

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

REQUERIMIENTO DE RIEGO
DE LA CASA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum* L.),
DURANTE LA FASE DE MACOLLAMIENTO EN PLANTILLA, BAJO LAS
CONDICIONES DEL MUNICIPIO DE TIQUISATE, ESCUINTLA.

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



En el acto de investidura como

INGENIERO AGRONOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA

EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, mayo de 1996

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. JAFETH CABRERA FRANCO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Ing. Agr. Rolando Lara Alecio
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Juan José Castillo Mont
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. William R. Escobar López
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Carlos Roberto Motta
VOCAL CUARTO	P.A. Henry Estuardo España
VOCAL QUINTO	Br. Mynor Joaquin Barrios Ochaeta
SECRETARIO	Ing. Agr. Guillermo Méndez Beteta

Guatemala, Mayo de 1,996.

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía

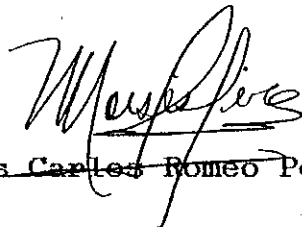
Señores miembros:

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:

REQUERIMIENTO DE RIEGO
DE LA CAÑA DE AZUCAR (Saccharum officinarum L.),
DURANTE LA FASE DE MACOLLAMIENTO EN PLANTILLA, BAJO LAS
CONDICIONES DEL MUNICIPIO DE TIQUISATE, ESCUINTLA.

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

Atentamente.



Moises ~~Carlos Romeo~~ Pérez Solano

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: Todo poderoso.

MIS PADRES: Moises Josué Pérez Milián
Gladis Odeth Solano Aviles

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

MI ESPOSA: Lucrecia Castellanos de Pérez.

MIS HIJOS: José Carlos y Rodrigo Josué.

MIS HERMANOS: Gina Odeth, Shenly y José Pedro
con amor fraternal.

Mi familia en general.

Mis amigos respetuosamente.

TESIS QUE DEDICO

A: DIOS

Mi patria Guatemala.

Universidad de San Carlos de Guatemala.

Facultad de Agronomía.

Mi pueblo Patulul Suchitepequez.

Mis maestros y catedráticos en general.

Todas aquellas personas que contribuyeron con mi formación.

AGRADECIMIENTO

A: Mis asesores Ing. David Juarez e Ing. Gustavo Mendez por su colaboración incondicional en el planteamiento y realización del presente trabajo.

AGROINSA y su Ingenio Tierra Buena, por su valiosa colaboración al permitirme culminar mi carrera universitaria.

Ingenieros Agrónomos Bayardo Lanzas y Francisco García, por su valioso apoyo y colaboración en la realización de la presente investigación.

Márvin Galindo y Abner Miranda por su colaboración en la elaboración de cuadros y figuras.

Alfonzo García por su colaboración en la realización de la etapa de campo.

Sr. Alberto Morales por su amistad y apoyo incondicional en todo momento.

A mis compañeros de trabajo del Ingenio Tierra Buena, por su amistad sincera.

CONTENIDO

CONTENIDO	vii
INDICE DE CUADROS	ix
INDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
1. INTRODUCCION	1
2. DEFINICION Y JUSTIFICACION DEL PROBLEMA	3
3. MARCO TEORICO	4
3.1. Marco conceptual	4
3.1.1 Uso de agua en caña de azúcar	4
3.1.2 Frecuencia y programación del riego	5
3.1.3 Riego en caña de azúcar	7
3.1.4 Estudio sobre requerimientos de riego en caña de azúcar	10
3.1.5 Programación de riegos en caña de azúcar mediante balance hídrico	12
3.1.6 Constantes de humedad del suelo	15
3.1.6.1. Capacidad de campo	15
3.1.6.2. Punto de marchitez permanente	16
3.1.7. Contenido de humedad del suelo	17
3.1.7.1. Humedad utilizable	17
3.1.7.2. Humedad fácilmente aprovechable	17
3.2. Marco referencial	17
3.2.1. Ubicación y descripción del área experimental	17
4. OBJETIVOS	20
5. HIPOTESIS	21

6. METODOLOGIA	22
6.1. Metodología experimental	22
6.1.1. Análisis y determinaciones previas al experimento	22
6.1.2. Manejo del cultivo	24
6.1.3. Manejo del experimento	25
6.1.3.1. Método de riego	26
6.1.3.2. Momento de aplicación de los riegos	26
6.1.3.3. Lámina total recibida por tratamiento	27
6.1.3.4. Monitoreo de la humedad del suelo	28
6.2. Técnicas de campo	29
6.2.1. Tratamientos	29
6.2.2. Extensión del área experimental	30
6.2.3. Diseño experimental	31
6.2.4. Variables respuesta	31
6.2.5. Análisis de resultados	32
7. RESULTADOS Y DISCUSION	33
7.1. Riegos aplicados	33
7.2. Nivel freático	33
7.3. Comportamiento de la precipitación y evaporación durante el período de estudio	34
7.4. Variables respuesta	36
7.4.1. Población y altura	36
7.4.2. Producción	39
7.5. Lámina de agua recibida por tratamiento	41
7.6. Uso consuntivo total segun el balance hídrico	41

	ix
7.7. Agotamiento de la humedad aprovechable	42
8. CONCLUSIONES	44
9. RECOMENDACIONES	46
10. BIBLIOGRAFIA	47
11. APENDICE	49

INDICE DE CUADROS

CUADRO	PAGINA
1. Estudio sobre requerimientos de riego en caña de azúcar en Hawaii.	11
2. Valores del factor K del tanque determinados por diferentes investigadores.	14
3. Registros de precipitación finca Nueva Irlanda.	18
4. Valores de temperatura y humedad relativa para 1993.	18
5. Valores de temperatura y humedad relativa para 1994.	19
6. Descripción del perfil del suelo.	22
7. Resultado del análisis químico del suelo.	23
8. Propiedades físicas y láminas netas de riego	23
9. Tratamientos evaluados en la fase de macollamiento	30
10. Láminas por riego y lluvia durante la etapa de macollamiento.	33
11. Población y resumen del análisis de varianza para la etapa de macollamiento.	36
12. Altura de tallo y resumen del análisis de varianza para el período evaluado.	38

13.	Producción y resumen del análisis de varianza para los tratamientos evaluados.	39
14.	Uso consuntivo durante el macollamiento y el ciclo total	42
15.	Primera lectura de población.	51
16.	Segunda lectura de población.	51
17.	Tercera lectura de población.	51
18.	Primera lectura de crecimiento longitudinal.	52
19.	Segunda lectura de crecimiento longitudinal.	52
20.	Tercera lectura de crecimiento longitudinal.	52
21.	Producción de caña en toneladas métricas por hectárea.	53
22.	Producción de libras de azúcar por tonelada métrica.	53
23.	Producción de caña en toneladas métricas por hectárea.	53
24.	Balance hídrico para el tratamiento 5.	54
25.	Balance hídrico para la etapa de rápido crecimiento.	57

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	PAGINA	
1.	Profundidad del nivel freático.	34
2.	Evaporación y precipitación en el ciclo de cultivo.	35
3.	Tasa de crecimiento longitudinal.	37
4.	Tasa de incremeto poblacional.	38
5.	Producción de caña según lámina de agua recibida.	40
6A.	Plano general del experimento.	50
7A.	Poblaciones en la fase de macollamiento.	64
8A.	Crecimiento longitudinal.	65
9A.	Agotamiento de la humedad disponible en el tratamiento 2	66

10A. Agotamiento de la humedad disponible en el tratamiento 3	67
11A. Agotamiento de la humedad disponible en el tratamiento 4	68
12A. Agotamiento de la humedad disponible en el tratamiento 5	69

REQUERIMIENTOS DE RIEGO
DE LA CASA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum* L.),
DURANTE LA FASE DE MACOLLAMIENTO EN PLANTILLA, BAJO LAS
CONDICIONES DEL MUNICIPIO DE TIQUISATE, ESCUINTLA.

IRRIGATION REQUIREMENT FOR SUGAR CANE
(*Saccharum officinarum* L.), DURING THE TILLERING PHASE, IN
THE ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF TIQUISATE ESCUINTLA.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, se realizó en la finca Nueva Irlanda, Tiquisate, Escuintla, durante el periodo comprendido del 21 de Enero de 1,994 al 16 de Diciembre del mismo año, en un suelo de textura franco limosa.

La siembra fue realizada durante el Enero, habiendo evaluado la temporada de riego de Marzo a Mayo (macollamiento), ya que en Junio se estableció la época lluviosa.

Los objetivos consistieron en evaluar el efecto de 5 frecuencias variables de riego en la etapa de macollamiento del cultivo, así como determinar su efecto sobre el desarrollo, producción y rendimiento final de la caña de azúcar. El estudio fue llevado a cabo a nivel experimental, en parcelas de 7 surcos de 21 m. de largo.

Los tratamientos consistieron en programaciones de riegos basados en un balance de humedad del suelo y aplicados durante la etapa de macollamiento. Fueron definidos los tratamientos asumiendo diferentes niveles de evapotranspiración en función de la evaporación del tanque tipo A (E_v), variando el factor K en la ecuación: $E_t = K \times E_v$. Los diferentes consumos de agua fueron aplicados a la ecuación de balance hídrico para definir los momentos de riego. El balance hídrico

considerado se fundamentó en la ecuación : $Riego + pp - Et = \pm \Delta$ de humedad del suelo

A todos los tratamientos les fueron aplicados 3 riegos de establecimiento. Los tratamientos fueron arreglados en un diseño de bloques al azar con 4 repeticiones, teniendo en total 20 parcelas. La evaluación del efecto de las diferentes programaciones de riego sobre el rendimiento, se midió a través de las variables respuesta: producción en TM/ha, rendimiento teórico en lbs.Az/TM, TM.Az/ha, población y crecimiento.

Los resultados indican que en los distintos tratamientos, los riegos de establecimiento fueron suficientes para lograr producciones estadísticamente iguales, pues en ningún caso se presentaron diferencias significativas al 5%.

La población, crecimiento y contenido de azúcar tampoco fueron afectadas por los tratamientos de riego evaluados. Dichos resultados se deben posiblemente a efectos de nivel freático alto encontrado durante la época de riego, el cual se debió seguramente a la posición fisiográfica del área (27 msnm) y a los canales de distribución del agua de riego de los pantes comerciales, ya que los mismos permanecieron llenos durante la temporada de riego.

1. INTRODUCCION

El área cañera de Guatemala comprende aproximadamente 150,000 has., cubriendo gran variedad de microclimas, series de suelos y comportamiento de niveles freáticos, los que combinados definen la gran diversidad de ambientes en los que se desarrollan las distintas variedades de caña (tempranas, medianas y tardías).

Las condiciones climáticas definen dos estaciones: la seca (de Diciembre a Mayo) y la lluviosa (de Junio a Noviembre). En general, en la época seca la precipitación se reduce considerablemente.

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. Cuando la caña es sembrada en la época seca el riego coincide con las dos primeras etapas de desarrollo del cultivo (establecimiento y macollamiento), ya que la tercera etapa (elongación o rápido crecimiento), coincide con la época lluviosa.

En general, durante la época seca la evaporación excede a la precipitación, por lo que el riego suplementario es llevado a cabo en el cultivo, ya que según experiencias la producción con riego incrementa y es segura o menos riesgosa. A pesar de que esta práctica es cada día más costosa e importante en el cultivo, no han sido cuantificadas las bondades del mismo para las condiciones de suelo y clima del área de estudio. Información sobre regímenes óptimos de humedad para una producción comercial aún no se disponen.

Los costos de adquisición de equipos, de operación y mantenimiento

del riego en caña de azúcar. son cada vez más significativos en los costos de producción, por lo que los riegos deben de ser los estrictamente necesarios, según las relaciones agua-suelo-planta-clima.

La presente investigación evaluó el efecto del riego sobre el desarrollo y producción en caña plantilla, así como la determinación de las necesidades de riego en la etapa de macollamiento, bajo las condiciones de la finca Nueva Irlanda, municipio de Tiquisate, departamento de Escuintla.

Este trabajo forma parte de una de las líneas de investigación del área de suelo y agua del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICANA) y del Instituto de Investigación Agronómicas (IIA), de la facultad de agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

2. DEFINICION Y JUSTIFICACION DEL PROBLEMA.

Se sabe que la producción agrícola es riesgosa, siendo los factores climáticos uno de los de mayor riesgo. La costa Sur de Guatemala presenta variadas condiciones climáticas, especialmente de precipitación año tras año.

Ultimamente, el uso del riego para incrementar las producciones de caña por unidad de área en el sector es cada vez mayor, incrementando con ello los costos de producción. El riego es aplicado de acuerdo a la pericia y criterio de las personas encargadas, dejando por un lado aspectos técnicos del manejo del agua. Los esfuerzos en la mayoría de los casos se concentran en diseñar sistemas de riego, no así en establecer un uso racional y eficiente del recurso agua.

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. La evapotranspiración del cultivo es un dato básico para propositos de programación y diseño de sistemas de riego. Este valor es aun desconocido para los ambientes cañeros de Guatemala.

Para lograr una mayor eficiencia en el uso de esta práctica, se pretende con este estudio encontrar el valor del coeficiente intrínseco del tanque, del cultivo, y de la humedad del suelo (factor k) asociado al mayor desarrollo y producción en caña plantilla, así como determinar las necesidades de riego en la etapa de macollamiento.

3. MARCO TEORICO

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 (4) 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.

Según Varón (12), 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 tallo y más diámetro que los cultivos sin riego.

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 (10).

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 los rendimientos con

el mejor manejo posible de las prácticas de cultivo (11).

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 (12).

3.1.2. Frecuencia y programación del riego.

En términos generales los factores que influyen sobre el momento más 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 (10).

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 (10).

Existen varios métodos para determinar la frecuencia de riego de caña, dichos métodos lo hacen de manera indirecta y se basan en el contenido de humedad del suelo; entre estos métodos tenemos los siguientes:

Evaporímetros clase A: Ultimamente, para resolver los problemas de necesidades hídricas en caña de azúcar se ha recurrido a un método basado en la integración de los factores climáticos que afectan la evaporación del agua: Los evaporímetros de clase A.

Los evaporímetros clase A, son tanques colocados a la intemperie con el fin de que sean afectados por los mismos factores climáticos que al cultivo, con lo cual se logra establecer el consumo de agua por períodos en función de datos de evaporación, los cuales correlacionados con un factor K del cultivo, proporcionan valores de evapotranspiración; mediante la aplicación de la ecuación:

$$Et = K Ev \quad \text{ó} \quad Et/Ev = k$$

Donde:

Et = Evapotranspiración real (mm).

Ev = Evaporación en el tanque A (mm)

K = Coeficiente intrínseco del tanque, del cultivo, y de la humedad del suelo.

Se han establecido para la caña de azúcar los siguientes valores de K, los cuales se recomiendan tentativamente (10).

Edad de la caña (Meses)		Coefficiente K
0.0 ----	2.5 -----	0.4
2.5 ----	3.5 -----	0.6
3.5 ----	4.5 -----	0.8
4.5 ----	6.0 -----	0.9
6.0 ----	17. -----	1.0

Tensiometros : Son aparatos que miden la tensión (succión) con que el suelo retiene el agua. Básicamente constan de una cápsula de cerámica porosa conectada a un tubo de plástico o metal lleno de agua, y un manómetro graduado para indicar el valor del vacío creado en el tubo cuando el agua sale hacia el suelo a través de la cápsula porosa. Su máxima operación es de 0.85 atmósferas y opera muy bien en suelos con bajas tensiones como son los suelos arenosos o francos (8).

Bloques de Yeso (Bouyoucos): El aparato consiste en un bloque de yeso cuyo contenido de humedad varía de acuerdo con la humedad del suelo, y una adaptación del puende de Wheaststone con la cual se mide la resistencia eléctrica del bloque. La resistencia eléctrica que presenta el bloque de yeso varía inversamente con su contenido de humedad, esto es, la resistencia eléctrica es menor a medida que aumenta el contenido de humedad del bloque de yeso. Por lo tanto la resistencia del bloque es un índice de la humedad del suelo. Una de las principales ventajas de este sistema es que determina la tensión o contenido de humedad desde cerca del punto de saturación hasta el punto de marchitez. Sin embargo, presenta desventajas tales como: los bloques de yeso tienden a ser afectados por las sales del suelo; los bloques tienden a disolverse en el agua del suelo y en general tienen una corta duración (8).

3.1.3. Riego en caña de azúcar.

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. Juárez (11), definen 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.

Riego por surcos: Este sistema de riego es el que comúnmente se ha practicado en caña, para que el sistema funcione se necesita una buena nivelación del terreno, hasta donde las condiciones del suelo locales y los costos lo permitan; sin embargo, muy pocas veces se cuenta con estas condiciones. Para que el sistema funcione se necesitan canales de conducción o regueras, las cuales son utilizadas al mismo tiempo para conducir excesos de agua de lluvia y se trazan a causa de falta de nivelación, transversalmente o buscando una pendiente favorable para la conducción del agua de riego y drenaje por lluvia (8).

El agua de riego es distribuida hasta los surcos por medio de tapes en los canales, dichos tapes son hechos con pedazos de plástico o lona. La aplicación del agua a los surcos se hace rompiendo el talud en cada surco, método que hace que los caudales entregados sean muy diferentes de un surco a otro y el regador tiende a manejar algunos surcos con poca agua y otros con mucha. Presenta como inconveniente la rotura constante de las bordas lo que las destruye al cabo de dos o tres riegos (8).

Riego por aspersión: Es la forma mecánica de aplicar el agua por medio de rociadores simulando la precipitación natural pero controlando su cantidad y uniformidad (12). Presenta las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Adaptables a terrenos donde no es económica la nivelación para el riego por gravedad.
- Economía de agua.
- Adaptable a suelos con alta velocidad de infiltración, donde el riego por gravedad es poco práctico por las grandes pérdidas de agua.
- Controla la erosión.
- Elimina canales de conducción.
- Permite la aplicación de fertilizantes solubles en agua.

Desventajas:

- Altos costos iniciales y gran inversión de capital.
- El costo de la energía para el bombeo es continuo.
- El sistema carece de flexibilidad, ya que se diseña para una capacidad fija.

Un buen programa de manejo de agua requiere entre otros, del conocimiento de las necesidades hídricas y la evapotranspiración en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo (12).

Se sabe que la producción agrícola es riesgosa, siendo los factores climáticos uno de los de mayor riesgo. La costa sur de Guatemala presenta variadas condiciones climáticas, especialmente de precipitación año tras año, por lo que el riego viene a ser un agente de disminución

de riesgos.

3.1.4. Estudio sobre requerimientos de riego en caña de azúcar.

Para las condiciones del Valle del Cauca, 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 (2). El uso consuntivo promedio para un cultivo de 13 meses fue aproximadamente de 1,200 mm.

En áreas con bajo nivel freático y distribución de la lluvia requirieron de 2 a 6 riegos, en 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 (2).

El cuadro 1, resume resultados de estudios sobre requerimientos de agua de la caña de azúcar, desarrollados en Hawaii (10).

Cuadro 1. Estudio sobre requerimientos de riego en caña de azúcar en Hawaii.

Año	Localización	Relación agua/caña	Relación agua/azúcar	Lámina aplicada (mm)	Producción 1000 kg/ha	Riego cm/día
1889	Sprecklesville	--	5345	665	13.5	1.23
	Maui					
1889	"	--	4407	548	13.5	1.01
1889	Hamakuapoko, Maui	---	4613	584	13.7	1.08
1889	Kekaha, Kauai	--	3740	503	14.4	0.93
1897-	Makiki, Oahu	129	865	240	29.8	0.40
1898						
1898-	" "	121	859	261	32.7	0.41
1899	" "					
1912-	Wailuku, Maui	---	3465	533	16.6	0.89
1916						
1911-	Oahu Sugar Co.	---	3712	602	17.3	1.00
1916						
1914	Ewa, Oahu	---	3362	599	17.6	1.00
1911	Hawaiian Sugar	---	1986	289	15.6	0.48
1915	Co, Kauai					
1910-	NC&S Co, Maui	---	3841	731	20.4	1.22
1916						
1926	Ewa, Oahu	176	1486	528	27.4	0.88
1929	Waipio, "	126	1009	250	26.7	0.42
1929	" "	148	1180	299	27.2	0.50
1929	" "	125	1303	322	26.5	0.54
1930	Waipio, Oahu	125	1064	---	----	----
1958	Maalaea, Maui	73	----	345	----	0.58
	Pulehu, "	100	----	318	----	0.57
	Kaheka, "	82	----	269	----	0.56

3.1.5. Programación de riegos en caña de azúcar mediante balance hídrico

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 (14).

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

Un enfoque más sencillo y práctico, es la programación de riegos mediante el balance hídrico este método consiste en hacer un balance de agua en base a:

- 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.

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 en base a 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.

A inicios del año 1990, cantidades excesivas de agua de riego eran aplicadas en caña de azúcar. En la década de 1950. fue adoptado principalmente en Hawaii, Sur Africa y Taiwán, el enfoque del balance hídrico para programar el riego en caña de azúcar, así como el uso de tensiómetros y bloques de yeso para las determinaciones de humedad en el suelo (3).

El enfoque del balance hídrico requiere conocer la relación evapotranspiración del cultivo/evaporación del tanque tipo A (factor K del tanque), para las diferentes etapas de desarrollo del cultivo. El valor de la evaporación del tanque clase A es un buen estimativo de la evapotranspiración, a través de la siguiente relación: $E_t = K \times E_v$ (14).

En CENICANA (3), se determinó para programación de riegos, un factor 0.35 a 0.45 durante la etapa temprana de desarrollo y de 0.75 a 0.85 después de alcanzar la máxima cobertura.

Se tiene que 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 (4).

Juarez (11), resumen en el cuadro 2, resultados del factor K del tanque para las diferentes etapas de desarrollo del cultivo.

los valores anteriores, muestran 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.

3.1.6. Constantes de humedad del suelo.

3.1.6.1. Capacidad de campo.

Se considera como la humedad retenida por el perfil de un suelo uniformemente mojado, que prácticamente ha dejado de drenar sobre el suelo seco (14).

Existen dos formas de determinarla. La primera se realiza en laboratorio, sometiendo muestras de suelo a una tensión de 0.3 atmósferas (13). 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 ó 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 de las abcisas; 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 (10).

3.1.6.2. Punto de marchitez permanente.

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 (10).

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.

De acuerdo a Aguilera (1), 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 llegan al equilibrio en un tiempo de 18 a 20 horas. El porcentaje de humedad se determina por el método gravimétrico en base seca.

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 (13).

3.1.7. Contenido de humedad del suelo.

3.1.7.1. Humedad utilizable.

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. (10).

3.1.7.2. Humedad fácilmente aprovechable.

De similar manera, Israelsen y Hansen (10), 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 de la humedad que puede ser extraída por las plantas sin gran esfuerzo y que presenta aproximadamente un 75% de la humedad utilizable total.

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.

3.2. Marco Referencial

3.2.1. Ubicación y descripción del área experimental.

El experimento se llevó a cabo en la finca "Nueva Irlanda",

Municipio de Tiquisate, departamento de Escuintla; la cual se encuentra localizada en las coordenadas geográficas, Latitud Norte 14°8'35" y Longitud Oeste 91°25'00". Dista de la ciudad capital a 170 km. al sur a una elevación de 23 msnm (7).

Según De La Cruz (5), el clima corresponde a la zona de vida, Bosque húmedo subtropical cálido. La estación lluviosa para la agricultura dura aproximadamente 180 días que van desde la segunda semana de Mayo a la segunda de Noviembre. Cuantitativamente se reciben entre 1257 y 1552 mm, de los cuales el 80% corresponde al período aludido y el resto a los meses secos (cuadro 3).

Cuadro 3. Registros de precipitación (mm.) finca Nueva Irlanda, Tiquisate, Escuintla

Mes Año	Ene	Feb	Mar	Abrl	Mayo	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	TOTAL (mm)
1,991	0	0	4	11	251	292	220	98	229	105	30	17	1257
1,992	0	0	0	0	111	201	196	126	249	422	85	0	1390
1,993	0	0	2	20	153	370	342	327	225	72	41	0	1552
1,994	0	0	0	0	21	172	145	179	207	182	53	0	959

Fuente: Finca Nueva Irlanda

En los cuadros 4 y 5 se presentan los valores mensuales de temperatura y humedad relativa de la estación climatológica Tiquisate

Cuadro 4. Valores de temperatura y Humedad relativa para 1993. Tiquisate

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOST	SEPT	OCT	NOV	DIC
T°MAX	36.80	37.80	38.20	38.80	36.50	32.60	33.00	34.00	33.1	33.80	33.60	35
T°MIN	17.50	17.00	20.00	21.00	21.00	23.20	22.50	22.50	22.2	22.50	21.40	20.5
T°	27.15	27.40	29.10	29.90	28.75	27.95	27.75	28.25	27.8	28.15	27.50	27.75
HR(%)	71	69	71	73	82	83	79	79	81	78	75	71

Fuente: INSIVUMEH, (9).

Cuadro 5. Valore de Temperatura y humedad relativa para 1994. Tiquisate

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOST	SEPT	OCT	NOV	DIC
T°MAX	38.50	36.60	38.30	38.50	38.30	33.40	37.40	36.00	36.50	35.80	36.0	35.40
T°MIN	20.50	19.30	23.00	24.50	24.50	22.40	21.00	23.30	20.80	18.00	21.4	21.00
T°	29.50	27.95	30.65	31.50	31.40	27.90	29.20	29.65	28.65	26.90	28.7	28.20
HR(%)	65	64	65	70	73	73	76	77	76	79	82	81
EvT* (mm/ dia)	--	--	5.62	5.14	4.92	5.26	4.89	5.64	5.05	5.93	4.83	5.05

Fuente : INSIVUMEH, (9)

* Evaporación del tanque tipo A.

Según García (7) estos suelos pertenecen a la consociación pueblo Tiquisate, distribuyendose en la llanura aluvial de pie de monte, específicamente en la parte distal o pie de los abanicos. El relieve es plano y con pendiente que no excede el 1%. Son suelos profundos a muy profundos, bien drenados. En algunos lugares se observa el nivel freático temporalmente en algún sitio del perfil, debido al escurrimiento hipodérmico. El agua está en movimiento permanente, por lo cual el suelo se mantiene oxigenado y no alcanza a producir procesos de reducción, no afectando la respiración de las raíces. La texturas de los horizontes son arcillosas a limosas y en algunas casos francas y arenosas.

La fuente de abastecimiento de agua para riego en la finca lo constituye el río La Noria, el cual es encausado por un canal principal profundo hacia los canales de distribución que hacen llegar el agua a los distintos lotes de cultivo. El agua de estos canales es elevada hacia los lotes por medio de bombas, ya que los mismos se encuentran a un nivel mas bajo que las áreas de cultivo. La mayor parte de canales de distribución de la finca permanecen llenos a efecto de contar con agua para riego y para lograr posibles efectos de subirrigación.

El principal cultivo de la zona lo constituye la caña de azúcar (Sacharum officinarum L.)

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

4.1.1. Evaluar el efecto de 4 programaciones de riego sobre el desarrollo y producción de la caña de azúcar aplicados durante la fase de macollamiento en plantilla.

4.2 Objetivos específicos

4.2.1 Determinar el requerimiento de riego de la caña de azúcar durante la etapa de macollamiento.

4.2.2 Determinar el grado de agotamiento de la humedad del suelo bajo diferentes regimenes de riego.

4.2.3 Determinar el efecto del riego aplicado en la etapa de macollamiento sobre el desarrollo y producción de la caña de azúcar.

5. HIPOTESIS

5.1 El desarrollo y producción de la caña de azúcar no es afectado por diferentes programaciones de riego aplicados durante la fase de macollamiento.

6. METODOLOGIA

6.1. Metodología Experimental

6.1.1. Análisis y determinaciones previas al experimento.

Previo al establecimiento del experimento se hizo una calicata y varios barrenamientos en el sitio experimental, dichos resultados se observan en el cuadro 6.

Cuadro 6. Descripción del perfil del suelo.

Horizonte	Características
0-15 cm Ap	Negro; textura franca limosa, estructura débil, en bloques subangulares medios débiles friable.
15-40 cm A	Negro; textura franca limosa con material orgánico; estructura moderada, bloques subangulares medios débiles.
40-80 cm BC	Café claro, textura franco arcilloso, estructura bloques subangulares medianos duros; consistencia firme pegajosa y plástica.
80-100cm C	Café claro; textura franco arcillo arenoso; sin estructura; consistencia friable y pegajosa.

Se realizaron muestreos de suelos para los análisis físicos y químicos del área experimental (textura, densidad aparente, capacidad de campo y punto de marchites permanente, así como también contenido de nutrientes).

Para el análisis químico se tomaron submuestras de suelo en tres estratos determinados (0-20, 20-40 y 40-60 cms), para luego formar una muestra compuesta de cada estrato. Dichas muestras fueron enviadas al laboratorio de suelos del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICANA).

Los resultados obtenidos de los análisis químico y físico se muestran en los cuadros 7 y 8.

Cuadro 7. Resultado del análisis químico del suelo

Estrato	Textura	pH	MO (%)	CIC (meq/100g)	P (ppm)	(meg/100 g)					
						K	Ca	Mg	Na	Cu	Fe
0-20	Fco. limoso	6.46	4.16	29.96	31.32	2.3	15.6	9.02	0.13	1.6	3.6
20-40	Fco. limoso	7.19	2.55	35.40	5.03	1.07	19.14	13.97	0.20	1.6	1.6
40-60	Fco. arenoso	7.52	1.74	23.94	12.51	0.31	9.14	14.78	0.39	2.4	12.2

Fuente: Laboratorio de suelos de CENGICANA

A partir de las constantes físicas se determinó por estratos de 20 cms. la lámina aprovechable (LAM) y la lámina rápidamente aprovechable (LARA), correspondientes a un déficit permitido de manejo del 60%, y a 60 cms. de profundidad (cuadro 6).

Cuadro 8. Propiedades físicas del suelo y láminas netas de riego.

Estrato	Textura	CC (%)	PMP (%)	D _{ap} (gr/cc)	LAM _{ap} (mm)	LARA (mm)	LAM RIEGO (mm)
0-20	Fco. limoso	35.30	21.05	1.28	36.48	21.78	59.00
20-40	Fco. limoso	38.68	22.15	1.09	35.74	21.44	
40-60	Franco	26.57	12.68	0.91	25.28	15.17	

Fuente: Laboratorio de suelo de CENGICANA

Referencias:

CC = Capacidad de campo

PMP = Punto de marchitez permanente

D_{ap} = Densidad aparente

LAM_{ap} = Lámina aprovechable

LARA = Lámina rápidamente aprovechable

LAM RIEGO = Lámina de riego a aplicar

La densidad aparente se determinó por medio del cilindro de volumen conocido; dicho muestreo se realizó en los tres estratos citados.

La capacidad de campo y el punto de marchitez permanente fueron determinados por medio de la olla de presión en condiciones de

laboratorio.

6.1.2. Manejo del cultivo.

El manejo del cultivo se llevo a cabo de acuerdo a la tecnología empleada en los lotes comerciales a excepción del riego. Se utilizó el método de riego por gravedad

La variedad de caña de azúcar utilizada fue la CP 722086, ya que es la que se encuentra sembrada en mayor proporción en la zona de estudio y en el área cañera en general, pues según evaluaciones a nivel experimental y comercial, esta es la mejor variedad en cuanto a producción (ton/ha) y rendimiento (Lbs Az/Ton).

La preparación del terreno consistió en dos pasos de rastro arado y, posteriormente, en una nivelación en base a un levantamiento topográfico. Seguidamente, se dio un paso de rastra previo al surqueo, el cual se realizó a una distancia entre surcos de 1.5 m.

Finalmente, se trazó con surqueador los diferentes canales de conducción hacia las unidades experimentales.

La siembra del experimento se llevó a cabo el 21 de Enero de 1,994. Previo a la siembra se aplicó el primer riego general por gravedad. Al momento de la siembra se incorporó terbufos a razón de 23 kilogramos por hectárea para el control de plagas del suelo y fertilizante 18-46-0 a razón de 195 kg. por hectárea. El 26 de Enero se procedió a realizar el segundo riego de germinación.

El control de malezas se llevo a cabo integrando los métodos químico, mecánico y manual. El primero de ellos consistió en la aplicación de un herbicida preemergente a los 5 días después de la

siembra, el cual fue una mezcla de 0.23 kg. de Hexazinona + 0.91 kg. de Diuron + 2 lt. de 2,4-D + 0.91 kg. de Atrazina.

A los 30 días después de emergida la caña se realizó un cultivo con tractor, el cual consistió en un paso de cultivadora de discos. A los 45 días después de la siembra se fertilizó, aplicando 195 kg de urea por hectárea con abono-cultivadora y un último cultivo con tractor a los 15 días después del abono-cultivo.

Finalmente, a los 120 días de edad del cultivo se realizó una limpia manual que dio fin al control de malezas.

La cosecha se realizó el 16 de Diciembre de 1,994.

6.1.3. Manejo del experimento.

En el presente estudio se consideraron 35 días para la germinación de la caña y a partir de esta fecha hasta los 4.5 meses de edad se consideró la etapa de macollamiento del cultivo (13).

La Siembra se efectuó el 21 de Enero de 1,994 previo a la siembra se realizó el primer riego por gravedad. Cuatro días después de la siembra se dio el segundo riego de germinación a todos los tratamientos.

37 días después de la siembra se realizó un último riego general o de uniformización, con el cual se inició el control del balance hídrico o inicio de los tratamientos. Este último riego fue controlado y se contabilizó en los consumos del cultivo durante la etapa de macollamiento.

6.1.3.1. Método de riego.

Se utilizó el método de riego por surcos, tomando el agua de las acequias de cabecera por medio de sifones de 2.0" previamente calibrados en cuanto a carga y caudal. Se evitó el escurrimiento al final de cada surco por medio de bordos que rodearon la parcela.

6.1.3.2. Momento de aplicación de los riegos.

La programación de los riegos para cada tratamiento se basó en el balance hídrico, el cual consistió en computar las pérdidas de humedad del suelo por evapotranspiración y las entradas por riego y precipitación. La ecuación de balance hídrico considerada en el estudio fue la siguiente: $Riego + pp - Et = \pm \Delta$ de humedad del suelo.

El riego se aplicó cuando el 60 % del total de agua disponible a 0.60 m fue agotada o consumida, es decir, cuando los registros indicaron que la lámina rápidamente aprovechable estaba agotada (LARA=0).

La lámina de agua aprovechable que se aplicó en cada parcela se calculó en base a la ecuación:

$$AA = \sum_i^N \frac{(CC - PMP)_i \times DA_i \times P_i}{100}$$

Donde:

AA = Lámina aprovechable en la zona radicular; en mm

CC = Porcentaje de humedad a capacidad de campo

PMP = Porcentaje de humedad de punto de marchites permanente

DA = Densidad aparente

Pi = Espesor de los estratos

La lámina que se aplicó en cada riego fue constante y a la vez equivalente a la lámina rápidamente aprovechable (LARA);

$$LARA = 0.6 \times AA.$$

La lámina de agua consumida se calculó con la ecuación:

$$V_P = \frac{LARA \times A_P}{Efr}$$

Donde: A_P = Area por parcela

Efr = Eficiencia de riego (90%)

Mediante el balance diario, se pudo estimar el agua aprovechable todavía disponible en el suelo, restando las pérdidas por evapotranspiración y adicionando las entradas por concepto de riego y lluvias. Para estos controles fue necesario realizar lecturas diarias de evaporación y lluvia durante el período de estudio, por lo que fue instalado un pluviómetro y un tanque de evaporación tipo A a inmediaciones del ensayo.

Los cálculos del balance hídrico para la etapa de macollamiento fueron desarrollados hasta el 31 de Mayo de 1994, fecha que coincidió con el inicio de la época lluviosa.

6.1.3.3. Lámina total recibida por tratamiento.

La lámina de agua recibida en cada tratamiento durante el período de estudio (Marzo a Mayo) fue definida como la suma de la lámina de riego aplicada más la precipitación efectiva.

La precipitación efectiva se computo según la ecuación:

pp efectiva = Σ precipitación - Σ excesos calculados.

Los excesos fueron obtenidos de los cálculos del balance hídrico.

Para estimar el consumo total (macollamiento, rápido crecimiento y maduración) se desarrollo el mismo procedimiento anterior, con la diferencia que la humedad rápidamente aprovechable considerada en el balance a partir de Junio consistió de 74 mm, ya que la profundidad radicular efectiva en caña adulta se estima en 80 cm. (14).

Además, debido a factores como la uniformización de la humedad del suelo en la época lluviosa, a la buena provisión de humedad en dicha época y a la edad de la caña, se usó un K de 1 en el balance, para estimar la evapotranspiración diaria del cultivo de Junio hasta la cosecha (6).

En el cuadro 15 del apéndice, se presenta el computo de balance hídrico realizado para el tratamiento K=0.8

El valor del K real de cada tratamiento para la etapa de macollamiento, resultó de la relación de la lámina total recibida y la evaporación del tanque tipo A (cuadro 10).

6.1.3.4. Monitoreo de la humedad del suelo.

A efecto de conocer los estados de humedad del suelo en los diferentes tratamientos, se realizó un monitoreo de humedad antes y después de cada riego. El nivel de agotamiento de la humedad aprovechable para cada tratamiento previo a los riegos se computó según la ecuación;

$$\% \text{ Agot H.A.} = \frac{\% \text{ cc} - \% \text{ Ht}}{\% \text{ cc} - \% \text{ PMP}} * 100$$

Donde; % cc = Capacidad de campo en porcentaje

% Ht = Humedad antes del riego

6.1.3.5. Observación de nivel freático.

Con el propósito de conocer la profundidad del nivel freático en el área de estudio se hicieron 4 pozos de observación, protegidos cada uno de ellos por un tubo de pvc de 1" de diámetro y 1.5 m. de largo. Así mismo a cada tubo se le perforaron agujeros de 1/8 de diámetro en toda su longitud.

Los pozos se ubicaron en las esquinas del ensayo y la profundidad de los mismos fué de 1.3 m. Las lecturas fueron tomadas antes del riego y un día después.

6.2. Técnicas de Campo.

6.2.1. Tratamientos

Los tratamientos consistieron de programaciones de riego basados en un balance de humedad del suelo y aplicados durante la etapa de macollamiento del cultivo. Estos tratamientos fueron definidos asumiendo diferente nivel de evapotranspiración o consumo de agua del cultivo en función de la evaporación del tanque tipo A (Σv), variando el factor K en la ecuación, $E_t = K * E_v$.

Los diferentes consumos de agua fueron aplicados diariamente a la ecuación de balance hídrico para definir los momentos de riego.

La ecuación de balance hídrico considerada en el estudio fue la

siguiente: $\text{Riego} + \text{precipitación} - \text{Et} = \text{Cambio de humedad del suelo}$.

Los niveles de consumo de agua o tratamientos evaluados se citan en el cuadro (9).

Cuadro 9. Tratamientos evaluados en la fase de macollamiento.

Tratamientos en base a K	Identificación
Sin riego	T 1
K = 0.2	T 2
K = 0.4	T 3
K = 0.6	T 4
K = 0.8	T 5

6.2.2. Extensión del área experimental.

El área experimental contó con las siguiente características:

Area total del experimento.....	6,486 m ²
Area neta del experimento.....	4,410 m ²
Area por unidad experimental.....	210.5 m ²
Dimensiones en la unidad experimental.....	10.5 m x 21 m
Dimensiones en la parcela útil.....	7.5 m x 21 m
Area útil por unidad experimental.....	150.5 m ²
Número de unidades experimentales.....	20
Número de surcos por unidad experimental.....	7
Número de surcos por parcela neta.....	5
Distanciamiento entre surco.....	1.5 m

El diseño de campo puede observarse en el anexo, así como asignación aleatoria y ubicación de la infraestructura del riego.

6.2.3. Diseño experimental.

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con 5 tratamientos y 4 repeticiones.

Modelo Estadístico

$$Y_{ij} = M + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde

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

M = Valor de la media general.

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

B_j = Efecto del j -ésimo bloque.

E_{ij} = Erro experimental asociado a la ij -ésima unidad experimental.

$i = 1, 2, 3, 4$ y 5

$j = 1, 2, 3$ y 4 .

6.2.4. Variables medidas.

El efecto de los diferentes tratamientos se midió en base a las siguientes variables respuesta:

6.2.4.1. Producción de caña en TM/ha; se pesaron los cinco surcos centrales.

6.2.4.2. Rendimiento teórico, en lbs. de azúcar/TM, determinado mediante muestreo previo a la cosecha.

6.2.4.3. Toneladas métricas de azúcar/ha (TMAz/ha).

6.2.4.4. Longitud de los tallos hasta la última ligula visible, a los 90, 120 y 155 días y, al punto natural de quiebre previo a la cosecha.

6.2.4.5. Población a los 90, 105 y 155 días. Aquí se tomaron los tallos primarios dentro de la parcela neta.

6.2.5. Análisis de resultados.

A los resultados obtenidos de las variables de rendimiento, se les aplicó un análisis de varianza al 5 % de significancia.

Se realizaron, además, análisis gráficos a las variables longitud de tallo y población.

7. RESULTADOS Y DISCUSION

7.1. Riegos aplicados.

El cuadro 10 presenta el número de riegos aplicados y el total de agua consumida en cada uno de los tratamientos evaluados, así como el K real" de los mismos.

CUADRO 10. Láminas por riego y lluvia durante la etapa de macollamiento

Tratamiento	Número de riegos	Lamina Riego Aplicada (mm)	Lámina total Recibida (mm)*	Evaporación (mm)	K Real obtenido	Frecuencia de riego (Dias)
1 (Testigo)	1	59	79.88	481.49	0.16	--
2 (k=0.2)	2	118	138.88	481.49	0.29	22
3 (k=0.4)	4	236	256.88	481.49	0.53	28,25,25
4 (k=0.6)	5	295	315.88	481.49	0.66	21,22,23,18
5 (k=0.8)	6	354	374.88	481.49	0.78	15,13,15,16,17

* Incluye una precipitación efectiva de 20.88 mm. (29-05-94)

Balance Hídrico del 1 de Marzo al 31 de Mayo de 1994.

En el cuadro 10, puede observarse que el factor K real obtenido varió en proporción a la cantidad de agua de riego aplicada en cada tratamiento. La frecuencia de riego que se reporta, es a partir del ultimo riego de establecimiento o riego general.

7.2 Nivel Freático.

En la figura 1 se observan las posiciones del nivel freático durante el período de riego, valores que pueden calificarse como altos. El nivel freático alto es posiblemente debido a que los canales de riego y drenaje de los lotes comerciales permanecieron llenos durante la época seca.

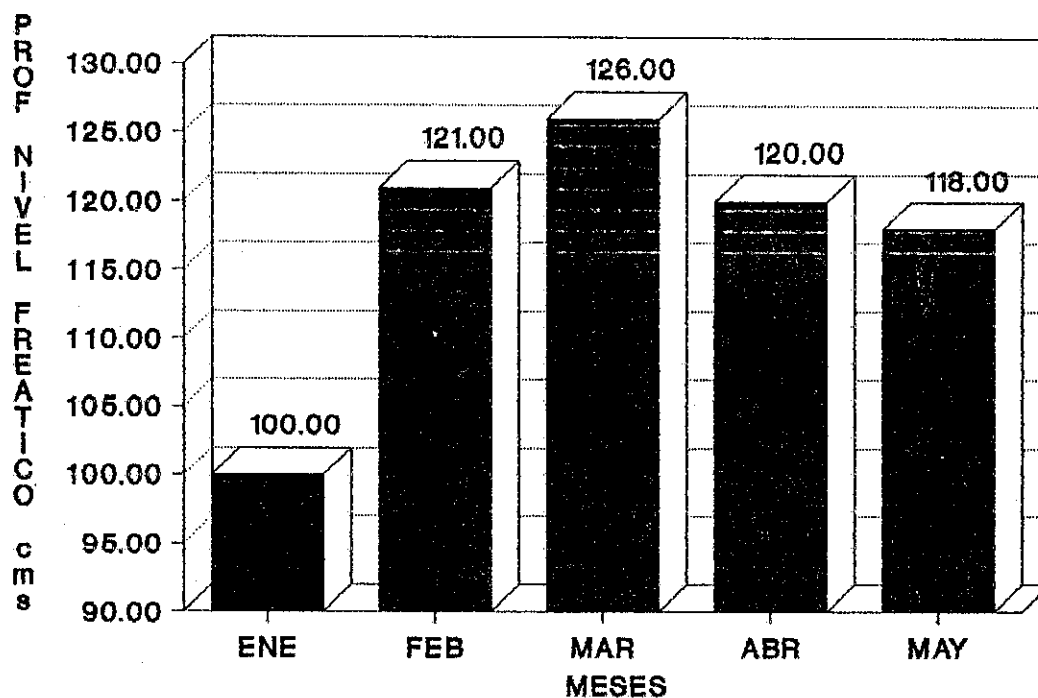


Fig. 1. Profundidad del nivel freático durante el período de estudio.

7.3 Comportamiento de la precipitación y evaporación durante el período de estudio.

En la figura 2, se presentan los valores de evaporación y precipitación durante el ciclo de cultivo, notándose carencia total de agua por precipitación en la época seca. Aún bajo las condiciones de clima citadas, el nivel freático se presentó bastante superficial. De

Mayo a Octubre tuvo lugar la época lluviosa, excediendo la precipitación en la mayoría de casos a la evaporación. El macollamiento tuvo lugar entre Marzo y Mayo, período en que se evaluó el efecto del riego. De Mayo a Octubre se registro la época lluviosa, coincidiendo con la fase de rápido crecimiento, lo que evidencia que el cultivo no careció de agua en tal período crítico. De Noviembre a Diciembre la evaporación volvió a exceder a la precipitación, lo que favoreció a la maduración o acumulación de sacarosa.

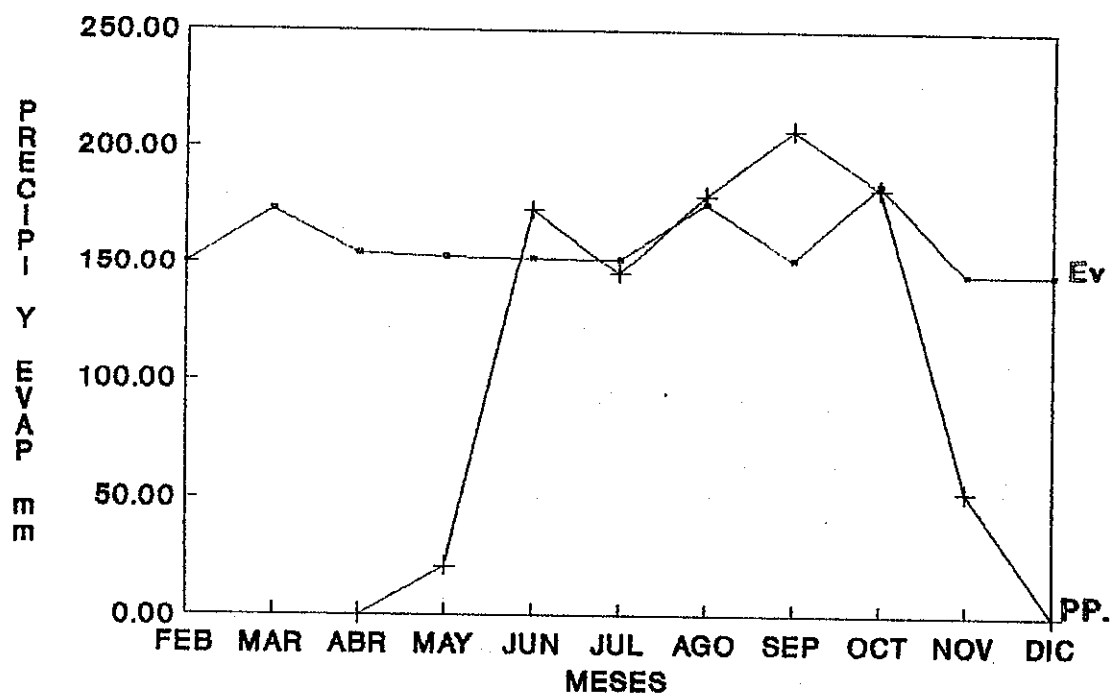


Fig. 2. Evaporación y precipitación durante el ciclo de cultivo.

7.4 Variables Respuesta.

7.4.1. Población y altura.

En los cuadros 11 y 12 se presentan los resultados de población y altura obtenidos para cada uno de los tratamientos evaluados en la etapa de macollamiento.

Cuadro 11. Población y resumen del análisis de varianza para la etapa de macollamiento.

Edad (días)	T1 (ptas/ha)	T2 (ptas/ha)	T3 (Ptas/ha)	T4 (Ptas/ha)	T5 (Ptas/ha)	Probabilidad de signific.	C.V (%)
90	113,083	106,778	118,167	114,389	112,222	0.2020 NS	9.22
105	114,528	113,250	119,806	115,639	114,556	0.4542 NS	8.43
155	81,333	82,611	85,611	84,139	86,639	0.3097 NS	6.15

Referencias:

NS = No significativo al 5% .

En el cuadro 11 podemos observar que en ninguna de las lecturas de población se registran diferencias estadísticamente significativas. Durante las dos primeras lecturas se registro un incremento poblacional en cada tratamiento, lo cual indica que el cultivo se encontraba amacollando. La tercera lectura presentó menores poblaciones, esto debido a que el macollamiento había concluido e iniciado la siguiente fase de desarrollo del cultivo.

Así mismo en la figura 3, se evidencia de manera contundente que la característica de la etapa de macollamiento es el desarrollo y proliferación de un gran número de plantas por unidad de área. Cuando la población se logra estabilizar, se desarrolla un proceso de selección debido a razones de espacio reducido y competencia por agua, nutrientes y luz entre otros.

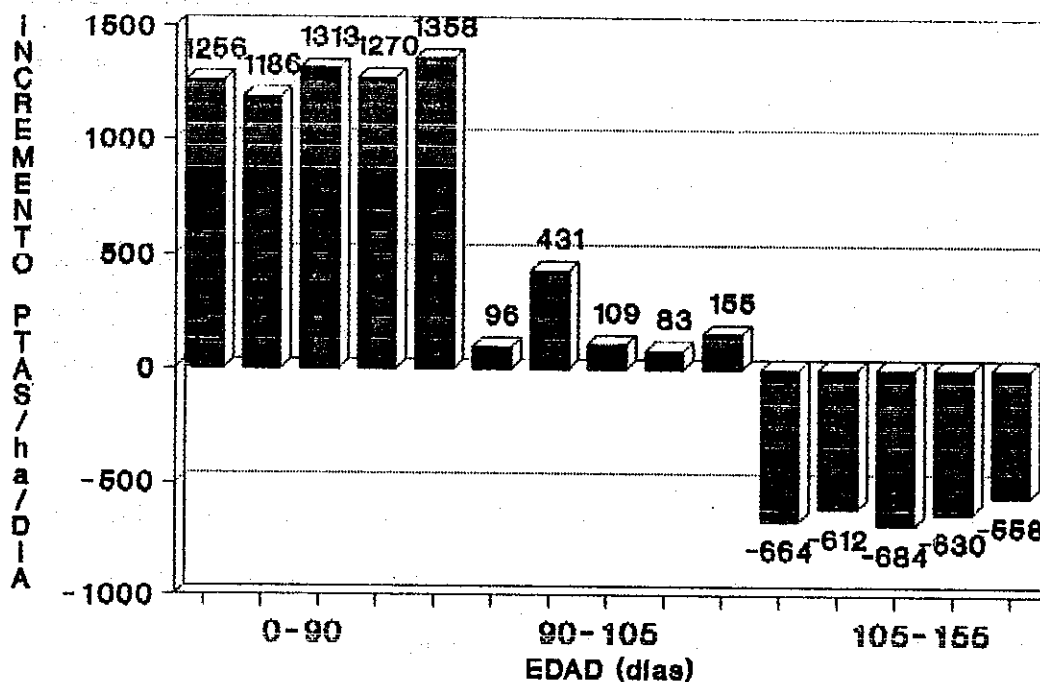


Fig. 4. Tasa de crecimiento longitudinal para el ciclo de cultivo.

Lo anteriormente dicho se refleja en los periodos de 0-90, 90-105 y 105-155 días respectivamente de la figura 4. Los mayores cambios notados en la tasa de incremento poblacional indican el paso de una fase de crecimiento a otra. (macollamiento a rápido crecimiento).

En el cuadro 12 se observan los promedios de las alturas encontradas en cada lectura y los incrementos registrados entre periodos

es notorio que a los 90 días (primera lectura) los incrementos en altura fueron menores que a los 120 y 155 días (Segunda y tercera lectura), esto fué debido a que al inicio, el cultivo se encontraba amacollando.

Cuadro 12. Alturas de tallo y resumen del análisis de varianza para el periodo evaluado

Edad (Días)	T1 (m)	T2 (m)	T3 (m)	T4 (m)	T5 (m)	\bar{X}	Probabilidad Significancia	C.V. (%)
90	0.52	0.49	0.56	0.53	0.54	0.53	0.0737 NS	11.53
120	1.35	1.37	1.54	1.42	1.51	1.44	0.0698 NS	11.55
155	2.10	2.10	2.27	2.24	2.35	2.21	0.0989 NS	7.14
327	3.29	3.30	3.25	3.31	3.40	3.31	0.0842 NS	5.18

Referencias:

NS = No significativo al 5%

El mismo comportamiento puede observarse mas claramente en la figura 4, ya que se aprecian las tasas de crecimiento diario por tratamiento y en los distintos periodos de tiempo.

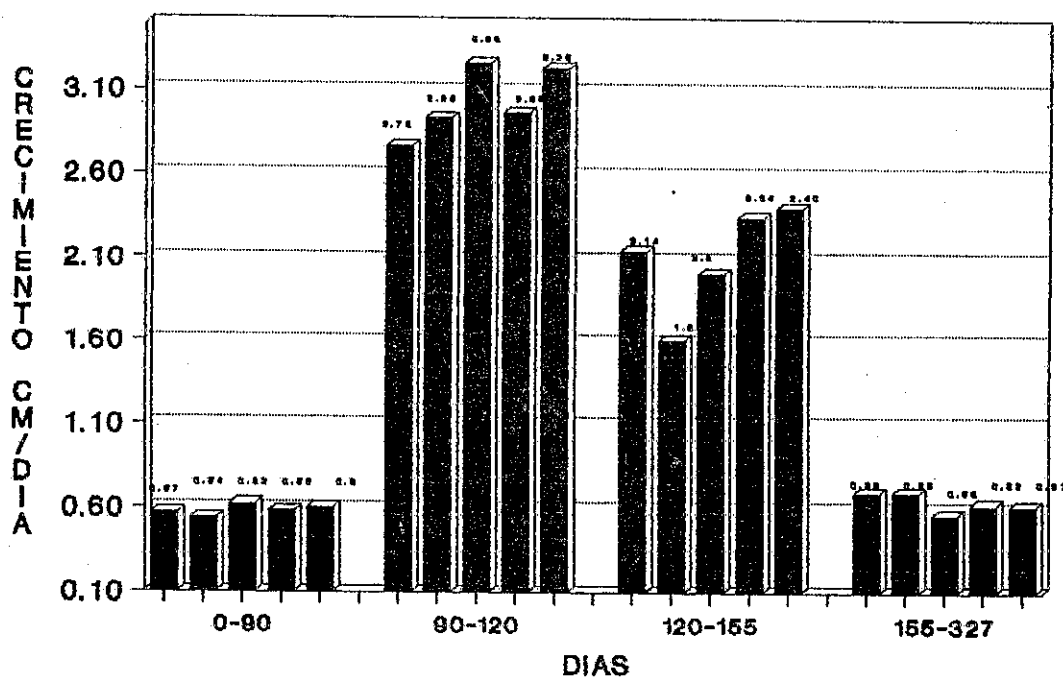


Fig. 3. Tasa de incremento poblacional durante el macollamiento.

Todo lo descrito anteriormente es parte del comportamiento normal de la fase de macollamiento y elongación del cultivo de la caña de azúcar (figura 4).

Los resultados (cuadro 11 y figura 7A del apéndice) muestran que la población de los diferentes tratamientos de riego en un período determinado fue bastante uniforme, lo cual indica que la población no fue afectada por los tratamientos de riego.

Al igual que la población, los resultados del cuadro 12 y figura 8 del apéndice, indican que los valores de altura no variaron significativamente con el régimen de riego en ninguna de las mediciones realizadas.

7.4.2 Producción

En el cuadro 13 se presentan los resultados promedio de producción obtenidos en los tratamientos de riego evaluados.

Cuadro 13. Producción y resumen del análisis de varianza para los tratamientos evaluados.

Parámetros	TRATAMIENTOS					\bar{X}	Probabilidad de Significancia	CV (%)
	1	2	3	4	5			
Riegos Aplicados	1	2	3	5	6	--	--	-- --
Prod. caña (Tm/ha.)	163.32	160.93	163.00	169.93	168.87	165.22	0.9703 NS	10.88
Rendimien. (Lb Az/Tm)	275.49	271.81	268.95	282.43	259.02	271.54	0.9110 NS	10.39
Rendimien. (Tm Az/ha)	20.45	19.88	19.92	21.81	19.88	20.39	0.7568 NS	11.39

Referencias:

NS = No significativo al 5% .

El análisis estadístico señala que los valores de producción en toneladas de caña por hectárea, lbs de azúcar/ Tm y Tm de azúcar/ha., no fueron afectados por los tratamientos de riego evaluados. Sin embargo, en la figura 5, se observa una leve respuesta a las aplicaciones de riego. La no respuesta a las aplicaciones de riego posiblemente es debida a los altos niveles freáticos encontrados durante la época de riego. El cuadro 10 presenta un K real para el testigo de 0.16, lo cual según la literatura es un factor bajo de K, por lo que debió obtenerse mayor respuesta a las aplicaciones de riego.

Además, en los tratamientos con menor número de riegos, se asume un alargamiento radicular forzado que posiblemente exploró y extrajo agua de capas profundas alimentadas del nivel freático, ya que no se encontró ningún factor limitante en el perfil del suelo.

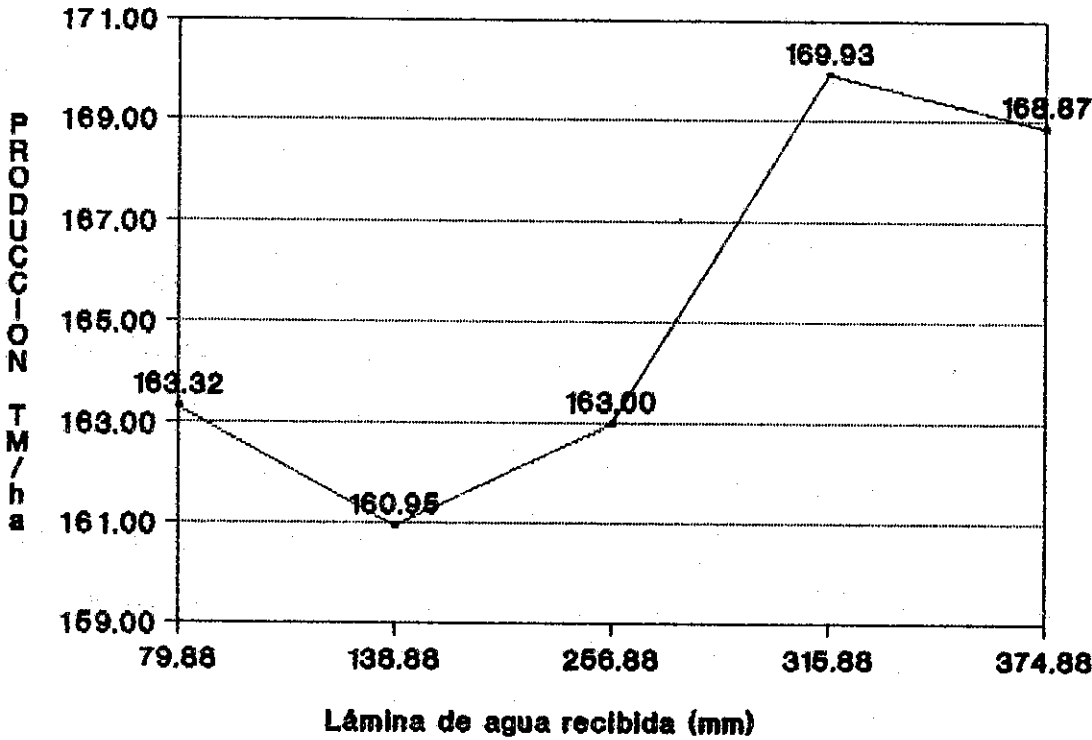


Fig. 5. Producción de caña según lámina total de agua recibida en el ciclo de cultivo.

7.5. Lámina de agua recibida por tratamiento.

La lámina recibida en la fase de macollamiento fue estimada para cada tratamiento en base al método del balance hídrico, mediante la relación;

Lámina recibida = Lámina de riego aplicada + Precipitación efectiva.

A pesar de que la lámina de riego aplicada en cada tratamiento fue invariable, el consumo total aumento según el número de riegos aplicados. En el cuadro 10 se presentan los valores de K real estimados para cada tratamiento. El valor de K real = 0.16 para el testigo, representa un valor bajo según trabajos de investigación de otros países, es decir, el testigo recibió durante el período evaluado una dotación del 16% de la evaporación del tanque tipo A. Para el tratamiento de 6 riegos (cuadro 10) se obtuvo un K real de 0.78 (78% de la evaporación del tanque), lo cual seguramente implicó un mayor consumo de agua por la planta, aunque no necesario para obtener una mayor producción final que el testigo (3 riegos de establecimiento), dada la edad de la caña durante la aplicación del riego y al régimen de lluvia durante el período de formación de la cosecha.

7.6. Uso consuntivo total según el Balance Hídrico.

Los resultados obtenidos, estiman que el requerimiento de agua, durante las etapas de macollamiento, elongación y maduración de la caña de azúcar en un cultivo de 10.8 meses de edad (cuadro 14), varió entre 1018.72 y 1313.72 mm. en el área y la variedad en estudio.

El consumo total de agua por el cultivo (uso consuntivo) se calculó mediante la suma de la precipitación efectiva y el agua de riego

aplicada a los distintos tratamientos.

El consumo de agua para las fases de rápido crecimiento y maduración, se calcularon con un $K=1$ y una lámina rápidamente aprovechable (cuadro 16) de 74 mm. Los resultados se resumen en el cuadro 14.

Cuadro 14. Uso consuntivo en base a la evaporación del tanque para la etapa de macollamiento y durante el ciclo total.

Macollamiento				Ciclo Total				
Tratamientos	Lamina de riego(mm)	Lamina de riego recibida	K real	Lamina de riego Aplicada	PP efectiva (mm)	Lamina recibida (mm)	Ev (mm)	K real
1	59	79.88	0.16	59	820.42	1018.72	1524.80	0.66
2	118	138.88	0.29	118	820.42	1077.72	1524.80	0.71
3	236	256.88	0.53	236	820.42	1195.72	1524.80	0.78
4	295	315.88	0.66	295	820.42	1254.72	1524.80	0.82
5	354	374.88	0.78	354	820.42	1313.72	1524.80	0.86

Referencias:

Ev = Evaporación

7.7. Agotamiento de la humedad aprovechable.

Las figuras 9A, 10A, 11A y 12A del apéndice, muestran el porcentaje de agotamiento de la humedad aprovechable en los estratos 0-20 y 20-40 cm, de los tratamientos 2, 3, 4 y 5.

El porcentaje de humedad disponible dependió básicamente de la capacidad de retención de humedad del suelo. El estrato 0-20 fue el que presentó mayor agotamiento en los diferentes tratamientos, posiblemente por ser el más superficial; a pesar de esta situación la humedad aprovechable no se agotó en su totalidad aun en el tratamiento más seco.

La figura 9, que corresponde al tratamiento $K=0.2$ (2 riegos), presenta el agotamiento máximo de la humedad aprovechable en el estrato 0-20 cm. (80%).

El menor agotamiento de humedad disponible se registro en el estrato 20-40 en todos los tratamientos, posiblemente por aportes significativos del nivel freático.

En general, los tratamientos con menor número de riegos (tratamiento 2), fueron sometidos a mayor tensión de humedad del suelo que los regados más frecuentemente (tratamiento 5), sin llegar al punto de marchitez permanente; posiblemente debido a aportes del nivel freático.

8. CONCLUSIONES

- 8.1 La producción en Ton. de caña/ha, Lbs. Az/ton y en ton Az/ha, no fueron afectados por las programaciones de riego evaluadas durante la etapa de macollamiento. Sin embargo se presentó una leve respuesta a las aplicaciones de riego a partir del tratamiento $K= 0.6$ (5 riegos, 315.88 mm.), el cual representó un aumento de 6.61 TM/ha. respecto al testigo.
- 8.2 Los tres riegos de establecimiento aplicados, es decir, dos de germinación más uno de 59 mm de lámina en el macollamiento, fueron suficientes para lograr niveles de producción estadísticamente iguales a los obtenidos con aplicaciones frecuentes de riego durante la etapa de macollamiento, al 5 % de significancia.
- 8.3 El nivel máximo registrado de agotamiento de la humedad aprovechable del suelo para los tratamientos regados fue del 80 %, el cual correspondió al estrato 0-20 cm del tratamiento $K=0.2$ (2 riegos en la etapa de macollamiento); y el menor agotamiento para los estratos 20-40 del tratamiento $K=0.8$ (6 riegos).
- 8.4 Las mediciones de población y altura de plantas realizadas en la etapa de macollamiento y previas a la cosecha, no fueron afectadas por las programaciones de riego evaluadas.

8.5 El requerimiento de agua, durante las etapas de macollamiento, elongación y maduración de la caña de azúcar en un cultivo de 10.8 meses de edad varió entre 1018.72 y 1313.72 mm para el área y la variedad evaluada.

9. RECOMENDACIONES

- 9.1 Estudiar el efecto de diferentes regímenes de riego de germinación sobre el establecimiento, desarrollo y producción de la caña de azúcar.
- 9.2 Validar los resultados obtenidos a escala comercial.
- 9.3 Continuar con este tipo de estudios en otros ambientes y en plantaciones soca de diferente edad y época de corte.
- 9.4 Realizar estudios de monitoreo de nivel freático en el área de estudio.
- 9.5 En áreas con nivel freático alto, realizar estudios de aportes del nivel freático a los requerimientos de agua de la caña de azúcar durante la época seca.

10. BIBLIOGRAFIA

1. ACUILLERA, C.M.; MARTINEZ, R. 1980. Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera. México, Ed. Periódicos Libros y Revistas. 260p.
2. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACION DE LA CASA DE AZUCAR (Csa.). 1984. Memoria anual de labores. Colombia. tomo 1 240 p.
3. -----, 1984. Memoria anual de labores. Colombia. tomo 2. 258 p.
4. CLEMENTS, H.F. 1985. El cultivo de la caña de azúcar de Hawaii. Venezuela, Estación Experimental de Occidente. Boletín Técnico no. 64. 60 p.
5. CRUZ, J.R. DE LA. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
6. DOOREMBOOS, J.; KASSAN, A.H. 1964. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma, Italia, FAO. Serie de Riego y Drenaje no. 24. 110 p.
7. GARCIA, S.A. et al. 1994. Estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. Guatemala, CENGICANA. 242 p.
8. GUARDIOLA, M.J. 1970. Curso sobre riego y drenaje en caña de azúcar. Colombia, Instituto Colombiano Agrícola. Boletín Técnico. no.12. p. 4-6
9. GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. Tarjetas de registros climáticos de la Estación Climatológica Tiquisate; de los años 1983-1993.

Sin Publicar.

10. ISRAEISEN, O.E.; HANSEN, V.E. 1976. Principios y aplicaciones de riego. Traducido por Alberto García Palacios. Barcelona, España, REVERTE. 276 p.
11. JUAREZ, D. 1994. Requerimiento de riego en caña de azúcar en la costa sur de Guatemala. Guatemala, CENGICANA. 40 p.
12. VARON, G.A. et al. 1973. Caña de azúcar. Colombia, Instituto Colombiano Agrícola. 261 p.
13. WHITERS, B.; VIPOND, S. 1978. El riego, diseño y práctica. México, Ed. Diana. 122 p.
14. YANG, S.J.; TORRES, J. 1984. El balance hídrico y la programación de los riegos de la caña de azúcar en el valle del Cauca. Cali, Colombia, CENICANA. 234 p.

Uo. Bo.
Petualde



11. APENDICE

Cuadro 15. Primera lectura de población en plantas por hectárea durante el macollamiento (90 días).

Tratamientos	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4
1	110.778	134.444	117.444	89.667
2	112.889	126.444	104.222	83.556
3	117.556	120.778	123.111	111.222
4	118.111	114.667	117.667	107.111
5	120.000	108.667	103.889	116.333

Cuadro 16. Segunda lectura de población en plantas por hectárea durante el macollamiento (105 días).

Tratamientos	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4
1	112.333	136.111	118.778	90.889
2	113.667	127.556	105.333	106.444
3	120.000	121.778	124.222	113.222
4	119.778	115.222	117.889	109.667
5	125.556	110.333	104.889	117.444

Cuadro 17. Tercera lectura de población en plantas por hectárea durante el macollamiento (155 días).

Tratamientos	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4
1	85.000	87.556	85.444	67.333
2	82.889	89.778	75.889	81.889
3	82.667	87.111	89.556	83.111
4	89.222	81.667	84.556	81.111
5	92.222	88.444	82.333	83.556

Cuadro 18. Primera lectura de crecimiento longitudinal en metros (m) durante el macollamiento (90 días).

Tratamientos	Bloque 1 (m)	Bloque 2 (m)	Bloque 3 (m)	Bloque 4 (m)
1	0.64	0.55	0.51	0.36
2	0.55	0.64	0.37	0.39
3	0.67	0.56	0.51	0.51
4	0.68	0.54	0.42	0.48
5	0.68	0.55	0.40	0.52

Cuadro 19. Segunda lectura de crecimiento longitudinal en metros (m) durante el macollamiento (120 días).

Tratamientos	Bloque 1 (m)	Bloque 2 (m)	Bloque 3 (m)	Bloque 4 (m)
1	1.53	1.54	1.43	0.90
2	1.52	1.66	1.06	1.21
3	1.65	1.51	1.52	1.48
4	1.72	1.36	1.36	1.26
5	1.67	1.52	1.32	1.53

Cuadro 20. Tercera lectura de crecimiento longitudinal en metros (m) durante el macollamiento (155 días).

Tratamientos	Bloque 1 (m)	Bloque 2 (m)	Bloque 3 (m)	Bloque 4 (m)
1	2.31	2.24	2.20	1.64
2	2.23	2.29	1.81	2.05
3	2.34	2.27	2.15	2.31
4	2.35	2.25	2.26	2.10
5	2.51	2.50	2.16	2.21

Cuadro 21. Producción de caña en toneladas métricas por hectárea

Tratamientos	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4
1	166.63	163.60	152.00	172.30
2	157.93	171.70	158.40	155.70
3	159.40	164.60	172.00	156.00
4	177.70	194.00	142.30	165.70
5	144.60	159.40	198.60	172.90

Cuadro 22. Producción de libras de azúcar por tonelada métrica.

Tratamientos	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4
1	281.59	272.57	274.10	262.91
2	275.87	228.35	275.88	307.12
3	235.40	317.26	260.90	262.24
4	269.73	276.54	280.30	303.14
5	280.24	296.80	239.60	240.67

Cuadro 23. Producción de caña en toneladas métricas por hectárea.

Tratamientos	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4
1	21.32	20.27	18.94	20.59
2	19.68	17.82	19.49	21.73
3	17.05	23.74	20.39	18.59
4	21.78	24.38	18.13	22.83
5	18.42	21.50	21.63	18.91

Cuadro 24. Balance Hidrico para el tratamiento K=0.8

BALANCE HIDRICO
K = 0.8

MES: Marzo
AÑO: 1994

DIA	LARA (mm)	EV (mm)	ET (mm)	PP (mm)	R (mm)	EX (mm)	DEF (mm)
1	59.00	5.18	4.14			0.00	0.00
2	54.86	6.19	4.95			0.00	0.00
3	49.90	5.72	4.58			0.00	0.00
4	45.33	4.91	3.93			0.00	0.00
5	41.40	3.64	2.91			0.00	0.00
6	38.49	3.74	2.99			0.00	0.00
7	35.50	5.72	4.58			0.00	0.00
8	30.92	5.72	4.58			0.00	0.00
9	26.34	7.01	5.61			0.00	0.00
10	20.74	4.41	3.53			0.00	0.00
11	17.21	7.07	5.66			0.00	0.00
12	11.55	5.02	4.02			0.00	0.00
13	7.54	5.72	4.58			0.00	0.00
14	2.96	6.44	5.15			0.00	2.19
15	-2.19	5.72	4.58		59.00	0.00	6.77
16	59.00	5.72	4.58			0.00	0.00
17	54.42	5.72	4.58			0.00	0.00
18	49.85	6.25	5.00			0.00	0.00
19	44.85	5.53	4.42			0.00	0.00
20	40.42	5.43	4.34			0.00	0.00
21	36.08	6.14	4.91			0.00	0.00
22	31.17	5.56	4.45			0.00	0.00
23	26.72	5.22	4.18			0.00	0.00
24	22.54	6.32	5.06			0.00	0.00
25	17.49	6.00	4.80			0.00	0.00
26	12.69	5.72	4.58			0.00	0.00
27	8.11	5.72	4.58			0.00	0.00
28	3.54	5.72	4.58		59.00	0.00	1.04
29	59.00	5.72	4.58			0.00	0.00
30	54.42	5.72	4.58			0.00	0.00
31	49.85	5.72	4.58			0.00	0.00
	45.27					0.00	0.00
SUMATORIAS	174.42	174.42	139.536	0	118	0	10

REFERENCIAS.

LARA: Lámina rápidamente aprovechable (59 mm)

Ev. : Evaporación (tanque tipo A)

Et. : Evapotranspiración (Et=K*Ev)

PP : Precipitación

R : Riego

Ex : Exceso por lluvia

DEF : Deficit por falta de riego

± Δ LARA = R+PP-Et

Continuación cuadro 24.

BALANCE HIDRICO

K = 0.8

MES: Abril

AÑO: 1994

DIA	LARA (mm)	EV (mm)	ET (mm)	PP (mm)	R (mm)	EX (mm)	DEF (mm)
1	45.27	5.14	4.11			0.00	0.00
2	41.16	5.14	4.11			0.00	0.00
3	37.05	5.14	4.11			0.00	0.00
4	32.93	5.14	4.11			0.00	0.00
5	28.82	5.14	4.11			0.00	0.00
6	24.71	5.14	4.11			0.00	0.00
7	20.60	5.14	4.11			0.00	0.00
8	16.49	5.14	4.11			0.00	0.00
9	12.37	5.14	4.11			0.00	0.00
10	8.26	5.14	4.11			0.00	0.00
11	4.15	5.89	4.71			0.00	0.56
12	-0.56	4.99	3.99		59.00	0.00	4.55
13	59.00	4.16	3.33			0.00	0.00
14	55.67	3.15	2.52			0.00	0.00
15	53.15	5.14	4.11			0.00	0.00
16	49.04	5.14	4.11			0.00	0.00
17	44.93	5.14	4.11			0.00	0.00
18	40.82	5.14	4.11			0.00	0.00
19	36.70	5.14	4.11			0.00	0.00
20	32.59	5.14	4.11			0.00	0.00
21	28.48	5.14	4.11			0.00	0.00
22	24.37	7.24	5.79			0.00	0.00
23	18.58	6.33	5.06			0.00	0.00
24	13.51	5.80	4.64			0.00	0.00
25	8.87	4.82	3.86			0.00	0.00
26	5.02	3.94	3.15			0.00	0.00
27	1.86	5.14	4.11			0.00	2.25
28	-2.25	5.14	4.11		59.00	0.00	6.36
29	59.00	5.14	4.11			0.00	0.00
30	54.89	5.14	4.11			0.00	0.00
31	50.78					0.00	0.00
SUMATORIAS		174.42	139.536	0	118	0	13.724

Continuación del cuadro 24.

BALANCE HIDRICO

K = 0.8

MES : Mayo

AÑO : 1994

DIA	LARA (mm)	EV (mm)	ET (mm)	PP (mm)	R (mm)	EX (mm)	DEF (mm)
1	50.78	4.93	3.94			0.00	0.00
2	46.84	4.93	3.94			0.00	0.00
3	42.89	4.93	3.94			0.00	0.00
4	38.95	4.93	3.94			0.00	0.00
5	35.00	7.18	5.74			0.00	0.00
6	29.26	6.69	5.35			0.00	0.00
7	23.91	4.93	3.94			0.00	0.00
8	19.96	4.93	3.94			0.00	0.00
9	16.02	4.93	3.94			0.00	0.00
10	12.08	4.93	3.94			0.00	0.00
11	8.13	4.93	3.94			0.00	0.00
12	4.19	4.93	3.94		59.00	0.00	0.00
13	0.24	4.93	3.94			0.00	3.70
14	-3.70	4.93	3.94			0.00	7.64
15	-7.64	4.93	3.94			0.00	11.59
16	59.00	4.93	3.94			0.00	0.00
17	55.06	4.93	3.94			0.00	0.00
18	51.11	4.93	3.94			0.00	0.00
19	47.17	4.93	3.94			0.00	0.00
20	43.22	4.93	3.94			0.00	0.00
21	39.28	4.93	3.94			0.00	0.00
22	35.34	4.93	3.94			0.00	0.00
23	31.39	4.93	3.94			0.00	0.00
24	27.45	5.11	4.09			0.00	0.00
25	23.36	5.18	4.14			0.00	0.00
26	19.22	4.93	3.94			0.00	0.00
27	15.27	4.68	3.74			0.00	0.00
28	11.53	3.29	2.63		59.00	0.00	0.00
29	8.90	4.93	3.94	20.86		0.00	0.00
30	25.81	3.82	3.06			0.00	0.00
31	24.76	3.47	2.78			0.00	0.00
SUMATORIAS		152.81	122.248	20.86	59.00	0	22.932

Cuadro 25. Balance Hidrico para la etapa de rápido crecimiento y maduración

BALANCE HIDRICO

MES : Junio

K = 1

AÑO : 1994

DIA	LARA (mm)	EV (mm)	ET (mm)	PP (mm)	R (mm)	EX (mm)	DEF (mm)
1	53.83	3.61	3.61	2.18		0.00	0.00
2	52.40	4.19	4.19			0.00	0.00
3	48.21	3.87	3.87	1.78		0.00	0.00
4	46.12	3.40	3.40			0.00	0.00
5	42.72	3.18	3.18			0.00	0.00
6	39.54	5.00	5.00	24.40		0.00	0.00
7	58.94	5.00	5.00			0.00	0.00
8	53.94	3.42	3.42	21.20		0.00	0.00
9	71.72	3.13	3.13			0.00	0.00
10	68.69	4.35	4.35			0.00	0.00
11	64.24	3.69	3.69	49.70		36.25	0.00
12	74.00	3.48	3.48	18.50		15.02	0.00
13	74.00	7.38	7.38			0.00	0.00
14	66.64	5.50	5.50			0.00	0.00
15	61.14	7.87	7.87			0.00	0.00
16	53.27	7.20	7.20			0.00	0.00
17	46.07	8.58	6.58	14.10		0.00	0.00
18	53.59	5.50	5.50			0.00	0.00
19	48.09	6.87	6.87	18.70		0.00	0.00
20	59.92	5.50	5.50			0.00	0.00
21	54.42	7.44	7.44			0.00	0.00
22	46.98	6.90	6.90			0.00	0.00
23	40.08	6.32	6.32			0.00	0.00
24	33.76	6.57	6.57	9.09		0.00	0.00
25	36.28	5.70	5.70			0.00	0.00
26	30.58	5.30	5.30			0.00	0.00
27	25.28	4.62	4.62	13.10		0.00	0.00
28	33.76	5.38	5.38			0.00	0.00
29	28.40	5.50	5.50			0.00	0.00
30	22.90	5.50	5.50			0.00	0.00
31	17.40					0.00	0.00
SUMATORIAS		157.91	157.91	172.75	0	51.27	0

Continuación Cuadro 25

BALANCE HIDRICO

MES : Julio

K = 1

AÑO : 1994

DIA	LARA (mm)	EV (mm)	ET (mm)	PP (mm)	R (mm)	EX (mm)	DEF (mm)
1	17.40	3.62	3.62			0.00	0.00
2	13.78	3.24	3.24			0.00	0.00
3	10.54	2.57	2.57			0.00	0.00
4	7.97	2.12	2.12			0.00	0.00
5	5.85	3.47	3.47	18.20		0.00	0.00
6	20.58	3.25	3.25			0.00	0.00
7	17.33	2.93	2.93	1.98		0.00	0.00
8	16.38	3.90	3.90	17.00		0.00	0.00
9	29.48	3.45	3.45			0.00	0.00
10	26.03	3.11	3.11			0.00	0.00
11	22.92	5.50	5.50			0.00	0.00
12	17.42	5.50	5.50			0.00	0.00
13	11.92	5.50	5.50			0.00	0.00
14	6.42	5.50	5.50				0.00
15	0.92	3.50	3.50			0.00	2.58
16	-2.58	5.00	5.00			0.00	7.58
17	-7.58	6.25	6.25	25.00		0.00	0.00
18	11.17	6.75	6.75			0.00	0.00
19	4.42	7.36	7.36	21.20		0.00	0.00
20	18.26	5.00	5.00	22.30		0.00	0.00
21	35.56	5.00	5.00	21.80		0.00	0.00
22	52.36	5.00	5.00	8.70		0.00	0.00
23	58.08	5.00	5.00			0.00	0.00
24	51.06	7.25	7.25			0.00	0.00
25	43.81	7.06	7.06			0.00	0.00
26	36.75	6.83	6.83			0.00	0.00
27	29.92	6.67	6.67			0.00	0.00
28	23.25	6.03	6.03			0.00	0.00
29	17.22	5.43	5.43			0.00	0.00
30	11.79	5.14	5.14	8.79		0.00	0.00
31	15.44	4.74	4.74			0.00	0.00
	10.70						
SUMATORIAS		151.67	151.67	144.97	0	0	10.16

Continuación Cuadro 25

BALANCE HIDRICO

K = 1

MES : Agosto

AÑO : 1994

DIA	LARA (mm)	EV (mm)	ET (mm)	PP (mm)	R (mm)	EX (mm)	DEF (mm)
1	10.70	5.00	5.00	25.50		0.00	0.00
2	31.20	5.00	5.00	40.80		0.00	0.00
3	67.00	5.00	5.00			0.00	0.00
4	62.00	5.00	5.00			0.00	0.00
5	57.00	7.52	7.52	20.00		0.00	0.00
6	69.48	6.00	6.00	1.57		0.00	0.00
7	65.05	7.50	7.50	34.70		18.25	0.00
8	74.00	5.00	5.00	13.30		8.30	0.00
9	74.00	5.00	5.00	18.30		13.30	0.00
10	74.00	5.00	5.00	2.23		0.00	0.00
11	71.23	5.00	5.00			0.00	0.00
12	66.23	5.00	5.00			0.00	0.00
13	61.23	5.00	5.00			0.00	0.00
14	56.23	7.65	7.65			0.00	0.00
15	48.58	7.49	7.49			0.00	0.00
16	41.09	6.99	6.99			0.00	0.00
17	34.10	6.40	6.40			0.00	0.00
18	27.70	5.90	5.90			0.00	0.00
19	21.80	5.40	5.40			0.00	0.00
20	16.40	4.99	4.99	16.60		0.00	0.00
21	28.01	4.50	4.50			0.00	0.00
22	23.51	4.40	4.40	5.98		0.00	0.00
23	25.09	4.21	4.21			0.00	0.00
24	20.88	3.88	3.88			0.00	0.00
25	17.00	3.38	3.38			0.00	0.00
26	13.62	6.00	6.00			0.00	0.00
27	7.62	7.50	7.50			0.00	0.00
28	0.12	7.00	7.00			0.00	6.88
29	-6.88	6.71	6.71			0.00	13.59
30	-13.59	6.11	6.11			0.00	19.70
31	-19.70	5.60	5.60			0.00	25.30
	-25.30						
SUMATORIAS		175.13	175.13	178.98	0	39.85	65.47

Continuación Cuadro 25

BALANCE HIDRICO

K = 1

MES : Septiembre

AÑO : 1994

DIA	LARA (mm)	EV (mm)	ET (mm)	PP (mm)	R (mm)	EX (mm)	DEF (mm)
1	-25.30	5.10	5.10	3.42		0.00	26.98
2	-26.98	4.60	4.60			0.00	31.58
3	-31.58	4.10	4.10			0.00	35.68
4	-35.68	3.78	3.78	35.50		0.00	3.96
5	-3.96	6.94	6.94	4.73		0.00	6.17
6	-6.17	6.44	6.44			0.00	12.61
7	-12.61	5.94	5.94			0.00	18.55
8	-18.55	5.52	5.52			0.00	24.07
9	-24.07	5.14	5.14			0.00	29.21
10	-29.21	4.50	4.60			0.00	33.71
11	-33.71	4.00	4.00			0.00	37.71
12	-37.71	3.52	3.52			0.00	41.23
13	-41.23	3.00	3.00			0.00	44.23
14	-44.23	5.00	5.00			0.00	49.23
15	-49.23	5.00	5.00			0.00	54.23
16	-54.23	5.99	5.99	9.24		0.00	50.98
17	-50.98	5.50	5.50			0.00	56.48
18	-56.48	5.00	5.00	13.50		0.00	47.98
19	-47.98	6.01	6.01	12.00		0.00	41.99
20	-41.99	5.56	5.56			0.00	47.55
21	-47.55	6.00	6.00			0.00	53.55
22	-53.55	5.50	5.50			0.00	59.05
23	-59.05	5.00	5.00			0.00	64.05
24	-64.05	4.50	4.50	9.46		0.00	59.09
25	-59.09	4.00	4.00	86.20		0.00	0.00
26	23.11	6.00	6.00	23.60		0.00	0.00
27	40.71	5.00	5.00	9.73		0.00	0.00
28	45.44	5.00	5.00			0.00	0.00
29	40.44	5.00	5.00			0.00	0.00
30	35.44	5.00	5.00			0.00	0.00
31	30.44					0.00	0.00
SUMATORIAS		151.64	151.64	207.38	0	0	929.87

Continuación Cuadro 25

BALANCE HIDRICO

K = 1

MES : Octubre

AÑO : 1994

DIA	LARA (mm)	EV (mm)	ET (mm)	PP (mm)	R (mm)	EX (mm)	DEF (mm)
1	30.44	7.50	7.50	14.60		0.00	0.00
2	37.54	7.00	7.00			0.00	0.00
3	30.54	6.50	6.50			0.00	0.00
4	24.04	6.00	6.00			0.00	0.00
5	18.04	5.50	5.50			0.00	0.00
6	12.54	5.00	5.00			0.00	0.00
7	7.54	6.97	6.97			0.00	0.00
8	0.57	6.47	6.47	12.50		0.00	0.00
9	6.60	6.00	6.00	24.70		0.00	0.00
10	25.30	7.00	7.00	3.31		0.00	0.00
11	21.61	7.00	7.00	11.90		0.00	0.00
12	26.51	7.00	7.00	26.10		0.00	0.00
13	45.61	7.00	7.00	7.07		0.00	0.00
14	45.68	7.00	7.00	10.90		0.00	0.00
15	49.58	7.00	7.00	67.20		35.78	0.00
16	74.00	7.00	7.00			0.00	0.00
17	67.00	7.00	7.00			0.00	0.00
18	60.00	7.00	7.00			0.00	0.00
19	53.00	7.49	7.49			0.00	0.00
20	45.51	7.00	7.00			0.00	0.00
21	38.51	6.80	6.80	3.53		0.00	0.00
22	35.24	5.59	5.59			0.00	0.00
23	29.65	5.22	5.22			0.00	0.00
24	24.43	4.97	4.97			0.00	0.00
25	19.46	4.73	4.73			0.00	0.00
26	14.73	4.47	4.47			0.00	0.00
27	10.26	4.22	4.22			0.00	0.00
28	6.04	3.97	3.97			0.00	0.00
29	2.07	3.40	3.40			0.00	1.33
30	-1.33	3.15	3.15			0.00	4.48
31	-4.48	2.85	2.85			0.00	7.33
	-7.33						
SUMATORIAS		183.798	183.798	181.81	0	35.78	13.134

Continuación Cuadro 25

BALANCE HIDRICO

K = 1

MES : Noviembre

AÑO : 1994

DIA	LARA (mm)	EV (mm)	ET (mm)	PP (mm)	R (mm)	EX (mm)	DEF (mm)
1	-7.33	2.35	2.35			0.00	9.68
2	-9.68	1.85	1.85			0.00	11.53
3	-11.53	5.32	5.32			0.00	16.85
4	-16.85	5.00	5.00	13.90		0.00	7.95
5	-7.95	5.04	5.04	4.35		0.00	8.64
6	-8.64	4.50	4.50	29.70		0.00	0.00
7	16.56	4.00	4.00			0.00	0.00
8	12.56	6.00	6.00			0.00	0.00
9	6.56	5.50	5.50			0.00	0.00
10	1.06	5.00	5.00			0.00	3.94
11	-3.94	5.86	5.86			0.00	9.80
12	-9.80	5.46	5.46			0.00	15.26
13	-15.26	5.00	5.00			0.00	20.26
14	-20.26	4.72	4.72			0.00	24.98
15	-24.98	4.42	4.42			0.00	29.40
16	-29.40	4.33	4.33			0.00	33.73
17	-33.73	3.85	3.85			0.00	37.58
18	-37.58	3.62	3.62			0.00	41.20
19	-41.20	3.26	3.26			0.00	44.46
20	-44.46	2.63	2.63			0.00	47.09
21	-47.09	2.12	2.12			0.00	49.21
22	-49.21	7.99	7.99			0.00	54.20
23	-57.20	7.50	7.50			0.00	64.70
24	-64.70	7.00	7.00	5.00		0.00	66.70
25	-66.70	6.50	6.50			0.00	73.20
26	-73.20	6.51	6.51			0.00	79.71
27	-79.71	5.65	5.65			0.00	85.36
28	-85.36	5.15	5.15			0.00	90.51
29	-90.51	4.50	4.50			0.00	95.01
30	-95.01	4.26	4.26			0.00	99.27
31	-99.27					0.00	99.27
SUMATORIAS		144.89	144.89	52.95	0	0	1222.49

Continuación Cuadro 25

BALANCE HIDRICO

K = 1

MES : Diciembre

AÑO : 1994

DIA	LARA (mm)	EV (mm)	ET (mm)	PP (mm)	R (mm)	EX (mm)	DEF (mm)
1	-99.27	3.80	3.80			0.00	3.80
2	-3.80	3.50	3.50			0.00	7.30
3	-7.30	3.00	3.00			0.00	10.30
4	-10.30	2.50	2.50			0.00	12.80
5	-12.80	2.00	2.00			0.00	14.80
6	-14.80	1.79	1.79			0.00	16.59
7	-16.59	7.99	7.99			0.00	24.58
8	-24.58	7.99	7.99			0.00	32.57
9	-32.57	7.99	7.99			0.00	40.56
10	-40.56	7.90	7.90			0.00	48.46
11	-48.46	7.02	7.02			0.00	55.48
12	-55.48	6.50	6.50			0.00	61.98
13	-61.98	6.00	6.00			0.00	67.98
14	-67.98	5.50	5.50			0.00	73.48
15	-73.48	4.80	4.80			0.00	78.28
C O S E C H A							

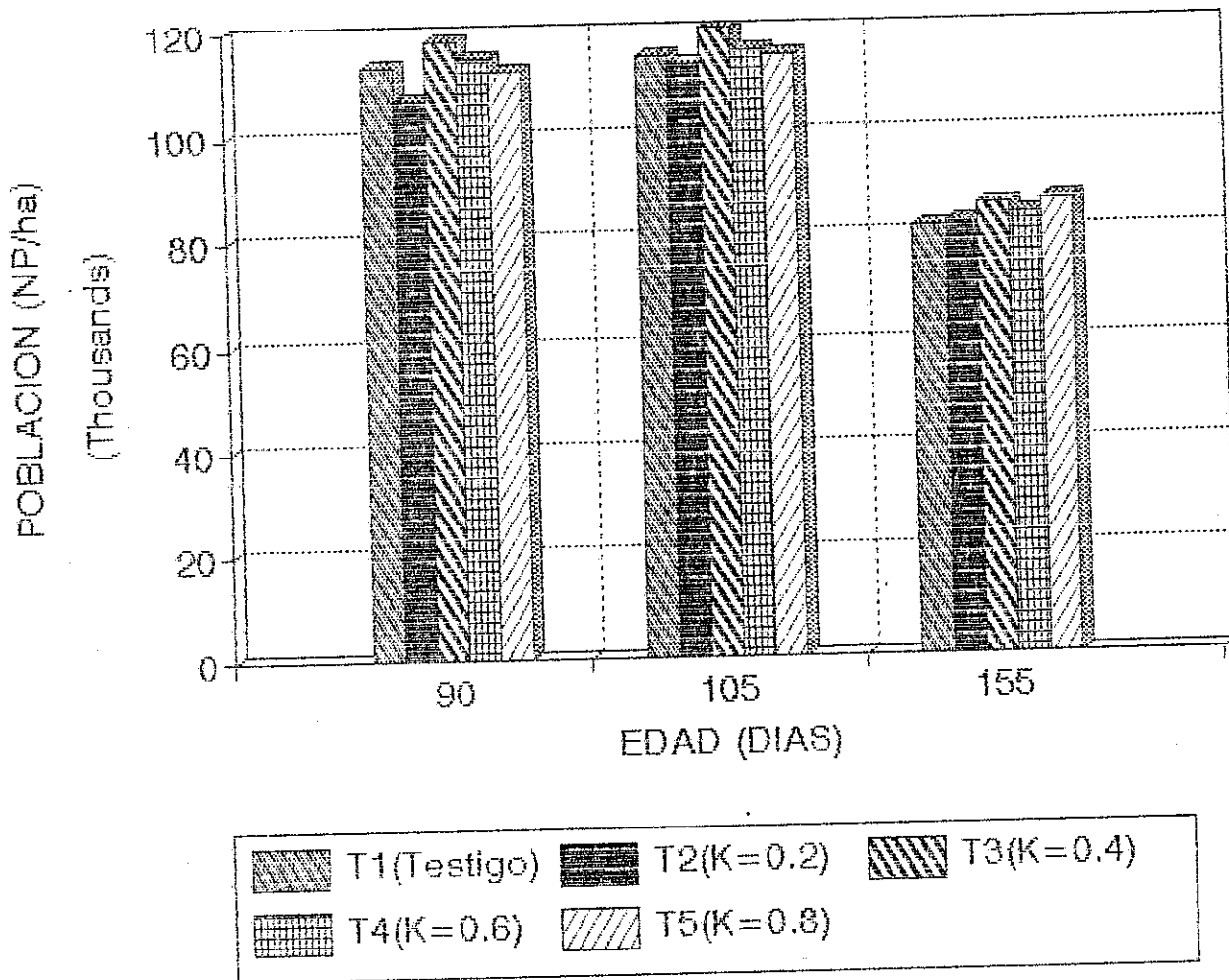


Fig. 7A. Poblaciones durante la fase de macollamiento

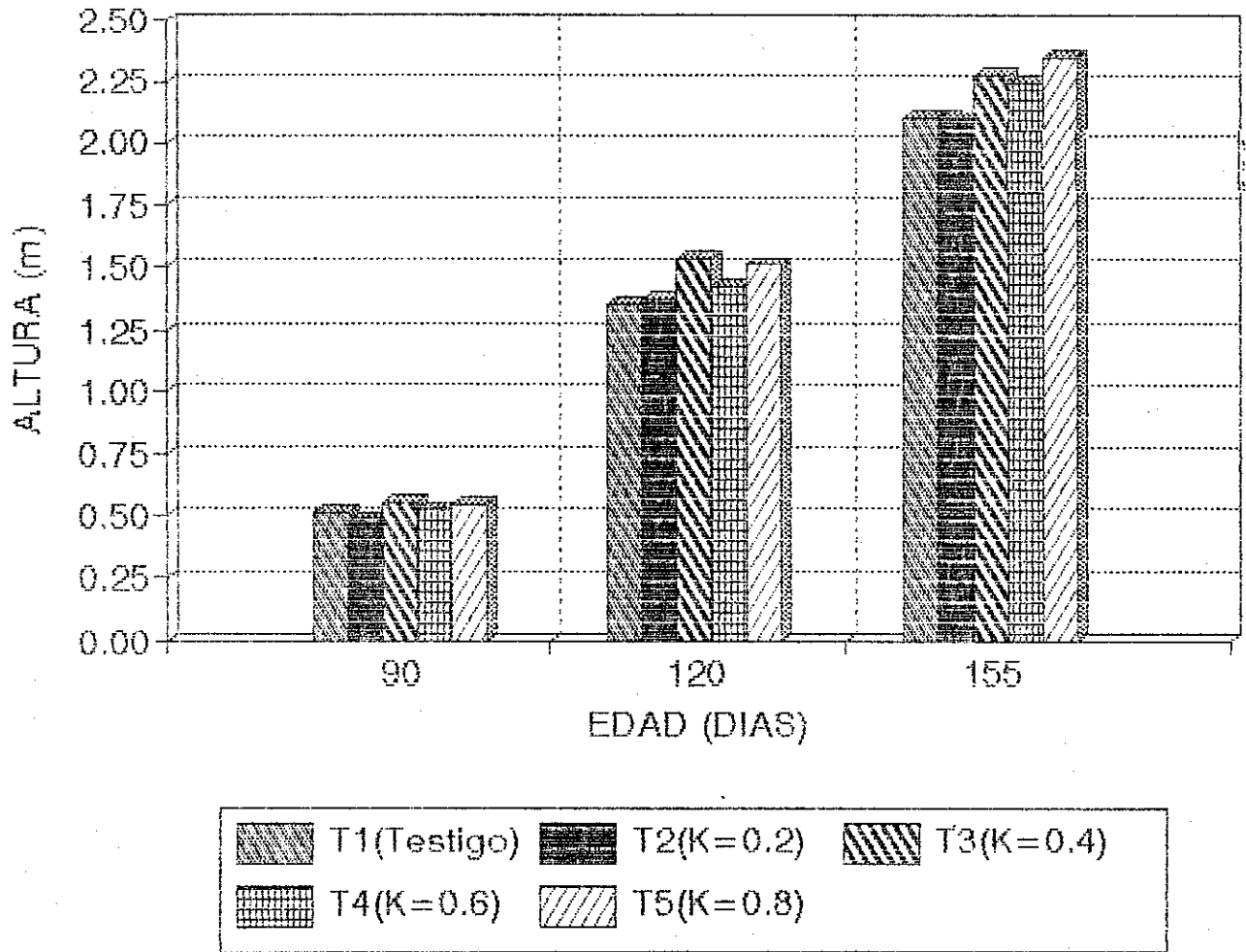


Fig. 8A. Crecimiento longitudinal durante la fase de macollamiento

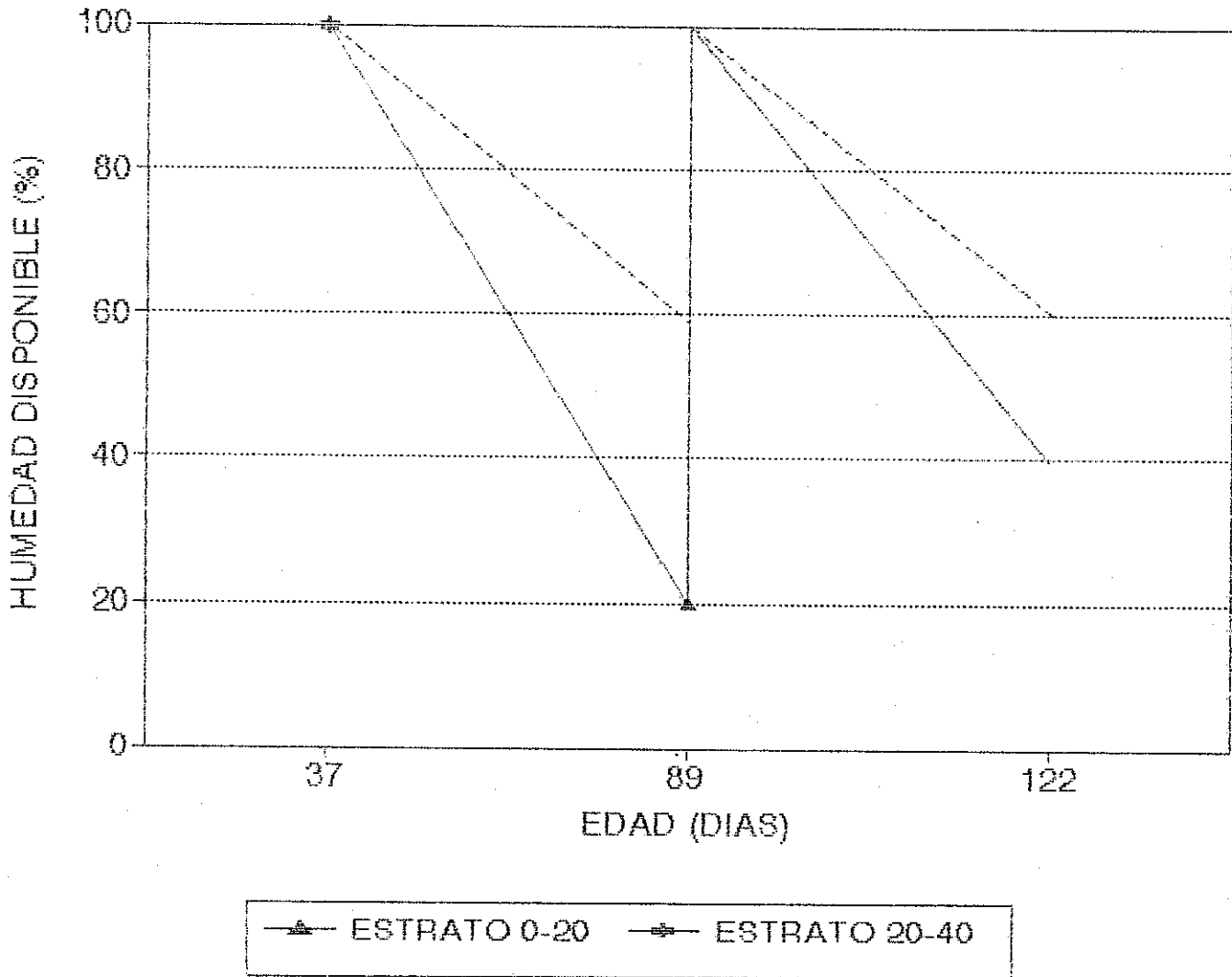


Fig. 9A. Agotamiento de la humedad disponible en el tratamiento 2

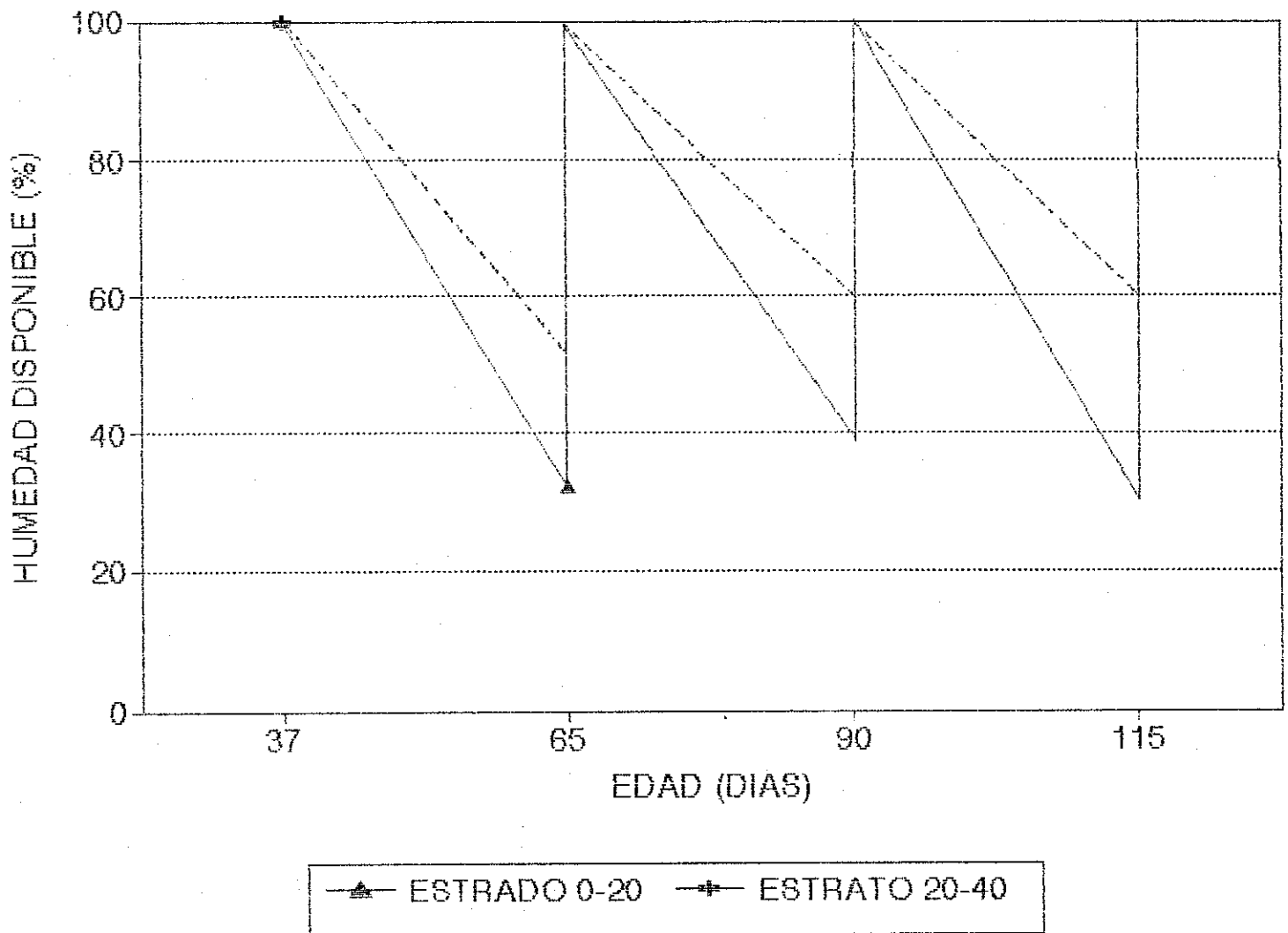


Fig. 10A. Agotamiento de la humedad disponible en el tratamiento 3

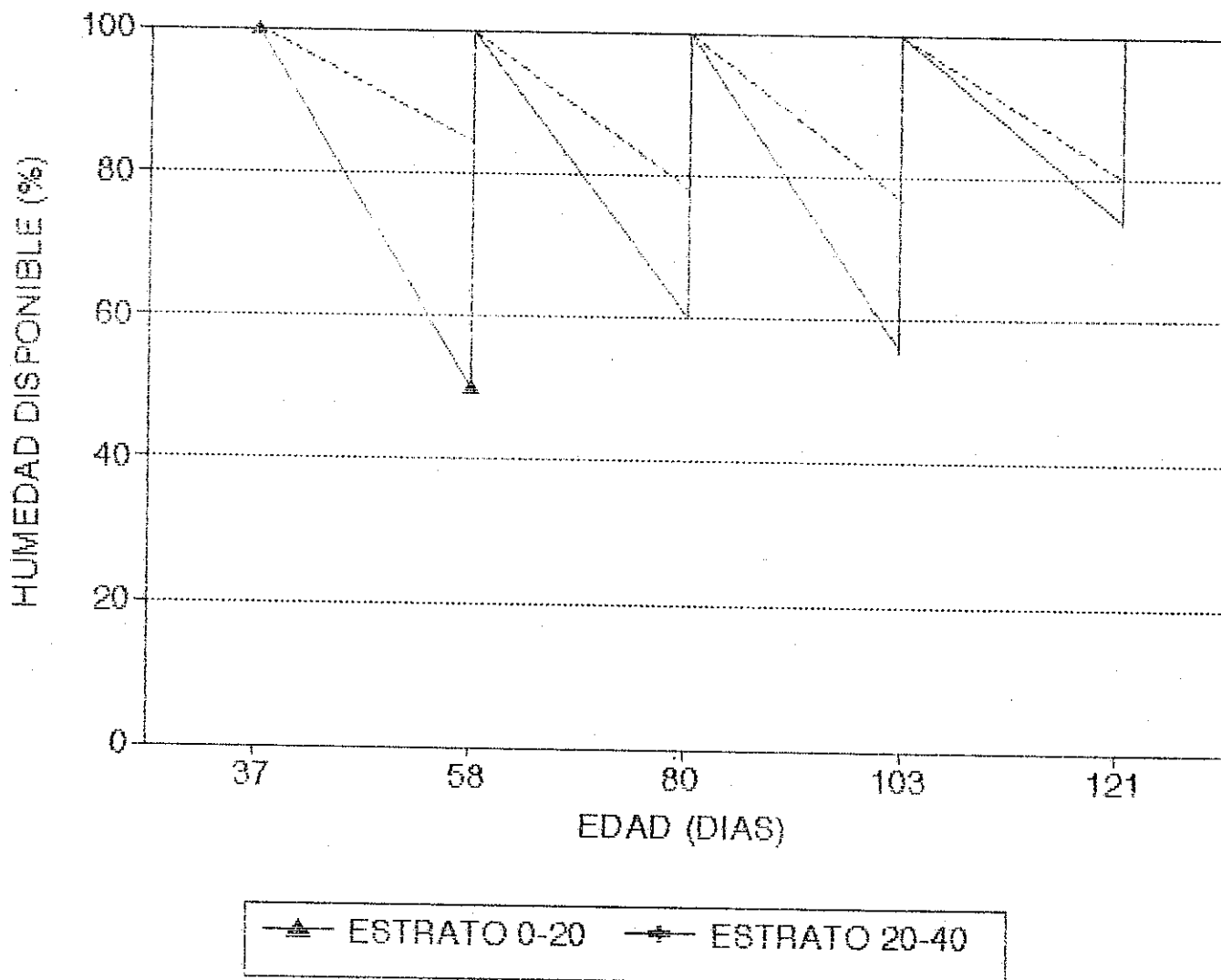


Fig. 11A. Agotamiento de la humedad disponible en el tratamiento 4

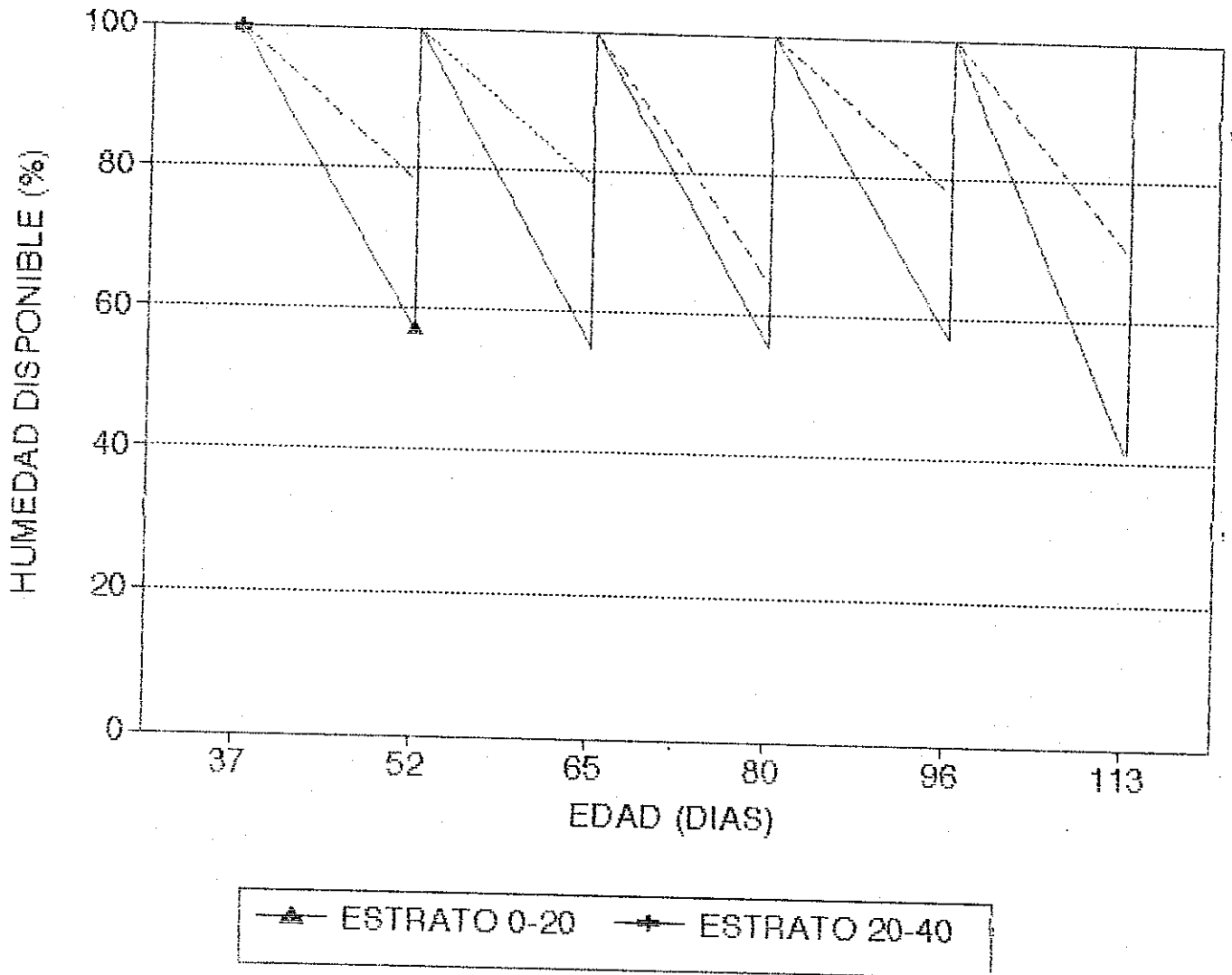


Fig. 12A. Agotamiento de la humedad disponible en el tratamiento 5



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

Ref. Sem.023-96

LA TESIS TITULADA: "REQUERIMIENTOS DE RIEGO DE LA CAÑA DE AZUCAR (Saccharum officinarum L.) DURANTE LA FASE DE MACOLLAMIENTO EN PLANTILLA, BAJO LAS CONDICIONES DEL MUNICIPIO DE TIQUISATE ESCUINTLA".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: MOISES CARLOS ROMEO PEREZ SOLANO

CARNET No: 8716396

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Isaac Herrera
 Ing. Agr. Francisco Mazariegos
 Ing. Agr. Luis Fernando Morán Palma

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. Gustavo A. Méndez
 ASESOR

Ing. Agr. David Juárez
 ASESOR

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

I M P R I M A S E

Ing. Agr. Rolando Lara Alejo
 DECANO



cc: Control Académico APARTADO POSTAL 1545 • 01091 GUATEMALA, C. A.

Archivo
 FR/prr.

TELEFONO: 769794 • FAX: (5022) 769770