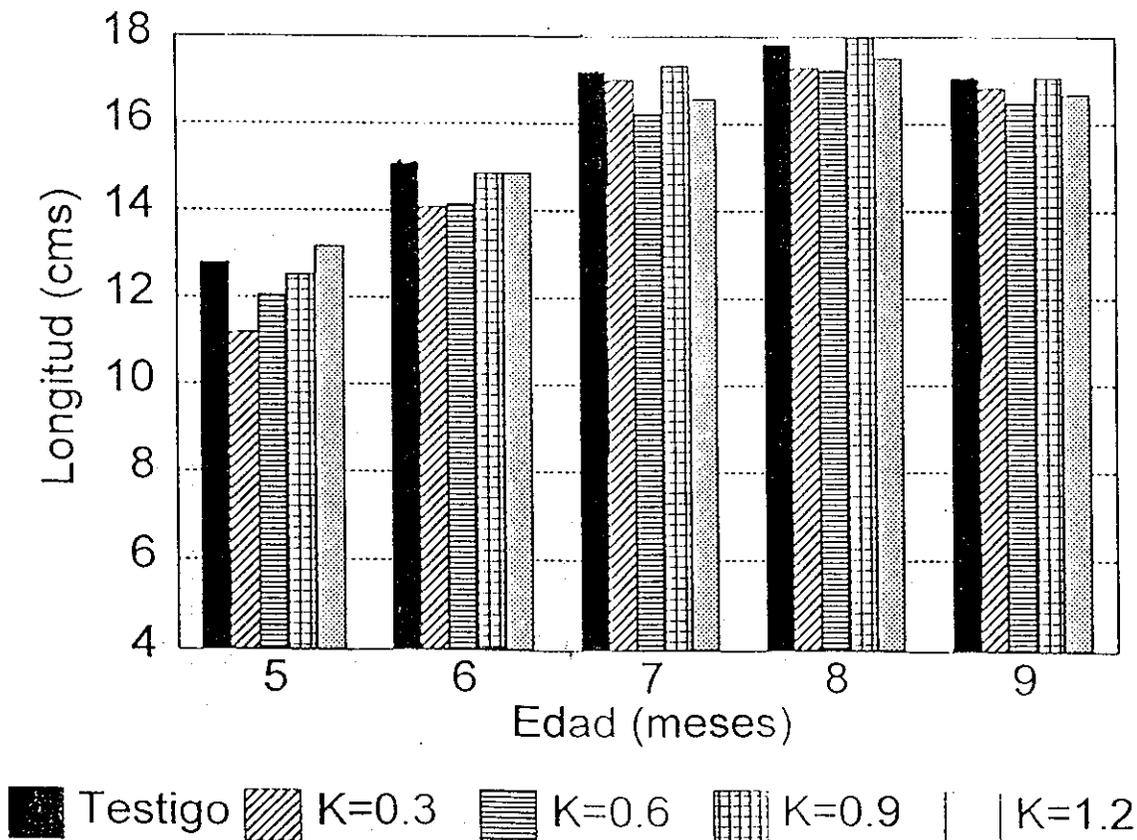


FIGURA 11. Longitud de entrenudo central (cms).

## 8. CONCLUSIONES

- 8.1 La evaluación de los valores del coeficiente "K" del cultivo a través del análisis de balance hídrico para la programación de riegos, no tuvo efecto significativo sobre la producción de caña (t/ha) ni sobre el rendimiento de azúcar (kg/t caña) del cultivo.
- 8.2 Mediante el control gravimétrico de humedad en el suelo y comparado con el análisis de balance hídrico, se determinó que el valor de  $K = 0.3$  corrige adecuadamente la evaporación medida desde una superficie libre para la primera etapa de desarrollo del cultivo, es decir cuando el cultivo se encuentra en la etapa de germinación-macollamiento, que se da entre los 0 y 5 meses de edad.
- 8.3 Tomando en cuenta las características físicas del suelo relacionadas con la capacidad de almacenamiento de agua y la etapa de desarrollo del cultivo (germinación-macollamiento) durante la época seca, se concluye que no es necesario la aplicación de riegos cuando los aportes por precipitación sean similares a los que se dieron durante este estudio en dicha etapa, ya que la demanda de agua por parte del cultivo es mínima.

## 9. RECOMENDACIONES

- 9.1 En base al muestreo gravimétrico realizado y habiendo establecido el valor de  $K = 0.3$  para la primera etapa de desarrollo del cultivo, se recomienda programar los riegos a través del análisis de balance hídrico con dicho valor en dicha etapa, cuando los aportes por precipitación no sean suficientes.
- 9.2 Realizar este tipo de investigación en una plantación cuya etapa de rápido crecimiento coincida con la época seca, para determinar el valor del coeficiente "K" del cultivo en dicha etapa.
- 9.3 Efectuar una investigación de este tipo, tomando como base el valor de  $K=0.3$  para la etapa inicial (germinación-macollamiento, 0 a 5 meses) permitiendo un abatimiento de la lámina de humedad disponible (LHD) del suelo mayor del 50 %, para evaluar de mejor manera la respuesta del cultivo a la aplicación de riego.

## 10. BIBLIOGRAFIA

1. AGRIBODEGAS (Gua.). 1994. Manual técnico, productos agrícolas. Guatemala. 36 p.
2. CISNEROS, C.E. 1987. Cuando regar: Principios de riego. Guatemala, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. t. II. 51 p.
3. CRUZ, J.R. DE LA. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
4. DONAHUE, R.L.; MILLER, R.W.; SHICKLUNA, J.C. 1988. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. México D.F., Prentice-Hall Hispanoamericana. 616 p.
5. FAO (Méx.). 1979. Suelos y fertilización. México, Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria. 68 p.
6. FLORES, S. 1976. Manual de caña de azúcar. Guatemala, INTECAP. Guatemala. 172 p.
7. GRASSI, C.J. 1988. Fundamentos de riego. Mérida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 409 p.
8. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1973. Mapa de cuencas de la república de Guatemala. Esc. 1:500,000. Color.
9. \_\_\_\_\_. 1975. Mapa climatológico preliminar de la república de Guatemala, según el sistema Thornthwaite. Esc. 1:1,000,000.
10. \_\_\_\_\_. 1978. Mapa topográfico de la república de Guatemala, hoja cartográfica San Lucas Tolimán. Esc. 1:50,000. Color.
11. \_\_\_\_\_. s.f. Mapa de clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento Esc. 1:500,000.
12. ISRAELSEN, O.W. 1979. Principios y aplicaciones de riego. 3 ed. Barcelona, España; Editorial Revorté S.A. 387 p.
13. MANUAL DE fertilidad de suelos. 1988. Georgia, E.E.U.U., Potash and Phosphate Institute. 85 p.
14. MONTERROSO MAYORGA, J.L. Aspectos generales finca "Plantaciones El Paraiso S.A.". Guatemala, Plantaciones El Paraiso S.A.

Sin Publicar

15. OROZCO, H.; et al. 1995. Estratificación preliminar de la zona de producción de caña de azúcar (Saccharum spp.) en Guatemala con fines de investigación en variedades. Guatemala, CENGICAÑA. CENGICAÑA, documento técnico no. 6. 27 p.
16. SANDOVAL ILLESCAS, J.E. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 345 p.
17. SANTA OLALLA MAÑAS, F.M. DE.; JUAN VALERO, J.A. DE. 1992. Agronomía del riego. España, s.n. 732 p.
18. SIMMONS, C.H.; TARANO, J.M.; PINTO, J.H. 1959. Clasificación a nivel de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Guatemala, ed. José Pineda Ibarra. 1000 p.
19. TECNICAÑA (Col.). 1984. El balance hídrico y la programación de los riegos de la caña de azúcar. Colombia. 473 p.

Vº. Bº.

Miriam De La Roca



**APENDICE**

**DEFINICION DE VARIABLES AGROINDUSTRIALES:**

**BRIX:** Porcentaje de peso de todos los sólidos (azúcares reductores y no reductores, colorantes orgánicos e inorgánicos) en solución de sacarosa pura. El porcentaje de Brix en el jugo es siempre mayor que el porcentaje de Pol. Determinado por medio de un Hidrómetro de Brix (1).

**POL:** Término utilizado para expresa el contenido de azúcar. Usualmente establecido como porcentaje. El valor de Pol es determinado por polarización simple con un polariscopio. El término es usado como si se tratase de una substancia real (1).

**PUREZA:** La relación de porcentaje de Pol (Sacarosa) al porcentaje de Brix es una relación de azúcar.

Es el grado de pureza de la sacarosa en una solución. Debido a que el porcentaje de Brix es siempre más grande que el porcentaje de Pol, la pureza es siempre menor del 100%;  $\text{Sacarosa/Brix} = \text{Pureza}$  (1).

**SACAROSA:** Carbohidrato disacárido (glucosa-fructosa) con fórmula  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ . Comunmente conocido como azúcar (1).

Cuadro 11A. Registro de datos climáticos, finca Plantaciones El Paraiso S.A.

MES	PRECIPITACION (mm)	TEMPERATURA (°C)	EVAPORACION (mm)
Diciembre '94	101	21.41	97.18
Enero '95	0	20.44	106.41
Febrero	16	21.31	120.24
Marzo	62	22.45	144.81
Abril	179	23.19	110.00
Mayo	663	22.96	143.30
Junio	706	22.67	112.82
Julio	527	22.66	144.95
Agosto	1004	22.56	169.81
Septiembre	596	22.39	131.07
Octubre	658	21.62	123.01
Noviembre	16	22.06	75.39
Diciembre	56	21.24	78.01
Enero '96	0	20.36	80.93
Febrero	0	21.52	76.61
<b>TOTALES</b>	<b>4584</b>		<b>1714.54</b>

Cuadro 12A. Muestreo gravimétrico, Caso 1 (T5, K=1.2)

FECHA	TAS	ET (mm)	EV (mm)	K
23/Feb	36.20			
25/Feb	42.60			
28/Feb	33.97			
03/Mar	28.87	13.73	25.21	0.54
05/Mar	42.60	14.08	29.10	0.48
09/Mar	33.52			
20/Mar	38.45	14.28	39.89	0.36
30/Mar	24.17			
01/Abr	42.60	16.67	59.48	0.28
17/Abr	28.93			

TAS: Lámina de humedad en base a resultados laboratorio (DIRYA Y CENGICAÑA).

ET: Evapotranspiración (método de campo).

EV: Evaporación medida del tanque evaporímetro clase "A".

K: ET/EV

Cuadro 13A. Muestreo gravimétrico. Caso 2 (T4, K=0.9)

FECHA	TAS	ET(mm)	EV(mm)	K
23/Feb	36.20			
26/Feb	42.60			
01/Mar	36.83			
10/Mar	38.41	5.77	12.16	0.39
		26.19	64.66	0.41
12/Mar	42.60	26.28	66.05	0.40
17/Mar	42.60			
03/Abr	16.38			
05/Abr	42.60			
12/Abr	40.52			

TAS: Lámina de humedad en base a resultados de laboratorio (DIRYA Y CENGICAÑA).

ET: Evapotranspiración (Método de campo)

EV: Evaporación (Tanque evaporímetro clase A)

K: ET/EV

FECHA	TAS(mm)	ET(mm)	EV(mm)	K
23/Feb	36.20	16.86	47.36	0.36
04/Mar	19.34			
06/Mar	42.60			
16/Mar	42.60			

TAS: Lámina de humedad en base a resultados de laboratorio (DIRYA Y CENGICAÑA).

ET: Evapotranspiración (método de campo).

EV: Evaporación (tanque evaporímetro clase A)

K: ET/EV

Cuadro 15A. Datos de variable: Producción (Ton. caña/ha.)

TRAT\REP	R1	R2	R3	R4	R5	R6
T1	84.82	107.15	84.83	107.15	84.83	89.29
T2	89.29	53.57	80.36	84.83	75.90	133.94
T3	89.29	89.29	71.43	89.29	111.61	107.15
T4	71.43	116.08	58.04	71.43	84.83	93.75
T5	116.08	93.75	75.90	116.08	116.08	116.08

Cuadro 16A. Datos de variable: Rendimiento (Kg azúcar/Tonelada caña)

TRAT\REP	R1	R2	R3	R4	R5	R6
T1	134.82	114.54	129	123.45	132.27	119.09
T2	111.54	114.27	104	122.82	124.91	112.64
T3	124.73	107.64	126.45	119.45	142.55	113.27
T4	100.27	127	135.91	120.09	125	127.54
T5	138.64	122.36	120.09	102.54	118.09	141.18

Cuadro 17A. Datos de variable: Grados Brix (%)

TRAT\REP	R1	R2	R3	R4	R5	R6
T1	23.86	22.36	24.86	21.56	23.36	24.16
T2	20.36	22.36	19.86	24.06	23.66	23.66
T3	23.46	21.66	23.86	23.76	24.36	23.36
T4	19.96	23.36	24.26	22.86	23.46	22.36
T5	24.26	22.56	22.86	21.16	20.86	24.56

Cuadro 18A. Resumen de análisis de varianza. Grados Brix

FUENTE	GL	SC	CM	F	Pr > F
TRAT	4	5.24	1.31	0.58	0.68
REPET.	5	5.73			

Cuadro 19A. Datos de variable: Grados Pol (%)

TRAT\REP	R1	R2	R3	R4	R5	R6
T1	20.59	18.06	20.40	18.77	21.03	19.68
T2	17.33	17.93	16.68	18.88	20.40	19.25
T3	20.34	17.96	20.29	18.31	21.87	19.18
T4	16.42	20.41	21.85	19.94	18.98	19.78
T5	22.26	19.94	20.25	16.73	18.14	22.16

Cuadro 20A. Resumen de análisis de varianza. Grados Pol

FUENTE	GL	SC	CM	F	Pr > F
TRAT	4	8.65	2.16	0.77	0.56
REPET.	5	10.59			

Cuadro 21A. Datos de variable: Pureza

TRAT\REP	R1	R2	R3	R4	R5	R6
T1	86.30	80.77	82.06	87.06	90.03	81.46
T2	85.12	80.19	83.99	73.47	86.22	81.36
T3	86.70	82.92	85.04	77.06	89.78	82.11
T4	82.26	87.37	90.07	87.23	80.90	88.46
T5	91.76	88.39	88.58	79.06	86.96	90.23

Cuadro 22A. Resumen de análisis de varianza. Grados Pureza

FUENTE	GL	SC	CM	F	Pr > F
TRAT	4	114.37	28.59	1.83	0.16
REPET.	5	124.16			



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

sem-025/97

LA TESIS TITULADA: USO DEL BALANCE HIDRICO PARA LA PROGRAMACION DE RIEGOS EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR (Saccharum officinarum L.) BAJO LAS CONDICIONES DE SAN LUCAS TOLIMAN, SOLOLA.

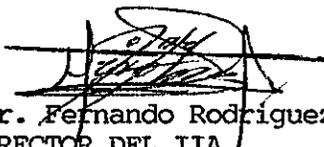
DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: RICARDO CESAR IRUNGARAY GUZMAN

Carnet No: 90-17870

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES:  
Ing. Agr. Marino Barrientos  
Ing. Agr. Rolando Lara Alecio  
Ing. Agr. Efraim Medina

El asesor 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. Víctor Cabrera  
ASESOR

  
Ing. Agr. Fernando Rodriguez  
DIRECTOR DEL IIA

IMPRIMASE

  
ING. AGR. JOSE ROLANDO LARA ALECIO  
DECANO  
APARTADO POSTAL 1545 • 01091 GUATEMALA, C. A.



TELEFONO: 769794 • FAX: (5022) 769770

