

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

EFECTO DE CUATRO PROGRAMACIONES DE RIEGO SOBRE LA EVAPOTRANSPIRACION
Y PRODUCCION DE LA CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum* L.), EN LISIMETROS DE
PERCOLACION, EN LA NUEVA CONCEPCION, ESCUINTLA.

TESIS

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

POR

BORIS ENRIQUE SANDOVAL ALARCON

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRONOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA

EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO

Guatemala, abril 1999.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Ing. Agr. EFRAIN MEDINA GUERRA

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO

Ing. Agr. José Rolando Lara Alecio

VOCAL PRIMERO

Ing. Agr. Juan José Castillo Mont

VOCAL SEGUNO

Ing. Agr. William Roberto Escobar López

VOCAL TERCERO

Ing. Agr. Alejandro Hernandez Figueroa

VOCAL CUARTO

Br. Oscar Javier Guevara Pineda

VOCAL QUINTO

Br. José Domingo Mendoza Cipriano

SECRETARIO

Ing. Agr. Guillermo Edilberto Mendez Beteta.

Guatemala, abril de 1999

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía

Señores miembros:

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

**EFFECTO DE CUATRO PROGRAMACIONES DE RIEGO SOBRE LA EVAPOTRANSPIRACION
Y PRODUCCION DE LA CAÑA DE AZUCAR (Saccharum officinarum L.), EN LISIMETROS DE
PERCOLACION, EN LA NUEVA CONCEPCION, ESCUINTLA.**

Presentado como requisito previo a optar al Título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Atentamente.

(f)



Boris Enrique Sandoval Alarcón

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS Todo poderoso.

MIS PADRES Rosa Alba Alarcón

Porque hoy corona uno de tantos sueños, después de cumplir con tantas jornadas llenas de lucha, amor y esperanza.

José Guillermo Sandoval (Q.E.P.D.)

MIS HERMANOS Yadira, Nery y su esposa Ingrid

MI SOBRINA Lorena

MIS TIOS Pompilio Sandoval y Aura de Sandoval

Por su apoyo incondicional

MI FAMILIA EN GENERAL

MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE PROMOCION

AGRADECIMIENTO

A: Mis asesores Ing. David Juárez e Ing. Victor Cabrera, por su colaboración incondicional en la planeación, realización y análisis del presente trabajo.

La empresa AGROINSA y su Ingenio Tierra Buena, por su valiosa colaboración y apoyo para la realización del presente trabajo de investigación.

Todos los trabajadores y vecinos de la Finca Puyumate por su colaboración, durante la realización del trabajo de campo.

Centro de Investigación y Capacitación de la caña de azúcar (CENGICAÑA), por la facilidad de realizar los análisis de laboratorio y la asesoría en la investigación.

Todas aquellas personas que en una u otra forma han colaborado en la realización de este trabajo. A todos muchas gracias.

CONTENIDO

	Pág.
INDICE DE CUADROS	viii
INDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
1. INTRODUCCION	1
2. DEFINICION Y JUSTIFICACION DEL PROBLEMA	2
3. MARCO TEORICO	3
3.1 Marco Conceptual	3
3.1.1 Uso de agua en la caña de azúcar	3
3.1.2 Frecuencia y programación del riego	3
3.1.3 Riego en caña de azúcar	4
3.1.4 Estudios sobre requerimiento de riego en caña de azúcar	4
3.1.5 Métodos para determinar el contenido de humedad del suelo	6
3.1.6 Programación de riegos en caña de azúcar	7
3.1.7 Información requerida para la utilización del balance hídrico	10
3.1.8 La evapotranspiración de los cultivos	11
3.1.8.1 Evaporación	11
3.1.8.2 Transpiración	11
3.1.8.3 Evapotranspiración	11
3.1.8.4 Evapotranspiración real	11
3.1.8.5 Evapotranspiración del cultivo de referencia	11
3.1.8.6 Factores que influyen en la evapotranspiración	12
3.1.8.7 Métodos para el cálculo de la evapotranspiración	12
3.1.8.7.1 Métodos directos	12
3.1.8.7.2 Métodos indirectos	15
3.1.9 Control de las necesidades hídricas	15
3.1.10 Consideraciones de los métodos indirectos	17
3.1.11 Precipitación efectiva	17
3.1.12 Constantes de humedad del suelo	18
3.1.12.1 Capacidad de Campo	18
3.1.12.2 Punto de marchitez permanente	18
3.1.13 Contenido de humedad del suelo	19
3.1.13.1 Humedad utilizable	19
3.1.13.2 Humedad fácilmente aprovechable	19
3.2 Marco Referencial	20
3.2.1 Localización	20
3.2.2 Clima	20
3.2.3 Suelo	20
3.2.4 Agua	21

4. OBJETIVOS	22
4.1 Objetivo general	22
4.2 Objetivos específicos	22
5. HIPOTESIS	23
6. METODOLOGIA	24
6.1 Metodología experimental	24
6.1.1 Análisis y determinaciones previas al experimento	24
6.1.2 Tratamientos de riego o determinación de la programación de los riegos	25
6.2 Extensión del área experimental	26
6.3 Diseño experimental	26
6.4 Modelo estadístico	26
6.5 Características de construcción de los lisímetros	26
6.6 Manejo del experimento	27
6.7 Evapotranspiración máxima	28
6.8 Medición de la evapotranspiración real	28
6.9 Determinación del factor K	29
6.10 Manejo del cultivo	29
6.11 Evaluación de la humedad del suelo	29
6.12 Determinación del coeficiente del cultivo (Kc)	30
6.13 Variables respuesta	30
6.14 Análisis de resultados	30
7. RESULTADOS Y DISCUSION	31
7.1 Perfil del suelo	31
7.2 Variables climáticas	31
7.3 Láminas de riego	33
7.4 Evapotranspiración real y máxima	34
7.5 Determinación del coeficiente de cultivo (Kc)	36
7.6 Evaluación de la humedad del suelo	36
7.7 Variables respuesta	40
7.7.1 Crecimiento	40
7.7.2 Tasa de crecimiento	42
7.7.3 Población	44
7.7.4 Longitud del entrenudo según posición en el tallo	45
7.7.5 Número de entrenudos por tallo	45
7.7.6 Diámetro y longitud del entrenudo central	45
7.7.7 Producción	46
8. CONCLUSIONES	49
9. RECOMENDACIONES	50
10. BIBLIOGRAFIA	51
11. APENDICE	54

INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Valores del factor K del tanque determinados por diferentes investigadores	9
Cuadro 2. Resultados del análisis químico de suelos	24
Cuadro 3. Resultados del análisis físico de suelos	24
Cuadro 4. Programaciones de riego	25
Cuadro 5. Perfil del suelo	31
Cuadro 6. Láminas recibidas durante la época seca	33
Cuadro 7. Resumen de láminas recibidas por tratamiento	33
Cuadro 8. Evapotranspiración real y factor K del tanque tipo "A"	34
Cuadro 9. Evapotranspiración real de 0-74 y 74-109 días después de la siembra	34
Cuadro 10. Valores Kc del cultivo de caña utilizados para el cálculo de evapotranspiración por métodos indirectos	34
Cuadro 11. Valores Kc determinados hasta los 109 días después de la siembra	36
Cuadro 12. Media del crecimiento a la última ligula visible	40
Cuadro 13. Media del número de tallos por 3 metros lineales (por lisímetro)	44
Cuadro 14. Resumen final de datos de cosecha	46
Cuadro 15.A Fechas y láminas de agua totales recibidas por los tratamientos en época seca	59
Cuadro 16.A al 25.A Balance hídrico teórico durante el ciclo (lisímetros)	60-69
Cuadro 26.A Cálculo de la evapotranspiración por períodos, Balance real de lisímetros	70
Cuadro 27.A Resultados de laboratorio del análisis físico de tres puntos donde se realizó el ensayo	71
Cuadro 28.A Precipitación (mm) de la finca Puyumate	71
Cuadro 29.A Temperatura media °C	71
Cuadro 30.A al 33.A Salida del programa de computadora Cropwat (Método Penman-Monteith)	72
Cuadro 34.A Resultados de la salida de SAS de las variables analizadas a la cosecha	75
Cuadro 35.A al 40.A Datos numéricos de figuras	77-79
Cuadro 41.A Análisis económico	79

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Gráfica estudio comparativo de los distintos métodos de evapotranspiración FAO	16
Figura 2. Precipitación media durante 1991-1996 y 1997	20
Figura 3. Precipitación y Evapotranspiración del cultivo de referencia durante el experimento	32
Figura 4. Horas luz y evaporación promedio por día del tanque	32
Figura 5. Factor K del tanque determinado en el tiempo, para todos los tratamientos	35
Figura 6. Evapotranspiración real para los tratamiento de riego y según Penman-Monteith	36
Figura 7. Agotamiento de la humedad por estratos del T1: (testigo)	37
Figura 8. Agotamiento de la humedad por estratos del T2: (K=0.3)	38
Figura 9. Agotamiento de la humedad por estratos del T3: (K=0.5)	38
Figura 10. Agotamiento de la humedad por estratos del T4: (riego semanal)	39
Figura 11. Crecimiento a la última figura visible	41
Figura 12. Diferencia en altura en centímetros de cada tratamiento respecto al T1: (testigo)	42
Figura 13. Tasa de crecimiento	43
Figura 14. Curva de crecimiento del T4: (riego semanal)	43
Figura 15. Población de los tratamientos de riego	44
Figura 16. Longitud del nudo y su posición en el tallo	45
Figura 17. Efecto de la evapotranspiración sobre el peso en kilogramos por lisímetro (4.5 metros cuadrados)	47
Figura 18.A Localización de la finca	55
Figura 19.A Localización del área experimental	56
Figura 20.A Croquis de campo	57
Figura 21.A Lisímetro de percolación	58

Efecto de cuatro programaciones de riego sobre la evapotranspiración y producción de la caña de azúcar (Saccharum officinarum L.), en lisímetros de percolación, en La Nueva Concepción Escuintla.

Effect of four irrigation regimes on the evapotranspiration and production of sugar cane (Saccharum officinarum L.), in percolation lisimeters, in La Nueva Concepción, Escuintla.

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en la Finca Puyumate del Ingenio Tierra Buena, ubicada en el Municipio de Nueva Concepción Escuintla. Esta se realizó por la necesidad de conocer el nivel de evapotranspiración real que el cultivo de la caña de azúcar necesita desarrollar sin afectar su producción, ya que el riego coincide en la mayor parte de la región cañera con las etapas de establecimiento, macollamiento y elongación o rápido crecimiento; y de esta manera maximizar los beneficios derivados del riego. Una vez estimado este nivel de evapotranspiración puede establecerse las bases racionales para desarrollar una programación y diseño de sistemas de riego para las condiciones edáficas y climáticas del Pacífico Sur de Guatemala.

En el ensayo se evaluó el efecto de cuatro programaciones de riego sobre el desarrollo y producción de la caña de azúcar, determinando la evapotranspiración máxima durante la época seca del 8 de febrero al 28 de mayo (hasta los 109 días después de la siembra), así como la evapotranspiración real y la relación evapotranspiración real sobre la evaporación del tanque A.

La metodología para la programación de los riegos fue a través del balance hídrico teórico de humedad del suelo durante la época seca, asumiendo diferentes niveles de evapotranspiración en función de la evaporación del tanque, variando el factor K del tanque ($E_t = \text{factor K por Evaporación}$), usando para dicho control lisímetros de percolación. Estos fueron construidos dentro de un lote comercial, evaluando cuatro tratamientos: T1 Testigo sin riego (solo de germinación), T2 K=0.3, T3 K=0.5 y T4 riego semanal, un diseño experimental de bloques al azar con cinco repeticiones. La variedad evaluada fue la CP-722086. Se evaluaron las siguientes variables respuesta: crecimiento, población por lisímetro, diámetro y longitud del entrenudo medio, número de entrenudos por tallo y longitud media de los entrenudos, peso de los tallos por lisímetro, rendimiento en Toneladas métricas por hectárea y rendimiento teórico en libras de azúcar por tonelada métrica de caña.

Las láminas de riego recibidas por tratamiento hasta los 75 días después de la siembra fueron: T1 Testigo, 80 mm; T2 K=0.3, 135 mm; T3 K=0.5, 210 mm y T4 riego semanal, 412 mm; con una lámina total hasta los 109 días después de la siembra de 80 mm, T2 K=0.3, 135 mm; T3 K=0.5, 255 mm; y T4 riego semanal, 567.5 mm: La precipitación a los 75 días después de la siembra fue de 91.04 mm y de 124.16 mm a los 109 días después de la siembra. La precipitación total en el ciclo del cultivo fue de 2,229.5 mm.

Bajo las condiciones en que se realizó el ensayo se concluye que: las etapas de establecimiento y macollamiento bajo condiciones de buena humedad en el suelo llegó hasta los 75 días después de la siembra, iniciándose a partir de entonces la elongación ó rápido crecimiento. La evapotranspiración máxima (T4 riego semanal) determinada fue de 4.93 mm/día entre los 54-74 días después de la siembra con un K del tanque de 0.87 y de 5.95 mm/día entre los 74-92 días después de la siembra con un K del tanque de 0.89.

Los valores de evapotranspiración real determinadas para el T1 (Testigo) se encontró en un mínimo de 2.01 mm/día y un máximo de 4.93 mm para el T4 (riego semanal), entre los 0-74 días después de la siembra, y de 2.15 mm/día para el T1 (Testigo) y un máximo de 5.95 mm/día en el T4 (riego semanal) entre los 74-109 días después de la siembra. Variaciones en el nivel de evapotranspiración real no afectaron el desarrollo del cultivo hasta los 75 días después de la siembra, pero sí después de esta edad (inicio de rápido crecimiento).

Las diferentes programaciones de riego no afectaron el desarrollo del cultivo en su fase de macollamiento, sin embargo a partir de los 75 días después de la siembra, presentó efecto significativo sobre el crecimiento, no siendo significativo sobre la población. Se encontró un efecto significativo a la cosecha sobre el peso de 10 tallos, el diámetro del nudo medio y la longitud del entrenudo medio, no siendo significativo para las otras variables.

Se recomienda continuar con este mismo experimento durante la primera soca, en diferentes tipos de suelo, regiones y variedades de caña de azúcar. Finalmente basados en el desarrollo del cultivo (altura y población) y producción final, se recomienda utilizar de base para programación de riegos el nivel de evapotranspiración real determinado y humedad del suelo que presentó el T1: (testigo) con valores entre 2.01 a 2.62 mm/día, durante los primeros 75 días después de la siembra, después utilizar el del T3 (K=0.5) con valores entre 4.19 a 4.46 mm/día.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala, es uno de los principales cultivos tradicionales de exportación, ya que es una de las mayores fuentes de divisas para el país, en el año agrícola de 1995/96 se exportaron 17,577.9 miles de quintales de azúcar, con un ingreso de 223,030.8 miles de dólares. (16)

El área cañera de Guatemala para la zafra 96-97 comprendió aproximadamente 165,000 hectáreas (4), cubriendo gran variedad de microclimas y series de suelos; los que combinados definen la gran diversidad de ambientes en los que se desarrollan las diferentes variedades de caña. (3)

La siembra de las nuevas plantaciones se realizan con el establecimiento de la temporada lluviosa ó durante la época seca en enero, febrero, marzo y abril; cuando se cuenta con agua y equipo para riego, ya que el agua es indispensable en las etapas de germinación, macollamiento y crecimiento del cultivo. (17) Cuando la caña es sembrada en la época seca, el riego es necesario en las primeras etapas de desarrollo del cultivo (establecimiento y macollamiento), y a menudo en los inicios de la tercera etapa de elongación o rápido crecimiento.

El consumo de agua de los cultivos en un intervalo de tiempo, es cuantificado por el valor de evapotranspiración, uso consuntivo o requerimiento de agua. Este consumo es determinado principalmente por parámetros climáticos, del cultivo y del nivel de humedad y fertilidad del suelo. Cuando las condiciones de suelo son óptimas los cultivos desarrollan a una tasa de evapotranspiración máxima (E_{tm}), pero a medida que las condiciones del suelo se hacen adversas los niveles de evapotranspiración real o actual (E_{ta}) se van reduciendo, afectando el desarrollo. (15)

Con la presente investigación se determinó el nivel de evapotranspiración real del cultivo que no afecte el desarrollo del mismo hasta inicios de la época lluviosa, el cual debe ser utilizado para asignar el requerimiento de agua del cultivo. Se construyeron lisímetros de percolación, en donde se llevó el control de la humedad del suelo, haciendo un balance hídrico en intervalos de tiempo.

Con los resultados se puede determinar la evapotranspiración real (E_{ta}) sobre la base de la evaporación del tanque tipo A (afectado por factores climáticos) de otras áreas de interés, por medio del balance hídrico.

En el trabajo se evaluaron cuatro programaciones de riego, con cinco repeticiones, en un diseño de bloques al azar. La investigación se llevó a cabo en la Finca Puyumate, perteneciente al Ingenio Tierra Buena del Municipio de Nueva Concepción, Escuintla.

La presente investigación se realizó en forma conjunta entre el área de Suelo y Agua de CENGICANA y el Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA) de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

2. DEFINICIÓN Y JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

En la zona cañera se marcan dos épocas; una seca que abarca de diciembre a mayo y una lluviosa de junio a noviembre, teniendo que suplir con riego, la demanda de agua durante la época seca. Según la memoria de resultados de zafra 96/97 de CENGICAÑA, el riego ocupa el cuarto lugar en costo de producción de caña de azúcar, incluyendo el corte, alce y transporte (CAT), representando un 5.7% del costo total. (4)

Mantener el cultivo en una tasa de evapotranspiración máxima (Etm), si bien garantiza la producción máxima, no es a menudo técnica y económicamente aconsejable, ya que se quiere maximizar los beneficios económicos derivados del riego.

En Guatemala para la zafra 96/97 se cultivaron alrededor de 165,000 hectáreas de caña de azúcar, de las cuales se regaron 60,337 hectáreas (4). Esta práctica se ha estado realizando sin conocer el nivel de evapotranspiración real (Eta) en el que el cultivo necesita desarrollar sin afectar su producción, para las condiciones edáficas y climáticas de la región del Pacífico Sur en Guatemala.

El consumo de agua de los cultivos en un intervalo de tiempo es cuantificado por el valor de evapotranspiración, uso consuntivo ó requerimiento de agua; el cual es necesario conocer bajo distintas condiciones de humedad del suelo, para definir un manejo adecuado de dicho recurso. A medida que las condiciones de humedad del suelo se hacen adversas al cultivo, los niveles de evapotranspiración se ven afectados influyendo sobre la producción. Este valor aún no se conoce en las áreas de cultivo de caña de azúcar en Guatemala.

Una vez estimado el nivel de evapotranspiración que no afecte la producción final, pueden establecerse las bases racionales para desarrollar una programación y diseño de sistemas de riego para diferentes condiciones de suelo y clima del área bajo estudio.

Uno de los métodos más precisos para medir el consumo de agua de los cultivos son los lisímetros de percolación, siendo este el utilizado en la presente investigación ya que los mismos permiten medir con suficiente precisión los componentes del balance hídrico.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Marco Conceptual:

3.1.1 Uso de agua en la caña de azúcar:

El agua juega un papel de vital importancia en el crecimiento, desarrollo y producción de la caña de azúcar; ya que se ha demostrado que los rendimientos de caña de azúcar aumentan cuando se les suministran riegos eficientes y profundos. Así Clements en Hawai encontró, que el máximo crecimiento fue obtenido con el agua potencial máxima suministrada a la caña de azúcar, y que el crecimiento de los tallos se afectó por una disminución en la humedad del suelo. (5)

Según Varón en Colombia, encontró que el progresivo aumento obtenido en los rendimientos desde las más pequeñas láminas de riego está estrictamente relacionado con la longitud del tallo, aunque todos los tratamientos con riego tienden a producir cultivos con altas poblaciones de tallos y más diámetro que los cultivos sin riego. (29)

Según Israelsen y Hansen muchos procesos que ocurren en las plantas son afectados por el agua, sin embargo, la relación entre ellas no es simple, varía con las características de la planta, estado de desarrollo, condiciones del suelo y condiciones climáticas. En términos generales, los factores que afectan las necesidades de agua de los cultivos son: radiación, horas de brillo solar, temperatura del aire, precipitación, humedad relativa, velocidad del viento y período libre de heladas. (20)

Juárez en un estudio de requerimiento de riego en caña de azúcar en la Costa Sur de Guatemala, considera que la eficiencia del uso del agua significa una alta producción con una mínima cantidad de agua aplicada. Esta relación sistemática se puede lograr aplicando la cantidad de agua requerida tan precisa como sea posible sobre el área de cultivo y aumentando el rendimiento con el mejor manejo posible de las prácticas de cultivo. (21)

Según Seoane en Perú, las necesidades de agua en caña de azúcar varían dependiendo del estado de desarrollo del cultivo y de las condiciones climáticas imperantes en la zona. Así, la transpiración del cultivo aumenta durante el período de desarrollo y disminuye cuando llega a su fase culminativa de crecimiento (27).

3.1.2 Frecuencia y programación del riego.

Según Israelsen en términos generales los factores que influyen sobre el momento oportuno para regar son: factores edáficos, climáticos, épocas de siembra (para el caso de renovaciones), necesidades de agua del cultivo, disponibilidad de agua y capacidad de la zona radicular para el almacenamiento (20).

La textura del suelo influye directamente en la frecuencia y lámina de agua por cada aplicación. Los suelos arenosos requieren mayor frecuencia de riego, en cambio los suelos limosos tienen la capacidad de

almacenar mayor cantidad de agua, por lo tanto requieren de menor frecuencia pero mayor cantidad de aplicación (20).

Según Juárez en Guatemala tradicionalmente, la programación de los riegos en el cultivo de la caña de azúcar se hace sobre la base de experiencias y casi siempre sin tener 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 (21).

Según Villegas para determinar el momento de riego, es conveniente hacer un seguimiento de los cambios de humedad del suelo, ya sea mediante el método gravimétrico, lecturas de tensiómetros, bloques de yeso, sonda de neutrones o mediante el método bioclimático en el cual el momento de riego se establece sobre la base del balance de humedad del suelo a partir de las propiedades hidrofísicas del mismo, los coeficientes bioclimáticos del cultivo, las lluvias y la evaporación (30).

3.1.3 Riego en caña de azúcar:

Juárez considera que el riego es una operación costosa, por lo que el mismo amerita realizar estudios para establecer pautas científicas en cuanto al uso racional del agua. Define los siguientes beneficios o ventajas del riego en caña de azúcar:

- Incrementa el rendimiento y asegura la producción comercial del cultivo.
- El rebrote es más rápido, especialmente cuando se presenta un período seco después de la cosecha.
- Incrementa el número de socas en el cultivo.
- Mejora la germinación en condiciones de labranza mínima y en suelos difíciles de cultivar.
- Incrementa la flexibilidad para realizar labores culturales (cultivo, fertilización, etc.).

El mismo autor cita también ciertas desventajas:

- Costo de producción más alto (por mano de obra, bombeo, costo de equipo de riego, etc.)
- Tendencia a crecimiento del cultivo por lo que puede disminuir el contenido de azúcar a la cosecha.
- Incrementa el crecimiento de malezas. (21)

3.1.4 Estudio sobre requerimiento de riego en caña de azúcar:

CENICANA citada por Pérez, dice que para las condiciones del Valle del Cauca, se determinó que la respuesta al riego depende directamente de la profundidad del nivel freático, la distribución de las lluvias y el estado de desarrollo del cultivo durante el período seco. (24)

En áreas con bajo nivel freático y distribución de la lluvia requirieron de 2 a 6 riegos, con cantidades de 90 a 300 mm. En áreas con altos niveles freáticos no más de 4 riegos fueron necesarios en una cantidad menor de 200 mm durante los años de normal precipitación.(24)

Fonseca (13) en Colombia cita a González; quien en una investigación realizada determinando las necesidades de agua de la caña para diferentes épocas de plantación y corte en el occidente de Cuba, en la cual señala que para caña plantilla de enero deben entregarse dotaciones totales de 3500-4500 m³/ha en 8-12 riegos. También cita a Fogliata (12), quien evaluando la influencia de diferentes niveles de humedad disponibles sobre el crecimiento y producción de caña, obtuvo los mejores resultados en los rendimientos con 11 riegos anuales que significaron 4200 m³/ha en caña plantilla, en intervalos de 10-13 días en el verano. Seoane (27) en Perú, señala que el número de riegos y el intervalo varían con la época del año, la capacidad de los suelos para retener el agua, el grado de desarrollo de la caña y la variedad cultivada. Además de los factores señalados influyen la técnica de riego y los objetivos a lograr con el riego (altos rendimientos o alta eficiencia de uso del agua).

Pérez en Guatemala, evaluando requerimiento de riego en la fase de macollamiento en plantilla en Tiquisate Escuintla, señala que el requerimiento de agua de la caña de azúcar durante la etapa de macollamiento, elongación y maduración en un cultivo de 10.8 meses de edad varió entre 1018.72 y 1313.72 mm.(24)

Guzmán en Guatemala, evaluando el efecto de tres frecuencias de riego en la etapa de macollamiento en la Gomera Escuintla, señala que no encontró diferencia significativa en las variables población, longitud y diámetro del entrenudo central, número de entrenudos, y rendimiento en libras de azúcar por toneladas métrica y toneladas métricas de azúcar por hectárea. Además encontró diferencia estadística en la variable altura hasta los 141 días después del corte y diferencia altamente significativa entre tratamientos a los 166 y 191 días después de la siembra, hallando que los valores más altos se reportan en los tratamientos con frecuencias de 30 y 20 días. (17) Además encontró que las diferentes frecuencias de riego utilizadas influyeron en las tasas de evapotranspiración del cultivo, la lámina consumida por el cultivo en el periodo aumentó conforme el intervalo de tiempo fue más estrecho, siendo los consumos totales durante el periodo evaluado de 315.67 mm para la frecuencia de 20 días, 239.28 mm y 223.28 mm para las frecuencias de 30 y 40 días, respectivamente y 152.02 mm para el testigo (sin riego). (17)

Irungaray en Guatemala, usando el balance hídrico para la programación de riegos en caña, en la localidad de San Lucas Toliman, concluye que los valores del coeficiente "Kc" del cultivo de caña, evaluados no tuvieron efecto significativo sobre la producción en toneladas por hectárea ni sobre el rendimiento de azúcar. Además recomienda el valor de Kc=0.3 para la primera etapa de desarrollo del cultivo, cuando los aportes de lluvia no sean significativos.(19)

Gómez en Guatemala, evaluando tres láminas de riego sobre el establecimiento-macollamiento y producción de caña en un suelo arcilloso de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, concluye que las

diferentes láminas de riego evaluadas no tuvo ningún efecto sobre las variables respuesta, de población y altura de planta. Además concluye que la producción de caña y azúcar no fue afectada por la aplicación de las láminas totales y encontró valores estimados del factor K del tanque A de 0.31, 0.39 y 0.49 hasta los 84 días después de la siembra. Concluye que los niveles máximos de evapotranspiración diaria, se lograron entre el quinto y sexto riego, con valores de 2.39, 3.46 y 3.98 mm/día. (14)

Juárez en Guatemala, ha realizado estudios a nivel experimental entre 1993 a 1995 en caña pequeña donde ha evaluado diferentes valores de coeficiente K del tanque tipo "A" :0.2, 0.4, 0.6 0.8 en diferentes Ingenios, entre ellos El Baúl, Pantaleón, Tululá, Tierra Buena, no encontrando diferencia estadística significativa en la variables producción en toneladas por hectárea y rendimiento en porcentaje de sacarosa. Sin embargo se logran incrementos entre 10.9 y 15.1 % en la producción en toneladas por hectárea, no afectando la producción con K=0.2. (22)

Yang (32) cita a Fogliata, quién demostró en Argentina que el cultivo de caña de azúcar de 10 meses tenía un requerimiento de 1232 mm.

3.1.5 Métodos para determinar el contenido de humedad del suelo:

3.1.5.1 Métodos Directos:

Según Sandoval estos métodos son basados en muestreo de suelo, entre ellos: método gravimétrico, método al tacto y con alcohol .(26)

3.1.5.1.1 Método gravimétrico :

Este es uno de los más exactos, se toma una muestra de suelo de aproximadamente 125 gramos en el campo, luego se pesa el suelo húmedo, se coloca en horno a 105 a 110 °C durante 18 a 24 horas, se pesa el suelo seco y se aplica la fórmula para sacar el porcentaje de humedad de una muestra. (26)

3.1.5.2 Métodos Indirectos:

Estiman indirectamente el contenido de humedad del suelo por ejemplo determinando conductividad eléctrica y la tensión con que el agua es retenida en el suelo.(26)

3.1.5.2.1 Método del Tensiómetro :

Es un aparato el cual tiene una manómetro que mide directamente la tensión en centibares con que el agua es retenida por el suelo. Registra desde 0 a 80 centibares, tiene la desventaja que no se usa en suelos arcillosos ya que más de la mitad del agua es retenida a tensiones mayores de 85 centibares y deben calibrarse bien y colocarse en toda la profundidad radicular y se usa más en suelos húmedos. (26)

3.1.5.2.2 Método de Bloques de resistencia eléctrica:

En este método se opera entre tensiones de 1 a 15 atmósferas, se usa en cultivos con riegos poco frecuentes, no funciona con contenidos altos de humedad en el suelo, trabajan a las mismas tensiones que los tensiómetros. Los bloques tardan dependiendo de la concentración de sales hasta tres temporadas. (26)

3.1.5.2.3 Método de sonda de neutrones:

Este consiste en un aspersor que tiene una sonda de material radiactivo y se basa en la emisión de neutrones de diferente velocidad, contando únicamente los neutrones lentos, entonces a mayor número de neutrones lentos mayor cantidad de agua hay en el suelo. El aparato debe ser calibrado para cada suelo, teniendo las siguientes ventajas: se puede medir cualquier rango de humedad, una vez calibrado es fácil y rápido de usar, es prácticamente indestructible, y es bastante exacto (0.5 a 2% de error). Y como desventajas las siguientes: costo alto, peligro de radioactividad, requiere personal especializado, no puede usarse para el estrato superior del suelo, se debe colocar mínimo a 15 cm. de profundidad. (26)

3.1.6 Programación de riegos en caña de azúcar:

Según Villegas la programación de los riegos se realiza sobre la base de la estimación de la lámina de agua a sustituir del suelo que ha sido consumida por las plantas, usándose para ello diferentes métodos entre ellos: el método de la sonda de neutrones, el método de bloques de yeso, el método gravimétrico y métodos bioclimáticos. Siendo el balance hídrico una de estos últimos, donde se hace un balance de humedad del suelo a partir de propiedades hidrofísicas del mismo, los coeficientes del cultivo, las lluvias y la evaporación. (30)

Según Varón varios métodos han sido usados para programación de riegos. Una programación fija (frecuencia fija), basada en el estado de desarrollo del cultivo, es la más utilizada comúnmente. Presenta la desventaja que muchas veces hay exceso o deficiencia en la lámina aplicada, por no considerar el contenido de humedad del suelo o el uso del agua por el cultivo. (29)

Otro enfoque ha sido el de programar los riegos sobre la base de un porcentaje de agotamiento de la humedad disponible del suelo. Este enfoque es más científico aunque poco práctico. (29)

Un enfoque más sencillo y práctico, es la programación de riegos mediante el balance hídrico. Este método consiste en hacer un balance de agua sobre la base de: (29)

- Las necesidades de agua de la planta según su estado de desarrollo.
- Aportación de agua de lluvia.
- Capacidad del suelo para almacenar agua.
- Profundidad de suelo explorado por las raíces.

Villegas menciona que el balance hídrico es un método para medir en forma aproximada la evapotranspiración de un cultivo, e involucra determinaciones periódicas de la humedad del suelo, registrando la intervención de la lluvia, riego o drenaje. (30)

Según Fernández dice que el balance hídrico cuantifica en forma detallada todos los cambios hídricos, entrada y salida de agua, ocurridas en un volumen de suelo, durante un espacio de tiempo definido (11).

Según Pérez en Guatemala, para aplicar este método se determina la reserva de agua existente en el suelo. Es más práctico comenzar el balance después de un riego abundante a principio de temporada, con la cual el suelo estará a la capacidad de campo y la reserva de agua será máxima. A partir de entonces se restan diariamente los valores de evapotranspiración del cultivo sobre la base de la evaporación del tanque tipo A, hasta que la reserva de agua alcance el nivel de agotamiento permitido, que corresponde a la reserva fácilmente disponible. En este momento se riega con la cantidad de agua precisa para alcanzar de nuevo la capacidad de campo e iniciar otro ciclo (24).

Según Varón el enfoque del balance hídrico requiere conocer la relación evapotranspiración del cultivo sobre la evaporación del tanque tipo A (factor K), para las diferentes etapas de desarrollo del cultivo. El valor de la evaporación del tanque tipo A es un buen estimativo de la evapotranspiración, a través de la siguiente relación: $E_t = K \times E_v$ (31).

donde:

Ev: evaporación del tanque en alguna unidad deseada, ej. mm/día

K: Coeficiente adimensional del tanque.

Et: Evapotranspiración del cultivo, en las mismas unidades de Ev.

Juárez en un estudio de requerimiento de riego en caña de azúcar en la Costa Sur de Guatemala, resume en el cuadro 1, resultados del factor K del tanque para las diferentes etapas de desarrollo del cultivo.(21)

El cuadro 1 muestra el gran rango de los valores de evapotranspiración de la caña de azúcar en el mundo, por lo que es necesario realizar dichas determinaciones para la realidad guatemalteca.

Cuadro 1. Valores del factor K del tanque determinados por diferentes investigadores.

INVESTIGADOR	LOCALIZACION	MÉTODO	FACTOR K DEL TANQUE				
			macolla- miento	follaje total	madurez	máximo	Mínimo
Campbell et al 1959	Hawaii	Lisimetro	0.40	1.1			
Chang and Wang 1968	Taiwan	Lisimetro	0.40	1.0-0.7			
Cowan and Innes, 1956	Jamaica	Lisimetro		0.58			
Chang, 1965	Hawaii	Lisimetro	0.4	1.0			
Hargreaves, 1959	Philipinas	Estimado	0.42	0.91	0.56		
Hargreaves, 1966		Estimado	0.55	1.0		1.0	
Thompson and Boyd, 1967	Sudafrica	Lisimetro		1.0			
SASA Annual Report, 1967	Sudafrica	Lisimetro	1.0	1.04			
SASA Annual Report 1868	Sudafrica	Lisimetro		1.02			
SASA Annual Report 1970	Sudafrica	Lisimetro				1.0	0.09
Watts, 1956	Barbados	Lisimetro				1.25	0.65
Hardy, 1956	Mauritius	Lisimetro	0.40	0.95	0.75		
Hardy, 1969	Mauritius	Lisimetro	0.40	1.0	0.75		
HSPA Annual report 1957-1958	Hawaii	Campo Lisimetro	0.40	1.10	1.45		
Vázquez 1970	Puerto Rico	Campo				1.26	0.65
Vázquez 1970	Puerto Rico	Campo				0.74	0.60
Ekern, 1971				1.00			

Fuente: Juárez, D. (21)

Leverington citado por Fonseca, dice que la relación evapotranspiración real sobre la evaporación ($ETR=Ev$) igual a 1.0 existe durante el período pico de crecimiento. Moberly (1974), también citado por el mismo autor, reporta que durante la etapa de máximo crecimiento, mientras el suelo estuvo bien humedecido la relación para caña estuvo entre 0.8-1.0; Leffingwell señala que los agricultores de Hawaii usan coeficientes de 0.8 durante el ciclo, con valores máximos cercanos a la unidad durante el período de máximo crecimiento. (13)

Fonseca y Gracia evaluando las necesidades de agua de la caña para diferentes épocas de plantación y corte en Cuba, dicen que los coeficientes dependen de la edad del cultivo, época de siembra, longitud del ciclo de crecimiento, latitud geográfica, comportamiento de la variedad, atenciones agrotécnicas, etc. por lo que resulta evidente que el uso de coeficientes bioclimáticos para determinar el consumo de agua y el momento de riego debe ser precedido de su determinación experimental en las condiciones locales.

Concluyen también que los coeficientes bioclimáticos K obtenidos, están entre 0.66 y 0.82 para plantillas en las diferentes épocas de siembra .(13).

Wright citado por Fonseca, señala que solo deben utilizarse los coeficientes en áreas de condiciones similares a las experimentales. (13)

Fonseca en Cuba, concluye en un trabajo realizado que los coeficientes bioclimáticos K obtenidos, están entre 0.66 y 0.82 para plantillas en las diferentes épocas de siembra. (13)

Según Clements la determinación de K para las condiciones de una área cañera, necesita de la medición de la lámina consumida por el cultivo. Varios métodos directos e indirectos han sido utilizados en la estimación de la evapotranspiración. Entre los métodos directos, dependiendo de la precisión requerida, se encuentran los lisímetros y de las parcelas de campo.(5)

Según Villegas en Colombia, en un estudio realizado el período de rápido crecimiento es la fase donde se alcanzaron en plantilla los valores más altos de agua evapotranspirada, inmediatamente después de la cobertura total del suelo. La evapotranspiración real (Eta) total varió en dependencia de la edad al corte y la época de siembra que definen la ocurrencia de las distintas etapas del cultivo bajo diferentes condiciones climáticas. En esta respuesta del cultivo son determinantes las condiciones de temperatura y humedad existentes en el período de rápido crecimiento; cuando coincide con el verano se logran los mayores consumos (30).

Pascual citado por Villegas, destaca la importancia de la época de siembra, aconsejando períodos de siembra en los que las mayores demandas de agua coincidan con los meses más lluviosos y de más altas temperaturas. La evapotranspiración real o actual (Eta) también varía con la humedad antes del riego, las formas de cultivo, variedades etc., incluso puede variar entre 10 y 25% bajo similares condiciones agrotécnicas de un año a otro, cuando varían sólo las condiciones climáticas (30).

3.1.7 Información requerida para la utilización del balance hídrico.

Villegas menciona que para la utilización del método en la programación de los riegos se requiere información sobre algunas propiedades del suelo, factores meteorológicos y características del cultivo. Del suelo, es necesario conocer la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA), de los factores meteorológicos intervienen en forma directa los registros de precipitación y evaporación del tanque clase A. Entre las características del cultivo, se debe conocer la profundidad radicular y evapotranspiración que puede ser estimada. (30)

3.1.8 La Evapotranspiración de los cultivos:

3.1.8.1 Evaporación:

Según Herrera la evaporación es el conjunto de fenómenos que transforman el agua en vapor por un proceso específicamente físico, que se realiza en la superficie del suelo en un cuerpo de agua (18).

3.1.8.2 Transpiración:

La transpiración de la vegetación o evaporación fisiológica, comprende el agua penetrando a través de las raíces de las plantas es reintegrada a la atmósfera por los estomas (18).

3.1.8.3 Evapotranspiración:

La evapotranspiración, llamada “uso consuntivo” del cultivo, es la suma de los fenómenos de la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas. La evapotranspiración es un proceso por el cual el agua evapora del terreno adyacente, ya sea por la superficie del suelo o por la superficie de las hojas de la planta; la transpiración resulta del desprendimiento del agua en forma de vapor de las hojas de las plantas, la cual ha sido absorbida desde el suelo y llevada a través de los tallos hasta la superficie foliar de donde pasa a la atmósfera. El agua depositada por el rocío, la lluvia natural o artificial (riego), que se evapora sin ser utilizada por la planta, también forma parte del agua evapotranspirada. (18)

Con fines prácticos “la evapotranspiración” representa entonces toda el agua que se desaparece de cualesquiera área (con o sin cobertura vegetal) por efecto del clima (existiendo o no una regulación por parte de las plantas) (18).

3.1.8.4 Evapotranspiración real:

Es la cantidad de agua efectivamente disipada en la atmósfera, a partir de una superficie (con una cubierta vegetal o no) durante un período, que equivale a milímetros de agua evaporada por una superficie unitaria que es el metro cuadrado de suelo, incluyendo la vegetación (18).

3.1.8.5 Evapotranspiración del cultivo de referencia:

Para dar mayor validez a la estimación de la evapotranspiración de la ecuación de Penman, superando al tiempo el ambiguo concepto de evapotranspiración potencial; se desarrolló en la pasada década el concepto de evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto), para el que se utiliza la siguiente definición:

La de la FAO, que define Eto, como; tasa de evapotranspiración de una superficie extensa de gramíneas de altura uniforme entre 8 y 15 cm. y que no escasea de agua.(6)

3.1.8.6 Factores que influyen en la evapotranspiración:

Según Herrera fundamentalmente son tres los factores que intervienen en la evapotranspiración: el clima, el suelo y la planta; el clima, influye en la evapotranspiración, principalmente la temperatura, pero también la humedad relativa, velocidad del viento, el número de horas de iluminación, el número de horas efectivas de sol, la radiación solar, etc. (18).

El suelo, se comporta sobre todo por lo que respecta a cantidad de agua almacenada, ya que a medida que aumenta la sequía y se aproxima aquella al “punto de marchitez”, es aprisionada el agua con mayor intensidad, siendo cada vez menor el volumen cedido a las plantas y a la atmósfera, disminuyendo la evapotranspiración por ambas causas a la vez. En cuanto a la planta, influirá no sólo su superficie, según el mayor o menor número de estomas por unidad de superficie foliar, sino el período de vegetación en que se encuentre. (18)

3.1.8.7 Métodos para el cálculo de la evapotranspiración:

Los métodos modernos para la determinación de las dotaciones de agua para el riego se basan en el cálculo de evapotranspiración potencial, ésta puede ser determinada por métodos directos, basados en experimentación directa por instrumentos y por métodos indirectos, por medio de fórmulas más o menos empírica establecidas por diversos investigadores. (18)

3.1.8.7.1 Métodos directos:

- Lisímetros
- Parcelas de campo (18)

3.1.8.7.1.1 Lisímetros:

Los lisímetros son en general recipientes que se llenan de suelo y se siembran, a fin de medir la evapotranspiración por procedimientos especiales. Para obtener datos precisos, es necesario reproducir en ellos, lo más fielmente posible, las condiciones de suelo y vegetación existentes en forma natural. Una forma elemental de comprobar su buena instalación, es cuando en visión panorámica del campo donde se encuentra el aparato, no se le puede ubicar, ya que el desarrollo del cultivo es similar dentro y fuera de él.

Tipos de lisímetros:

- Lisímetro de Thornthwaite o percolación
- Lisímetro de pesada
- Lisímetro flotante

-Lisímetro de presión (18)

3.1.8.7.1.1.1 Lisímetro de Thornwaite:

Llamados también "lisímetros de entradas y salidas", este consiste básicamente en un recipiente o tanque de 4 metros cuadrados de área y 0.70 metros de profundidad, con una tubería en su fondo, que comunica a un tanque colector de agua de drenaje. Su principio de operación se basa en suponer que la humedad del suelo se mantenga y por lo tanto, eliminar este término de la ecuación de balance hídrico, para cuyo fin, se le debe agregar agua diariamente. Como receptáculo cerrado, elimina escorrentía, de modo que la ecuación de balance queda reducida a:

$$P = ET + D$$

donde:

P: precipitación pluvial

ET: evapotranspiración

D: drenaje (18)

Al medir diariamente los volúmenes agregados y lo recogido en el drenaje, por diferencia se obtiene el evapotranspirado, que dividido por la superficie de la evapotranspiración da la lámina por unidad de tiempo. El tanque puede ser cualquier tonel de metal o plástico, cuya dotación diaria de agua implica inconvenientes de drenaje. Normalmente el suelo tendrá valores superiores a la capacidad de campo, produciendo una restricción en el desarrollo del cultivo y resultados no valederos. Tal problema, aunque no se elimine, puede reducirse con un sistema para que escurra parte del exceso. (18)

Si no interesa obtener mediciones diarias, sino más bien de períodos mayores, puede regarse en lapsos de igual tiempo, reduciendo así la permanente alta humedad en el suelo. (18)

Por lo tanto, estos son los lisímetros más simples, que se basan en obtener la evapotranspiración (Et) para un periodo determinado, haciendo que la variación del almacenaje de agua se aproxime a cero, mediante reposición frecuente de agua al suelo, con lo cual se obtiene:

$$Et = dr + P - dp$$

donde:

Et: evapotranspiración

P: precipitación pluvial

dr: lámina de riego

dp = Vd/A, donde:

Vd: volumen drenado y A: área del lisímetro (18)

3.1.8.7.1.1.2 Lisímetros de pesada:

En éstos lisímetros se utilizan la correspondencia existente entre volúmenes y pesos de agua, para medir la evapotranspiración gravimétricamente, en lugar de hacerlo volumétricamente. En teste grupo cae un variado número de lisímetros, desde los más elementales hasta los más complicados, que se describen a continuación: (18)

-De envases comunes:

Estos instrumentos son de uso muy limitado, la precisión es escasa, y sólo se le puede sembrar en ellos, cultivos de raíces muy pequeñas.

-Sobre balanzas:

Este lisímetro, es el mejor, pero es sumamente costoso y complicado. (18)

3.1.8.7.1.1.3 Lisímetros flotantes:

Se basa en el principio de Arquímedes, de flotación de los cuerpos. El registro continuo de los limnigrafos los hace muy útiles, en comparación con otros que efectúan medidas a intervalos relativamente largos; pues así se puede estudiar el proceso de flujo de vapor a la atmósfera con mayor detenimiento. Se presentan problemas de cabeceo del tanque flotante, de drenaje en el fondo, algún mecanismo puede atascarse, a veces se confina aire en el sistema de comunicación tanque más tanquilla ó puede ocurrir que el conducto tenga algún escape (18).

3.1.8.7.1.1.4 Lisímetros de presión:

Estos permiten registrar las pérdidas de agua mediante cambios de presión. Al igual que los lisímetros flotantes estos tienen problemas por flujo de calor. En este caso, con incrementos de temperatura hay un aumento en la presión del líquido. Cualquier registrador de presión que se use tiene inconvenientes. Los manómetros de líquido sufren las variaciones arriba mencionadas y los de resorte son de escasa sensibilidad a grandes presiones, por lo cual estos últimos se usan poco. (18)

3.1.8.7.1.2 Parcelas de campo:

Generalmente, se escoge una parcela plana, de algunos centenares de metros cuadrados de terreno desnudo, homogéneo en superficie y profundo. Se miden las precipitaciones y la humedad del suelo en diversos puntos y a diferentes profundidades; se deduce de ello las variaciones de la reserva de agua subterránea y la evaporación. (18)

El agua consumida de este modo no corresponde a la evapotranspiración, sino a la dotación de riego con arreglo a la planta y terreno de que se trate y al sistema de riego elegido, ya que cualquiera que sea el que

se utilice, son inevitables las pérdidas por percolación y escarnecia; pérdidas que no pueden medirse en este caso como se efectúa con los lisímetros (18).

3.1.8.7.2 Métodos indirectos:

Según Doorenbos existen varias fórmulas que permiten obtener la evapotranspiración potencial hoy evapotranspiración del cultivo de referencia FAO (9), durante un cierto período de tiempo, generalmente decenal, quincenal o mensual, en función de ciertos datos que han de ser previamente determinados. (18)

Según Herrera las causas que hacen variar la evapotranspiración son tan variadas y complejas que es muy difícil tenerlas todas en cuenta en una fórmula matemática, por lo que algunos autores, se fijan tan sólo en la temperatura, mientras que otros procuran acercarse más a la realidad teniendo en cuenta, además otros factores físicos y biológicos; entre las fórmulas antiguas existentes tenemos; (18)

-Método de Blaney y Criddle (1931-1942)

- Método de Thornthwaite (1944-1948)

-Método de Penman (1949)

-Método de Hargreaves

-Método de Penman (FAO)

Hoy en día existen otros métodos más confiables propuestos y modificados por la FAO:

-Método de Penman-Monteith (FAO) (7)

-Método de Blaney-Criddle (FAO)

-Método de Makkind (radiación) (FAO)

-Método de evaporímetro USWB Clase A (9,13,6)

3.1.9 Control de Necesidades Hídricas:

Evapotranspiración:

En Internet se publicó un estudio comparativo de los distintos métodos de la FAO para determinar la evapotranspiración en Murcia España. La evapotranspiración puede determinarse mediante medidas directas basándose en evapotranspirómetros de pesada o lisímetros de drenaje, pero dadas las dificultades que encierra su instalación y lo costoso de ésta, la estimación indirecta de ET basándose en fórmulas empíricas seguirá siendo de gran utilidad. (6)

Se presenta la figura 1 comparando los diferentes métodos para estimar la evapotranspiración por métodos propuestos por la FAO, en donde se pueden observar la similitud entre los distintos métodos para medir la evapotranspiración.

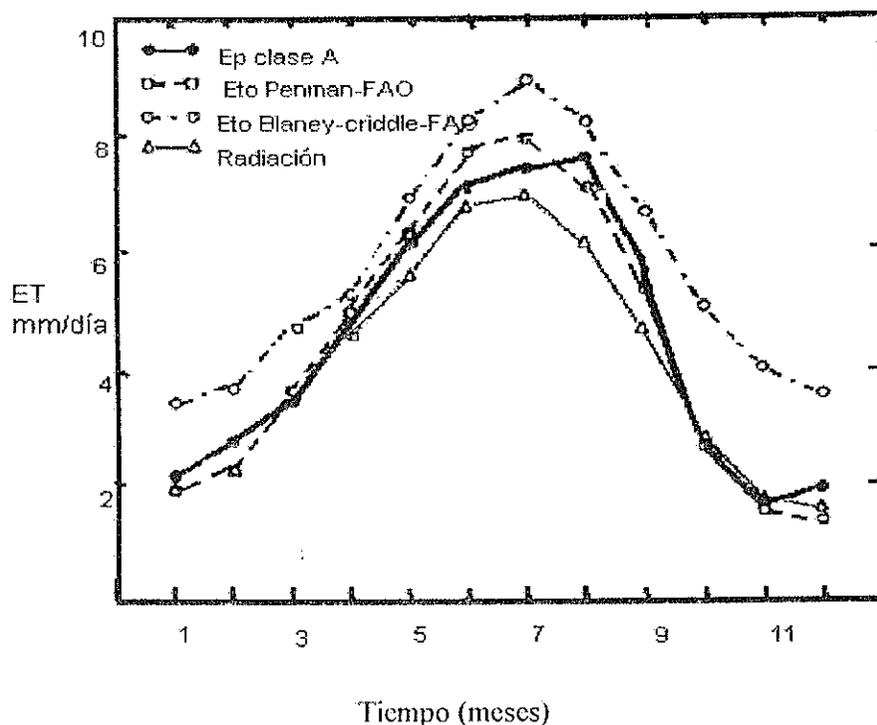


Figura 1. Estudio comparativo de los distintos métodos de evapotranspiración FAO, en Murcia España.

El problema de las fórmulas climáticas es su utilización en zonas diferentes a aquellas para las que fueron elaboradas. Mayor precisión ofrece la fórmula de Penman que mediante la combinación de dos términos, el de radiación y el aerodinámico (viento y déficit de saturación), permite expresar mejor las variaciones de ET a nivel local. (6)

Sin embargo, ofrece la dificultad de precisar estaciones meteorológicas muy complejas tipo "A" (dada la complejidad de la fórmula), que son muy costosas y por tanto escasas, y presenta un margen de error aproximado de un 10-15% por debajo de la evapotranspiración real. (13, 6)

De esta forma, la evapotranspiración de un cultivo determinado (ET_c), se establece a partir de la evapotranspiración de referencia E_{to} y un coeficiente característico de dicho cultivo (K_c). (6)

$$ET_c = K_c \times E_{to}$$

La FAO recomienda cuatro métodos para la estimación de E_{to} que son modificaciones por ajuste de las variables climáticas locales de los métodos de Penman, Blaney-Criddle, Makkind (radiación), y evaporímetro USWB Clase A. (6)

Particular interés tiene la medida de la evaporación en Cubeta de Clase A, que integra en una sola observación los efectos combinados de la radiación, viento, insolación, déficit de presión de vapor, etc. (6)

Actualmente el método de Penman-Monteith es el más recomendado por la FAO. (7)

3.1.10 Consideraciones de los métodos indirectos:

Método de Blaney-Criddle:

Según Doorenbos se debe utilizar cuando los datos de temperatura sean los únicos datos meteorológicos concretos disponibles. Este método no debe emplearse en las regiones ecuatoriales, en las que la temperatura se mantiene relativamente constante pero en las que variarán otros parámetros meteorológicos. (9)

Método de la radiación:

Se debe usar en las que los datos climáticos disponibles se refieran a la insolación o la nubosidad o la radiación y la temperatura del aire medidas pero no al viento y la humedad. Los resultados que se consiguen con este método deben ser más fiables que los del método de Blaney-Criddle, con la inclusión de una radiación calculada o medida y tomando parcialmente en consideración la temperatura, basta con escoger unos niveles generales de vientos diurnos y de humedad relativa media. (9)

Método de Penman modificado y Penman-Monteith :

En aquellas zonas en las que se disponga de datos medidos sobre la temperatura, la humedad, el viento y las horas de fuerte insolación o la radiación se sugiere este método. La única variación con respecto al método original de Penman de 1948, que se propone implica una función del viento revisada y una corrección adicional para las condiciones meteorológicas diurnas y nocturnas no representativas de los climas en los que se haya determinado la función del viento (18). El método Penman-Monteith viene provisto por un programa de computados que realiza cálculos con el modelo Cropwat. FAO de 1992. (7)

Método del evaporímetro de cubeta:

Los evaporímetros de cubeta permiten medir los efectos integrados de la radiación, el viento, la temperatura y la humedad en función de la evaporación de una superficie de agua libre. (9)

Se puede predecir con la siguiente fórmula la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o):

ET_o = evaporación de la cubeta X coeficiente de la cubeta (9)

Método de Thornthwaite:

Fue experimentada en zonas de abundantes precipitaciones en verano, en cuyos climas da los mejores resultados; en cambio, en regiones áridas o semiáridas y en veranos secos, como ocurre en la mayor parte de Guatemala, suelen obtenerse resultados inferiores a los verdaderos. (18)

3.1.11 Precipitación efectiva:

Según Smith uno de los métodos para el cálculo de la precipitación efectiva, es el del Porcentaje fijo de precipitación. En el cual se hace un estimado de: la precipitación efectivamente acumulada en la zona radicular, las pérdidas debidas a la escorrentía superficial y percolación profunda:

Porcentaje fijo de precipitación = $A \times pp$ promedio;

donde hace una estimación global, dando valores para "A" entre 70-90% para una precipitación promedio no excediendo de 120 mm/mes (7).

3.1.12 Constantes de humedad del suelo

3.1.12.1 Capacidad de campo.

Varón considera la capacidad de campo, como la humedad retenida por el perfil de un suelo uniformemente mojado, que prácticamente ha dejado de drenar (29).

Según Whithers existen dos formas de determinar la capacidad de campo. La primera se realiza en laboratorio, sometiendo muestras de suelo a una tensión de 0.3 atmósferas (31).

Según Israelsen el segundo método, consiste en delimitar un área de muestreo de un metro cuadrado de un lugar representativo del terreno, con bordos de 20 cm. de alto y levantar otros bordos exteriores a los primeros para facilitar el movimiento vertical del agua en la zona de muestreo. Después hay que humedecer el suelo hasta saturarlo incluyendo la parte exterior. Si el suelo es arcilloso, se puede empezar a muestrear entre 24 y 48 horas después; si es arenoso, debe empezarse 12 a 18 horas, tomando dos o tres muestras por estrato, cada vez que se muestree. Es más exacto el dato si se muestrea durante 4-5 días. El contenido de humedad se determina por el método gravimétrico, pesando las muestras húmedas, secándolas en horno a 105-110 °C, por 24 horas y pesándolas ya secas. Posteriormente se hace una gráfica colocando el contenido de humedad en las ordenadas y el tiempo en las abscisas; con ella es posible determinar el porcentaje de humedad correspondiente a la capacidad de campo de cada estrato el cual se da en el momento en que la curva se estabiliza. El contenido de humedad a capacidad de campo puede variar de 6 a 12% en los suelos arenosos y 31 a 39% en los suelos arcillosos. (20)

3.1.12.2 Punto de marchitez permanente:

Según Israelsen la tensión a la cual se produce el marchitamiento permanente oscila entre 7 a 40 atmósferas y depende de la velocidad de utilización del agua, del contenido de sales del suelo y de su textura. Existen diferentes métodos para determinar el punto de marchitez permanente, los más utilizados son el método del girasol y el método de las membranas de presión. (20)

De acuerdo a Aguilera el método de la membrana de presión consiste en preparar muestras por duplicado de suelo, tamizadas a 2 mm. las cuales se mezclan y agitan hasta uniformizarse. La membrana se humedece, se instala el aparato y se recorta la membrana alrededor del disco de bronce poniendo los anillos para el suelo de la membrana. Se empareja la muestra en el anillo y se cubre con un pedazo de papel

encerado el cual se deja reposar 16 horas, luego se cierra la membrana de presión dejando entrar aire con una presión de 15 atmósferas. Transcurridas 48 horas de la extracción se alcanza el punto de marchitez permanente. La mayoría de suelos de humedad se determina por el método gravimétrico en base seca. (1)

Según Whithers se puede calcular aproximadamente dividiendo el valor de capacidad de campo por un factor cuyo valor oscila entre 2 y 2.4 el cual está en función de la proporción de limo en el suelo, si la proporción de limo es alta se usa 2.4 (31).

3.1.13 Contenido de humedad del suelo.

3.1.13.1 Humedad aprovechable:

Según Israelsen llamada también humedad disponible o aprovechable, es la humedad retenida por el suelo en la zona activa de raíces del cultivo entre capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, o sea la humedad que puede ser almacenada por el suelo para ser usada por las plantas(20).

Según Torres con fines prácticos, en el cultivo de la caña de azúcar, se puede asumir una profundidad efectiva de raíces de 60 cm para la primera etapa del cultivo correspondiente al macollamiento (hasta los primeros 4.5 meses de edad) y 80 cm para el período de rápido crecimiento y maduración (4.5 meses en adelante) (28).

3.1.13.2 Humedad fácilmente aprovechable.

Israelsen y Hansen afirman que la humedad del suelo que se encuentra cerca del punto de marchitez permanente no es utilizable fácilmente por las plantas, ya que la humedad fácilmente utilizable es la parte que puede ser extraída por las plantas sin gran esfuerzo y que se presenta aproximadamente un 75% de la humedad utilizable total. (20)

Muchas evidencias indican que el crecimiento de la planta decrece conforme la tensión de humedad del suelo aumenta. Si la remoción de agua del suelo por las plantas, requiere energía, es lógico suponer que si aumenta la humedad, la tensión decrece, por lo que las plantas gastan menos energía en suplir sus necesidades de agua y pueden crecer más. (20)

Villegas dice que en el cultivo de la caña de azúcar generalmente se establece un nivel de humedad del 40%, es decir, se permite que se consuma el 60% del agua fácilmente aprovechable antes de aplicar el riego. El agua comprendida entre el nivel de humedad y capacidad de campo se conoce como lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA). (30)

3.2 Marco referencial :

3.2.1 Localización.

El sitio experimental estuvo localizado en la Finca "Puyumate" ubicada al Norte del Municipio de la Nueva Concepción del Departamento de Escuintla, a una altura de 90 metros sobre el nivel del mar, a una distancia de 130 kilómetros de la ciudad capital hasta la entrada de la finca, desviándose al el Sur sobre la carretera de Cocales, Suchitepequez hacia Nueva Concepción, ubicada en la Latitud Norte de $14^{\circ} 17' 53''$, longitud Oeste de $91^{\circ} 14' 47''$. La finca limita al Norte con las fincas Cuntán y Bandurría, al Sur con las fincas Zulia, Capsín, San Luís, La Gloria y Los Laureles; al Este con la ruta departamental y al Oeste con el río Madre Vieja. La finca cuenta con una extensión de 21 caballerías (10).

3.2.2 Clima.

Según De La Cruz, el área pertenece a la zona de vida Bosque húmedo subtropical cálido.(8)

Fajardo (10) cita a Thornthwaite, quien de acuerdo su clasificación pertenece al clima: cálido sin estación fría bien definida, húmedo y con invierno seco.

La precipitación media de 1991-96, según registros de la finca Puyumate es de 1900 milímetros anuales, distribuidos de mayo a octubre. La humedad media relativa es del 75%. (10)

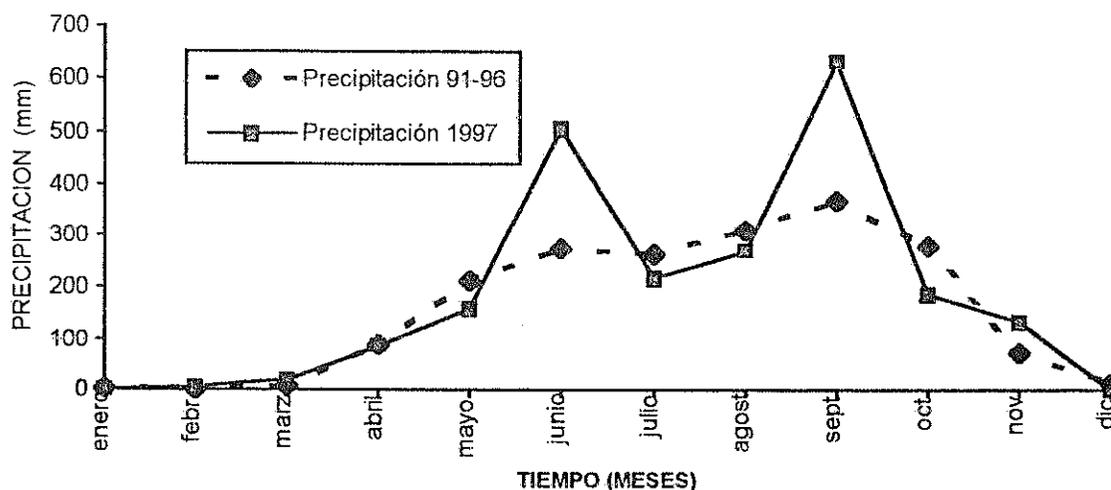


Figura 2. Precipitación media durante 1991-1996 y 1997

3.2.3 Suelos:

Según la clasificación semidetallada de suelos realizada por CENGICANA el área donde se realizó la investigación pertenece al Conjunto Pacífico (Fluventic Hapludolls Franca Gruesa), Complejo Porvenir-

Pacífico, plano con pendiente menor del 1%, profundos, bien drenados y sin erosión. A continuación se describe el perfil representativo del conjunto Porvenir:

Relieve:	ligeramente ondulado
Pendiente:	1-3%
Nivel friático:	muy profundo
Drenajes:	Externo e interno moderado, natural moderado
Profundidad efectiva:	muy profundo
Contenido de materia orgánica:	9.74 %
Taxonomía del perfil, subgrupo:	Andic Hapludolls
Familia:	franca fina

0-18 cm: color gris muy oscuro (10YR3/1); textura franca; estructura en bloques subangulares débiles, medios; consistencia friable.

18-37 cm: color pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2); textura franca; estructura en bloques subangulares débiles, medios; consistencia friable.

37-70 cm: color pardo oscuro (10YR3/4); textura franco a franco arenosa; sin estructura (masivo); consistencia dura.

70-110 cm: color pardo oscuro (10YR4/3); textura franco arcillo-arenosa; sin estructura (masivo); consistencia dura. (3).

Orden Mollisol.

Ocupan el 40% del área cañera de Guatemala. Se encuentra en el cuerpo y pie de los abanicos, cerca de la planicie costera, en relieve ligeramente plano a plano. Presentan un horizonte superficial grueso de color oscuro, rico en materia orgánica, saturación de bases del 50% en todos sus horizontes y un grado de estructuración de moderado a fuerte. Predominan las texturas franco arenosas, franca y francoarcilloso, y de subsuelo frecuentemente arenoso. El pH varía de ligeramente ácido a neutro (25).

3.2.4 Agua:

El límite de la finca al Oeste es el río Madre Vieja, de donde se deriva el agua para el riego del cultivo de la caña internamente, a través de canales. En la finca existen tres tipos de riego: gravedad sin bombeo, bombeo gravedad y aspersión (10).

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general:

- 1) Determinar el efecto de cuatro diferentes programaciones de riego, sobre la evapotranspiración, desarrollo y producción de la caña de azúcar.

4.2 Objetivos específicos:

- 1) Determinar la evapotranspiración máxima (E_{tm}) durante la época seca, la cual coincide con la etapa de macollamiento e inicios de la etapa de elongación de la caña de azúcar.
- 2) Determinar valores de evapotranspiración real (E_{ta}) durante la etapa de macollamiento y en la etapa inicial de la elongación de la caña de azúcar bajo cuatro regímenes de humedad del suelo.
- 3) Determinar la relación evapotranspiración real sobre la evaporación del tanque A, bajo cuatro regímenes de humedad del suelo.
- 4) Determinar el efecto de cuatro programaciones de riego sobre el desarrollo y producción de la caña de azúcar.

5. HIPÓTESIS

La evapotranspiración, desarrollo y producción de la caña de azúcar, es afectada por al menos una de las programaciones de riego aplicados en las etapas de macollamiento e inicios de la elongación en caña plantía.

6. METODOLOGIA

6.1 Metodología experimental

6.1.1 Análisis y determinaciones previas al experimento.

Previo al establecimiento del experimento se realizó muestreos para definir el estado de fertilidad del sitio experimental, así como las constantes de retención de humedad.

En el análisis químico se consideró; pH, materia orgánica, fósforo, potasio, magnesio, calcio utilizándose una muestra compuesta, de los primeros 60 cm.

A continuación se presentan los cuadros 2 y 3 con los resultados obtenidos de los análisis previos al establecimiento del experimento: (30)

Cuadro 2. Resultados del análisis químico de suelos.

ESTRATO	pH	Fósforo disp. (ppm)	Potasio	Magnesio (meq/100 gr)	Calcio	Materia orgánica (%)
0-20 cm	6.7	0.05	0.11	10.10	21.93	1.34
20-40 cm	6.82	0.05	0.11	9.80	21.49	3.51
40-60 cm	6.96	No disp.	0.10	4.27	19.16	1.21

*Análisis realizado en laboratorio de suelos de CENGICANA.

Las propiedades físicas fueron tomadas por estratos de 20 cm. en 3 puntos del sitio experimental hasta una profundidad de 1 metro. Los resultados se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Resultados del análisis físico de suelos.

ESTRATO cm.	% arena	% limo	% arcilla	TEXTURA	DENS. APARENTE. (gr./c)	CAPACIDAD DE CAMPO (%)	PUNTO MARCHITEZ PERMANENTE (%)	LHA (mm)
0-20	59.43	31.52	9.04	franco arenosa	0.95	45.44	20.73	46.9
20-40	62.29	28.58	9.12	franco arenosa	0.91	43.59	20.27	42.4
40-60	62.25	28.69	9.04	franco arenosa	0.90	36.98	16.98	36.0
60-80	61.31	29.88	8.79	franco arenosa	0.90	29.72	12.94	30.2
80-100	64.69	26.45	8.85	franco arenosa	0.88			

*Análisis realizado en laboratorio de suelos de CENGICANA

LHA: lámina de humedad aprovechable.

La lámina de humedad aprovechable (LHA) es de 1.94 mm/cm., siendo considerado un suelo con alta capacidad de retención de humedad. La lámina de humedad rápidamente aprovechable, lámina neta (Ln) ó lámina de riego a una profundidad de 60 cm. y 60% de umbral de riego fue de 75 mm.

6.1.2 Tratamientos de riego ó determinación de la programación de los riegos.

Los tratamientos consistieron de programaciones de riego basados en un balance teórico de humedad del suelo aplicados durante la época seca, es decir, los riegos se suspendieron al inicio de las lluvias. Estos tratamientos fueron definidos asumiendo diferentes niveles de evapotranspiración ó consumo de agua del cultivo en función de la evaporación del tanque tipo A (Ev), variando el factor K en la ecuación:

$$Et = K \times Ev$$

Donde:

Et: evapotranspiración

K: factor del tanque (K de programación de riegos)

Ev: evaporación del tanque tipo A

Los valores de evapotranspiración asumidos, así como las entradas por riego (R) y precipitación (pp) en el sitio de ensayo, fueron aplicados a la siguiente ecuación de balance hídrico:

$$R + pp - Et - \text{excesos} = \Delta H^{\circ}$$

Donde:

ΔH° : cambio de humedad en el suelo

Esta ecuación se usó para definir los momentos de riego, usando como base los cambios de humedad en el suelo a la profundidad de 60 centímetros.

Los valores del factor K que se evaluaron fueron los siguientes:

Cuadro 4. Programaciones de riego.

Identificación	Tratamientos	Lámina de riego
T1	Sin riego	Solo de germinación
T2	K = 0.3	Ln = 75 mm
T3	K = 0.5	Ln = 75 mm
T4	Riego semanal	Evaporación del tanque "A"

Se llevaron lecturas diarias de evaporación y precipitación durante el período de estudio, por lo que se ubicó un pluviómetro y un tanque de evaporación tipo A, cercanos al área de estudio.

La precipitación efectiva en el balance para programar los riegos, se consideró como 80% de la precipitación recibida en el lugar del ensayo. (7)

6.2 Extensión del área experimental.

El área experimental contó con las siguientes características:

Area total del experimento.....	688.5m ²
Area neta del experimento (20 lisímetros).....	90 m ²
Area por unidad experimental (lisímetro).....	4.5 m ²
Dimensiones en la unidad experimental ó lisímetro.....	1.5 X 3 m
Profundidad del lisímetro.....	1.20 m
Número de unidades experimentales.....	20
Número de surcos por unidad experimental.....	1
Distancia entre surcos.....	1.5 m
Longitud de los surcos.....	3 m
Número de yemas por unidad experimental.....	30

6.3 Diseño experimental:

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar; con 4 tratamientos y 5 repeticiones, según se indica en la figura 19. A del apéndice.

6.4 Modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde

Y_{ij} : Variable respuesta de la ij-ésima unidad experimental

μ : Valor de la media general

T_i : Efecto de la i-ésima programación de riego

B_j : Efecto del j-ésimo bloque

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

i: 1,2,3 y 4

j: 1,2,3,4 y 5.

6.5 Características de construcción de los lisímetros:

Las unidades experimentales consistieron de lisímetros de percolación de 1.5 m. de ancho x 3.0 m. de largo x 1.20 m. de profundidad.(2) Los mismos fueron construidos abriendo fosas de las dimensiones

citadas, cubriendo las mismas con doble plástico polietileno, para finalmente, rellenarlas con el mismo suelo en forma ordenada, según el tipo de suelo y horizonte extraído. Se definió de esta manera el volumen de control, teniendo al fondo una capa con arena y piedrín para drenar los excesos de agua. Los lisímetros fueron inmersos en una parcela de caña de 25.5 metros de ancho (17 surcos) por 27 metros de largo. Los lisímetros fueron ubicados por cada tres surcos, colocando cuatro lisímetros por surco, separados 3 metros y haciendo un total de 20 lisímetros (ver figura 20.A y 21.A).

En cada lisímetro se instaló un tubo de 2 pulgadas de diámetro y 1.5 m de largo perforado en los 50 centímetros del extremo inferior, para extraer los excesos de riego o precipitación mediante una bomba manual. Además mediante esta tubería se revisó la existencia de percolación profunda después de un riego o lluvia ocurrida en el período seco.

6.6 Manejo del experimento:

6.6.1 Método de riego.

A efecto de medir exactamente la cantidad de agua a aplicar en cada riego, se utilizó un recipiente de volumen conocido (regadera).

6.6.2 Establecimiento de los tratamientos:

Para el establecimiento de la plantación fuera de los lisímetros se aplicó un riego de germinación equivalente a 5 mm, ya que el canal de riego por donde se conduce el agua se mantuvo lleno durante la época seca, manteniendo la humedad del suelo cercana a capacidad de campo en los surcos de caña fuera de los lisímetros (Relleno).

Todos los tratamientos fueron establecidos mediante la aplicación de dos riegos de germinación; 20 mm a los 0 días después de la siembra (días después de la siembra) y 40 mm a los 5 días después de la siembra. A los 16 días después de la siembra se aplicó un último riego general a todos los tratamientos para asegurar el establecimiento ó germinación del cultivo. En este último riego al T1= testigo se le aplicó únicamente una lámina de 20 mm, mientras que a los restantes se les aplicaron 75 mm. En total el T1=testigo recibió únicamente 80 mm repartidos en tres riegos a los 0, 5 y 16 días después de la siembra. A partir de esta edad se inició el control del balance teórico para la programación de los riegos en cada tratamiento. El T4=riego semanal recibió los riegos cada semana con una lámina equivalente a la evaporación del tanque "A" de la semana previa.

6.6.3 Lámina y volumen de riego:

La lámina de agua aprovechable en cada lisímetro se calculó con la ecuación:

$$LHA = ((CC - PMP)/100) \times Dap \times Pe$$

donde:

LHA: lámina de humedad aprovechable

CC: capacidad de campo

PMP: punto de marchitez permanente

Dap: densidad aparente

Pe: profundidad radicular ó de estrato

La LHA se afectó por el déficit permitido de manejo ó umbral de riego (60%), obteniendo la Lámina de riego (Ln);

$$Ln = LHA \times DPM$$

El volumen de agua a aplicar se determinó mediante:

$$Vol = Area \text{ del lisímetro} \times Ln$$

Una vez consumida la lámina de agua rápidamente aprovechable, se procedió a efectuar el siguiente riego.

6.7 Evapotranspiración máxima:

La evapotranspiración máxima (E_{tm}) fue determinada tomando como base el tratamiento con riegos más frecuentes (T₄= riego semanal).

6.8 Medición de la Evapotranspiración real:

Se muestreo gravimétricamente en los lisímetros el porcentaje de humedad del suelo hasta una profundidad de 1 metro por estratos de 20 centímetros, muestreando antes del primer riego y a los 54, 74, 92 y 109 días después de la siembra, cuando finalizó la época seca.

$$\% H^{\circ} = ((\text{peso suelo húmedo} - \text{peso suelo seco}) / \text{peso suelo seco}) \times 100$$

El primer muestreo de humedad se realizó antes de efectuar el primer riego de germinación. Posterior a este muestreo se inició el control del balance hídrico durante el período de estudio.

La lámina real consumida entre un período de tiempo (0 a 54, 54 a 74, 74 a 92 y 92 a 109 días después de la siembra), fue determinada por medio de la ecuación de balance hídrico:

$$Et = \sum R + \sum pp + \text{humedad inicial} - \text{humedad final.}$$

Donde:

Et: evapotranspiración (mm)

ΣR : sumatoria de las láminas de riego (mm)

Σpp : sumatoria de la precipitación (mm)

6.9 Determinación del factor k:

El factor K determinado es igual a la relación de evapotranspiración real sobre la evaporación del tanque A ($E_{ta} \div E_v$) durante el período seco. (31)

6.10 Manejo del cultivo.

La siembra se realizó colocando un número de 10 yemas por metro lineal, haciendo un total de 30 yemas por unidad experimental, colocando los tallos en hilera doble, ya que es el sistema de siembra usado normalmente.

El manejo del cultivo se llevó a cabo de acuerdo a la tecnología empleada en los lotes comerciales de la finca Puyumate, a excepción del riego. Se usó la variedad de caña de azúcar CP 722086, ya que es la que se encuentra más cultivada en la zona y en el área cañera en general. (4)

Se realizó la fertilización al momento de la siembra con 11-52-0 a razón de 194.8 kilogramos por hectárea quintales por manzana, luego a los 60 días después de la siembra se realizó la aplicación de 194.8 kilogramos por hectárea de Urea (46-0-0).

Se mantuvo libre de malezas cada unidad experimental durante la época seca. A los 10 días después de la siembra se aplicó una mezcla preemergente de herbicidas (2.13 litros por hectárea de Prowl (Pendimetalina) + 2.84 libras por hectárea de Karmex (Diuron) + 4.26 libras por hectárea de Gesaprin (Atrazina). En la última semana de octubre se aplicó el madurante, siendo cosechado en verde el ensayo el 19 de noviembre de 1997 a una edad de 284 días.

6.11 Evaluación de la humedad del suelo:

El porcentaje de agotamiento de humedad del suelo por estratos para cada tratamiento se determinó por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{AGOTAMIENTO HUMEDAD APROVECHABLE} = \frac{CC - H_t}{CC - PMP} \times 100$$

Donde:

CC: Capacidad de campo en porcentaje (%)

Ht : Humedad actual en porcentaje (%)

PMP: Punto de marchitez permanente en porcentaje (%) (23)

El porcentaje de humedad agotada se midió a los 54, 74, 92 y 109 días después de la siembra.

6.12 Determinación del Coeficiente del cultivo (Kc):

El Kc del cultivo se determinó para cada tratamiento con la aplicación de la siguiente fórmula:

$$Kc = \frac{E_{ta}}{E_{to}} \text{ (Penman-monteiht)}$$

Donde: Kc = Coeficiente del cultivo

E_{ta} = Evapotranspiración real de cada tratamiento

E_{to} = Evapotranspiración del cultivo de referencia según Penman-Monteiht. (7)

6.13 Variables respuesta:

El efecto de los diferentes tratamientos se midió sobre la base de las siguientes variables respuesta, las cuales con fines de facilidad por el gran número de variables evaluadas se presentan los valores medios de cada tratamiento en cada lectura:

- Crecimiento a los 30, 45, 60, 75, 90, 102, 109, 116, 137, 153 y 284 días después de la siembra. Se tomaron 10 tallos de cada unidad experimental, determinándose la altura hasta la última lígula visible, en centímetros y en la cosecha al punto de quiebre.

-Población por lisímetro a los 60, 90, 116, 137, 153 días después de la siembra y a la cosecha (284 días después de la siembra), se consideraron todos los tallos molederos de cada unidad experimental.

-Diámetro de 10 tallos a la cosecha en el nudo medio en centímetros.

-Longitud de 10 entrenudos centrales a la cosecha en centímetros.

-Número de entrenudos de 5 de tallos a la cosecha y longitud media de los entrenudos.

-Peso de todos los tallos por lisímetro y de 10 tallos de caña de cada lisímetro en kilogramos y rendimiento de caña en toneladas métricas por hectárea.

-Rendimiento teórico, en kilogramos de azúcar por tonelada métrica de caña, determinado mediante muestreo, en el laboratorio de CENGICAÑA. (14, 17, 25)

6.14 Análisis de resultados

A los resultados obtenidos de las variables medidas se les aplicó un análisis de varianza, los cuales en el análisis de resultados se presentan únicamente las medias. Cuando la respuesta fue significativa se realizó prueba de Tukey para determinar el mejor tratamiento.

7. RESULTADOS Y DISCUSION:

A Continuación se presentan los resultados obtenidos durante la realización del experimento.

7.1 Perfil del suelo:

En el cuadro 5 se detalla el perfil del suelo del área experimental.

Cuadro 5. Perfil del suelo:

HORIZONTE	CARACTERISTICAS
0-20 cm (Ap)	Textura franco arenosa, color negro, consistencia friable.
20-60 cm (A)	Textura franco arenosa, color negro, consistencia friable.
60-100 cm (BC)	Textura franco arenosa, color café amarillento, consistencia friable.
100-120 cm (C)	Textura arena, color café claro, sin estructura, consistencia friable.

Como se puede observar, en todo el perfil del suelo predomina la textura franco-arenosa hasta una profundidad de un metro, lo que indica que es un suelo con características físicas buenas para el desarrollo del cultivo, a partir de la cual se encuentra una capa arenosa.

7.2 Variables climáticas:

En la figura 3, se puede observar el comportamiento de la precipitación total recibida y la evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto) según el Método de Penman-Monteith durante el ciclo total.

En mayo se observa un cambio en el comportamiento de las lluvias, ya que la época lluviosa inició a finales de mayo a los 109 días después de la siembra, obteniendo un déficit de 298.1 mm durante la época seca. Durante los meses lluviosos la precipitación fue mayor que la evapotranspiración del cultivo de referencia hasta la cosecha, obteniendo un exceso durante la época lluviosa de 1252.71 mm. (pp-evapotranspiración del cultivo de referencia)

En la figura 4, se observa el comportamiento de la evaporación promedio diaria y el número de horas luz promedio por día durante los meses secos, variando la evaporación de 4.0 a 6 milímetros por día y entre 6 a 9 horas luz promedio por día. Se observa una relación directa entre el comportamiento de la evaporación y la radiación solar.

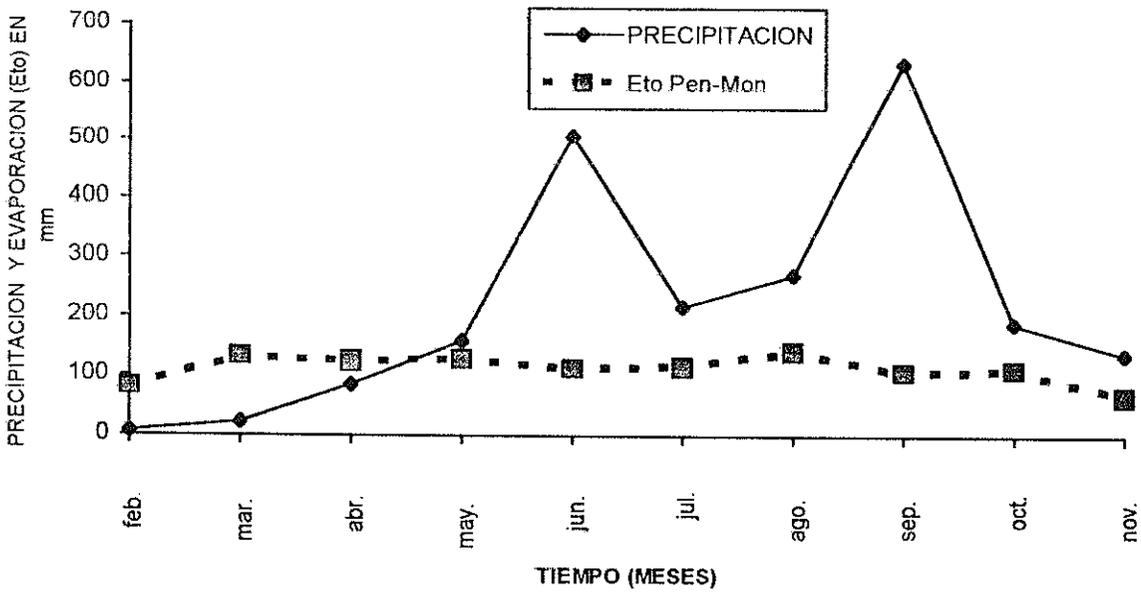


Figura 3. Precipitación y evapotranspiración del cultivo de referencia durante el ciclo total.

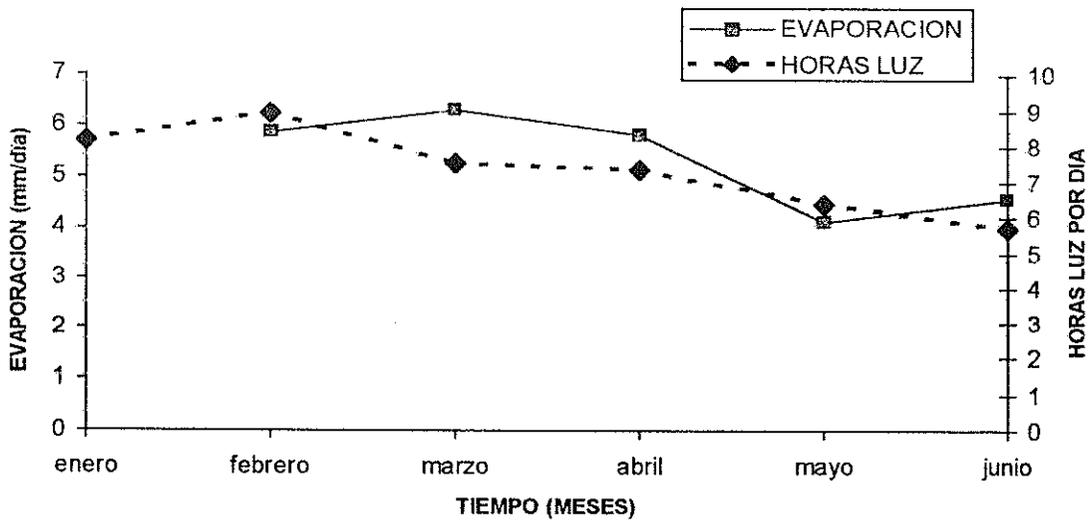


Figura 4. Horas luz y evaporación promedio por día del tanque

7.3 Láminas de riego:

En el cuadro 6 se detalla la precipitación efectiva (0.8 de la precipitación recibida) y láminas de riego que se aplicaron durante los primeros 109 días de edad.

Cuadro 6. Láminas recibidas durante la época seca (109 días después de la siembra).

	TRA- TAM.	0-30	30-45	45-60	60-75	75-90	90-102	102-109	TOTAL 0-109	109- COSECHA
Pp efect.		7.2	14.8	0	69.04	4.32	19.2	9.6	124.16	1659.44
Riego	T1	80	0	0	0	0	0	0	80	
	T2	135	0	0	0	0	0	0	135	
	T3	135	75	0	0	0	45	0	255	
	T4	225	90	57	40	110.5	45	0	567.5	
TOTAL	T1	87.2	14.8	0	69.04	4.32	19.2	9.6	204.16	
	T2	142.2	14.8	0	69.04	4.32	19.2	9.6	259.16	
	T3	142.2	89.8	0	69.04	4.32	64.2	9.6	379.16	
	T4	232.2	104.8	57	109.04	114.82	64.2	9.6	691.66	
Evaporación		178.6	94.41	96.61	78.45	103.44	68.29	38.4	657.21	
Ke= Lam.rec/Ev	T1	0.49	0.16	0	0.88	0.04	0.28	0.25	0.31	
	T2	0.80	0.16	0	0.88	0.04	0.28	0.25	0.39	
	T3	0.80	0.95	0	0.88	0.04	0.94	0.25	0.57	
	T4	1.30	1.11	0.59	1.39	1.11	0.94	0.25	1.05	
TOTAL ACUMULADO	T1	87.2	102	102	171.04	175.36	194.56	204.16		
	T2	142.2	157	157	226.04	230.36	249.56	259.16		
	T3	142.2	232	232	301.04	305.36	369.56	379.16		
	T4	142.2	337	394	503.04	317.86	683.06	691.66		

Se observa como varía con el tiempo la lámina de agua recibida, además de la evaporación y la relación que existió entre ambos para cada tratamiento en cada intervalo de tiempo.

En el cuadro 7 se muestra el número de riegos, la edad en que se realizaron y la precipitación efectiva en cada tratamiento hasta los 75 y 109 días después de la siembra.

Cuadro 7. Resumen de láminas recibidas por tratamiento (mm).

Trata- miento	Número de riegos	Aplicación del riego (DDS)	Lámina aplicada (mm)	Lámina de riego		Precipitación		TOTAL	
				75 DDS	109 DDS	75 DDS	109 DDS	75 DDS	109 DDS
T1	3	0,5,16	20,40 y 20	80	80	91.04	124.16	171.04	204.16
T2	3	0,5,16	20,40 y 75	135	135	91.04	124.16	226.04	259.16
T3	5	0,5,16,45,98	20,40,75,75, y 45	210	255	91.04	124.16	301.04	379.16
T4	12	0,5,16,24,30,37,44, 52,73,80,89,102.	20, 40, 75, 45, 45, 45, 45, 57, 40, 47.5, 63 y 45	412	567.5	91.04	124.16	503.04	691.66

DDS: días después de la siembra
mm: milímetros

7.4 Evapotranspiración Real y máxima:

En los siguientes cuadros 8 y 9 se presentan los resultados obtenidos de evapotranspiración medida y del factor K del tanque determinados.

Cuadro 8. Evapotranspiración real y factor K del tanque tipo "A".

TRATA- MIENTOS	0-54 DDS		54-74 DDS		74-92 DDS		92-109 DDS		0-109 DDS				0-284 DDS
	ETR mm/ día	K= ETR / Ev	ETR mm/ día	K= ETR / Ev	ETR mm/ día	K= ETR / Ev	ETR mm/ día	K= ETR/ Ev	K Medio	ETR TOTAL mm	ETM TOTAL Pen-Mon	ETM TOTAL Cubeta A	ETM TOTAL Pen-Mon
T 1 TEST.	2.01	0.32	2.62	0.46	2.36	0.35	2.15	0.38	0.36	239.97	370.19 Mm	430.3 Mm	1107.6 Mm
T 2 K=0.3	2.16	0.35	2.81	0.5	3.65	0.55	2.16	0.38	0.42	275.26			
T 3 K=0.5	3.37	0.55	4.76	0.84	4.19	0.62	4.46	0.79	0.65	428.42			
T 4 riego semanal	4.32	0.7	4.93	0.87	5.95	0.89	5.19	0.92	0.80	527.21			
EVAPORA	6.11		5.61		6.67		5.6		657.4 mm Evaporación.				

ETM = evapotranspiración máxima

ETR = evapotranspiración real

Ev = evaporación

La evapotranspiración real del T4 (riego semanal) se consideró como la evapotranspiración máxima medida.

Se puede observar que en los primeros 54 días cuando la planta tiene exceso de agua (T4= riego semanal) la planta evapotranspira más, evaporándose posiblemente más agua del suelo, sin tener ningún efecto positivo sobre el crecimiento y población inicial con respecto a los otros tratamientos, luego de los 75 días después de la siembra sí se obtuvo un efecto positivo mayor sobre el crecimiento en los tratamientos con mayor disponibilidad de humedad. El comportamiento del factor K es proporcional a la evapotranspiración registrada para cada tratamiento.

Cuadro 9. Evapotranspiración real acumulada entre los 0-74 dds y 74-109 dds. (mm)

EDAD	0-74 dds	74-109 dds	0-109 dds
T 1 testigo	160.94	79.03	239.97
T 2 K=0.3	172.84	102.42	275.26
T 3 K=0.5	277.18	151.24	428.42
T 4 riego semanal	331.88	195.33	527.21

dds : días después de la siembra

Para el cálculo de la evapotranspiración máxima por el método de la cubeta A; los valores diarios de evaporación fueron multiplicados por 0.8, resultando la evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto), después esta se afectó por valores Kc del cultivo propuestas por la FAO, que se presentan en el cuadro 10.

Cuadro 10. Valores Kc del cultivo de caña utilizados, para el cálculo de Evapotranspiración por métodos indirectos.

Edad (Meses)	0-1	1-2	2-2.5	2.5-4	4-8.5	8.5-10
Kc	0.55	0.8	0.9	1	1.15	0.50

También se estimó la evapotranspiración máxima por el método de Penman-Monteith propuesto por la FAO, a través del modelo de CROPWAT de 1992; con el cual se calcularon los consumos potenciales durante la época seca (8 de febrero al 28 mayo de 1997), donde se ingresaron las variables climáticas para la evapotranspiración del cultivo de referencia. Para luego afectarlo por los valores K_c del cultivo propuestos por la FAO, mostrados anteriormente. (6)

En las figuras 5 y 6 se presentan el comportamiento del factor K del tanque y la evapotranspiración real de los tratamientos T1, T2, T3, T4 con la evapotranspiración del cultivo según Penman-Monteith. En donde se puede observar que la tendencia es la misma en ambas figuras, siendo mayor en el T4 (riego semanal) y menor en el T1 ($K=0.3$).

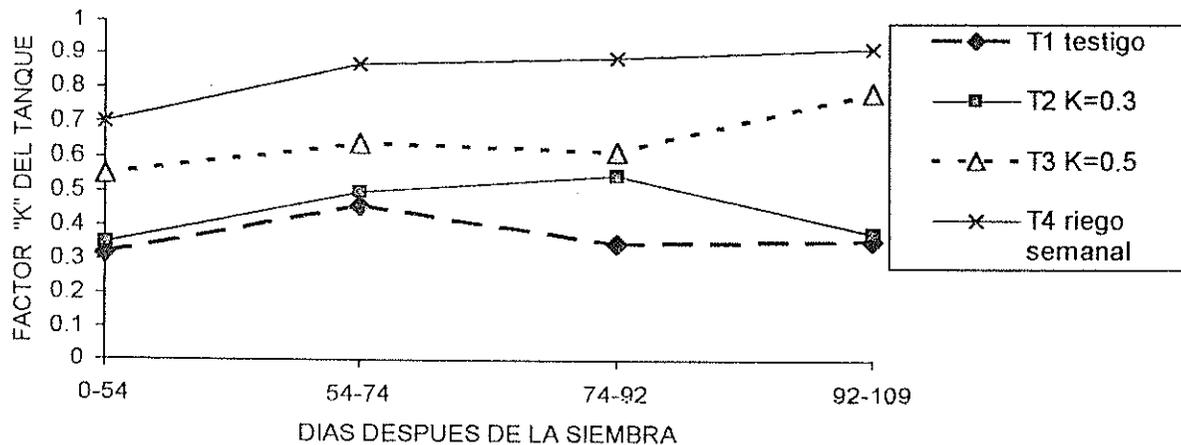


Fig. 5 Factor K del tanque determinados en el tiempo para todos los tratamientos.

En la figura 6 se puede ver que la tasa de evapotranspiración en mm/día es diferente según la edad del cultivo (grado de desarrollo del cultivo) y la disponibilidad de la humedad del suelo ya que el cultivo entre mayor desarrollo tenga mayor serán los requerimientos de agua. El T4 de riego semanal, presenta una alta tasa de evapotranspiración manteniéndose así durante la época seca.

Al observar la evapotranspiración del cultivo según Penman-Monteith durante los primeros 54 días, el T1 (testigo) y T2 ($K=0.3$) fueron inferiores al mismo, mientras el T3 ($K=0.5$) y T4 (riego semanal) tuvieron suficiente humedad en el suelo. A los 74-92 días después de la siembra el comportamiento fue similar al del anterior período; a los 92 y 109 días después de la siembra el nivel de evapotranspiración según Penman-Monteith es similar al del T3 ($K=0.5$), sobrepasándolo siempre el T4 (riego semanal) y reafirmando aún más el estrés bajo el cual estuvieron el T1 (testigo) y T2 ($K=0.3$).

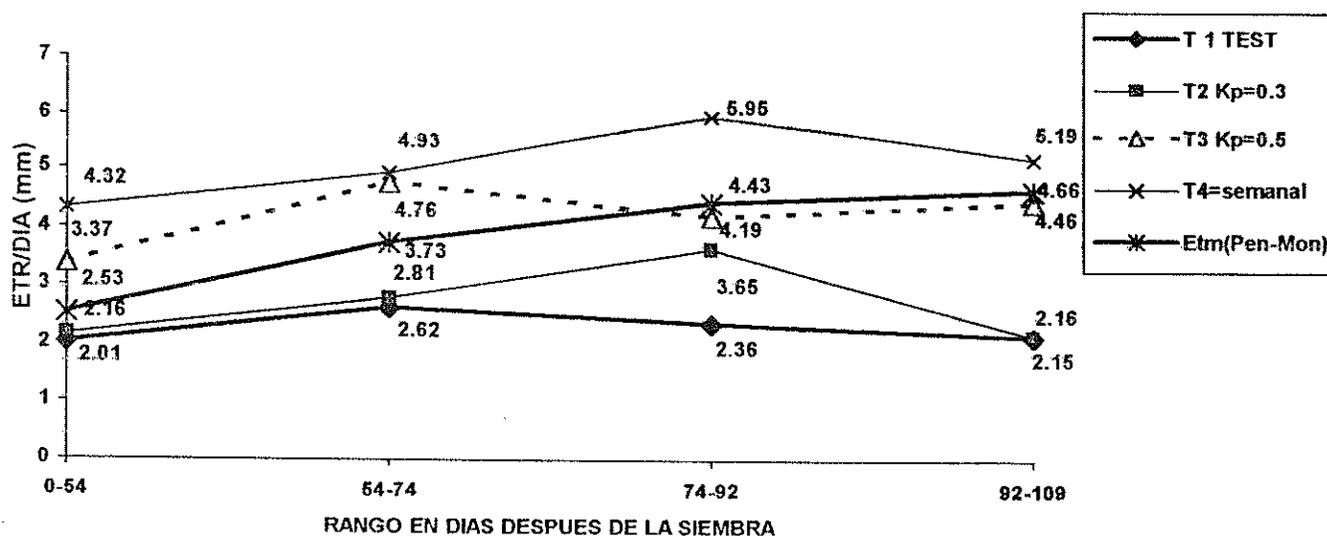


Figura 6. Evapotranspiración real para los tratamientos de riego y según Penman-Monteith.

El requerimiento de agua para la caña de azúcar de 9.5 meses (284 días) según Penman-Monteith fue de 1107.5 mm.

7.5 Determinación del coeficiente del cultivo (Kc):

En el cuadro 11 se presenta los valores del coeficiente del cultivo (Kc) determinados para cada tratamiento, donde se observa que para el T4 (riego semanal) los valores son los más altos, mientras el T3 (K=0.5) tiene valores medios con los cuales se obtuvo el mayor rendimiento del cultivo a la cosecha.

Cuadro 11. Valores Kc determinados hasta los 109 días después de la siembra.

Días después de la siembra	Et cultivo referencia Eto(Pen-Mon)	T 1: testigo Etr	T 1: testigo Kc	T 2: K=0.3 Etr	T 2: K=0.3 Kc	T 3: K=0.5 Etr	T 3: K=0.5 Kc	T 4: riego semanal Et máx.	T 4: Riego semanal Kc
0-54	225.9	108.54	0.48	116.64	0.51	181.98	0.81	233.28	1.03
54-74	84	52.4	0.62	56.2	0.66	95.2	1.13	98.6	1.17
74-92	74.5	42.48	0.57	65.7	0.88	75.42	1.01	107.1	1.43
92-109	69.7	36.55	0.52	36.72	0.52	75.82	1.08	88.23	1.26

7.6 Evaluación de la humedad del suelo:

7.6.1 Porcentaje de agotamiento de humedad del suelo por estratos, para el T1 (testigo).

En la figura 7 se presenta el comportamiento de la humedad del suelo durante la época seca, para el tratamiento testigo.

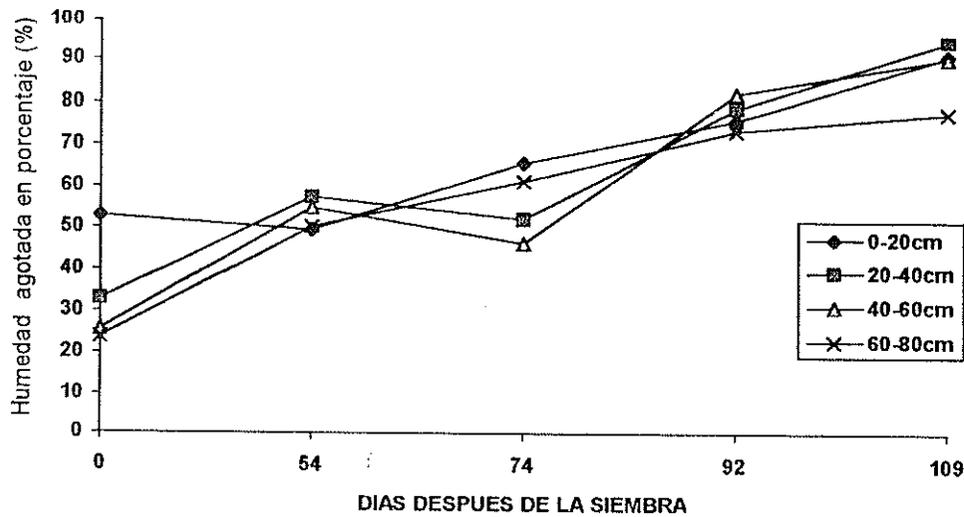


Figura 7. Agotamiento de la humedad por estratos del T1 (testigo).

En el T1 (testigo) la humedad disponible para la planta se ve agotada en mayor grado conforme la edad del cultivo aumenta, llegando a ser casi del 100%, siendo similar el agotamiento en todo el perfil del suelo. Al comparar este comportamiento con la evapotranspiración real se observa que la tasa se mantuvo a un bajo nivel. Observando la humedad en todo el perfil se puede inferir que el cultivo bajo este tratamiento se vio forzado a desarrollar un mayor sistema radicular para obtener la humedad disponible en los estratos inferiores durante la época seca, lo cual favoreció su rápido desarrollo al inicio de la época lluviosa.

7.6.2 Porcentaje de agotamiento de humedad del suelo por estratos, para el T2 (K=0.3)

En la figura 8 se presenta el comportamiento de la humedad del suelo durante la época seca, para el T2 (K=0.3). Se observa que el agotamiento de humedad disponible fue similar al T1 (testigo); sin embargo el grado de agotamiento en el perfil del suelo fue variable, debido a que tuvo mayor humedad disponible durante la época seca. Al comparar el agotamiento de humedad del suelo con la tasa de evapotranspiración se observa un comportamiento también similar al T1 (testigo); sin embargo, en el T2 (K=0.3) los valores de evapotranspiración real tienden a ser un poco mayores. En este caso se observa que el grado de agotamiento de humedad en el perfil del suelo varió entre 8% a 95% durante la época seca, siendo mayor el agotamiento a partir de los 90 días después de la siembra. En este tratamiento el comportamiento en el agotamiento de la humedad disponible en todo el perfil fue similar al T1 (testigo) ya que después de los 90 días, se observa como el cultivo agota la humedad en los estratos inferiores, teniendo que elongar aún más su sistema radicular.

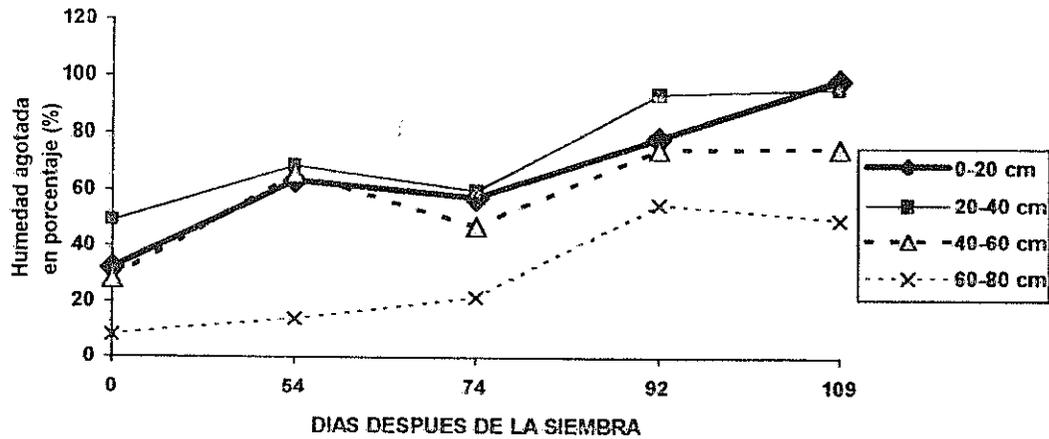


Figura 8. Agotamiento de la humedad por estratos del T2 K=0.3

7.6.3 Porcentaje de agotamiento de humedad del suelo por estratos, para el T3 (K=0.5)

En la figura 9 se presenta el comportamiento de la humedad del suelo del T3 (K=0.5) durante la época seca, donde se observa que el grado de agotamiento de humedad del suelo es más estable en todo el periodo estudiado lo que nos indica que el abastecimiento de agua para cubrir las demandas del cultivo fue más oportuno variando el porcentaje de agotamiento entre 0% a 85%, observándose al principio una saturación del suelo en el estrato inferior. Al comparar este grado de agotamiento de humedad del suelo con la tasa de evapotranspiración real se observa que esta no fue afectada durante el periodo estudiado, manteniéndose más constante. En este tratamiento se observa un desarrollo radicular medio en todo el perfil del suelo.

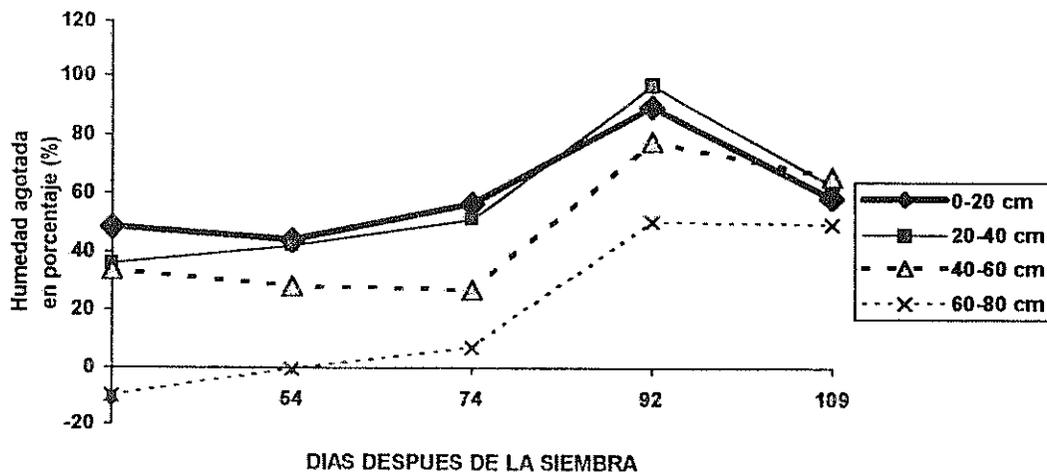


Figura 9. Agotamiento de la humedad por estratos del T3=0.5

En la figura se muestra que el mayor consumo de agua se presenta en el periodo después de los 75 días después de la siembra, observándose un incremento en el agotamiento de la humedad disponible del perfil del suelo.

7.6.4 Porcentaje de agotamiento de humedad del suelo por estratos, para el T4 (riego semanal)

En la figura 10 se presenta el comportamiento de la humedad del suelo del T4 (riego semanal) durante la época seca. En el caso del T4 (riego semanal) se observa que el grado de agotamiento de humedad del suelo fue entre 0 a 40% en el estrato de 20-40 cm., lo que indica que en este tratamiento el cultivo no tuvo agotamiento de la humedad del suelo que pudiera afectar su crecimiento y evapotranspiración. También se observa que a los 40 cm de profundidad se encontró saturado el suelo. Al comparar el grado de agotamiento de humedad del suelo con la evapotranspiración se observa que la tasa de evapotranspiración no fue afectada, sin presentar ningún estrés por falta de humedad en el suelo.

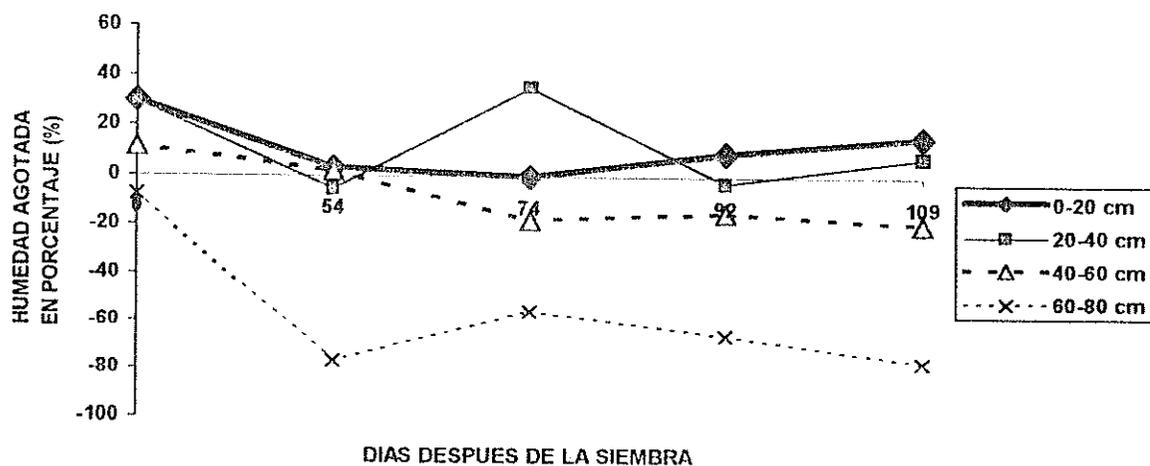


Figura 10. Agotamiento de la humedad por estratos en T4 (riego semanal).

7.6.5 Respuesta a la humedad del suelo:

Según Kramer (23), un exceso o una deficiencia de agua del suelo limita el crecimiento y el funcionamiento de la raíz. Cuando el suelo se encuentra saturado de humedad, desplaza al aire del espacio poroso no-capilar y produce una deficiencia de oxígeno que provoca la muerte de muchas raíces, no facilitando el desarrollo de raíces a estratos inferiores ya que la planta encuentra la humedad en los estratos superiores. Una deficiencia hídrica interrumpe el crecimiento de la raíz, y probablemente hay poco crecimiento de las raíces. Sin embargo Kramer, menciona que se ha encontrado que el crecimiento de la raíz es independiente en cada estrato del suelo, encontrando que el crecimiento de las raíces en los estratos

superiores era reducido, el crecimiento de la raíz en la capa más baja y húmeda del suelo no se había reducido nada. Esto nos explica la respuesta del T1 (testigo) en cuanto a la profundidad de absorción de humedad por parte de las raíces, es decir las raíces tuvieron un desarrollo mayor buscando la humedad disponible en los estratos inferiores que aquellos tratamientos que tuvieron humedad disponible a poca profundidad. Cuando la planta es sometida a grave sequía no recupera su capacidad plena para absorber agua durante varios días después de que haya vuelto a mojarse el suelo. Todo esto hace que el desarrollo de un cultivo que estuvo bajo cierto estrés hídrico, luego en la época lluviosa, hace que tenga un mayor desarrollo. Esto es lo que se manifiesta en la variable respuesta de crecimiento. (23)

7.7 Variables respuesta:

7.7.1 Crecimiento:

En el cuadro 12 se presenta los resultados de crecimiento a la última lígula visible a diferentes edades del cultivo, así como los resúmenes de los análisis de varianza.

Cuadro 12. Media del crecimiento a la última lígula visible en centímetros y ANDEVA.

DDS	T1 TESTIGO	T2 K=0.3	T3 K=0.5	T4= riego semanal	Relleno fuera lisim.	Probabilidad de significancia	C.V. %
30	8.12	9.04	9.4	9.02	...	(0.36) N.S.	12.69
45	11.56	13.58	13.36	12.86	...	(0.46) N.S.	16.64
60	15.19	17.04	18.94	19.26	...	(0.15) N.S.	16.68
75	27.8 (b)	31.87 (ab)	34.37 (a)	33.8 (ab)	40.6	(0.036) *	10.49
90	40.86 (b)	47.54(ab)	59.52(a)	62.66 (a)	74.76	(0.004) **	15.27
102	62.84 (b)	69.18 (b)	86.6 (a)	98.62 (a)	114.48	(0.0002) **	11.43
109	65.58 (b)	75.38 (b)	105.58(a)	116.5 (a)	135.28	(0.0001) **	8.72
116	87.14 (b)	90.88 (b)	123.16 (a)	129.54 (a)	143.68	(0.0001) **	8.54
137	147.66 (c)	150.6 (bc)	169.8 (ab)	174.88 (a)	189.28	(0.0058) **	6.84
153	185.7 (c)	189.5 (bc)	206.48(ab)	213.36 (a)	223.72	(0.0033) **	5.25
284	300.4	312.2	321.2	323	329	(0.15) N.S.	5.11

DDS: días después de la siembra

C.V.: coeficiente de variación en porcentaje

Como referencia únicamente (no se incluye en ANDEVA) se tomó lectura de crecimiento, población y algunas variables de cosecha en el relleno (área fuera del lisímetro), tomando para crecimiento 5 tallos en 5 diferentes puntos (total 25 tallos) y población en 3 metros lineales en esos mismos 5 diferentes puntos. Se puede observar que el crecimiento no es significativo abajo de los 75 días después de la siembra, pero a partir de esta edad el crecimiento se hace significativo al 3.6%. A partir de los 90 días después de la siembra ya se presenta diferencia altamente significativa entre tratamientos, siendo no significativo a la cosecha.

En la figura 11 se presenta las curvas de crecimiento durante el ciclo total. Se puede observar que las curvas de crecimiento se separan a partir de los 75 días después de la siembra, manteniéndose así hasta la cosecha. Además se observa que el T1 (testigo) a los 60 días después de la siembra no detuvo su crecimiento

por presentarse en esa edad dos días de lluvia con 63.6 mm de lluvia efectiva, equivalente a la aplicación de un riego. La disminución en la tasa de evapotranspiración a partir de los 75 días después de la siembra, afectó el crecimiento del T1(testigo) y T2 ($K=0.3$), todo esto esta relacionado con la disponibilidad de humedad en el perfil del suelo.

Al observar la figura 12 de diferencia en altura de cada tratamiento respecto al testigo, a los 75 días después de la siembra la diferencia para el T3 ($K=0.5$) fue de 6.57 centímetros .luego a los 109 días después de la siembra se alcanzó una diferencia en altura máxima de 50.92 centímetros. para el T4 (riego semanal), esta diferencia disminuyó notablemente a la cosecha (284 días después de la siembra) hasta un valor de 28.6 centímetros. También se observa la rápida recuperación del T1 (testigo) al inicio de la época lluviosa, es decir luego de los 109 días después de la siembra.

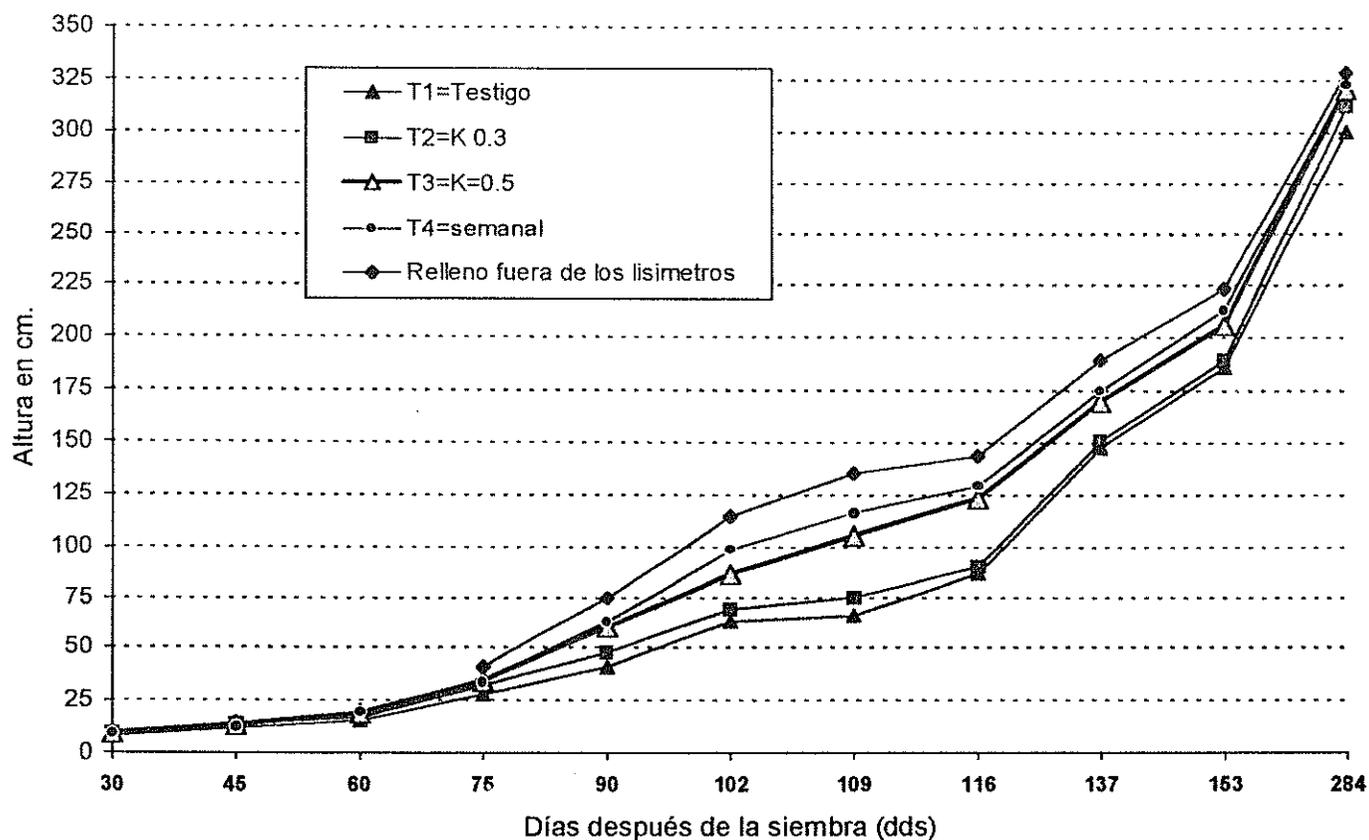


Figura 11. Crecimiento a la última lígula visible.

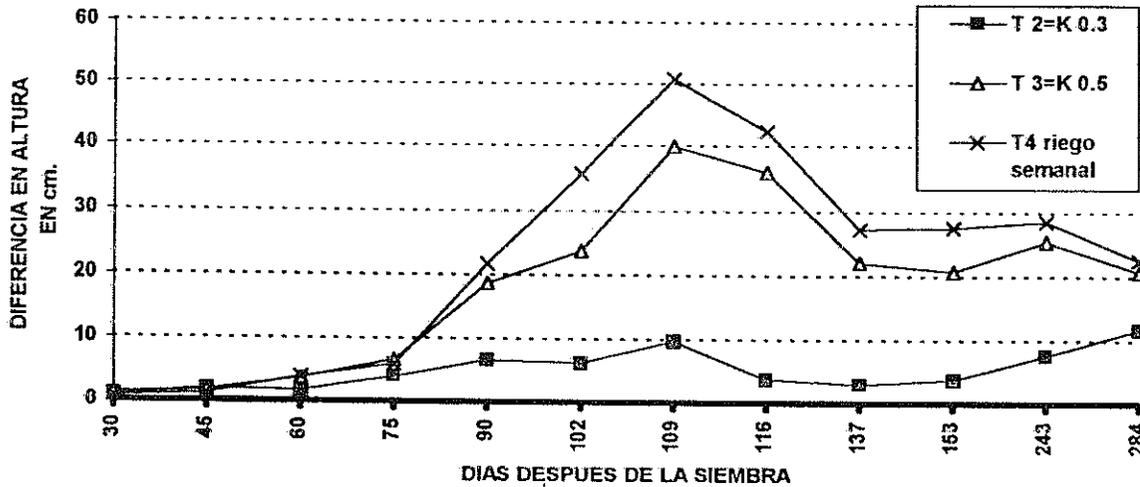


Figura 12. Diferencia en altura de cada tratamiento respecto al T1 (Testigo)

7.7.2 Tasa de crecimiento:

En la figura 13; se puede observar que durante los primeros 75 días después de la siembra la tasa de crecimiento por día es bajo (< 1 cm/día). A partir de los 75 días después de la siembra se inicia la diferenciación de la tasa de crecimiento para cada tratamiento, alcanzando una tasa de crecimiento máximo de 3 cm/día, luego decrece manteniéndose entre 1.5 a 3 cm/día. Se puede ver que en el caso del T1 (testigo) y T2 ($K=0.3$) la tasa de crecimiento durante los 102 a 109 días después de la siembra bajó drásticamente, debido a que la época seca abarcó hasta los 109 días después de la siembra (28 de mayo), agotándose la mayor parte de agua disponible en el suelo para estos dos tratamientos. Luego de este período se establecieron las lluvias, período en que se presentó un rápido incremento en la tasa de crecimiento de los tratamientos T1 (testigo) y T2 ($K=0.3$), llegando a ser mayor que la de los tratamientos que estuvieron bajo condiciones de buena humedad en el suelo durante la época seca.

Se puede ver también que el T3 ($K=0.5$) mantuvo constante su tasa de crecimiento. En el relleno a los 109 días después de la siembra cuando dio inicio la época lluviosa (con un viento fuerte), se dio un agobio de la caña, debido a la mayor altura de caña; provocando un descenso en la tasa de crecimiento. El periodo de macollamiento abarcó hasta los 75 días después de la siembra, posterior a esta edad se dio el periodo de elongación en los tratamientos sin déficit de agua.

Puede observarse que a partir de los 137 días después de la siembra la tasa de crecimiento de los tratamientos tiende a ser similar, decreciendo nuevamente de los 153 días después de la siembra, ya entrando a la fase de maduración hasta la cosecha.

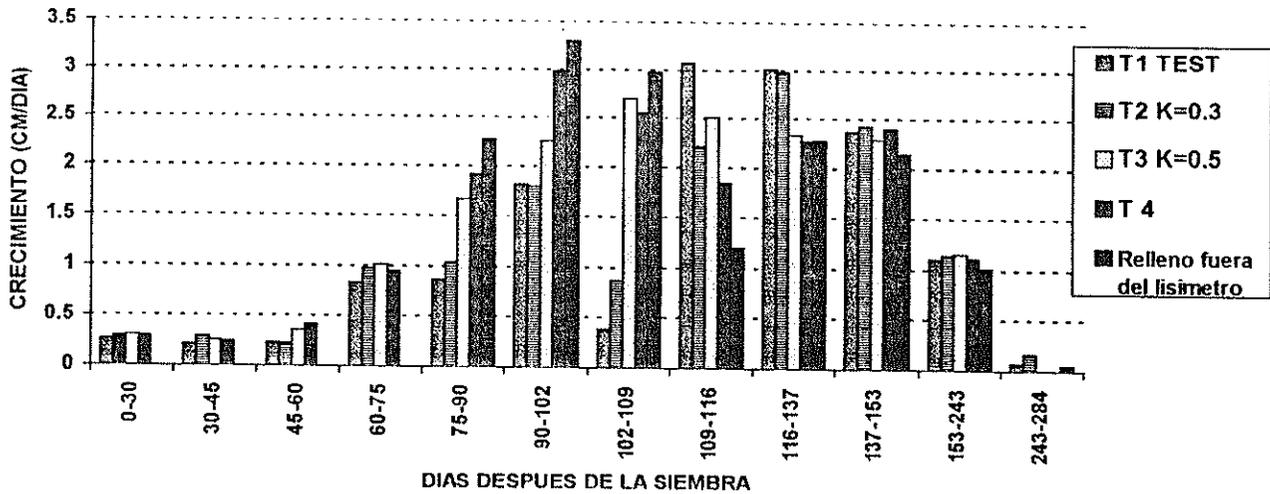


Figura 13. Tasa de crecimiento de los tratamientos.

El riego incrementó el crecimiento aunque no existió diferencia estadística entre tratamientos al punto de quiebre al momento de la cosecha. Sin embargo, a los 8 meses se mantiene aún la diferencia en el crecimiento a la última lígula visible.

En la figura 14 se presenta la curva de crecimiento del T4 (riego semanal), sin déficit de humedad en el suelo. La derivada de la ecuación de curva de crecimiento sin déficit de humedad en el suelo nos permite encontrar una ecuación de la tasa de crecimiento en función de la edad; es decir si quisiéramos saber aproximadamente la altura de los tallos a determinada edad bajo las condiciones en que se realizó el ensayo se sustituye la edad en la ecuación y dará por resultado la variable deseada cuando el cultivo no ha tenido ningún déficit de humedad (T4= riego semanal). La ecuación es la siguiente:

$$Y = 12 \times 10^{-7} X^3 - 0.0006 \times 10^2 X^2 + 0.1088 X - 3.2185$$

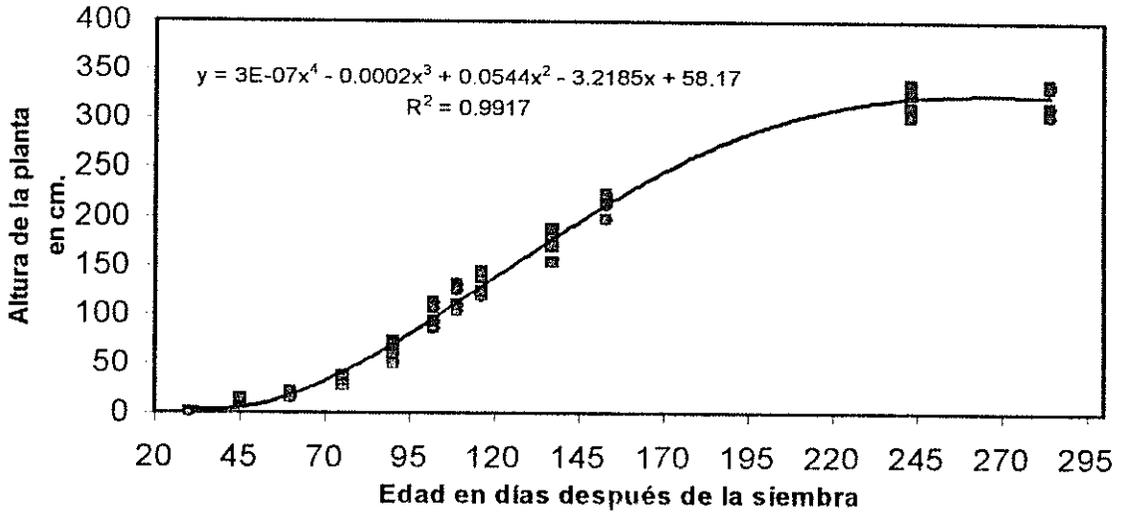


Fig. 14 Curva de crecimiento del T4 de riego semanal.

7.7.3 Población:

En el cuadro 13 se presenta los resultados obtenidos de población en los distintos tratamientos, así como los resúmenes de los análisis de varianza solo para los tratamientos :

Cuadro 13. Media del número de tallos por 3 metros lineales (por lisímetro) y ANDEVA.

DDS	T1 TESTIGO	T2 K=0.3	T3 K=0.5	T4 Semanal	RELLENO	Prob. de significancia	C.V. %
60	45	47	49	40	...	(0.74) N.S.	30.17
90	64.2	65.6	67.4	57.6	...	(0.21) N.S.	11.43
116	58	61.8	62.2	53.8	50	(0.34) N.S.	13.52
137	47	50.6	47.2	42.8	42.8	(0.35) N.S.	14.01
153	29	30.5	31.6	31.2	31	(0.36) N.S.	13.31
284	25.2	27.2	29.6	29.2	...	(0.28) N.S.	13.63

DDS: días después de la siembra

C.V.: coeficiente de variación en porcentaje

N.S.: no significativo

A los 60 días después de la siembra la población en el T4 (riego semanal) fue más baja que el resto de tratamientos, pudiendo ser el resultado de la gran cantidad de agua que el tratamiento había recibido a esa edad (394 mm); y probablemente a que la semilla fue más enterrada al realizar los riegos semanales. Sin embargo, posterior a los 153 días después de la siembra la población fue similar en todos los tratamientos.

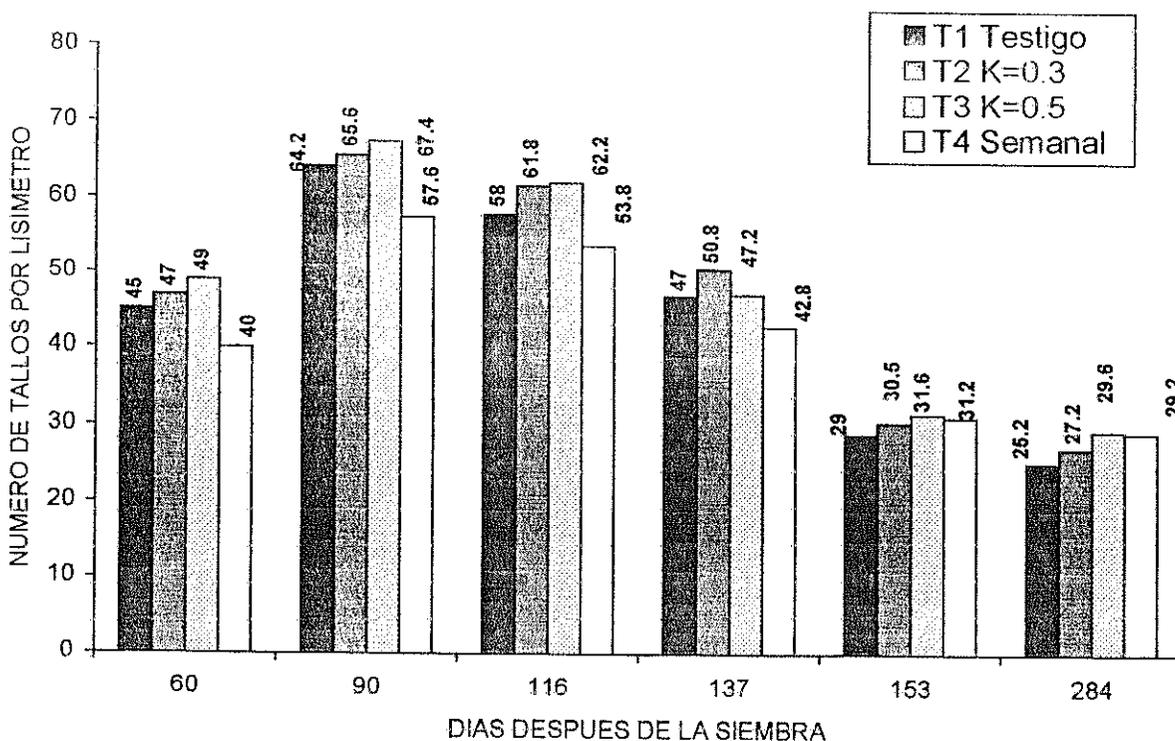


Figura 15. Población por lisímetro de los tratamientos de riego.

Se observa que en la población no hay diferencia significativa entre tratamientos. La máxima población se alcanzó a los 90 días después de la siembra, luego de este período empezó su descenso natural, debido al proceso de competencia por espacio, nutrientes, luz etc., alcanzando a la cosecha un máximo de 29.6 tallos por lisímetro para el T3 (K=0.5) y un mínimo de 25.2 tallos para el T1 (testigo), no siendo significativo estadísticamente.

7.7.4 Longitud del entrenudo según su posición en el tallo:

Como se puede observar en la figura 16, la longitud de los entrenudos fue variable según su posición en el tallo para todos los tratamientos, obteniéndose diferencia no significativa. Los entrenudos más largos se encontraron entre el 2do. al 10mo. entrenudos; ya que estos son los que tuvieron mayor tiempo para su mejor desarrollo; luego la longitud de los entrenudos fue menor a una mayor altura. Para esta variable se tomaron 5 tallos por lisímetro (cuadro 14).

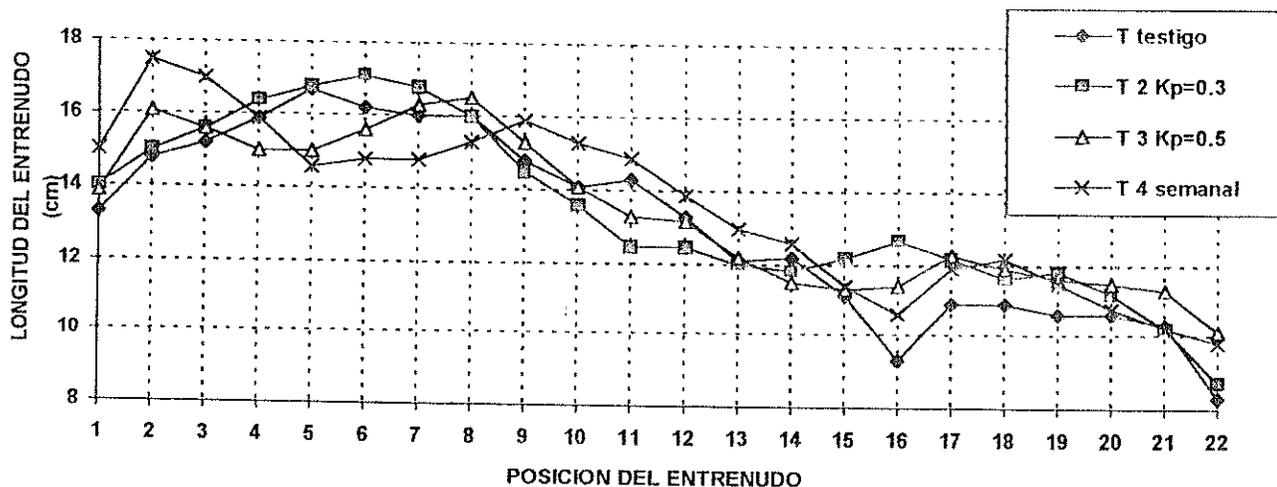


Figura 16. Longitud del nudo y su posición en el tallo de los cada tratamiento.

A continuación se presenta en el cuadro 14 un resumen de datos a la cosecha con su respectivo análisis de varianza.

7.7.5 Número de entrenudos por tallo:

Para esta variable no se obtuvo respuesta estadística significativa, sin embargo el T3 (K=0.5) presentó 23.2 entrenudos por tallo en promedio, habiéndose tomado 5 tallos por lisímetro (Cuadro 14).

7.7.6 Diámetro y longitud del entrenudo central:

En estas dos variables se obtuvo una respuesta estadística significativa siendo el T4 (riego semanal) el de mayor diámetro con un promedio de 2.58 centímetros y el menor T1 (testigo) con 2.42 centímetros, el

T2 (K=0.3) y T3 (K=0.5) son estadísticamente iguales. En cuanto a la longitud el T1 (testigo) es el mayor con 15.02 centímetros, siendo T3 (K=0.5) el menor con 13.16 centímetros, habiendo tomado 10 tallos por lisímetro (Cuadro 14).

Cuadro 14. Resumen final de datos de Cosecha.

VARIABLE	T1 TESTIGO	T 2 K=0.3	T 3 K=0.5	T 4 Semanal	RELLENO (fuera del lisímetro) (*)	Probabilidad de significancia	C.V. %
-Altura en centímetros	300.4	312.2	321.2	323		(0.15) N.S.	5.11
-Población (número tallos por lisímetro)	25.2	27.2	29.6	29.2		(0.28) N.S.	13.63
-Longitud media de los entrenudos del tallo en (cm)	13.59	13.34	13.31	13.51	13.6	(0.51) N.S.	2.51
-Número de entrenudos por tallo	21.32	22.52	23.2	22.6	22.8	(0.07) N.S.	5.54
- Diámetro del nudo medio en centímetros.	2.42 (b)	2.49 (ab)	2.46 (ab)	2.58 (a)	2.37	(0.02) *	3.03
- Longitud del entrenudo medio en centímetros.	15.02 (a)	13.28 (b)	13.16 (b)	14.01 (ab)	14.26	(0.01) **	5.74
- Peso de 10 tallos en kilogramos	15.81 (b)	16.68 (ab)	17.54 (ab)	18.36 (a)	15.68	(0.01) **	6.39
- Peso por lisímetro en kilogramos	35.81	39.32	47.91	46.45		(0.061) N.S.	16.9
Rendimiento en tonelada métrica de caña por hectárea	79.59	87.37	106.45	103.22		(0.62) N.S.	3.80
- Rendimiento teórico en kilogramos de azúcar por tonelada de caña.	105.45	106.05	108.64	106.9	103.38	(0.62) N.S.	3.68

C.V.: coeficiente de variación en porcentaje

N.S.: no significativo

(*) El relleno se tomó únicamente como referencia.

* Significativo

7.7.7 Producción:

En la variable peso por lisímetro en libras y en toneladas de caña por hectárea se obtuvo una respuesta no significativa. Sin embargo, se obtuvo una diferencia en tonelaje de 26.86 toneladas métricas de caña por hectárea entre el T1 (testigo) y el T3 (K=0.5) que fueron los que presentaron el menor y el mayor rendimiento, respectivamente. Con respecto al rendimiento teórico en kilogramos de azúcar por tonelada de caña, no hubo diferencia significativa, encontrándose una diferencia de 3.19 kilogramos de azúcar por tonelada métrica de caña entre el T1 (testigo) y el T3 (K=0.5), que también fueron los que tuvieron el menor y mayor rendimiento respectivamente, (cuadro 14). Finalmente en el peso en kilogramos de 10 tallos presentaron una diferencia altamente significativa siendo los de mayor peso el T4 (riego semanal) con 18.36 kilogramos y el menor el T1 (testigo) con 15.81 kilogramos.

En la figura 17 se observa el comportamiento de peso promedio por lisímetro en kilogramos durante la cosecha y su evapotranspiración para cada tratamiento hasta los 109 días después de la siembra (época seca), en donde se observa que la producción del T4 (riego semanal) desciende con mayores consumos de agua durante la época seca, es decir que a medida que el cultivo tenga un exceso de humedad descenderá el rendimiento, presentando el mayor rendimiento el T3 ($K=0.5$). Al realizar un análisis económico, el óptimo físico y el óptimo económico se alcanza con el T3 ($K=0.5$) con cinco riegos.

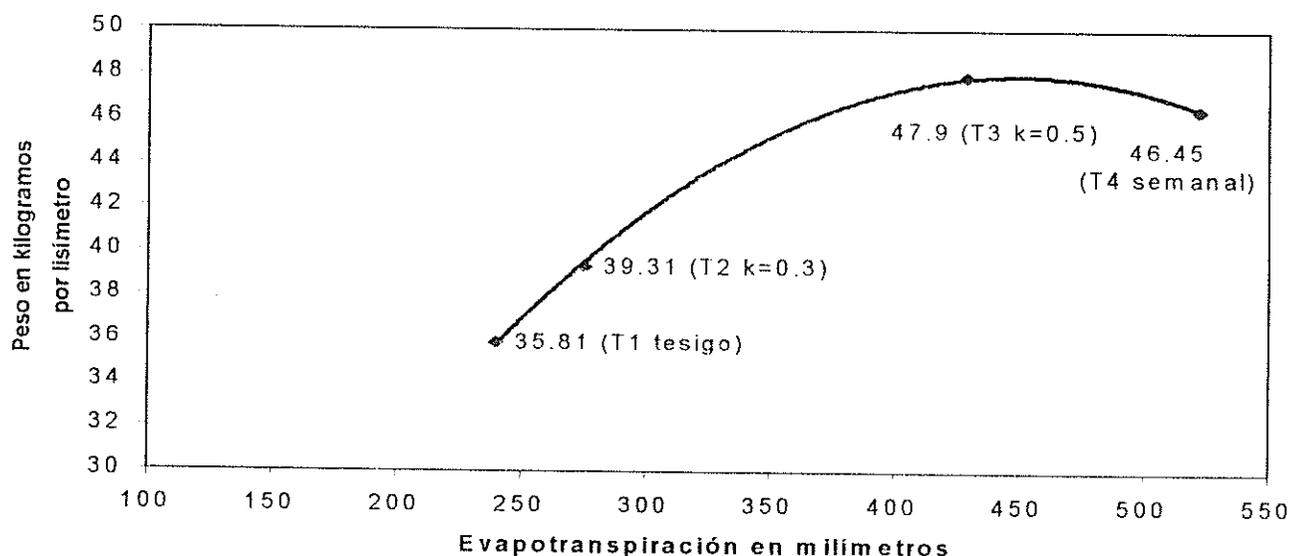


Fig. 17 Efecto de la evapotranspiración sobre el peso en kilogramos por lisímetro.

Podemos inferir sobre la base de los resultados encontrados de evapotranspiración y desarrollo del cultivo que hasta los 75 días después de la siembra el desarrollo del cultivo fue el mismo estadísticamente en todos los tratamientos, mientras que la tasa de evapotranspiración fue variable para cada tratamiento, es decir se presentó un desarrollo similar durante la fase de macollamiento, lo que indica que antes de los 75 días después de la siembra (etapa de macollamiento) el cultivo respondió igual en crecimiento y población a los diferentes contenidos de humedad en el suelo.

Basados en el desarrollo del cultivo (altura y población) durante el período seco y la producción final obtenida se puede considerar como base los siguientes factores K_c del cultivo y factor K del tanque para programación de riegos. Entre los 0 a 54 días un K_c de 0.48 y un K de 0.32, para los 54 a 74 días un K_c de 0.62 y un K de 0.46, para los 74 a 92 días un K_c de 1.01 y un K de 0.62 y finalmente para los 92 a 109 días después de la siembra un K_c de 1.08 y un K de 0.79.

En el T1 (testigo) el agotamiento de la humedad disponible del suelo fue cercano al 100%, principalmente después de los 92 días de la siembra afectando directamente el crecimiento, observándose que es mayor el agotamiento de la humedad entre los 90 a 109 días después de la siembra. Posteriormente se

presenta un incremento mayor en el crecimiento del T1 (testigo) que los demás tratamientos (T3 K=0.5 y T4= riego semanal) durante el inicio de la época lluviosa, siendo similar para el T2 (K=0.3).

Al comparar el grado de agotamiento de humedad del suelo del T3 (K=0.5) con el crecimiento y la tasa de evapotranspiración real se observa que estos no fueron afectados durante el periodo estudiado, manteniéndose en los niveles adecuados.

En el T4 (riego semanal) al comparar el grado de agotamiento de humedad del suelo con el crecimiento y la tasa de evapotranspiración real se observa que estos no fueron afectados durante el periodo estudiado, manteniéndose constantemente en incremento. Se puede observar que aunque la humedad del suelo sea óptima no se incrementa la tasa de crecimiento antes de los 75 días después de la siembra. Sin embargo, seguramente la tasa de evaporación del agua de la superficie del suelo fue mayor (consumo de lujo) ó considerable con relación al de los tratamientos restantes.

Al momento de la cosecha podemos decir que el riego no afectó la altura al punto de quiebre, el número de entrenudos por tallo, la longitud media de los entrenudos del tallo, la población, el peso total en kilogramos por lisímetro, el rendimiento en toneladas métricas de caña por hectárea y en kilogramos de azúcar por tonelada métrica de caña. Sin embargo se alcanzó un incremento de peso de 26.86 toneladas métricas de caña por hectárea y de 3.19 kilogramos de azúcar por tonelada métrica de caña entre el T1(testigo) y T3 (K=0.5).

Se encontró que al someter el cultivo a un estrés hídrico en la época seca, incrementó la longitud del entrenudo medio a la cosecha (T1 testigo), mientras que el tener el cultivo con un adecuado nivel de humedad incrementó el diámetro del nudo medio y el peso de 10 tallos, observándose un comportamiento de crecimiento normal durante todo el ciclo.

El incremento en peso de los tratamientos regados pudo haberlo definido el diámetro de la caña y el efecto combinado de las diferencias en población y altura de plantas.

8. CONCLUSIONES

1. Las etapas de establecimiento y macollamiento bajo las condiciones en que se realizó el ensayo y de buena humedad en el suelo abarca de los 0 a 75 días después de la siembra, iniciándose aproximadamente a partir de los 75 días después de la siembra la etapa de elongación rápido crecimiento.
2. La evapotranspiración máxima determinada para las condiciones en que se realizó el ensayo fue de 4.32 mm/día entre los 0 a 54 días después de la siembra con un "K" del tanque de 0.7, 4.93 mm/día entre los 54 a 74 días después de la siembra con un "K" de 0.87, 5.95 mm/día entre los 74-92 días después de la siembra con un "K" de 0.89, y 5.19 mm/día para el periodo entre los 92 a 109 días después de la siembra con un "K" de 0.8 .
3. Los valores de Evapotranspiración real (Eta) determinados, fueron un mínimo de 2.01 mm/día para el T1 (Testigo) entre los 0 a 74 días después de la siembra y un máximo de 5.95 mm/día para el T4 (riego semanal) entre los 74 a 109 días después de la siembra. Variaciones en el nivel de evapotranspiración real no afectaron el desarrollo del cultivo hasta los 75 días después de la siembra, pero sí después de esta edad (etapa inicial de rápido crecimiento).
4. Las diferentes programaciones de riego bajo las condiciones en que se realizó el experimento, afectaron el desarrollo del cultivo a partir de los 75 días después de la siembra presentando efecto significativo principalmente en el crecimiento, iniciándose la etapa de elongación en un mayor o menor tiempo después de la siembra, dependiendo del nivel de humedad del suelo. Este efecto no fue significativo sobre la población en ningún momento del ciclo.
5. Las diferentes programaciones de riego bajo las condiciones en que se realizó el experimento, presentaron un efecto significativo sobre las siguientes variables a la cosecha: peso de 10 tallos, el diámetro del nudo medio y la longitud del entrenudo medio. No fueron significativos la altura al punto de quiebre a la cosecha, el número de entrenudos por tallo, la longitud media de todos los entrenudos del tallo, la población por lisímetro, el rendimiento en Toneladas métricas de caña por hectárea y rendimiento teórico en kilogramos de azúcar por tonelada métrica de caña.
6. Existe una recuperación del testigo durante la época lluviosa, luego de un cierto nivel de estrés hídrico durante la época seca.

9. RECOMENDACIONES

- Continuar con este experimento durante la primera soca de la caña de azúcar, para enriquecer las investigaciones básicas del área de riego.
- Desarrollar un mejor control de la humedad del suelo con aparatos especiales como la sonda de neutrones para obtener lecturas de la humedad del suelo más directas.
- Realizar trabajos similares en diferentes tipos de suelo (series), regiones (baja, media y alta cañeras) y variedades de caña de azúcar cultivadas en Guatemala.
- Realizar estudios sobre el aporte del nivel freático alto sobre los niveles de Evapotranspiración real del cultivo.
- Utilizar el nivel de evapotranspiración real determinado y humedad del suelo que tuvo el T1 (testigo) durante los primeros 75 días después de la siembra, luego utilizar el del T3 ($K=0.5$) como base para realizar los riegos sin afectar la mayor producción.

10. BIBLIOGRAFIA

1. AGUILERA, C. M.; MARTINEZ, R. 1980. Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera. México, ed. Periódicos Libros y Revistas. 260 p.
2. CAMPBELL, R. B. 1957. Evapotranspiration of sugar cane in Hawaii as measured by in-field lysimeters in relation to climate. Honolulu, Hawaii, Hawaiian Sugar Planters' Association, Experiment station. Paper no. 65. p. 639
3. CENTRO GUATEMALTECO DE INVESTIGACION Y CAPACITACION DE LA CAÑA DE AZUCAR. Estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. 2 ed. Guatemala, Ingeniería del Campo. 216 p.
4. _____. 1997. Presentación de resultados de zafra 1996/1997; Memoria de resultados. Escuintla, Guatemala. 70 p.
5. CLEMENTS, H.F. 1985 El cultivo de la caña de azúcar de Hawaii. Venezuela, Estación Experimental de Occidente. Boletín Técnico no. 64. 60 p.

Citado por: PEREZ, M. 1996. Requerimiento de riego de la caña de azúcar durante la fase de macollamiento en plantilla, bajo las condiciones del municipio de Tiquisate, Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 69 p.
6. CONTROL DE necesidades hídricas. Evapotranspiración. 1997. España. 3 p.
http://par.cebas.csic.es/Fichas/3_1.htm.
7. CROPWAT, A. 1992. Computer program for irrigation planning and mangement; irrigation and drainage. Ed. by M. Smith. . Rome, Italy, FAO. no. 46. 126 p.
8. CRUZ, J.R. DE LA. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
9. DOORENBOS, J. 1977. Las necesidades de agua de Los cultivos. Roma, Italia, FAO. Estudio FAO Riego y Drenaje. FAO Publicación no. 24. 194 p.
10. FAJARDO, J. 1993. Diagnóstico general de la finca Puyumate del Ingenio Tierra Buena Nueva Concepción Escuintla. EPS. Diagnóstico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 46 p.
11. FERNANDEZ, B.; FILHO, J.A. 1982. Determinación de la evapotranspiración real del cultivo de la caña de azúcar en la microregión de Brejo Paraibo. Agropecuaria Técnica (Bra.). 3(1/2):11-23
12. FOGLIATA, F. 1972. Influencia de diferentes niveles de humedad disponibles sobre el crecimiento y producción de la caña de azúcar. Rev. Tucuman 49(1): 39-56.

Citado por: FONSECA, J.; GARCIA, S. 1987. Necesidades de agua de la caña de azúcar para diferentes épocas de plantación y corte en el occidente de Cuba. In Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (2.,1987, Cali, Col.). Memorias. ed. Carlos Buenaventura. Cali, Colombia, CENICAÑA. Tomo 2, p. 363-369

13. FONSECA, J.; GARCIA, S. 1987. Necesidades de agua de la caña de azúcar para diferentes épocas de plantación y corte en el occidente de Cuba. In Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (2., 1987, Cali, Col.). Memorias. ed. Carlos Buenaventura. Cali, Colombia, CENGICANA. Tomo 2, p. 363-369
14. GOMEZ, J. 1997. Efecto de tres láminas de riego sobre el establecimiento-macollamiento y producción de la caña de azúcar, bajo las condiciones de suelo arcilloso en Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 75 p.
15. GUARDIOLA, M. 1970. Curso sobre riego y drenaje en caña de azúcar. Bol. Tec. Instituto Colombiano Agrícola 12:4-6.
16. GUATEMALA. BANCO DE GUATEMALA. 1995. Estadísticas de producción, exportación y precios de los principales productos agrícolas. Guatemala. p. 11
17. GUZMAN, V. 1997. Efecto de tres frecuencias de riego aplicados durante la etapa de macollamiento de la caña de azúcar, bajo las condiciones de la Gomera Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 76 p.
18. HERRERA IBAÑEZ, I. 1995. Manual de hidrología. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 223 p.
19. IRUNGARAY, R. 1997. Uso del balance hídrico para la programación de riegos en el cultivo de la caña de azúcar, bajo las condiciones de San Lucas Toliman, Sololá. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 61 p.
20. ISRAELSEN, O. E. ; HANSEN, V. E. 1976. Principios y aplicaciones de riego. Traducido por Alberto García Palacios. Barcelona, España, REVERTE. 276 p
21. JUAREZ, D. 1994. Requerimiento de riego en caña de azúcar en la costa sur de Guatemala. Guatemala, CENGICANA. 40 p.
22. _____. 1996. Requerimientos de riego. Bol. Tec. CENGICANA (Gua) 4(2):32 .
23. KRAMER, P. J. 1974 Relaciones Hídricas de suelo y plantas. Trad. Leonor Tejada. México. McGraw-Hill. 1ra. Ed. 538 p.
24. PEREZ, M. 1996. Requerimiento de riego de la caña de azúcar durante la fase de macollamiento en plantilla, bajo las condiciones del municipio de Tiquisate, Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 69 p.
25. PEREZ, O. et. al. 1995. Estratificación preliminar de la zona de producción de caña de azúcar en Guatemala, con fines de investigación en variedades. Guatemala, CENGICANA. Doc. Técnico no. 3. 38 p.

26. SANDOVAL, J. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Agronomía. 345 p.
27. SEOANE, E. 1979. El riego de la caña. Boletín Técnico ICIA, (Perú) 7(3/4):69.
- Citado por: FONSECA, J.; GARCIA, S. 1987. Necesidades de agua de la caña de azúcar para diferentes épocas de plantación y corte en el occidente de Cuba. In Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (2., 1987, Cali, Col.). Memorias. ed. Carlos Buenaventura. Cali, Colombia, CENICAÑA. Tomo 2, p. 363-369
28. TORRES, J. ; LLANA, S. 1984. El balance hídrico y la programación de los riegos de la caña de azúcar en el Valle del Cauca. Cali, CENICAÑA. Serie Técnica no. 3 28 p.
29. VARON, G. A. et al. 1973. Caña de azúcar. Colombia, Instituto Colombiano Agrícola. 261 p.
30. VILLEGAS, F. 1986. Programación de riegos en caña de azúcar mediante el método del balance hídrico. In Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar, (1986, Cali, Col.). Memorias. ed. Carlos Buenaventura. Cali, Colombia, CENICAÑA. p. 283-297
31. WHITHERS, B.; VIPOND, S. 1978. El riego, diseño y práctica. México, Ed. Diana. 122 p.
32. YANG, S.; TORRES, J. 1984. Estudio preliminar sobre los requerimientos de agua y riego de caña de azúcar en el Valle del Cauca. In Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (1., 1984, Cali, Col.). Memorias. ed. Carlos Buenaventura. Cali, Colombia, CENICAÑA. Tomo I, p.323-335

vº. Bº.

Miriam De La Roca

11. APENDICE

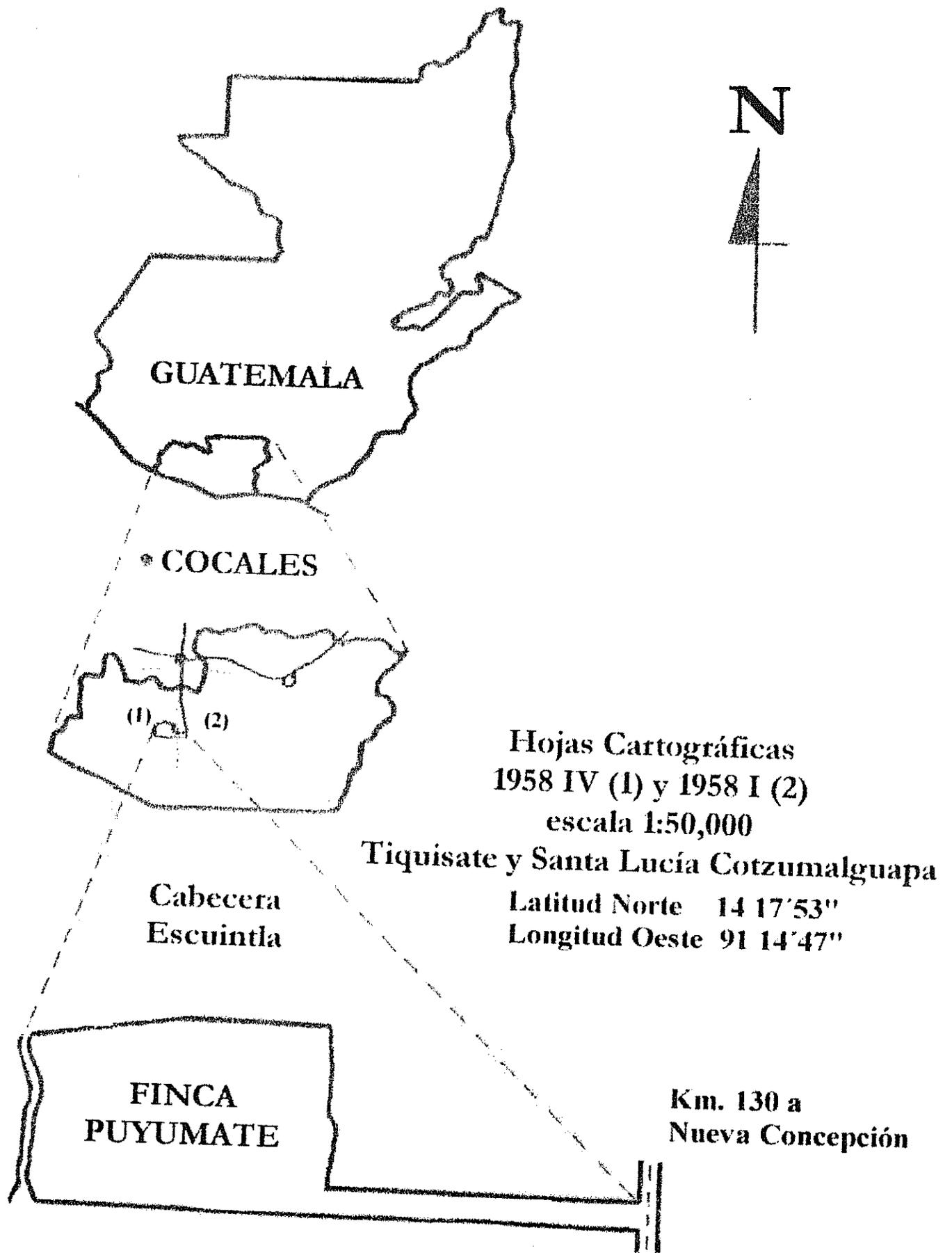


Figura 18.A Localización de la Finca

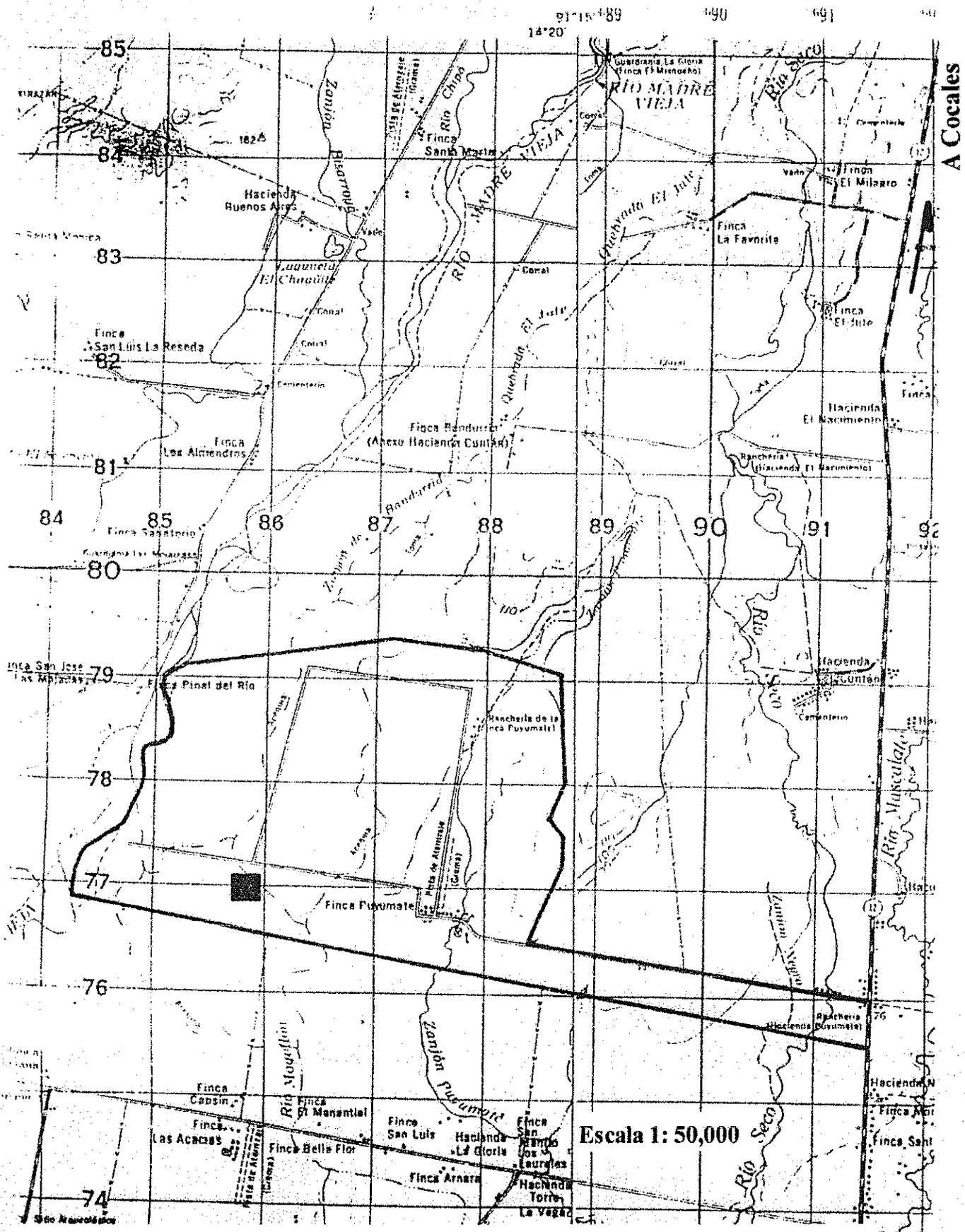
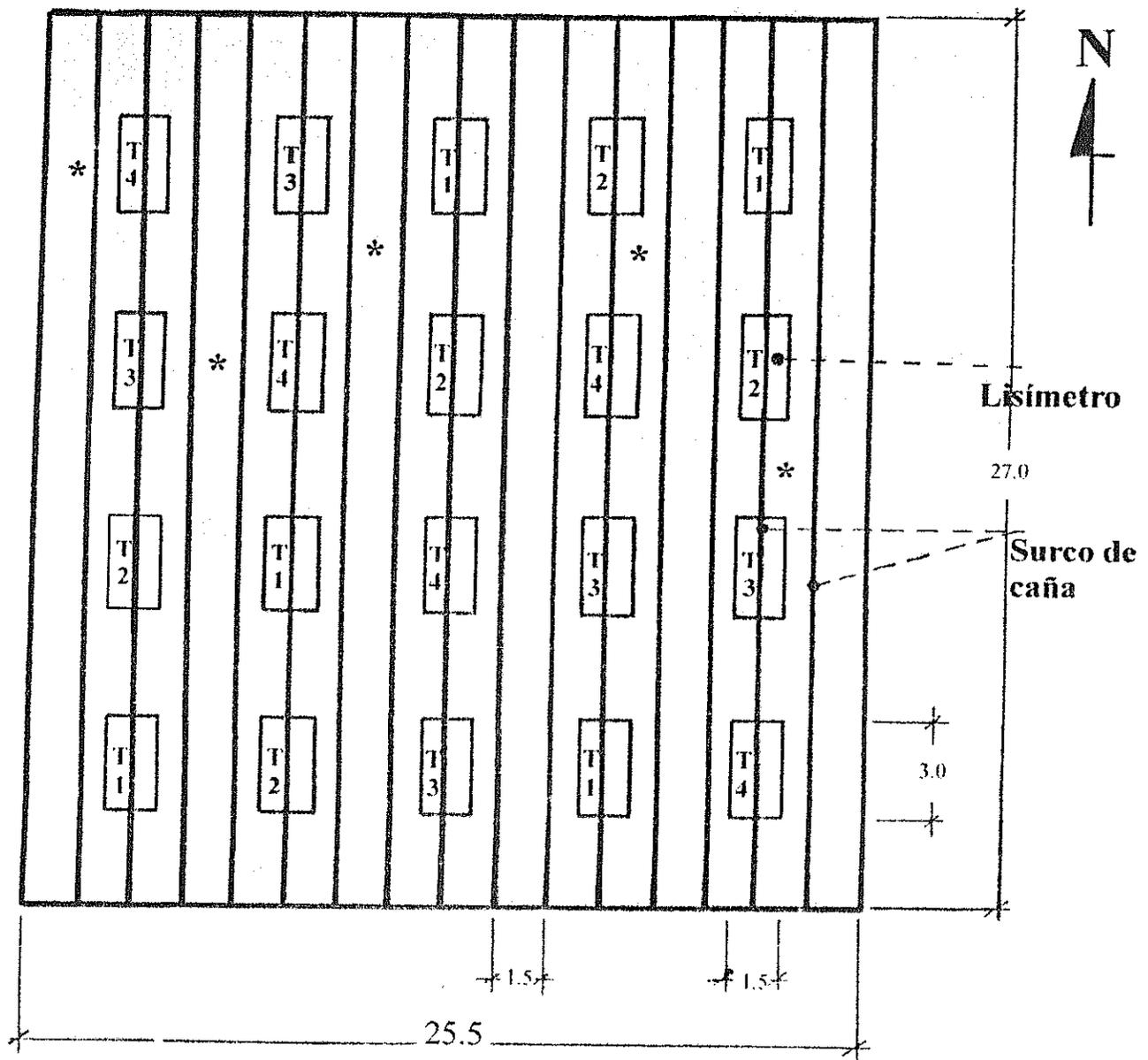


Figura 19.A Localización del área experimental



Tratamientos

Responsable:

- T1 Testigo
- T2: K: 0.3
- T3: K: 0.5
- T4: Riego semanal
- * Relleno (ref.)

Boris E. Sandoval Alarcón
 Fecha: Febrero 1997
 Escala: 1:200 (metros)
 Lugar: Finca Puyumate
 Nueva Concepción Escuintla.

Figura 20.A

Croquis de campo

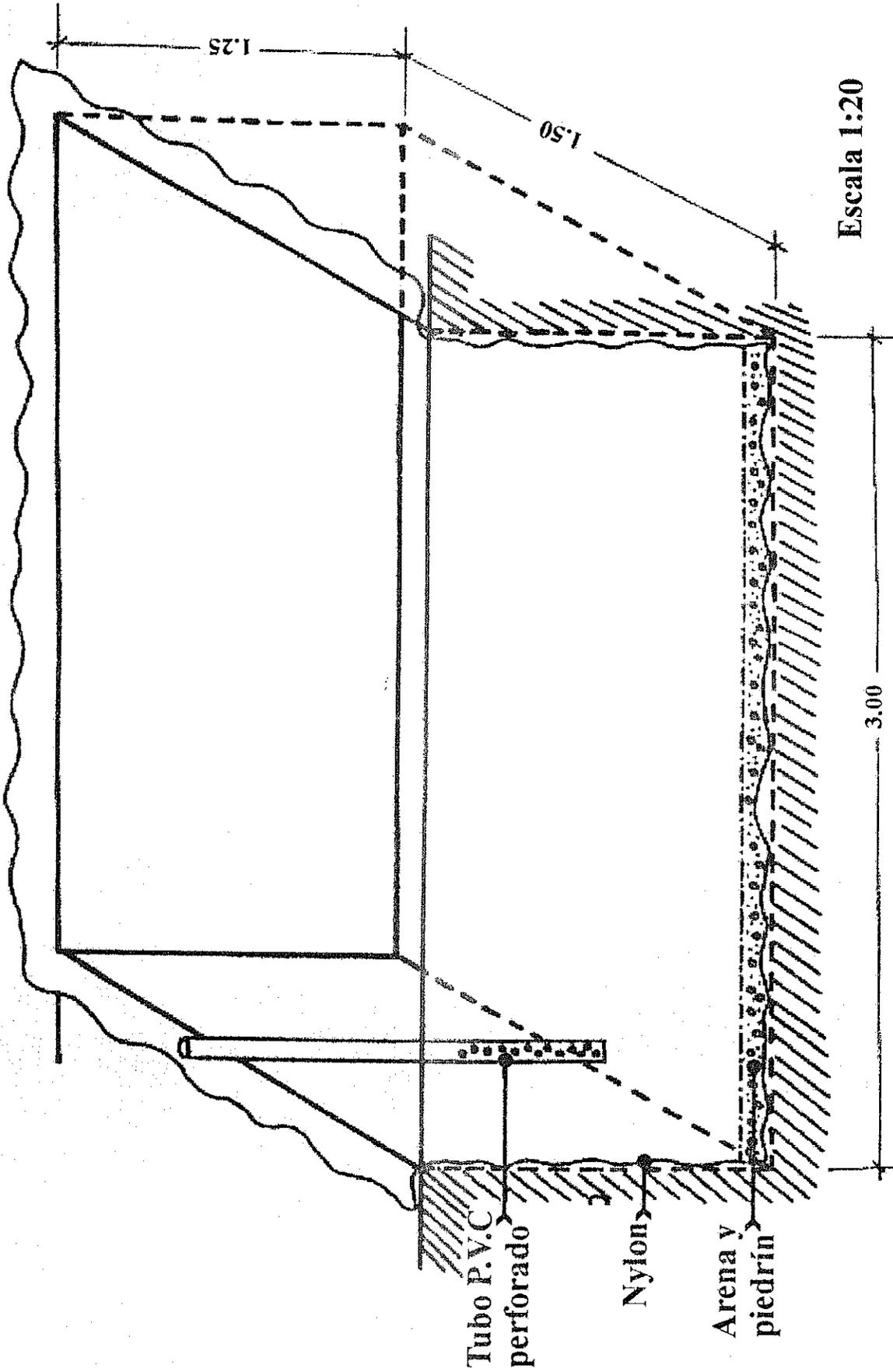


Fig. 21.A Lisímetro de percolación

Cuadro 15.A Fechas y láminas de agua totales recibidas por los tratamientos en época seca.

FECHA	EDAD (DDS)	TRATA- MIENTO	RIEGO (mm)	LLUVIA *(mm)	A C U M U L A D O (mm)			
					T1 testigo	T 2 k=0.3	T 3=0.5	T 4 semanal
9/2	0	1, 2, 3 y 4	20		20	20	20	20
14/2	5	1, 2, 3 y 4	40		60	60	60	60
17/2	8	1, 2, 3 y 4		4.8	64.8	64.8	64.8	64.8
25/2	16	2,3,4	75					
25/2	16	1	20		84.8	139.8	139.8	139.8
5/3	24	4	45					184.8
7/3	26	1, 2, 3 y 4		2.4	87.2	142.2	142.2	187.2
11/3	30	4	45					232.2
18/3	37	4	45					277.2
19/3	38	1, 2, 3 y 4		14.8	102	157	157	292
25/3	44	4	45					337
26/3	45	3	75				232	
2/4	52	4	57					394
11/4	61	1, 2, 3 y 4		22.8	124.8	179.8	254.8	416.8
12/4	62	1, 2, 3 y 4		40.8	165.6	220.6	295.6	457.6
22/4	72	1, 2, 3 y 4		5.44	171.04	226.04	301.04	463.04
23/4	73	4	40					503.04
30/4	80	4	47.5					550.54
5/5	85	1, 2, 3 y 4		4.32	175.36	230.36	305.36	554.86
9/5	89	4	63					617.86
11/5	91	1, 2, 3 y 4		10	185.36	240.36	315.36	627.86
15/5	95	1, 2, 3 y 4		9.2	194.56	249.56	324.56	637.06
18/5	98	3	45				369.56	
22/5	102	4	45					682.06
24/5	104	1, 2, 3 y 4		3.6	198.16	253.16	373.16	685.66
27/5	107	1, 2, 3 y 4		6	204.16	259.16	379.16	691.66
29/5	109	1, 2, 3 y 4		30.4				

* lluvia efectiva (pp x 0.8)

DDS: días después de la siembra

Cuadro 16.A Balance hídrico teórico (lisímetros).

MES: febrero

REP: No. LISIMETRO: IDENTIFICACION: T3 =K:0.5

DIA	Ln	EVAPORACION	EVAPOTRANSPIRACION	RIEGO (mm)	PRECIPITACIÓN	EXCESO	DÉFICIT
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8	siembra						
9		5.9	2.95	20	0	0	0
10	20	6.8	3.4	0	0	0	0
11	16.6	5.5	2.75	0	0	0	0
12	13.85	5.6	2.8	0	0	0	0
13	11.05	7.7	3.85	0	0	0	0
14	40	6.7	3.35	40	0	0	0
15	43.85	6.2	3.1	0	0	0	0
16	40.75	6.3	3.15	0	0	0	0
17	37.6	6.8	3.4	0	4.8	0	0
18	42.4	7.3	3.65	0	0	0	0
19	38.75	6.0	3	0	0	0	0
20	35.75	5.9	2.95	0	0	0	0
21	32.8	6.3	3.15	0	0	0	0
22	29.65	2.4	1.2	0	0	0	0
23	28.45	2.4	1.2	0	0	0	0
24	27.25	7.8	3.9	0	0	0	0
25	19.45	4.7	2.35	75	0	19.45	0
26	72.65	4.7	2.35	0	0	0	0
27	70.3	5	2.5	0	0	0	0
28	67.8	7.7	3.85	0	0	0	0
29							
30							
31							

OBSERVACIONES:

Cuadro 17.A Balance hídrico teórico (lisímetros).

MES: marzo

REP: No. LISIMETRO: IDENTIFICACION: T3=K:0.5

DIA	Ln	EVAPORA CION	EVAPOTRANSPI RACION	RIEGO (mm)	PRECIPI TACIÓN	EXCESO	DÉFICIT
1	63.95	5.3	2.65	0	0	0	0
2	61.3	6.2	3.1	0	0	0	0
3	58.2	5.3	2.65	0	0	0	0
4	55.55	6.6	3.3	0	0	0	0
5	52.25	6.5	3.25	0	0	0	0
6	49	6.57	3.28	0	0	0	0
7	45.72	6.5	3.25	0	2.4	0	0
8	44.87	7.6	3.8	0	0	0	0
9	41.07	6.7	3.35	0	0	0	0
10	37.72	4.2	2.1	0	0	0	0
11	35.62	7	3.5	0	0	0	0
12	32.12	7	3.5	0	0	0	0
13	28.62	5.9	2.95	0	0	0	0
14	25.67	6.4	3.2	0	0	0	0
15	22.47	6	3	0	0	0	0
16	19.47	6.1	3.05	0	0	0	0
17	16.42	7	3.5	0	0	0	0
18	12.92	6.7	3.35	0	0	0	0
19	9.57	6.8	3.4	0	14.8	0	0
20	20.97	6.1	3.05	0	0	0	0
21	17.92	6.4	3.2	0	0	0	0
22	14.72	6.4	3.2	0	0	0	0
23	11.52	6.0	3	0	0	0	0
24	8.25	6.3	3.15	0	0	0	0
25	5.37	4	2	0	0	0	0
26	3.37	7.8	3.9	75	0	0	0
27	74.47	6.0	3	0	0	0	0
28	71.47	6.1	3.05	0	0	0	0
29	68.42	7	3.5	0	0	0	0
30	64.92	6.4	3.2	0	0	0	0
31	61.72	6.6	3.3	0	0	0	0

OBSERVACIONES:

Cuadro 18.A Balance hídrico teórico (lisímetros).

MES: abril

REP: No. LISIMETRO: IDENTIFICACION: T3 =K:0.5

DIA	Ln	EVAPORACION	EVAPOTRANSPIRACION	RIEGO (mm)	PRECIPITACIÓN	EXCESO	DÉFICIT
1	58.42	6.5	3.25	0	0	0	0
2	55.17	6.1	3.05	0	0	0	0
3	52.12	5.8	2.9	0	0	0	0
4	49.22	6.6	3.3	0	0	0	0
5	45.92	6.9	3.45	0	0	0	0
6	42.47	5.8	2.9	0	0	0	0
7	39.57	6.4	3.2	0	0	0	0
8	36.37	7.1	3.55	0	0	0	0
9	32.82	5.7	2.85	0	0	0	0
10	29.97	6.0	3	0	0	0	0
11	26.97	6.5	3.25	0	22.8	0	0
12	46.52	6.0	3	0	40.8	12.32	0
13	75	3.5	1.75	0	0	0	0
14	73.25	5.8	2.90	0	0	0	0
15	70.35	5.5	2.75	0	0	0	0
16	67.6	5.6	2.8	0	0	0	0
17	64.8	5	2.5	0	0	0	0
18	62.3	5.7	2.85	0	0	0	0
19	59.45	3.7	1.85	0	0	0	0
20	57.6	3.6	1.8	0	0	0	0
21	55.8	6.0	3	0	0	0	0
22	52.8	5.6	2.8	0	5.44	0	0
23	55.44	5.1	2.55	0	0	0	0
24	52.89	5.1	2.55	0	0	0	0
25	50.34	7.7	3.85	0	0	0	0
26	46.49	5.3	2.65	0	0	0	0
27	43.84	7.5	3.75	0	0	0	0
28	40.09	5.1	2.55	0	0	0	0
29	37.54	6.8	3.4	0	0	0	0
30	34.14	6.8	3.4	0	0	0	0
31							

OBSERVACIONES:

Cuadro 19.A Balance hídrico teórico (lisímetros)

MES: mayo

REP: No. LISIMETRO: IDENTIFICACION: T3 =K:0.5

DIA	Ln	EVAPORACION	EVAPOTRANSPIRACION	RIEGO (mm)	PRECIPITACIÓN	EXCESO	DÉFICIT
1	30.74	5.8	2.9	0	0	0	0
2	27.84	6.3	3.15	0	0	0	0
3	24.69	7.7	3.85	0	0	0	0
4	20.84	8.0	4	0	0	0	0
5	16.84	7.3	3.65	0	4.32	0	0
6	17.51	8.1	4.05	0	0	0	0
7	13.46	7.3	3.65	0	0	0	0
8	9.81	7.3	3.65	0	0	0	0
9	6.16	6.0	3.0	0	0	0	0
10	3.16	4.0	2.0	0	0	0	0
11	1.16	8.0	4.0	0	10	0	0
12	7.16	4.25	2.12	0	0	0	0
13	5.04	4.35	2.17	0	0	0	0
14	2.87	5.65	2.82	0	0	0	0
15	0.05	5.5	2.75	0	9.2	0	0
16	6.5	5.6	2.8	0	0	0	0
17	3.7	5.65	2.82	0	0	0	0
18	0.88	5.2	2.6	45	0	0	0
19	43.28	6.0	3	0	0	0	0
20	40.28	7.8	3.9	0	0	0	0
21	36.38	6.3	3.15	0	0	0	0
22	33.23	6.0	3.0	0	0	0	0
23	30.23	4.0	2	0	0	0	0
24	28.23	5.8	2.9	0	3.6	0	0
25	28.93	6.0	3	0	0	0	0
26	25.93	3.7	1.85	0	0	0	0
27	24.08	6.8	3.4	0	6.08	0	0
28	26.76	6.6	3.3	0	0	0	0
29	23.46	3.4	1.7	30.5	30.4	7.66	0
30	75	3.9	1.95	0	64	62.05	0
31	75	3.65	1.82	0	0	0	0

OBSERVACIONES:

Cuadro 20.A Balance hídrico teórico (lisímetros)

MES: junio

REP: No. LISIMETRO: IDENTIFICACION: T3 =K: 0.5

DIA	Ln	EVAPORACION	EVAPOTRANSPIRACION	RIEGO (mm)	PRECIPITACION	EXCESO	DÉFICIT
1	73.18	6.0	3	0	0	0	0
2	70.18	4.6	2.3	0	4	0	0
3	71.88	4.6	2.3	0	0	0	0
4	69.58	5.1	2.55	0	76	68.03	0
5	75	4.6	2.3	0	16	13.7	0
6	75	4.6	2.3	0	12.8	10.5	0
7	75	4.6	2.3	0	0	0	0
8	72.7	4.6	2.3	0	76.8	72.2	0
9	75	4.6	2.3	0	12	9.7	0
10	75	6.0	3	0	0	0	0
11	72	3.7	1.85	0	4	0	0
12	74.15	4.4	2.2	0	0	0	0
13	71.95	4.7	2.35	0	25	19.6	0
14	75	2.7	1.35	0	20	18.65	0
15	75	1	0.5	0	6	4.15	0
16	75	5.1	2.55	0	45	40.6	0
17	75	4.3	2.15	0	13	10.85	0
18	75	5.9	2.95	0	0	0	0
19	72.05	5.8	2.9	0	4	0	0
20	73.15	1.75	0.87	0	0	0	0
21	72.28	6.0	3	0	0	0	0
22	69.28	4.7	2.35	0	0	0	0
23	66.93	4.1	2.05	0	44	33.88	0
24 *	75	5.7	2.85	0	0	0	0
25	72.15	5.4	5.4	0	0	0	0
26	66.75	4.7	4.7	0	26.4	0	0
27	88.45	5	5	0	0	0	0
28	83.45	3	3	0	0	0	0
29	80.45	4.7	4.7	0	20	7.45	0
30	93	4.7	4.7	0	0	0	0
31							

OBSERVACIONES:

* Fin fase macollamiento, en adelante K=1.0 y Ln = 93 mm.

Cuadro 21.A Balance hídrico teórico (lisímetros)

MES: julio

REP: No. LISIMETRO: IDENTIFICACION: T3 = K:1.0

DIA	Ln	EVAPORACION	EVAPOTRANSPIRACION	RIEGO (mm)	PRECIPITACIÓN	EXCESO	DÉFICIT
1	88.3	5.5	5.5	0	0	0	0
2	82.8	5.4	5.4	0	28	12.4	0
3	93	1.5	1.5	0	0	0	0
4	91.5	1.2	1.2	0	0	0	0
5	90.3	6.5	6.5	0	0	0	0
6	83.8	5.8	5.8	0	0	0	0
7	78	4.7	4.7	0	0	0	0
8	73.3	4.7	4.7	0	9.6	0	0
9	78.2	5.8	5.8	0	0	0	0
10	72.4	4	4	0	6.4	0	0
11	74.8	1.9	1.9	0	16	0	0
12	88.9	3.5	3.5	0	1.6	0	0
13	87	3	3	0	0	0	0
14	84	4	4	0	16	4	0
15	93	4.3	4.3	0	28	23.7	0
16	93	7	7	0	0	0	0
17	86	4.1	4.1	0	0	0	0
18	84.4	2.3	2.3	0	4.8	0	0
19	86.9	4.6	4.6	0	2.4	0	0
20	84.7	6.7	6.7	0	0	0	0
21	78	5.5	5.5	0	0	0	0
22	72.5	7	7	0	0	0	0
23	65.5	6.4	6.4	0	0	0	0
24	59.1	6	6	0	0	0	0
25	53.1	5	5	0	0	0	0
26	48.1	1.0	1.0	0	22.4	0	0
27	69.5	2.6	2.6	0	20	0	0
28	86.9	2.9	2.9	0	1.6	0	0
29	83.7	4.8	4.8	0	3.2	0	0
30	82.1	4	4	0	7.2	0	0
31	85.3	3.3	3.3	0	7.2	0	0

OBSERVACIONES:

Cuadro 22.A Balance hídrico teórico (lisímetros)

MES: agosto

REP: No. LISIMETRO: IDENTIFICACION: T3 = K:1.0

DIA	Ln	EVAPORA CION	EVAPOTRANSPI RACION	RIEGO (mm)	PRECIPI TACIÓN	EXCESO	DÉFICIT
1	82	3.98	3.98	0	12	0	0
2	90.02	4.83	4.83	0	1.6	0	0
3	86.79	4.36	4.36	0	0	0	0
4	82.43	2.22	2.22	0	0	0	0
5	80.21	1.54	1.54	0	0	0	0
6	78.67	2.16	2.16	0	0	0	0
7	76.51	2.96	2.96	0	8.8	0	0
8	82.35	2.46	2.46	0	0	0	0
9	79.89	2.16	2.16	0	0	0	0
10	77.73	1.85	1.85	0	7.2	0	0
11	83.08	3.81	3.81	0	32	18.27	0
12	93	3.68	3.68	0	14.4	10.72	0
13	93	2.99	2.99	0	0	0	0
14	90.01	7.28	7.28	0	26.4	16.13	0
15	93	3.35	3.35	0	12.8	9.45	0
16	93	2.79	2.79	0	0	0	0
17	90.21	2.3	2.3	0	20.8	15.71	0
18	93	3.87	3.87	0	0	0	0
19	89.13	4.68	4.68	0	0	0	0
20	84.45	4.18	4.18	0	14.4	1.67	0
21	93	3.45	3.45	0	32	28.55	0
22	93	5.12	5.12	0	26.4	21.28	0
23	93	2.79	2.79	0	0	0	0
24	90.21	2.15	2.15	0	0	0	0
25	88.06	1.64	1.64	0	7.2	0.62	0
26	93	2.53	2.53	0	0	0	0
27	90.47	2.46	2.46	0	0	0	0
28	88.01	2.47	2.47	0	0.8	0	0
29	86.34	1.94	1.94	0	0	0	0
30	84.4	2.5	2.5	0	0	0	0
31	81.9	1.81	1.81	0	0	0	0

OBSERVACIONES:

Cuadro 23.A Balance hídrico teórico (lisímetros)

MES: septiembre

REP: No. LISIMETRO: IDENTIFICACION: T3 = K:1.0

DIA	Ln	EVAPORACION	EVAPOTRANSPIRACION	RIEGO (mm)	PRECIPITACIÓN	EXCESO	DÉFICIT
1	80.09	1.12	1.12	0	20	5.97	0
2	93	2.47	2.47	0	0	0	0
3	90.53	7.83	7.83	0	28	17.7	0
4	93	2.4	2.4	0	0	0	0
5	90.6	1.78	1.78	0	0	0	0
6	88.82	1.15	1.15	0	0	0	0
7	87.67	3	3	0	23.2	14.87	0
8	93	2.73	2.73	0	8	5.27	0
9	93	4.3	4.3	0	24	19.7	0
10	93	3.67	3.67	0	24	20.33	0
11	93	4.1	4.1	0	20	15.9	0
12	93	4.36	4.36	0	14.4	10.04	0
13	93	4.06	4.06	0	32	27.94	0
14	93	7.81	7.81	0	24	16.19	0
15	93	2.77	2.77	0	8	5.23	0
16	93	2.62	2.62	0	0	0	0
17	90.38	2.59	2.59	0	3.2	0	0
18	90.99	2.47	2.47	0	1.6	0	0
19	90.12	1.75	1.75	0	0	0	0
20	88.37	4.58	4.58	0	22.4	13.19	0
21	93	5.59	5.59	0	28	22.41	0
22	93	4.59	4.59	0	24	19.41	0
23	93	2.43	2.43	0	0	0	0
24	90.57	1.91	1.91	0	0	0	0
25	86.75	2.58	2.58	0	0	0	0
26	84.17	7.82	7.82	0	48	31.35	0
27	93	5.33	5.33	0	44	38.67	0
28	93	4.79	4.79	0	28	23.21	0
29	93	7.93	7.93	0	76	68.07	0
30	93	3.45	3.45	0	7.2	3.75	0
31							

OBSERVACIONES:

Cuadro 24.A Balance hídrico teórico (lisímetros)

MES: octubre

REP: No. LISIMETRO: IDENTIFICACION: T3 = K:1.0

DIA	Ln	EVAPORACION	EVAPOTRANSPIRACION	RIEGO (mm)	PRECIPITACIÓN	EXCESO	DÉFICIT
1	93	3.16	3.16	0	0	0	0
2	89.84	3.87	3.87	0	22.4	15.37	0
3	93	3.38	3.38	0	7.2	3.82	0
4	93	3.81	3.81	0	8	4.19	0
5	93	5.26	5.26	0	14.4	9.14	0
6	93	7.53	7.53	0	20	12.47	0
7	93	4.73	4.73	0	38.4	33.67	0
8	93	4.72	4.72	0	0	0	0
9	88.28	5	5	0	0	0	0
10	83.28	2.58	2.58	0	0	0	0
11	81.15	2.13	2.13	0	0	0	0
12	79.02	1.7	1.7	0	0	0	0
13	77.32	1.17	1.17	0	0	0	0
14	76.15	0.89	0.89	0	0	0	0
15	75.26	0.45	0.45	0	0	0	0
16	74.81	6.88	6.88	0	0	0	0
17	67.93	2.72	2.72	0	32.8	4.21	0
18	93	2.47	2.47	0	8	5.53	0
19	93	2.4	2.4	0	0	0	0
20	90.6	1.99	1.99	0	0	0	0
21	88.2	1.4	1.4	0	0	0	0
22	86.8	2.48	2.48	0	0	0	0
23	84.32	1.82	1.82	0	0	0	0
24	82.5	1.83	1.83	0	0	0	0
25	80.67	1.29	1.29	0	0	0	0
26	79.38	0.75	0.75	0	0	0	0
27	78.63	2.51	2.51	0	0	0	0
28	76.12	1.95	1.95	0	0	0	0
29	74.76	1.36	1.36	0	0	0	0
30	73.4	0.81	0.81	0	0	0	0
31	72.59	4.51	4.51	0	0	0	0

OBSERVACIONES:

Cuadro 25.A Balance hídrico teórico (lisímetros)

MES: noviembre

REP: No. LISIMETRO: IDENTIFICACION: T3= K:1.0

DIA	Ln	EVAPORA CION	EVAPOTRANSPI RACION	RIEGO (mm)	PRECIPI TACIÓN	EXCESO	DÉFICIT
1	68.08	5.9	5.9	0	0	0	0
2	62.18	5.1	5.1	0	0	0	0
3	57.08	5.6	5.6	0	0	0	0
4	51.48	6.1	6.1	0	0	0	0
5	45.38	4.3	4.3	0	16	0	0
6	57.08	4	4	0	0	0	0
7	53.08	4.8	4.8	0	0	0	0
8	48.28	3	3	0	5	0	0
9	50.28	2.5	2.5	0	0	0	0
10	47.78	4.7	4.7	0	69	109.08	0
11	93	3.8	3.8	0	0	0	0
12	89.2	3.6	3.6	0	0	0	0
13	85.6	3.2	3.2	0	0	0	0
14	82.4	3.4	3.4	0	6	0	0
15	85	3.2	3.2	0	13.5	2.3	0
16	93	4.5	4.5	0	0	0	0
17	88.5	5.2	5.2	0	0	0	0
18	83.3	4.5	4.5	0	0	0	0
19	cosecha						
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							

OBSERVACIONES:

Cuadro 26.A Cálculo de la evapotranspiración real por períodos.**BALANCE HIDRICO REAL (LISIMETROS), T4 (riego semanal)**

Porcentaje humedad 0 dds

lisimet	Hi 0 dds	r+pp	Hf 54dds	Etr/día	0-20cm	20-40cm	40-60cm	60-80cm
1	288.28	394	449	4.32*	33.5	30.6	30.3	25.5
7	188.7		366.7	4.0*	20.5	20.8	21.4	19
9	250		372.9	5.02*	22	25.5	28.3	29
13	243.32		357.6	5.18*	21	24.3	26.4	32.55
20	220		447.7	3.08*	19.8	22	21.3	31.45

4.32

Porcentaje humedad 54 dds

lisimet	Hi	r+pp	Hf 74 dds	Etr/día	0-20cm	20-40cm	40-60cm	60-80cm
1	449	109.04	445.9	5.6*	47.11	55.33	44	46
7	366.7		296.1	8.98	51	53	31	34
9	372.9		374.3	5.38*	41	32	28	38
13	357.6		390.4	3.81*	39	38	35	42
20	447.7		369.2	9.37	45	46	45	53

4.93

Porcentaje humedad 74 dds

lisimet	Hi	r+pp	Hf 92 dds	Etr/día	0-20cm	20-40cm	40-60cm	60-80cm
1	445.9	124.82	445.4	6.96*	49.6	39.7	48.8	38.64
7	296.1		303.3	6.53*	49.65	29.33	28.04	32.58
9	374.3		424.1	7.6*	43.15	27.27	35.31	39.03
13	390.4		378.3	4.16*	43.03	43.65	50.18	46.04
20	369.2		413	4.49*	42.19	36.49	40.31	38.93

5.95

Porcentaje humedad 92 dds

lisimet	Hi	r+pp	Hf 109 dds	Etr/día	0-20cm	20-40cm	40-60cm	60-80cm
1	445.4	63.88	449.71	3.5*	52.46	53.65	46.8	45.04
7	303.3		398.93	32.97	34.26	31.01	32.92
9	424.1		357.95	7.64*	46.54	48.56	37.45	45.62
13	378.3		377.63	3.79*	41.99	41	41.32	33.03
20	413		377.32	5.86*	41.98	43.55	43.14	47.24

5.19

Porcentaje humedad 109 dds

lisimet	Hi	r+pp	Hf 109 dds	Etr/día	0-20cm	20-40cm	40-60cm	60-80cm
1			449.71		47.72	48.79	51.18	55.84
7			398.93		42.22	39.82	40.64	36.55
9			357.95		39.53	37.88	29.62	42.44
13			377.63		40.04	41.32	38.68	36.37
20			377.32		38.33	41.39	44.47	42.21

* Datos seleccionados.

Hi: Humedad inicial

Hf: Humedad final

r+pp: riego + precipitación en mm.

dds: días después de la siembra

Cuadro 27.A Resultados de laboratorio del análisis físico de tres puntos donde se realizó el ensayo.

PROFUNDIDAD	Porcentaje ARENA	Porcentaje LIMO	Porcentaje ARCILLA	TEXTURA	Porcentaje humedad 1/3 ATM	Porcentaje humedad 15 ATM
0-20 cm (1)	57.51	33.63	8.86	franco arenosa	46.86	18.77
20-40 cm (1)	61.22	29.78	9.00	franco arenosa	40.04	18.88
40-60 cm (1)	66.32	24.87	8.80	franco arenosa	33.14	15.06
60-80 cm (1)	57.60	33.56	8.84	franco arenosa	27.55	12.86
80-100 cm (1)	61.14	29.85	9.02	franco arenosa	24.68	10.84
0-20 cm (2)	54.05	36.37	9.58	franco arenosa	48.76	25.12
20-40 cm (2)	65.75	24.69	9.56	franco arenosa	48.44	24.84
40-60 cm (2)	52.06	38.43	9.52	franco arenosa	35.32	18.67
60-80 cm (2)	51.26	39.91	8.82	franco arenosa	27.54	12.72
80-100 cm (2)	68.46	22.74	8.80	franco arenosa	25.28	10.96
0-20 cm (3)	66.75	24.56	8.69	franco arenosa	40.7	18.32
20-40 cm (3)	59.91	31.28	8.80	franco arenosa	42.29	17.11
40-60 cm (3)	68.39	22.78	8.82	franco arenosa	42.49	17.22
60-80 cm (3)	75.08	16.19	8.73	franco arenosa	34.08	13.24
80-100 cm (3)	64.49	26.78	8.73	franco arenosa	32.87	13.24

Fuente: Laboratorio CENGICANA.

Cuadro 28.A Precipitación (mm) de la Finca Puyumate.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1991	0	0	0	37	285	400	107	186	220	336	102	49	1722
1992	0	0	17	81	172	263	283	180	620	210	169	0	1995
1993	10	0	7	31	176	393	363	325	379	349	18	0	2051
1994	0	0	0	0	78	117	226	375	265	256	26	34	1377
1995	0	0	32	115	47	346	289	435	374	405	65	0	2108
1996	0	0	0	265	528	137	324	363	354	119	60	0	2150

Fuente: Registros del Ingenio Tierra Buena.

Cuadro 29.A Temperatura media °C

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC
1995				29.0	28.46	27.07	27.23	26.88	27.37	28.23	27.23	27.12
1996	26.09	29.97	28.22									

Fuente: Registros estación Ingenio Tierra Buena.

Cuadro 30.A Salida de Cropwat (Método Penman-Monteith) FAO (1992). Evapotranspiración del cultivo de referencia.

Evapotranspiración de referencia ETo según Penman-Monteith						
País : Guatemala (1997)		Estación meteo. : Tiquisate				
Altitud : 70 metros		Coordenadas : 14.28 N.L		90.37 E.L.		
Mes	Temp med °C	Humedad en porcentaje	Viento km/día	Insolación horas	Radiación MJ/m ² /día	ETo-PenMon mm/día
febrero	28.5	68	19	8.9	12.3	4.03
marzo	29.0	71	38	7.5	12.8	4.29
abril	29.2	56	18	7.3	12.6	4.21
mayo	29.5	77	12	6.4	12.8	4.13
junio	27.9	80	15	5.7	11.9	3.77
julio	28.4	76	16	5.5	11.7	3.75
agosto	28.9	75	14	8.3	14.2	4.57
septiembre	28.1	77	15	4.9	10.9	3.48
octubre	27.7	78	17	6.4	11.2	3.57
noviembre	28.6	77	14	7.5	10.9	3.50
ANUAL	28.6	74	18	6.8	12.1	1191

Fuente datos climáticos: Temperatura media, porcentaje de humedad y velocidad del viento de la Estación del INSIVUMEH Tiquisate Escuintla. Datos de insolación (Horas luz) de la Estación de Finca Zulia Ingenio Tierra Buena, todos de 1997.

Cuadro 31.A Salida de Cropwat (Método Penman-Monteith) FAO (1992). Precipitación efectiva.

Archivo de clima: ppefpuyu		Estación meteo.: PUYUMATE	
	ETo (mm/día)	Precipitaciones (mm/mes)	Prec. efec. (mm/mes)
enero	4.0	0.0	0.0
febrero	4.0	6.0	4.8
marzo	4.3	21.5	17.2
abril	4.2	86.3	69.0
mayo	4.1	159.5	127.6
junio	3.8	506.3	405.0
julio	3.8	218.0	174.4
agosto	4.6	271.0	216.8
septiembre	3.5	635.0	508.0
octubre	3.6	189.0	151.2
noviembre	3.5	136.9	109.5
diciembre	3.5	0.0	0.0
Total año	1426.9	2229.5	1783.6 mm
Precipitación efectiva: 80 %			

Cuadro 32.A Salida de Cropwat (Método Penman-Monteith) FAO (1992). Datos del cultivo.

Datos de cultivos : CAÑA DE AZUCAR		Archivo de cultivo : canal				
Etapa de crecimiento		Inicial	Desa.	Med.	Final	Total
Duración	[días]	30	60	164	30	284
Coef. cultural	[coef.]	0.55	->	1.15	0.50	
Prof. raíces	[metro]	0.30	->	0.80	0.80	
Nivel agotamiento	[fracc.]	0.60	->	0.60	0.60	
Respuesta en el rendimiento Ky	[coef.]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Cuadro 33.A Salida de Cropwat (Método Penman-Monteith) FAO (1992). Evapotranspiración calculada por decenas de días.

Evapotranspiración y necesidades de agua de los cultivos								
Archivo de clima: ppefpuyu			Estación meteo.: Puyumate					
Mes	Dec	Etap	Coef Kc	Etc mm/día	Etc mm/dc	Pef mm/dc	NER mm/día	NER mm/dc
feb	1	init	0.55	2.20	4.4	0.2	2.09	4.2
feb	2	init	0.55	2.20	22.0	1.6	2.04	20.4
feb	3	init	0.55	2.26	22.6	3.0	1.96	19.6
mar	1	in/de	0.56	2.35	23.5	3.7	1.98	19.8
mar	2	deve	0.62	2.67	26.7	4.7	2.19	21.9
mar	3	deve	0.71	3.07	30.7	10.8	1.99	19.9
abr	1	deve	0.82	3.47	34.7	16.9	1.78	17.8
abr	2	deve	0.92	3.86	38.6	23.0	1.56	15.6
abr	3	deve	1.02	4.25	42.5	29.5	1.30	13.0
may	1	de/mi	1.11	4.59	45.9	29.4	1.65	16.5
may	2	mid	1.15	4.71	47.2	32.5	1.46	14.6
may	3	mid	1.15	4.60	46.0	66.7	0.00	0.0
jun	1	mid	1.15	4.49	44.9	117.5	0.00	0.0
jun	2	mid	1.15	4.37	43.7	160.0	0.00	0.0
jun	3	mid	1.15	4.37	43.7	126.1	0.00	0.0
jul	1	mid	1.15	4.37	43.7	81.4	0.00	0.0
jul	2	mid	1.15	4.37	43.7	42.1	0.16	1.6
jul	3	mid	1.15	4.68	46.8	52.2	0.00	0.0
ago	1	mid	1.15	5.14	51.4	56.2	0.00	0.0
ago	2	mid	1.15	5.52	55.2	63.3	0.00	0.0
ago	3	mid	1.15	5.02	50.2	98.6	0.00	0.0
sep	1	mid	1.15	4.37	43.7	154.6	0.00	0.0
sep	2	mid	1.15	3.91	39.1	200.3	0.00	0.0
sep	3	mid	1.15	3.99	39.9	150.4	0.00	0.0
oct	1	mid	1.15	4.10	41.0	87.7	0.00	0.0
oct	2	mid	1.15	4.14	41.4	31.4	1.00	10.0
oct	3	mi/Lt	1.06	3.79	37.9	33.1	0.48	4.8
nov	1	late	0.87	3.07	30.7	38.1	0.00	0.0
nov	2	late	0.65	2.28	22.8	41.5	0.00	0.0
nov	3	late	0.43	1.52	3.0	5.5	0.00	0.0
TOTAL				1107.5	1762.2			199.7

Cuadro 34.A Resultados de la salida de SAS de las variables analizadas a la cosecha.

REP	TRAT	PESTAL	ALTQUI	NUMNUTA	LMTONU	DIANUME	LONGNUME	POB	PESOTOLIS	RENDBLTON
1	1	16.8	317	22	13.99	2.41	14.95	29	41.8	237.3
1	2	17.7	308	20.6	13.72	2.58	13.6	30	45	242.92
1	3	18.6	317	23.8	13.15	2.54	14.35	30	51.3	245.28
1	4	17.2	302	21.6	13.31	2.61	13.7	29	45.9	233.24
2	1	17.2	324	21.2	13.92	2.34	16.05	24	35.45	242.53
2	2	16.5	307	21.6	14.11	2.41	13.75	25	37.0	239.61
2	3	16.3	307	21.8	13.56	2.42	12.7	25	36.8	234.46
2	4	17.7	332	22.2	13.92	2.39	15.1	28	42.2	239.53
3	1	15	309	19.6	14.12	2.31	15.05	27	39	227.67
3	2	16.2	336	24.2	13.86	2.34	14.44	32	47.2	226.79
3	3	16.6	325	23.2	13.94	2.46	13.3	34	56.3	241.53
3	4	19	336	22.4	14.08	2.61	13.7	27	43.1	235.46
4	1	16.3	276	22.2	13.7	2.56	15.45	26	39	235.74
4	2	16.8	320	23.8	12.53	2.54	11.8	27	37	230.51
4	3	18.1	334	23.6	13.22	2.5	12.75	33	51.3	231.92
4	4	18.6	333	23.4	13.27	2.65	13.15	26	41.3	218.31
5	1	13.6	276	21.6	12.21	2.47	13.6	20	23.6	216.72
5	2	15.4	290	22.4	12.47	2.56	12.8	22	30	225.8
5	3	15.9	323	23.6	12.66	2.36	12.7	26	43.6	241.87
5	4	19	312	23.4	12.95	2.66	14.4	36	59.5	249.35

Procedimiento lineal del modelo general

Informacion clase nivel

Clase	niveles	valores
REP	5	1 2 3 4 5
TRAT	4	1 2 3 4

Número de observaciones = 20

Grupo	Obs	variables dependientes
1	20	PESTALL ALTQUI NUMNUTA LMTONU DIANUMED LONGNUME POBLA PESTOLIS RENDBTON

Procedimiento lineal del modelo general

Variable dependiente: PESTALL

Fuente	DF	Sum de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	Pr > F
Modelo	7	119.9375000	17.1339286	2.96	0.0477
Error	12	69.5000000	5.7916667		
Total	19	189.4375000			

R-cuadrado 0.633124 C.V. 6.396248 MSE 2.406588 PESTALL media 37.6250000

Fuente	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
REP	4	32.5000000	8.1250000	1.40	0.2914
TRAT	3	87.4375000	29.1458333	5.03	0.0174

Procedimiento lineal del modelo general

Variable dependiente: ALTQUI

Fuente	DF	sum.de cuadrados	cuadrado medio	F calculada	Pr > F
Modelo	7	3082.100000	440.300000	1.71	0.1986
Error	12	3097.100000	258.091667		
Total	19	6179.200000			

R-cuadrado 0.498786 C.V. 5.113059 MSE 16.06523 ALTQUI media 314.200000

Fuente	DF	Tipo III SS	cuadrado medio	F calculada	Pr > F
REP	4	1477.700000	369.425000	1.43	0.2829
TRAT	3	1604.400000	534.800000	2.07	0.1575

Procedimiento lineal del modelo general

Variable dependiente: NUMNUTA

Fuente	DF	sum.de cuadrados	cuadrado medio	F calculada	Pr > F
Modelo	7	15.29000000	2.18428571	2.11	0.1224
Error	12	12.42800000	1.03566667		
Total	19	27.71800000			
R-cuadrado					
0.551627	C.V.	MSE	NUMNUTA media		
	4.541174	1.017677	22.4100000		
Fuente	DF	Tipo III SS	cuadrado medio	F calculada	Pr > F
REP	4	5.98800000	1.49700000	1.45	0.2787
TRAT	3	9.30200000	3.10066667	2.99	0.0731

Procedimiento lineal del modelo general

Variable dependiente: LMTONU

Fuente	DF	sum.de cuadrados	cuadrado medio	F calculada	Pr > F
Modelo	7	5.61456500	0.80208071	7.05	0.0018
Error	12	1.36453000	0.11371083		
Total	19	6.97909500			
R-cuadrado					
0.804483	C.V.	MSE	LMTONU media		
	2.510033	0.337210	13.4345000		
Fuente	DF	Tipo III SS	cuadrado medio	F calculada	Pr > F
REP	4	5.34207000	1.33551750	11.74	0.0004
TRAT	3	0.27249500	0.09083167	0.80	0.5180

Procedimiento lineal del modelo general

Variable dependiente: DIANUMED

Fuente	DF	sum.de cuadrados	cuadrado medio	F calculada	Pr > F
Modelo	7	0.16087000	0.02298143	4.03	0.0169
Error	12	0.06841000	0.00570083		
Total	19	0.22928000			
R-cuadrado					
0.701631	C.V.	MSE	DIANUMED media		
	3.037163	0.075504	2.48600000		
Fuente	DF	Tipo III SS	cuadrado medio	F calculada	Pr > F
REP	4	0.08523000	0.02130750	3.74	0.0337
TRAT	3	0.07564000	0.02521333	4.42	0.0259

Procedimiento lineal del modelo general

Variable dependiente: LONGNUME

Fuente	DF	sum.de cuadrados	cuadrado medio	F calculada	Pr > F
Modelo	7	15.01251000	2.14464429	3.37	0.0313
Error	12	7.62731000	0.63560917		
Total	19	22.63982000			
R-cuadrado					
0.663102	C.V.	MSE	LONGNUME media		
	5.749268	0.797251	13.8670000		
Fuente	DF	Tipo III SS	cuadrado medio	F calculada	Pr > F
REP	4	4.02937000	1.00734250	1.58	0.2413
TRAT	3	10.98314000	3.66104667	5.76	0.0112

Procedimiento lineal del modelo general

Variable dependiente: POBLA

Fuente	DF	sum.de cuadrados	cuadrado medio	F calculada	Pr > F
Modelo	7	126.8000000	18.1142857	1.26	0.3452
Error	12	172.4000000	14.3666667		
Total	19	299.2000000			

R-cuadrado C.V. MSE POBLA media
 0.423797 13.63431 3.790339 27.8000000

Fuente	DF	Tipo III SS	cuadrado medio	F calculada	Pr > F
REP	4	65.20000000	16.30000000	1.13	0.3862
TRAT	3	61.60000000	20.53333333	1.43	0.2827

Procedimiento lineal del modelo general

Variable dependiente: PESTOLIS

Fuente	DF	sum.de cuadrados	cuadrado medio	F calculada	Pr > F
Modelo	7	3576.737500	510.962500	2.05	0.1318
Error	12	2996.500000	249.708333		
Total	19	6573.237500			

R-cuadrado C.V. MSE media PESTOLIS
 0.544136 16.95056 15.80216 93.2250000

Fuente	DF	Tipo III SS	cuadrado medio	F calculada	Pr > F
REP	4	1166.300000	291.575000	1.17	0.3730
TRAT	3	2410.437500	803.479167	3.22	0.0614

Procedimiento lineal del modelo general

Variable dependiente: RENDBTON

Fuente	DF	sum.de cuadrados	cuadrado medio	F calculada	Pr > F
Modelo	7	461.4529300	65.9218471	0.83	0.5851
Error	12	958.1598900	79.8466575		
Total	19	1419.6128200			

R-cuadrado C.V. MSE media RENDBTON
 0.325055 3.805225 8.935696 234.827000

Fuente	DF	Tipo III SS	cuadrado medio	F calculada	Pr > F
REP	4	318.6126700	79.6531675	1.00	0.4461
TRAT	3	142.8402600	47.6134200	0.60	0.6294

Cuadro 35.A Precipitación y Evapotranspiración del cultivo de referencia durante el experimento.

	febrero	Marzo	abril	Mayo	junio	julio	agosto	sept	oct	nov
Precipitación	6	21.5	86.3	159.3	506.3	218	271	635	189	136.9
Eto Pen-Mon.	80.6	132.99	126.3	128.03	113.1	116.25	141.67	104.4	110.67	66.5

Cuadro 36.A Horas luz y Evaporación media por día del tanque A.

	Enero	febrero	marzo	abril	mayo	Junio
Hr. Luz	8.16	8.92	7.53	7.35	6.38	5.7
Evaporación		5.88	6.31	5.83	4.12	4.55

Cuadro 37.A Porcentaje de agotamiento de la humedad disponible del suelo (Ln) por estratos.

TRATAMIENTO	ESTRATO	0 dds	54 dds	74 dds	92 dds	109 dds
T1 testigo	0-20	53.01	49.5	65.92	76.04	91.38
T1 testigo	20-40	32.93	57.41	52.48	78.81	94.68
T1 testigo	40-60	25.6	54.9	46.45	82.55	90.9
T1 testigo	60-80	23.83	50.37	61.62	73.65	77.94
T2 k=0.3	0-20	31.93	63.29	57.26	78.47	98.78
T2 k=0.3	20-40	49.14	68.56	59.99	94.03	95.75
T2 k=0.3	40-60	28.2	65.9	47.35	74.6	75.2
T2 k=0.3	60-80	7.8	13.82	21.81	55.24	49.64
T3 k=0.5	0-20	48.48	43.86	56.98	90.08	59.12
T3 k=0.5	20-40	35.89	41.98	51.37	97.55	63.59
T3 k=0.5	40-60	33.7	27.9	26.8	78.15	66.6
T3 k=0.5	60-80	-9.99	-0.47	7.44	50.71	50
T4 riego semanal	0-20	30.02	3.31	-0.32	9.14	15.7
T4 riego semanal	20-40	29.37	-5.44	35.63	-2.61	7.5
T4 riego semanal	40-60	11.5	1.9	-17.7	-14.8	-19.55
T4 riego semanal	60-80	-7.68	-76.75	-55.54	-65.85	-77.23

dds: días después de la siembra

Cuadro 38.A Diferencia en altura de cada tratamiento respecto al T1 (testigo).

	30dds	45dds	60dds	75dds	90dds	102dds	109dds	116dds	137dds	153dds	243dds	284dds
T2 k=0.3	0.92	2.02	1.85	4.07	6.68	6.34	9.8	3.74	2.94	3.8	7.66	11.8
T3 k=0.5	1.28	1.8	3.75	6.57	18.66	23.76	40	36.02	22.14	20.78	25.46	20.8
T4 semanal	0.9	1.3	4.07	6	21.80	35.78	50.92	42.4	27.22	27.66	28.56	22.6

dds: días después de la siembra

Cuadro 39.A Tasa de crecimiento de los tratamientos en centímetros por día.

Trat.	0-30	30-45	45-60	60-75	75-90	90-102	102-109	109-116	116-137	137-153	153-243	243-284
T1 test.	0.27	0.22	0.24	0.84	0.87	1.83	0.39	3.07	3.02	2.37	1.11	0.07
T2 k=0.3	0.3	0.3	0.23	0.98	1.07	1.8	0.88	2.21	2.98	2.43	1.15	0.17
T3 k=0.5	0.31	0.26	0.37	1.02	1.67	2.15	2.71	2.51	2.33	2.29	1.16	0
T4 sem.	0.3	0.25	0.42	0.96	1.92	2.99	2.55	1.85	2.27	2.4	1.12	0

Cuadro 40.A Datos de Longitud del entrenudo y su posición en el tallo.

No. NUDO	T1 testigo	T2 k=0.3	T3 k=0.5	T4 semanal
1	13.3	14	13.9	15
2	14.8	15	16.1	17.5
3	15.2	15.6	15.6	17
4	15.9	16.4	15	15.9
5	16.7	16.8	15	14.6
6	16.2	17.1	15.6	14.8
7	16	16.8	16.3	14
8	16	16	16.5	15.3
9	14.8	114.5	15.3	15.9
10	14.1	13.6	14.1	15.3
11	14.3	12.5	13.3	14.9
12	13.3	12.5	13.2	13.9
13	12.1	12	12.2	13
14	12.2	11.8	11.5	12.6
15	11.1	12.2	11.3	11.4
16	9.3	12.7	11.4	10.6
17	10.9	12.2	12.3	11.9
18	10.9	11.6	11.9	12.2
19	10.6	11.8	11.6	11.5
20	10.6	11.2	11.5	10.8
21	10.3	10.2	11.3	10.2
22	8.8	8.7	10.1	9.8

Cuadro 41.A Analisis económico.**Optimo físico****Optimo económico**

Trat.	mm total	# riegos	Producto total	Producto marginal	Costo total	Ingreso total	Beneficio total
T1 testigo	80	3	79.59	26.53	970.35	6367.2	5395.85
T2 k=0.3	135	3	87.37	7.78	970.35	6989.6	6019.25
T3 k=0.5	255	5	106.95	9.54 *	1317.5	8516	7198.5 **
T4 sema- nal	567.5	12	103.22	-0.46	3161.4	8257.6	5096.2

* Optimo físico ** Optimo económico

Costo/riego Q263.45

Precio por tonelada métrica Q80.00



Ref. Sem.015-99

FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGRONOMICAS

LA TESIS TITULADA: "EFECTO DE CUATRO PROGRAMACIONES DE RIEGO SOBRE LA EVAPOTRANSPIRACION Y PRODUCCION DE LA CAÑA DE AZUCAR (Saccharum officinarum L.) EN LISIMETROS DE PERCOLACION, EN LA NUEVA CONCEPCION, ESCUINTLA".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: BORIS ENRIQUE SANDOVAL ALARCON

CARNET No: 9310240

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Walter García Tello
Ing. Agr. Fernando Rodríguez B.

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. Victor Manuel Cabrera Cruz
ASESOR

Ing. Agr. David Juárez
ASESOR

Ing. Agr. Fernando Rodríguez B.
DIRECTOR DEL IIA.



IMPRESA

Ing. Agr. Rolando Lara Alecio
DECANO



Control Académico
Archivo
rr.