

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

EFFECTO DE CUATRO FRECUENCIAS DE RIEGO EN EL RENDIMIENTO  
Y LA EVAPOTRANSPIRACION DEL MAIZ (*Zea mays* L.), EN LA  
UNIDAD DE RIEGO SAN CRISTOBAL ACASAGUASTLAN, EL PROGRESO

TESIS

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

POR

MARIO ENRIQUE AYALA MARROQUIN

en el acto de investidura como

INGENIERO AGRONOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA

EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO

Guatemala, octubre de 1,992

UNIVERSIDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

DL  
01  
T(1350)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

DR. ALFONSO FUENTES SORIA

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	ING. AGR. EFRAIN MEDINA GUERRA
VOCAL PRIMERO:	ING. AGR. MYNOR ESTRADA ROSALES
VOCAL SEGUNDO:	ING. AGR. WALDEMAR NUFIO REYES
VOCAL TERCERO:	ING. AGR. CARLOS MOTTA DE PAZ
VOCAL CUARTO:	BR. ELIAS RAYMUNDO RAYMUNDO
VOCAL QUINTO:	BR. JUAN GERARDO DE LEON MONTENEGRO
SECRETARIO:	ING. AGR. MARCO ROMILIO ESTRADA MUY

Guatemala, octubre de 1,992

Honorable Junta Directiva  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San carlos de Guatemala

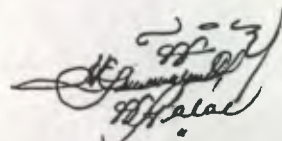
Señores Miembros:

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

"EFECTO DE CUATRO FRECUENCIAS DE RIEGO EN EL RENDIMIEN-  
TO Y LA EVAPOTRANSPIRACION DEL MAIZ ( Zea may<sub>s</sub> L. ),  
EN LA UNIDAD DE RIEGO SAN CRISTOBAL ACASAGUASTLAN,  
EL PROGRESO".

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

Atentamente,



P. AGR. MARIO ENRIQUE AYALA MARROQUIN



**TESIS QUE DEDICO**

**A: MI PATRIA GUATEMALA**

**A: SAN AGUSTIN ACASAGUASTLAN**

**A: UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**A: FACULTAD DE AGRONOMIA**

**A: ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA**

**A: DIRECCION GENERAL DE ENERGIA NUCLEAR**

**A: DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS PECUARIOS**

**A: UNIDAD DE RIEGO SAN CRISTOBAL AC.**

## ACTO QUE DEDICO

- A DIOS: Fuente inagotable de sabiduría
- A MIS PADRES: MARIO ABUNDIO AYALA PAIZ  
EVELINA MARROQUIN LEONARDO  
Como una mínima recompensa a los esfuerzos y sacrificios realizados para mi superación.
- A MIS HERMANOS: HECTOR, EDY, NELY, EDWIN, MARYURI,  
CARMINA, JUAN CARLOS, ZULY, EDGAR Y OTONIEL.  
Con amor fraternal.
- A MI ESPOSA: MARIA LUISA SANCHEZ RIVERA  
Sinceros agradecimientos.
- A MI HIJO: LUDWIN RENE AYALA SANCHEZ  
Con amor incomparable e indescriptible
- A MIS TIOS: OSCAR NEFTALY AYALA PAIZ  
JULIO ROBERTO PAIZ BOLAÑOS  
MARIO ENRIQUE PAIZ BOLAÑOS  
BAUDILIO MARROQUIN LEONARDO  
RAMIRO MARROQUIN LEONARDO  
Cariño sincero, respeto y gratitud
- A MIS PRIMOS CESAR VARGAS AYALA  
TIBERIO LIMA LEON  
MILTON AYALA AYALA  
FREDY MARROQUIN AYALA  
ROSA BALCARCEL MARROQUIN  
MIRIAM BALCARCEL MARROQUIN  
ELIZABETH ARREAGA BALCARCEL  
IRIS BALCARCEL MARROQUIN  
Con mucho cariño
- A MI PADRINO: RIGOBERTO MARROQUIN RODRIGUEZ  
Por la confianza que siempre logró inculcarme logrando con ello el triunfo que hoy obtengo
- A MIS AMIGOS: EDGAR ESTRADA SANCHEZ  
JULIO CESAR CARDONA PAIZ  
ALFREDO GALVEZ CARDENAS  
NATANAEL MARROQUIN  
JAIME CORDOVA  
FERNANDO CRUZ AYALA  
ELIZABETH GOMEZ  
MANUEL BALCARCEL A.  
MANRIQUE GUERRA  
MOISES MARROQUIN  
CARLOS SALGUERO  
SERGIO GALAN LAM

SINCEROS AGRADECIMIENTOS

A MIS ASESORES:

ING. AGR. MARIA ANTONIETA ALFARO

ING. AGR. GUSTAVO MENDEZ

ING. AGR. DAVID JUAREZ

Por su invaluable asesoría, supervisión y revisión, y toda la ayuda desinteresada que brindaron en la elaboración de este trabajo.

A LOS INGENIEROS AGRONOMOS:

ELMER AYALA VARGAS

MARCO ANTONIO NAJERA

ROLANDO LARA ALECIO

MIGUEL MORALES CAYAX

Por su amistad y colaboración

AL PERSONAL ADMINISTRATIVO Y DE CAMPO DE LA UNIDAD DE RIEGO  
SAN CRISTOBAL ACASAGUASTLAN:

Por su estrecha colaboración en el desarrollo del presente trabajo.

LOS DATOS OBTENIDOS MEDIANTE LA UTILIZACION DE  
RECURSOS DE LA DIRECCION GENERAL DE ENERGIA  
NUCLEAR, REFERENTES AL MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL  
SUELO SON PROPIEDAD DE DICHA INSTITUCION Y SE  
PUBLICAN CON LA DEBIDA AUTORIZACION.



C O N T E N I D O :

	PAGINA
INDICE DE FIGURAS.....	iii
INDICE DE CUADROS.....	iv
RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCION.....	3
2. DEFINICION DEL PROBLEMA.....	5
3 . MARCO TEORICO.....	7
3.1 Marco conceptual.....	7
3.1.1 Evapotranspiración.....	7
3.1.1.1 Evapotranspiración Potencial.....	7
3.1.1.2 Evapotranspiración Máxima.....	8
3.1.1.3 Evapotranspiración Real.....	8
3.1.1.4 Métodos para determinar la evapotranspiración.....	10
3.1.1.4.A Método de Blaney-Criddle.....	10
3.1.1.4.B Método de hargreaves I, II y III.....	12
3.1.1.4.C Método de Parcelas Experimentales.....	15
3.1.1.5 Métodos para determinar la humedad del suelo.....	17
3.1.1.5.A Método Gravimétrico.....	18
3.1.1.5.B Sonda de Neutrones.....	18
3.1.2 Contenido de humedad del suelo.....	20
3.1.2.1 Humedad aprovechable o disponible a las plantas....	20
3.1.2.2 Humedad fácilmente aprovechable.....	22
3.1.2.3 Agotamiento de la humedad aprovechable.....	22
3.1.3 Factores que afectan los requerimientos de agua de los cultivos.....	23
3.1.4 Necesidades hídricas de los cultivos.....	23
3.1.5 Necesidades de agua y efectos sobre el cultivo de maíz.	24
3.1.6 Frecuencias de riego.....	28
3.1.7 Estudios realizados en Guatemala sobre frecuencias de riego y evapotranspiración.....	29
3.2 Marco referencial.....	31
3.2.1 Ubicación y descripción del área experimental.....	31
4. OBJETIVOS.....	33
5. HIPOTESIS.....	34



6.	METODOLOGIA.....	35
6.1	Determinaciones previas del suelo.....	35
6.1.1	Análisis físico-químico.....	35
6.1.2	Calibración de la Sonda de Neutrones.....	36
6.2	Manejo del cultivo.....	38
6.3	Manejo del experimento.....	40
6.3.1	Trazo del experimento.....	40
6.3.2	Método de riego.....	40
6.3.3	Riegos generales.....	41
6.3.4	Muestreo de la humedad del suelo.....	41
6.3.5	Control de la humedad y estimación del consumo de agua por riego.....	42
6.3.5.1	Cálculo de la reserva de agua antes y después de ca- da riego.....	42
6.3.5.2	Cálculo de la variación del agua del suelo.....	44
6.3.6	Lámina de agua a reponer en cada riego.....	44
6.3.7	Volumen de agua aplicar en cada riego.....	45
6.3.8	Tiempo de riego por parcela.....	46
6.3.9	Lámina de agua consumida.....	46
6.3.10	Diseño experimental.....	47
6.3.11	Descripción de los tratamientos.....	48
6.3.12	Ensayo experimental.....	48
6.3.13	Variables a evaluar.....	48
6.4	Análisis de resultados.....	49
7.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	54
7.1	Variables Respuesta.....	54
7.1.1	Rendimiento en grano.....	55
7.1.2	Número de plantas vivas al momento de la dobla.....	56
7.1.3	Altura de plantas al momento de la dobla.....	57
7.2	Uso del Agua.....	57
7.2.1	Lámina de agua consumida.....	57
7.2.2	Agotamiento de la humedad aprovechable del suelo.....	60
7.3	Comparación de la evapotranspiración medida con la Sonda de neutrones con la calculada por la fórmula de Blaney-Criddle, modificada por Phelan y Har- greaves I, II y III.....	62
8.	CONCLUSIONES.....	64
9.	RECOMENDACIONES.....	66
10.	BIBLIOGRAFIA.....	67

## INDICE DE FIGURAS:

FIGURA	PAGINA
1 "A" PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE (% H A) PARA EL TRATAMIENTO F-8.....	90
2 "A" PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE (% H A) PARA EL TRATAMIENTO F-10.....	91
3 "A" PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE (% H A) PARA EL TRATAMIENTO F-12.....	92
4 "A" PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE (% H A) PARA EL TRATAMIENTO F-14.....	93
5 "A" CURVA DE CALIBRACION SAN CRISTOBAL AC. 1,992/ SONDA CPN 503.....	94
6 "A" TASA DE EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL DEL TRATAMIENTO F-8 Y FORMULAS.....	95
7 "A" TASA DE EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL DEL TRATAMIENTO F-10 Y FORMULAS.....	96
8 "A" TASA DE EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL DEL TRATAMIENTO F-12 Y FORMULAS.....	97
9 "A" TASA DE EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL DEL TRATAMIENTO F-14 Y FORMULAS.....	98
10 "A" TASA DE EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL ACUMULADA DE LOS TRATAMIENTOS Y FORMULAS.....	99
11 "A" CROQUIS DE CAMPO Y ALEATORIZACION DE LOS TRATAMIENTOS DEL ENSAYO SOBRE FRECUENCIAS DE RIEGO EN MAIZ..	100
12 "A" UNIDAD EXPERIMENTAL DEL ENSAYO SOBRE FRECUENCIAS DE RIEGO EN MAIZ.....	101

## INDICE DE CUADROS:

CUADRO		PAGINA
1	PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO EN DONDE SE EFECTUO EL EXPERIMENTO.....	36
2	RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO DEL SUELO EN DONDE SE EFECTUO EL EXPERIMENTO.....	36
3	RESULTADOS DE LAS VARIABLES RENDIMIENTO EN KGS/HA., NUMERO Y ALTURA DE PLANTAS EN LOS TRATAMIENTOS EVALUADOS.....	55
4	LAMINAS DE AGUA CONSUMIDAS EN CENTIMETROS Y NUMERO DE RIEGOS POR TRATAMIENTO DURANTE TODO EL CICLO DEL CULTIVO.....	58
5 "A"	RENDIMIENTO EN GRANO DE MAIZ EN KG/HA, ORGANIZADOS POR TRATAMIENTO Y REPETICION.....	73
6 "A"	ANALISIS DE VARIANZA PARA RENDIMIENTO EN GRANO DE MAIZ EN KG/HA.....	73
7 "A"	PRUEBA DE TUKEY PARA RENDIMIENTO EN GRANO DE MAIZ EN KG/HA.....	73
8 "A"	NUMERO DE PLANTAS VIVAS AL MOMENTO DE LA DOBLA DEL CULTIVO POR PARCELA UTIL, ORGANIZADOS POR TRATAMIENTO Y REPETICION.....	74
9 "A"	ANALISIS DE VARIANZA PARA NUMERO DE PLANTAS VIVAS AL MOMENTO DE LA DOBLA POR PARCELA UTIL.....	74
10 "A"	ALTURA DE PLANTAS EN METROS, AL MOMENTO DE LA DOBLA DEL CULTIVO POR TRATAMIENTO Y REPETICION.....	75
11 "A"	ANALISIS DE VARIANZA PARA ALTURA DE PLANTA EN METROS, AL MOMENTO DE LA DOBLA DEL CULTIVO.....	75
12 "A"	PRUEBA DE TUKEY PARA ALTURA DE PLANTA EN METROS, AL MOMENTO DE LA DOBLA DEL CULTIVO.....	75
13 "A"	CONTROL DE LA HUMEDAD ANTES Y DESPUES DE RIEGO Y CALCULO DE LA LAMINA CONSUMIDA PARA TODOS LOS TRATAMIENTOS, DURANTE LOS RIEGOS GENERALES.....	76
14 "A"	CONTROL DE LA HUMEDAD ANTES Y DESPUES DE RIEGO Y CALCULO DE LA LAMINA CONSUMIDA PARA EL TRATAMIENTO F-8.....	77



CUADRO	PAGINA
15 "A" CONTROL DE LA HUMEDAD ANTES Y DESPUES DE RIEGO Y CALCULO DE LA LAMINA CONSUMIDA PARA EL TRATAMIENTO F-10.....	78
16 "A" CONTROL DE LA HUMEDAD ANTES Y DESPUES DE RIEGO Y CALCULO DE LA LAMINA CONSUMIDA PARA EL TRATAMIENTO F-12.....	79
17 "A" CONTROL DE LA HUMEDAD ANTES Y DESPUES DE RIEGO Y CALCULO DE LA LAMINA CONSUMIDA PARA EL TRATAMIENTO F-14.....	80
18 "A" CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL Y TOTAL POR METODO DE BLANEY-CRIDDLE, MODIFICADA POR PHE--LAN.....	81
19 "A" CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL Y TOTAL POR LAS FORMULAS DE HARGREAVES I, II y III.....	82
20 "A" VALOR DE LA EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL Y TOTAL EN CENTIMETROS DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS, BLANEY CRIDDLE, MODIFICADA POR PHELAN Y HARGERAVES I, II y III.....	83
21 "A" COEFICIENTES DE DETERMINACION " <sup>2</sup> r " DEL MODELO LI-NEAL DE LOS CUATRO TRATAMIENTOS vrs FORMULAS.....	84
22 "A" COEFICIENTE DE CULTIVO.....	85
23 "A" RADIACION EXTRATERRESTRE Ra EXPRESADA EN EQUIVALEN-TE DE EVAPORACION EN MM/DA.....	86
24 "A" VALORES DE COEFICIENTE GLOBAL Kg PARA VARIOS CULTI-VOS.....	87
25 "A" VALORES DE COEFICIENTE DE DESARROLLO PARA VARIOS CULTIVOS PARA USO EN EL CALCULO DE USOS CONSUNTI-VOS.....	88
26 "A" PORCENTAJE MENSUAL DE HORAS LUZ.....	89
27 "A" ENRAIZAMIENTO MAXIMO EN CMS., SEGUN TIPO DE SUELO.	89

EFFECTO DE CUATRO FRECUENCIAS DE RIEGO EN EL RENDIMIENTO Y LA EVAPOTRANSPIRACION DEL MAIZ (Zea mays L.) EN LA UNIDAD DE RIEGO SAN CRISTOBAL ACASAGUASTLAN, EL PROGRESO

EFFECT OF FOUR IRRIGATION FREQUENCIES IN THE YIELD AND EVAPOTRANSPIRATION OF CORN (Zea mays L.) IN THE IRRIGATION DISTRICT SAN CRISTOBAL ACASAGUASTLAN, EL PROGRESO

R E S U M E N

El presente trabajo de investigación, sobre la evaluación del efecto de cuatro frecuencias de riego en el rendimiento y la evapotranspiración del maíz (Zea mays L.), se realizó en la Unidad de Riego San Cristóbal Acasaguastlán, El progreso, durante el período comprendido del 5 de marzo al 24 de julio de 1,992.

Los tratamientos utilizados fueron frecuencias de riego de 8, 10, 12 y 14 días, empleándose un diseño experimental de bloques al azar con 6 repeticiones, teniendo un total de 24 parcelas experimentales. En un suelo de textura franco arenosa.

La evapotranspiración real del cultivo se determinó mediante un balance hídrico aplicado entre dos riegos en todo el ciclo del cultivo. Los contenidos de humedad fueron medidos con la sonda de neutrones.

La evaluación del efecto de las diferentes frecuencias de riego se midió a través de las variables respuesta: rendimiento en kilogramos por hectárea, número de plantas vivas y altura de planta al momento de la dobla del cultivo por parcela útil. Los rendimientos mas altos fueron para los tratamientos regados cada 8 y 10 días, obteniéndose 2721.80 y 2648.08

Kgs/ha. respectivamente, no existiendo diferencias estadísticamente significativas entre sus rendimientos. En todos los tratamientos la producción disminuyó a medida que el intervalo de riego fue mayor.

De manera general la altura de planta al momento de la dobla del cultivo decreció a medida que la frecuencia de riego fue más larga.

En cuanto al número de plantas vivas al momento de la dobla del cultivo se encontró que las frecuencias de riego evaluadas no afectan esta variable.

Las diferentes frecuencias de riego si influyeron en la evapotranspiración del cultivo, los tratamientos regados con intervalo de riego corto consumieron más agua que los regados con intervalos mayores. Los valores máximos de evapotranspiración se alcanzaron en la etapa de floración y fructificación, los valores menores se dieron al inicio del ciclo del cultivo; en cuanto al consumo de humedad aprovechable del suelo, ningún tratamiento alcanzó el punto de marchitez permanente. En la comparación estadística, se determinó que los valores de evapotranspiración medida en el campo, son diferentes a los calculados por las fórmulas de Blaney-Criddle modificada por Phelan y Hargreaves I, II y III, no adaptándose ninguno de los métodos para estimar la evapotranspiración en la región.

Finalmente se recomienda regar cada 8 ó 10 días y continuar con este tipo de investigaciones experimentales, en la misma región, época y cultivo para confirmar los resultados obtenidos.



1. INTRODUCCION:

Guatemala es un país, en el cual, el desarrollo económico y social depende en gran medida de la agricultura; debido a esto, se hace necesario la utilización racional y eficiente de los recursos para la obtención de mejores rendimientos con la menor inversión posible. Uno de estos recursos es el agua, el cual, aplicado con fines de riego y en forma adecuada tiene un impacto significativo en la producción de áreas secas. Sin embargo, en las áreas donde la producción agrícola está sujeta al riego, como ocurre en las fincas particulares y Unidades de Riego de las regiones Oriental y Nor-oriental del país, se hace una utilización ineficiente del recurso agua, pues no se cuenta con suficiente información sobre frecuencias de riego y cantidad de agua a aplicar en los cultivos más importantes, provocándose: altos desperdicios, bajos rendimientos, altos costos y limitaciones en el área de riego.

Dentro de las Unidades de Riego que operan en el Distrito de riego III-4, de la Dirección General de Servicios Agrícolas (DIGESA), se encuentra la Unidad de Riego "San Cristóbal", ubicada en el municipio de San Cristóbal Acasaguastlán, departamento de El Progreso, en la cual, la investigación sobre frecuencias y láminas de riego en el cultivo de maíz, es muy importante, por ocupar éste el primer lugar de los cultivos del área, ya que constituye aproximadamente la mitad de la extensión total regada por la Unidad de Riego.

En el presente trabajo se estudió el efecto de cuatro frecuencias de riego (8, 10, 12 y 14 días) en el cultivo de maíz (Zea mays L.), variedad ICTA B-1, evaluándose el rendimiento en kgs./ha., número de plantas vivas al momento de la dobla y altura promedio de plantas. El diseño experimental utilizado correspondió al de bloques al azar, con seis repeticiones y cuatro tratamientos.

Se midió la evapotranspiración real del cultivo mediante un balance hídrico aplicado entre dos riegos en todo el ciclo del cultivo. Los contenidos de humedad fueron determinados con la sonda de neutrones. Al final se comparó los valores medidos de ET con la estimada con las fórmulas de Blaney-Criddle modificada por Phelan y las de Hargreaves I, II y III, para comprobar la adaptabilidad de las mismas en las condiciones del área y épocas de investigación.

## 2. DEFINICION DEL PROBLEMA:

En la época actual, en la cual, la constante disminución de los caudales en las fuentes de abastecimiento superficiales, es extraordinariamente notoria, hace imprescindible tomar acciones tendientes a utilizar en mejor forma los escurrimientos disponibles en las fuentes que actualmente proveen del vital líquido a las Unidades de Riego.

La determinación de la frecuencia y lámina de riego de cada uno de los cultivos, constituye en nuestros días una ingente necesidad por preservar el recurso agua y utilizar el mismo en la forma más económica, equitativa y efectiva, para los fines agrícolas previstos sin afectar el rendimiento de los cultivos.

La Unidad de Riego de San Cristóbal Acasaguastlán, El Progreso, con sistema de captación de bombeo eléctrico, fué puesta en operación en enero de 1971. En los 21 años de existencia no se ha generado investigación sobre frecuencias de riego y cantidad de agua a aplicar en los cultivos más importantes, debido a ello los usuarios de la misma han regado sus cultivos de manera empírica, sin atender a ningún criterio técnico-científico para controlar la cantidad de agua en cada riego; se ha observado que en la mayoría de los casos se aplica un exceso de agua en las parcelas, lo que trae consigo problemas de incidencia de enfermedades, lavado de nutrientes,



6

drenaje y lo más importante, la disminución del área potencial a regar y el aumento de los costos de operación y mantenimiento de la unidad de riego.

Es por ello que en esta oportunidad se realizó la primera investigación sobre frecuencias de riego y evapotranspiración en el cultivo de maíz (Zea mays L.), teniendo como uno de los objetivos el determinar la frecuencia más apropiada en cuanto a rendimiento se refiere.

El cultivo de maíz, de acuerdo a la Sección de Estadística de la Unidad de Riego "San Cristóbal", es el más importante, por ocupar éste el primer lugar de los cultivos del área, ya que constituye el 45.32 % (63 ha.) del área regada por dicha unidad.

### 3. MARCO TEORICO

#### 3.1 Marco Conceptual:

##### 3.1.1 Evapotranspiración:

Según Israelsen y Hansen (22), la evapotranspiración también llamada Uso Consuntivo, es la suma de la evaporación del agua del suelo y la transpiración de las plantas. Los factores climáticos que propician la evapotranspiración son: radiación solar y terrestre, temperatura del aire, humedad relativa y del viento (30).

La evaporación es un proceso por medio del cual, el agua se evapora del terreno adyacente, ya sea por la superficie del agua 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 (29).

##### 3.1.1.1 Evapotranspiración Potencial:

De acuerdo a Grassi (15), la evapotranspiración potencial (ETp), es la pérdida de agua que ocurriría en una superficie cubierta totalmente de vegetación de escasa altura y en activo crecimiento y que no tiene restricciones de humedad edáfica. Esta evapotranspira-

ción depende de la radiación global, coeficiente de reflexión, temperatura del aire, velocidad del viento y número de horas sol (15).

### 3.1.1.2 Evapotranspiración Máxima

La evapotranspiración máxima (ET<sub>m</sub>), es considerada como el producto de multiplicar el coeficiente del cultivo y la evapotranspiración potencial, referida a aquellas condiciones en que el agua es conveniente para un crecimiento y desarrollo sin limitaciones. La ET<sub>m</sub> representa la tasa de evapotranspiración máxima de un cultivo sano, que crece en grandes campos y en condiciones óptimas de ordenación agronómica y de riego (12).

$$ET_m = ET_p * K_c$$

Donde:

ET<sub>m</sub> = Evapotranspiración máxima.

ET<sub>p</sub> = Evapotranspiración potencial.

K<sub>c</sub> = Coeficiente de cultivo.

Si K<sub>c</sub> es igual a 1, E<sub>Tr</sub> va ser igual a ET<sub>m</sub>

### 3.1.1.3 Evapotranspiración Real:

Se le ha definido como la cantidad de agua que se pierde por la evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de las plantas, bajo las condiciones actuales o reales de tiempo. Esta puede ser igual a la



evapotranspiración potencial, solo cuando el suelo está a capacidad de campo y los cultivos han llegado a una fase de desarrollo en que cubren completamente el suelo (11).

Existen diferencias entre la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración de los cultivos, siendo ésta última la que determina las necesidades hídricas de los cultivos. Estas diferencias tienen que ver fundamentalmente con el tipo del cultivo y el estado de desarrollo del mismo.

La Evapotranspiración real se calcula usando la fórmula siguiente:

$$ETr = Kh * Kc * ETp$$

Donde:

ETr = Evapotranspiración real.

Kh = Coeficiente de humedad del suelo.

Kc = Coeficiente de cultivo.

ETp = Evapotranspiración potencial.

Según la ecuación anterior, la evapotranspiración real por medio del coeficiente "Kc", considera el efecto físico-fisiológico que deriva de la planta y el suelo, mientras que la evapotranspiración potencial incluye aspectos del orden físico que dependen del clima (41).

### 3.1.1.4 Métodos para determinar la evapotranspiración:

Existen varios métodos para determinar la evapotranspiración y atendiendo a la forma de obtener los datos se dividen en directos e indirectos. La determinación directa proporciona la evapotranspiración a través de medidas, pudiéndose obtener en el mismo lugar donde se localicen los aparatos. Para esto se pueden utilizar los siguientes métodos y aparatos: lisímetros, evapotransporímetros, atmómetros, parcelas experimentales, estudios sobre humedad del suelo, métodos de integración y métodos de entradas y salidas (15,22).

Los métodos indirectos, se basan en datos climáticos aplicado en fórmulas empíricas para calcular la evapotranspiración de cualquier cultivo, se valen así mismo de tablas con valores para constantes y coeficientes de cultivo. Las fórmulas más conocidas son: Penman, Blaney-Criddle, Hargreaves, Jensen, Grassi-Christian-sean, Lowry-Jhonson y Tanque tipo "A" (15).

En el presente trabajo se utilizaron los métodos que a continuación se describen:

#### 3.1.1.4.A Método de Blaney-Criddle:

De acuerdo a Grassi (15), este método se basa en temperatura y horas luz mensuales y fué desarrollado al relacionar los valores reales de evapotranspira-

ción con la temperatura media mensual (T) con el porcentaje mensual de las horas de brillo solar. La evapotranspiración real se calculó usando la fórmula siguiente:

$$ETR = K * F$$

Para un ciclo de "n" meses

$$ETr = \sum_{i=1}^n E (k * f) = K * F$$

Donde:

ETr = Evapotranspiración durante todo el ciclo.

k = Coeficiente mensual de cultivo.

f = Factor de uso consuntivo mensual.

K = Coeficiente del cultivo para el ciclo vegetativo (cuadro 24 "A" del apéndice).

F = Suma de los factores mensuales de uso consuntivo.

Para la temperatura en grados centígrados y evapotranspiración en mm/mes, "f" se calcula así:

$$f = p (8.13 + 0.457t)$$

Donde:

p = Porcentaje mensual de horas luz respecto al total anual (cuadro 26 "A" del apéndice).

t = Temperatura media anual mensual en grados centígrados.



El método Blaney-Criddle fué modificado por J. T. Phelan. Esta modificación propuesta consiste en determinar el coeficiente de desarrollo "Kc" del cultivo, por medio de tablas ya elaboradas (cuadro 25 "A" del apéndice). Estos coeficientes de desarrollo no se aplican directamente en los valores de "f", sino en los productos de  $f * kt$ , en donde  $kt$  es el coeficiente de temperatura, se calcula con la fórmula siguiente:

$$kt = 0.03144t + 0.2396$$

#### 3.1.1.4.B Método de Hargreaves I, II y III:

Las investigaciones realizadas por Hargreaves (20), han sido orientadas a la determinación de evapotranspiración de los cultivos por medio de las fórmulas empíricas y simples. La fórmula propuesta originalmente por Hargreaves (1956) permite calcular el uso del agua por la planta, en función de diversos factores climáticos; esta fórmula posteriormente fué corregida agregandole otros factores adicionales.

En 1977 y años subsiguientes Hargreaves ha formulado las ecuaciones para calcular la evapotranspiración potencial. En la actualidad son las recomendadas por dicho investigador y son las que se usaron en este experimento. Estas fórmulas se han utilizado en varios trabajos de tesis de la Facultad

de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala (39).

### 3.1.1.4.B.a Fórmula de Hargreaves I:

En 1977 Hargreaves (11), publicó un artículo en el cual presentó la fórmula para obtener la evapotranspiración potencial, ésta se presenta a continuación.

$$ETp = 2 * 10^{-3} Ra (1.8 Tmed + 32) (100 - HRmed)^{0.25}$$

Donde:

ETp = Evapotranspiración potencial.

Ra = Radiación extraterrestre expresada en equivalente de evaporación (mm/día) de acuerdo a la latitud del lugar y mes (cuadro 23 "A" del apéndice)

Rmed = Temperatura media mensual (°C.).

HRmed = Humedad Relativa media mensual (%).

### 3.1.1.4.B.b Fórmula Hargreaves II:

En un estudio sobre la estimación de la evapotranspiración y requerimientos de los cultivos Hargreaves (21), presentó la fórmula siguiente:

$$ETp = 1.24 * 10^{-3} Ra (Tmax - Tmin)^{0.5} (1.8 Tmed + 32)$$

Donde:

ETp = Evapotranspiración potencial.

Ra = Radiación extraterrestre expresada en equivalente de evaporación (mm/día) de acuerdo a la latitud del lugar y mes.

Tmax = Temperatura máxima promedio mensual (°C.).

Tmin = Temperatura mínima promedio mensual (°C.).

Tmed = Temperatura media anual (°C.).

### 3.1.1.4.B.c Fórmula de Hargreaves III:

La fórmula más reciente de Hargreaves (19), para estimar la evapotranspiración potencial fue publicada en 1986 (19), siendo la fórmula siguiente:

$$ETp = 0.0023 Ra(Tmax - Tmin) [(Tmax + Tmin) + 17.8]$$

Donde:

ETp = Evapotranspiración potencial.

Ra = Radiación extraterrestre expresada en equivalente de evaporación (mm/día) de acuerdo a la latitud del lugar y mes.

Tmax = Temperatura máxima promedio mensual (°C.).

Tmin = Temperatura mínima promedio mensual (°C.).

Para calcular la Evapotranspiración Real (ETr) a partir de la potencial (ETp) de Hargreaves se usaron los coeficientes de cultivo Kc dados por la FAO, en el documento de la serie de riego y drenaje No. 33 (15).



$$ETr = ETp * Kc$$

En el cuadro 22 "A" del apéndice se encuentran estos coeficientes.

#### 3.1.1.4.C Método de Parcelas Experimentales:

Es un método directo para medir la evapotranspiración real. En este método se establecen parcelas en el terreno donde se realizarán determinaciones de humedad, antes y después de regar. Se considera aquí al suelo como un reservorio que puede retener una determinada cantidad de agua hasta la profundidad que exploran las raíces del cultivo (15). El método de parcelas experimentales es realmente la aplicación de la ecuación de Balance Hídrico, la ecuación general deriva del principio general de la conservación del agua caída por las precipitaciones naturales (Pre) o por riego (Rie); dicha agua se reparte en:

- Agua evapotranspirada (ETR)
- Agua perdida por escurrimiento superficial (Esc)
- Agua perdida por drenaje o percolación (Dre)
- Variación de almacenamiento de humedad del suelo (Var. St.)

La ecuación general para un volumen determinado (Parcelas Experimentales), se escribe entonces para dos fechas:

$Pre + Rie = ETR + Esc + Dre + Var$  (reserva de agua en el suelo).

Por lo tanto, conociendo las precipitaciones y/o el riego por un lado y por otro las leyes que rigen el funcionamiento de la evapotranspiración, el escurrimiento, del drenaje y del almacenamiento del agua en el suelo, uno puede en teoría, estimar cualitativa y cuantitativamente el comportamiento de todos estos parámetros bajo un cultivo cualquiera sembrado en una fecha cualquiera (27).

Debe tomarse en cuenta que en el Balance Hídrico de un cultivo, es importante conocer cuales son las entradas y salidas de agua en un volumen de suelo. Ya que la cantidad almacenada en un volumen determinado debe igualar a la diferencia entre los ingresos y egresos de agua.

Tomando en cuenta lo anterior, de la ecuación de Balance Hídrico, definiremos las entradas y salidas de agua de nuestro volumen de suelo en estudio.

Entradas de agua: riego, lluvias (si existiera lluvias durante el estudio) y la variación de reserva de agua en el suelo.

Salidas de agua: agua evaporada directamente de la superficie del suelo, agua transpirada por el cultivo y el agua que percola hacia los estratos subyacentes.

Se asumió que no existieron percolaciones, por lo que la ecuación resumida de Balance Hídrico que se utilizó en el presente estudio es la siguiente:

$$\text{ETR} = \text{Riego} \pm \text{Variación de la reserva de agua o humedad del suelo.}$$

Para ello fué necesario la determinación de la humedad del suelo entre riegos.

#### 3.1.1.5 Métodos para determinar la humedad del suelo:

El contenido de humedad de un suelo se puede determinar por métodos directos e indirectos. Los métodos directos son basados en muestreos de suelo, dentro de éstos tenemos: el método gravimétrico, al tacto y con alcohol. Los métodos indirectos estiman el contenido de humedad indirectamente en base a la medición de otros parámetros que dependen del contenido de agua del suelo, como por ejemplo, la conductibilidad eléctrica y la tensión con la cual el agua es retenida por el suelo. Dentro de estos métodos tenemos el tensiómetro, bloques de yeso y aspersor de neutrones (38).

En la presente investigación se utilizaron los métodos que a continuación se describen:



### 3.1.1.5.A Método Gravimétrico:

Según Israelsen y Hansen (22), es uno de los métodos directos más exactos para medir la humedad del suelo, el método consiste en tomar una muestra de suelo en el campo (con un barrenado helicoidal) de aproximadamente 125 gramos y colocarla inmediatamente en una cajita de metal (de preferencia aluminio) con tapadera hermética para evitar pérdidas por humedad. Esta muestra se pesa para obtener el peso de suelo húmedo (Psh), se destapa y se coloca en un horno durante 24 horas a una temperatura de 105 a 110 °C; transcurrido este tiempo la muestra se saca y es pesada para obtener el peso del suelo seco (Pss), con estos datos se calcula el porcentaje de humedad en base a peso de suelo seco (Ps) (38).

El contenido de humedad se determina a partir de la ecuación:

$$Ps = [(Psh - Pss) / Pss] * 100$$

Este método se utilizó para la calibración de la sonda de neutrones, no así para estimar la variación de humedad del suelo.

### 3.1.1.5.B Sonda de neutrones:

La sonda de neutrones es un método que cuantifica de manera indirecta la humedad, fué desarrollado

desde 1950 y es ahora ampliamente usado como un medio de efectuar determinaciones de humedad del suelo in situ, dando resultados inmediatamente (38).

El principio básico de funcionamiento de este aparato consiste en que se emiten neutrones rápidos y de alta energía desde una fuente radiactiva de Americio-Berilio, los cuales chocan con los átomos de hidrógeno de las moléculas de agua presentes en el suelo; provocando que los neutrones rápidos se desvían y pierden energía convirtiéndose en neutrones lentos. La mayoría de estos neutrones lentos regresan a la sonda donde un detector de neutrones lentos que los registra y los cuantifica produciendo impulsos cuyo contaje apareciera en una pantalla colocado en la parte superior de la sonda. Así a mayor cantidad de neutrones lentos registrados mayor cantidad agua presente en el suelo (24).

La cantidad de átomos que regresan y que fueron captados por la fuente son proporcionales a la cantidad de átomos de hidrógeno de las moléculas de agua presentes en el suelo y por consecuencia a la humedad del estrato estudiado.

Por las diferencias existentes entre los suelos, se establece esta relación de proporcionalidad en base a una calibración de la sonda.

Se puede demostrar que generalmente existe una relación lineal entre la tasa de conteo de neutrones (CPM) y el contenido volumétrico de agua en el suelo. Si se tiene una relación de calibración previa y válida para estas condiciones, el status de agua del suelo en la zona radicular puede ser continuamente, no destructiva y fácilmente monitoreada.

La calibración de la sonda consta básicamente de la obtención de una recta que correlaciona los valores del RATIO de la sonda y el porcentaje (%) de humedad volumétrica de las muestras de suelo, calculada por el método gravimétrico. El modelo de calibración general es de la forma:

$$\% \text{ Humedad volumétrica (Y)} = a + b * \text{conteo RATIO (x)}$$

$$\text{RATIO} = \frac{\text{conteos de la sonda (CPM)}}{\text{conteos de referencias (CS)}}$$

Donde el conteo de referencia o conteos standar es fijo y generalmente es la media de varios conteos de la sonda cuando la fuente del aparato esta en su caja protectora (24,25).

### 3.1.2 Contenidos de humedad del suelo:

#### 3.1.2.1 Humedad aprovechable o disponible a las plantas:

Se le llama Humedad aprovechable, al agua que queda entre los límites de la capacidad de campo y punto de



marchitez permanente, y la que queda entre la capacidad de campo y 5 bares de succión se le llama agua fácilmente aprovechable. Debe tenerse en cuenta que cada especie de planta tiene su propia capacidad para extraer agua para el crecimiento activo y productivo, y por lo tanto debe determinarse la curva de absorción completa de un suelo para poder comparar sus características con las necesidades de un cultivo dada (15).

La humedad aprovechable a las plantas (HA) o reserva útil (RU), es la diferencia entre el contenido de humedad gravimétrica del suelo a capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (38).

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

$$\%HA = CC - PMP$$

Para fines de riego la humedad aprovechable se expresa como una lámina de agua (en cms.):

$$LHA = [(CC - PMP) / 100] * Da * Zr$$

Donde:

LHA = Lámina de humedad aprovechable (cms.).

CC = Capacidad de campo.

PMP = Punto de marchitez permanente.

Da = Densidad aparente del suelo (gr./cc.).

Zr = Grosor del estrato del suelo considerado.

### 3.1.2.2 Humedad fácilmente aprovechable:

Israelsen y Hansen (22), afirman que la humedad del suelo que se encuentra cerca del punto de marchitez permanente es no utilizable fácilmente por las plantas, ya que la humedad fácilmente utilizable es la humedad que puede ser extraída por las plantas sin gran esfuerzo y que según la FAO representa aproximadamente un 70 % de la humedad utilizable total.

### 3.1.2.3 Agotamiento de la humedad aprovechable:

Doorembos y Kassam (10), demostraron que teniendo en cuenta el nivel de evapotranspiración máxima, para atender todas las necesidades de agua en el cultivo de maíz puede llegar el nivel de agotamiento alrededor de un 40 % para el período de establecimiento, entre un 55 y 65 % durante los períodos vegetativos, de floración y formación de cosechas y hasta un 80 % durante la maduración.

Castro (6), sugiere para la Unidad de Riego El Tempisque, Jutiapa, que el nivel mínimo de humedad aprovechable en el suelo para el cultivo de maíz varíe entre 40 y 60 %.

Reyes (34), determinó que para la primera etapa del cultivo de maíz, el 20 % de la humedad aprovechable es el mínimo y que para las etapas de floración y madura-

ción, regando al 62 % y 64 % de humedad aprovechable, se logra los mejores rendimientos.

### 3.1.3 Factores que afectan los requerimientos de agua de los cultivos:

Israelsen y Hansen (22), indican que de manera general 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.

Otros factores muy importantes son la fertilidad y salinidad, la fertilización aumenta el desarrollo de las plantas con lo que las necesidades se reducen proporcionalmente, es decir, a mayor fertilidad menor necesidad de agua, pues está se usa más eficientemente (22).

### 3.1.4 Necesidades hídricas de los cultivos:

De acuerdo a Doorembos (10), muchos procesos que ocurren en las plantas son afectados por el agua, sin embargo, la relación cambia con las características de la planta, estado de desarrollo, condiciones del suelo y condiciones climáticas. Estas relaciones se hacen más complejas bajo condiciones de estrés hídrico; por ejemplo, las deficiencias de agua no solamente reducen el rendimiento, sino que afectan el patrón de crecimiento.



Generalmente, la profundidad efectiva de raíces disminuye cuando aumentan los niveles de humedad en el suelo, estas raíces son más gruesas, menos ramificadas y más cortas. La relación raíz/tallo generalmente aumenta con el estrés hídrico.

La calidad del rendimiento económico, formación de flores y producción de semillas son todas influenciadas por las condiciones de humedad.

Los efectos de escasez de agua sobre los rendimientos resultan muy importantes durante ciertos períodos de crecimiento de algunos cultivos extensivos, las fase más críticas son el establecimiento o germinación y los cambios del estado vegetativo al reproductivo, incluyendo la floración y formación de la cosecha.

En cuanto a la obtención de rendimientos altos, los cultivos tienen diferentes necesidades, en términos del grado de agotamiento de la humedad del suelo que pueda tolerar. La evidencia experimental indica que cultivos como la mayoría de hortalizas producen el máximo rendimiento cuando la humedad del suelo es mantenida a un nivel superior del 50 % de la humedad disponible (10,11).

### 3.1.5 Necesidades de agua y efectos sobre el cultivo de maíz:

Francis y Turelle (13), mencionan que por medio del riego, el maíz puede desarrollarse aún en áreas áridas y

semiáridas con lluvias inferiores a 38.10 cms., además sostienen que las necesidades de agua para el maíz son mayores y más críticas durante los períodos de floración y jilote, por lo que el correcto nivel de humedad en estas etapas es de suma importancia para lograr buenos rendimientos, esto incluso en regiones húmedas donde los agricultores consideran rentable el riego del maíz. También mencionan que este cultivo no necesita la misma cantidad de agua en todas las regiones debido a que el agua esta condicionada a los factores propios de cada región, como lo son: precipitación pluvial, temperatura, humedad relativa, horas de luz, duración del ciclo vegetativo, tipo de suelo y pericia del regador. En general estiman de 30.48 a 91.44 cms. de agua como la oscilación volumétrica para satisfacer las necesidades del maíz en todo su ciclo e incluyendo las pérdidas por evaporación, filtración, desperdicio, y según sus estudios dicen que cuando el maíz está logrando su más rápido desarrollo, algunas veces requerirá 1.27 cms. diarios de agua durante un período de varios días.

De acuerdo a Donahue (9), para áreas desérticas la evapotranspiración diaria del maíz varía de 2 a 15 mm., dependiendo de las condiciones climáticas y desarrollo del cultivo.

En el Proyecto de Riego piloto de Santa Rosalía, en Guatemala se estableció una lámina de agua de 48.0 cms.

para el cultivo de maíz distribuidos en todo el ciclo del cultivo (18). Castro (6), recomienda para Jalpatagua, Jutiapa, que se aplique una lámina neta de 22.5 cms. para el cultivo de maíz. Reyes (34) y García (14), determinaron que el maíz necesita una lámina de agua de 50.0 y 44.2 cms., respectivamente para el valle "La Fragua", Zacapa.

De acuerdo a Doorembos (10), para la aplicación de agua en el cultivo del maíz, hay que tener cuidado, debido a que tanto la falta como el exceso repercuten en el rendimiento. El maíz prospera en suelos bien drenados, debiendo evitar el encharcamiento, especialmente durante los períodos de floración y formación de cosecha, ya que el encharcamiento puede producir una reducción en los rendimientos en grano en un 50 % o más.

El efecto de una limitación de agua en el maíz es considerada como una disminución de los rendimientos en grano, la cual es ocasionada por el déficit de agua durante el período de floración, especialmente en el tiempo de formación del estigma y la polinización.

El déficit de agua durante el período de formación de cosecha, puede reducirse debido a la disminución del tamaño del grano. El déficit de agua durante el período de maduración tiene poco efecto sobre el rendimiento en grano (10).



Según Jenkins (23), el daño al maíz por efectos de la falta de humedad, se puede presentar de diversas maneras; el efecto total es una reducción del rendimiento y su disminución puede ser tan ligero que no se aprecien los efectos visibles sobre las plantas mismas o pueden ser severo que no produzca grano o que inclusive mueran las plantas.

El rendimiento y la calidad del maíz puede reducirse en los períodos de alta sequía, trayendo como factores asociados, una ataque más fuerte del carbon, un mayor daño por insectos o una mayor caída de mazorcas.

Es recomendable retrasar el primer riego con el fin de que las raíces profundicen y se extiendan buscando zonas más bajas donde existe humedad, todo ello, siempre que no se retracen hasta el punto de que la planta padezca sed; ya que una falta de agua en el maíz provoca el cierre de las estomas, reduciendo la fotosíntesis, lo que afecta el rendimiento. Lo ideal es pues, que la planta no sufra por falta de humedad durante todo su ciclo, sin embargo existe un período crítico durante el cual la falta de agua tiene más repercusiones, particularmente perjudiciales: las cuatro o cinco semanas que comprende la floración masculina, se calcula que de una deficiencia durante éste período puede producir una disminución del 30 % de la cosecha, cuando el maíz padece falta de agua durante éste período, la flor masculina no

se desarrolla bien (23).

### 3.1.6 Frecuencias de riego:

De acuerdo con Israelsen y Hansen (22), los factores que influyen sobre el momento más oportuno de regar son: factores edáficos, climáticos, disponibilidad de agua y capacidad de la zona radicular para almacenar la misma.

Los cultivos de zona radicular superficial requieren de riegos más frecuentes que aquellos de sistema radicular más profundo (26).

La textura del suelo influye directamente en la frecuencia de riego y lámina de agua a aplicar, 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 menor frecuencia de riego, pero mayor cantidad de aplicación.

Aunque, la aplicación de agua sea en forma adecuada, un riego muy frecuente reduce la eficiencia de aplicación al aumentarse algunas pérdidas por conducción y distribución; sin embargo cuando el riego es tardío, especialmente cuando la planta es muy sensible a la tensión de humedad del suelo, puede tener efectos negativos muy significativos sobre los rendimientos, no importando que el volumen de agua aplicado durante todo el ciclo vegetativo sea aproximadamente el mismo (22).

Castro (6), trabajando con maíz en la Unidad de Riego El Tempisque, departamento de Jutiapa, recomienda que el número de riegos en el cultivo puede variar de 6 a 9 y, que las frecuencias de riego adecuadas oscilan entre 13 y 20 días para el primer mes de desarrollo del cultivo; en el segundo mes puede variar de 7 a 10 días y para la etapa final del cultivo, las frecuencias pueden ser de 9 a 13 días. En 1979, Reyes (34), determinó que la frecuencia de riego óptima para el cultivo de maíz es de 13 días, para el valle de La Fragua, Zacapa. En el proyecto de riego piloto de Santa Rosalía, en Guatemala se estableció una frecuencia de riego de 12 días, distribuidos en 8 riegos durante el ciclo del cultivo de maíz (18). García (14), trabajando en el Distrito de Riego número 7, La Fragua, Zacapa, concluyó que los tratamientos regados cada 8 y 12 días, rindieron las mayores producciones en kgs./ha., no obstante las diferentes frecuencias de riego usadas, no afectaron el número de plantas vivas al final del ciclo.

### 3.1.7 Estudios realizados en Guatemala sobre frecuencias de riego y evapotranspiración:

Estudios realizados sobre el cultivo del tomate en El Progreso, El Rancho y el Valle de La Fragua, por Andrino (2), Barillas (3), Oliva (32), y Zea (42), determinaron que las fórmulas de Blaney-Criddle, Hargreaves modificada en 1983 y en tanque evaporímetro tipo "A", sirve para



estimar evapotranspiración para condiciones de humedad de riego cada 8, 12 y 16 días.

Además para el Valle La Fragua, Zacapa, Barillas (3), Corado (7) y Mendez (29), quienes trabajaron en el cultivo de melón, concluyen que la fórmula de Blaney-Criddle coincide para estimar la evapotranspiración para los tratamientos de las frecuencias de 8 y 16 días, considerada globalmente; y para los tratamientos de las frecuencias de 12, 20, 24 y 28 días, la fórmula de Hargreaves dió resultados similares. Sin embargo, Mendez (28), recomienda regar cada 16 días durante las etapas de desarrollo vegetativo y floración del cultivo, y cada 8 días durante la etapa de fructificación.

Moran (31), determinó para la zona de El Progreso que las fórmulas de Blaney-Criddle, Hargreaves modificadas en 1966 y 1983 y tanque evaporímetro no se adaptan a la región para la estimación de la evapotranspiración, en el cultivo de chile pimiento.

Sanchez (37), y Sagastume (36), determinaron para la zona de Bárcena que la fórmula de Hargreaves modificada en 1983, se adapta a condiciones de riego cada 4 y 12 días en el cultivo de la cebolla.

Ruano (35), en la Unidad de Riego El Progreso, trabajó con tabaco y encontró que las frecuencias de riego más recomendable son cada 8 y 12 días.

En Guatemala se han realizado 3 trabajos de investigación sobre maíz, el primero fué realizado por Castro (6), en la Unidad de Riego El Tempisque, Jalpatagua, sobre consumo de agua en el cultivo. El segundo y el tercero fueron realizados en el Valle de La Fragua, Zacapa, por Reyes (34), quién trabajó cuatro láminas de agua, y diferentes longitudes de surco y niveles de abonamiento y, Garcia (14), quién trabajó el efecto de seis frecuencias de riego en el cultivo mencionado.

### 3.2 Marco Referencial:

#### 3.2.1 Ubicación y descripción del área experimental:

El estudio se realizó en la Unidad de Riego "San Cristóbal", ubicada en el municipio de San Cristóbal Acasaguastlán del departamento de El Progreso; localizada entre el margen izquierdo del río Motagua y el inicio de la Sierra de las Minas; desde el kilómetro 97 de la ruta al atlántico en la aldea La Estancia de la Virgen hasta la aldea El Manzanotal (5). Geográficamente se encuentra aproximadamente a 14 56' latitud de norte y 89 51' longitud oeste con respecto al meridiano de Greenwich.

El clima imperante es cálido-seco, con temperaturas media anual de 29 C. y precipitación de 580 mm., concentrada en los meses de junio a septiembre, y humedad relativa media de 64 %; altura promedio sobre el nivel

del mar de 250 metros (8).

Según Simmons (40), los suelos son de formación aluvial, de textura media, profundos, de buen drenaje interno, reacción moderadamente alcalina (pH entre 6 y 7), contenido de materia orgánica de mediano a alto (2.28 a 4.37 %).

La topografía es plana a ligeramente inclinada, con declive que oscila entre 1 y 3 % hacia el río motagua.

Los suelos regados están comprendidos en las clases agrológicas I, II y III, siendo las diferencias de estos por la topografía y pedregosidad.



#### 4. OBJETIVOS:

##### 4.1 Generales:

Evaluar el efecto de cuatro frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración del cultivo de maíz (Zea mays L.), para la época y condiciones de la Unidad de Riego "San Cristóbal".

##### 4.2 Específicos:

4.2.1 Determinar la frecuencia de riego más apropiada en cuanto a rendimiento en el cultivo de maíz.

4.2.2 Determinar la evapotranspiración total del ciclo del cultivo en cada tratamiento.

4.2.3 Establecer el grado de agotamiento de la humedad aprovechable en las diferentes frecuencias de riego a evaluar.

4.2.4 Comprobar la adaptabilidad de las fórmulas de Blaney-Criddle modificada por Phelan y las de Hargreaves I, II y III, para estimar la evapotranspiración de la zona de estudio.

## 5. HIPOTESIS:

- 5.1 Los rendimientos obtenidos en el cultivo de maíz, por cada tratamiento serán diferentes entre si por efecto de la aplicación de las frecuencias de riego de 8, 10, 12 y 14 días.
  
- 5.2 El valor de la evapotranspiración o consumo de agua por el cultivo será diferente para cada tratamiento regado con distinto intervalo de riego.
  
- 5.3 La evapotranspiración medida en el campo durante todo el ciclo del cultivo para cada una de las frecuencias de riego, será diferente al valor de la evapotranspiración estimada con las fórmulas de Blaney-Criddle modificada por Phelan y con las de Hargreaves I, II y III.

## 6. METODOLOGIA:

### 6.1 Determinaciones previas del suelo:

#### 6.1.1 Análisis físico-químico:

Se elaboró una calicata de 1.0 x 1.0 x 1.20 metros, se tomaron submuestras de suelo a profundidades de 0-40 cms y de 40-80 cms para finalmente formar una muestra compuesta de cada uno de los estratos.

Para el análisis físico de los suelos del área experimental, las muestras se enviaron para ser analizadas a el Laboratorio de suelos de la Dirección Técnica de Riego y Avenamiento (DIRYA), donde se determinó: textura (Método de Boyoucus), Capacidad de campo (CC), Punto de marchitez permanente (PMP) (Método de la Olla de Presión) y Densidad aparente (DA). A nivel de campo se determinó la capacidad de campo por el método directo de parcelas (gravimétrico) y la densidad aparente por el método del cilindro de volumen conocido, cuyos resultados fueron diferentes a los del Laboratorio, tomándose finalmente el valor promedio de los valores que se dieron, por considerarse más confiables de acuerdo a los fines del experimento. En el cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos.



CUADRO 1 PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO EN DONDE SE EFECTUO EL EXPERIMENTO.

ESTRATO (cms)	C L A S E TEXTURAL	D A (gr/cc)	C C ( % )	P M P ( % )	LUGAR DEL ANALISIS
00-40	FR. ARENOSO	1.20	19.10		CAMPO
40-80	FR. ARENOSO	1.18	18.37		CAMPO
00-40	FR. ARENOSO	1.22	19.11	9.40	LABORATORIO
40-80	FR. ARENOSO	1.20	18.61	8.70	LABORATORIO

Para el análisis químico del suelo la muestra se envió al Laboratorio de suelos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), donde se obtuvieron las recomendaciones en cuanto a requerimientos de fertilización, pH, etc. Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 2.

CUADRO 2 RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO DEL SUELO EN DONDE SE EFECTUO EL EXPERIMENTO.

pH	MICROGRAMOS/ML		MEQ/100 ML DE SUELO	
	P	K	Ca	Mg
8.4	> 50	167	23.58	2.56

#### 6.1.2 Calibración de la sonda de neutrones:

La sonda de neutrones proporciona cuantificaciones de neutrones lentos. Se necesita de una curva de calibración para convertir neutrones lentos a contenido de agua.

La composición química y la densidad del suelo tienen una influencia significativa en la curva de calibración de la sonda de neutrones.

La sonda de neutrones que se utilizó para el control de la humedad, de marca CPN y modelo 503, pertenece a la Dirección General de Energía Nuclear.

Para obtener el modelo de calibración se instalaron un total de 24 tubos de acceso (aluminio) de 5.08 cms. (2.0 pulgadas) de diámetro y 1.00 mts. de largo; colocando un tubo verticalmente por cada parcela en estudio a una profundidad de 0.80 mts. En cada tubo se tomaron muestras de suelo en estratos de 10 cms. hasta una profundidad de 0.80 mts. las 8 muestras fueron colocadas en cajas de aluminio, para posteriormente determinarles el contenido de humedad en base a peso por método gravimétrico.

Con el aspersor de neutrones, estando la fuente radiactiva en la caja del aparato, se tomaron 10 lecturas o conteos estándar (CS) en cada tubo, (5 antes y 5 después de tomar los conteos por minuto o CPM ). Posteriormente se tomaron lecturas con la sonda dentro del tubo de acceso en la parte media de los estratos, las lecturas obtenidas (CPM) se dividieron dentro del promedio de los 10 CS para obtener los contajes relativos (CR). A través de una análisis de regresión lineal simple entre CR y humedades volumétricas, (humedad gravimétrica X densidad aparente), se obtuvo la curva de

calibración para este suelo.

## 6.2 Manejo del cultivo:

El cultivo se manejó de acuerdo a las recomendaciones técnicas para el cultivo de maíz para la parte baja de El Progreso, definidas por el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), en cuanto a preparación del terreno, método y distancias de siembra, control de plagas y enfermedades, control de malezas y fertilización.

La variedad con que se trabajó fue ICTA B-1, por ser la más utilizada y la de mayor aceptación en la zona.

### 6.2.1 Preparación del terreno:

Se preparó en forma mecanizada, realizando un paso de arado a una profundidad de 25 cms., dos pasos de rastra en forma cruzada y finalmente se surqueó con una pendiente de 0.3 % y a una distancia de 0.90 mts.

### 6.2.2 Siembra:

Se realizó un día después de la preparación del terreno, para lo cual, se aplicó un riego antes de la misma, sembrando a una distancia de 0.50 mts. entre posturas, colocando de dos a tres granos por postura.

### 6.2.3 Fertilización:

Las fertilizaciones se realizaron, siguiendo los



resultados del análisis químico del suelo y de los requerimientos del cultivo. 10 días después de la siembra se realizó la primera fertilización con la fórmula comercial 21-0-0-24 (sulfato de amonio) en dosis de 90 Kg/Ha, a los 30 días después de la anterior se aplicó la dosis de 135 Kg/Ha de la misma fórmula comercial.

#### 6.2.4 Control de malezas:

Se realizaron dos limpiezas con azadón, la primera, 15 días después de la siembra y la segunda, se realizó a los 40 días después de la siembra, junto con el aporque y la segunda fertilización.

#### 6.2.5 Control de plagas:

Contra plagas de las hojas, como el gusano cogollero (Spodoptera frugiperda), se utilizó Methomyl líquido al 24 %, a razón de una medida Bayer (25 cc.) por bomba de cuatro galones, aplicando el veneno directamente al cogollo de la planta y utilizando un boquilla de cono.

#### 6.2.6 Dobra:

Esta práctica se realizó 85 días después de germinado el maíz, cuando las hojas de las plantas comenzaron a amarillarse y el grano empezó a sazonar (camagua), con lo cual, se aceleró el secamiento del grano.

### 6.2.7 Cosecha:

La cosecha se realizó 30 días después de la dobla, aproximadamente 115 días después de la siembra.

### 6.3 Manejo del experimento:

El trabajo de campo duró aproximadamente cinco meses, comprendidos desde la preparación del terreno, instalación de tubos de acceso, calibración de la sonda de neutrones, siembra, manejo del cultivo hasta la cosecha, correspondiendo a los meses marzo a julio de 1,992.

#### 6.3.1 Trazo del experimento:

Después de efectuado el surqueo del terreno, se trazó el experimento, delimitándose los bloques y luego las unidades experimentales, las cuales estuvieron compuestas de 8 surcos cada una. Las dimensiones de la parcela experimental fueron de 6.3 mts. de ancho y 10 mts. de largo, entre parcelas se dejó una separación de 4 mts. y 4 mts entre bloques en donde se construyeron las tomas respectivas para regar los bloques (ver figura 11 "A" y 12 "A" del apéndice).

#### 6.3.2 Método de riego:

El método de riego utilizado fué por gravedad. El agua se derivó de un canal o toma tercearia, de ésta a

las tomas ubicadas en cada bloque y, de estas a los surcos por medio de sifones de una pulgada de diámetro, previamente calibrados en base a diferentes cargas hidráulicas.

Conociendo el caudal que arrojó cada sifón más el volumen a regar en cada riego (previa determinación de la lámina neta de riego, se encontró el tiempo de descarga de cada sifón).

### 6.3.3 Riegos generales:

En el período de establecimiento de 15 días, todas las unidades experimentales (parcelas), se regaron uniformemente previo a iniciar los tratamientos, se efectuaron 3 riegos generales, el primer riego se realizó un día antes de la siembra, el segundo se aplicó a los 7 días después del primer riego y el tercer riego se efectuó 8 días después del segundo. Durante este período también se registraron datos del contenido de humedad del suelo, para los cálculos de lámina de agua a aplicar en cada riego y la lámina de agua consumida entre riegos.

### 6.3.4 Muestreo de la humedad del suelo:

El control de la humedad del suelo se hizo utilizando la sonda de neutrones, permitiendo conocer el porcentaje de humedad a intervalos de 10 cms. hasta una profundidad de 0.80 mts. Las lecturas de la sonda fueron tomadas



antes y después de cada riego, con el fin de controlar los volúmenes consumidos y las láminas a reponer

### 6.3.5 Control de la humedad y estimación del consumo de agua por riego:

Consistió en la medición de la lámina realmente consumida o sea la evapotranspiración real (ETR), entre dos fechas en base a lecturas efectuadas con la sonda.

#### 6.3.5.1 Cálculo de la reserva de agua antes y después de cada riego:

Utilizando la humedad estimada a cada 10 cms. de profundidad, se estimó la reserva o humedad inicial y la reserva de agua o humedad final así:

$$S = (HV15 + HV25 + HV35 + \dots + HV75)$$

Donde:

S = Reserva de agua o humedad (mm) antes y después de cada riego.

HV15 = Humedad del estrato de 10 a 20 cms. (mm).

HV25 = Humedad del estrato de 20 a 30 cms. (mm).

HV75 = Humedad del estrato de 70 a 80 cms. (mm).

A través de las lecturas efectuadas con la sonda en los diferentes estratos se calculó la humedad volumétrica así:

Se tomó en cuenta la ecuación de calibración de la sonda, la cual es de la forma:

$$Y = a + b * x$$

Donde:

Y = Humedad volumétrica.

a = Intercepto de la curva.

b = Pendiente de la curva.

x = RATIO.

RATIO = Conteo por minuto de la sonda/conteo estandar de la sonda.

a y b se determinan por medio del modelo obtenido de la calibración de la sonda.

Entonces Humedad volumétrica del perfil = Sumatoria de las humedades volumétricas de cada estrato.

No se consideró la reserva de agua en el estrato de 0 a 10 cms. por el efecto de los camellones de los surcos y porque su valor se influencia más por el micro-clima de la superficie del suelo que por los factores de consumo de los estratos inferiores.

Al estrato de suelo 0 a 10 cms. no considerado con la sonda, se le determinó la humedad por medio del Método Gravimétrico.

### 6.3.5.2 Cálculo de la variación del agua o humedad:

Consistió en el cálculo o estimación de la lámina de agua presente entre dos riegos. Esta estimación se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Var}(s) = (S_i - S_f)$$

Donde:

Var(S) = Variación de la reserva de agua o de la humedad (mm).

S<sub>f</sub> = Reserva de agua o humedad final (lecturas de la sonda antes del riego posterior (mm).

S<sub>i</sub> = Reserva de agua o humedad inicial (lecturas de la sonda después del riego actual (mm).

La reserva de humedad final e inicial se determinó en base a las lecturas de sonda, por medio de la metodología descrita en el numeral 6.3.5.1.

### 6.3.6 Lámina de agua a reponer en cada riego:

Para satisfacer este requerimiento se necesitaron los siguientes datos:

-Porcentaje de humedad del suelo antes del riego (%HAR) = S<sub>f</sub>

-Porcentaje de humedad a capacidad de campo (%HCC)

-Densidad aparente (D<sub>a</sub>, grs./cc.)

-Profundidad del estrato en cms. (P<sub>e</sub>)



Los anteriores datos ya obtenidos se usaron en la formula siguiente:

$$Lr = [ ( \%HCC - \%HAR ) / 100 ] * Da * Pe$$

La profundidad de suelo utilizada para el estudio de Balance Hídrico de nuestro cultivo, fué tomada en base al criterio de enraizamiento máximo, según tipo de suelo (ver cuadro 27 "A" del apéndice).

Tomando en cuenta que el suelo en estudio es del tipo Franco arenoso, en la tabla antes mencionada nos da un valor de profundidad de 70 cms. se usó el criterio de definir nuestra profundidad de Balance Hídrico a 80 cms.

#### 6.3.7 Volumen de agua a aplicar en cada riego:

El volumen de agua a aplicar en cada riego, se determinó a través de la fórmula siguiente:

$$Vol = A * Lr * 1000$$

Donde:

Vol = Volumen de agua requerida (litros)

A = Area de cada unidad experimental (mts. cuadrados)

1000 = Constante que transforma mts. cúbicos a litros

Lr = Lámina de agua a reponer en cada riego (mts)

### 6.3.8 Tiempo de riego para cada parcela:

Conociendo el caudal (Q) de salida del sifón, se calculó el tiempo de riego (Tr), para cada una de las parcelas, usando la fórmula siguiente:

$$Tr = Vol / ( Q * 60 )$$

Donde:

Tr = Tiempo de riego

Vol = Volumen de agua requerida en litros

Q = Caudal del sifón (litros/segundo)

60 = Constante que transforma segundos a minutos.

### 6.3.9 Lámina de agua consumida:

Las láminas de evapotranspiración real fueron obtenidas por variación de la reserva de agua o humedad en el suelo, realizando lecturas de sonda antes y después de cada riego. Con los valores de porcentaje de humedad, después del riego y antes del siguiente, se calculó la lámina de agua consumida para un período mediante la ecuación resumida de Balance Hídrico (desarrollada en el numeral 3.1.1.4.C):

$$ETR = Lr + Var(S)$$

Lr = Lámina de riego

Var(S) = Variación de la reserva de agua o humedad en el suelo.

Como entre los muestreos antes y después de un mismo riego, existe un período de tiempo en el cual no se conoce el consumo, fue necesario efectuar un ajuste proporcional, relacionando mediante una regla de tres simple el período de consumo conocido con el día comprendido entre muestreos.

#### 6.3.10 Diseño experimental:

Se utilizó el diseño experimental de bloques al azar, se evaluaron 4 tratamientos con 6 repeticiones. El modelo estadístico es el siguiente:

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

donde:

$$i = 1, \dots, 4$$

$$j = 1, \dots, 6$$

$Y_{ij}$  = Variable respuesta

$U$  = Efecto de la media general

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

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

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



## 6.3.11 Descripción de los tratamientos:

TRATAMIENTO (Frec. de riego)	IDENTIFICACION
8 días	F-8
10 días	F-10
12 días	F-12
14 días	F-14

## 6.3.12 Ensayo experimental:

Area total del experimento:	34608 metros cuadrados
Area neta del experimento:	10368 " "
Area bruta por parcela:	63 " "
Area neta por parcela:	43.2 " "
Número de parcelas:	24
Distancia entre bloques:	4 metros
Distancia entre parcelas	4 "
Distancia entre plantas:	0.5 "
Distancia entre surcos:	0.9 "
Número de plantas por parcela bruta:	320
Número de plantas por parcela neta:	192
Densidad de población por ha:	44,400 plantas.

## 6.3.13 Variables a evaluar:

Para evaluar el efecto de los diferentes tratamientos en estudio, se analizaron las siguientes variables:

-Rendimiento En Kgs./ha.

-Número de plantas vivas al momento de la dobla por parcela útil.

-Altura de planta: Altura promedio de una muestra al azar de 10 plantas, desde el nivel del suelo hasta la base de la espiga, panoja o inflorescencia masculina.

#### 6.4 Análisis de resultados:

##### 6.4.1 Variables respuestas:

Para cada una de las variables respuestas se elaboraron cuadros de resultados organizados, los cuales fueron interpretados por un análisis de varianza al 5 %, en el cual, se determinó si estadísticamente existe diferencias significativas entre tratamientos ( $F_c > F_t$ ). Para aquellos casos en los cuales estadísticamente entre tratamientos existió diferencias significativas se realizó comparación de medias por la prueba de Tukey, para determinar que tratamiento (frecuencia) es el mejor o más apropiado; en aquellos casos, donde estadísticamente no existió diferencias significativas entre tratamientos ( $F_c < F_t$ ), se asumió que todos los tratamientos son iguales.

En la variable número de plantas vivas al momento de la dobla del cultivo, los datos originales se transformaron a raíz cuadrada, debido a que es una variable discreta y no se distribuye normalmente.

#### 6.4.2 Verificación de la adaptabilidad de las fórmulas para calcular la evapotranspiración:

Para comprobar si los valores de tasa de evapotranspiración semanal calculada por Blaney-Criddle modificada por Phelan y Hargreaves I, II y III, se adaptan a la zona de estudio y época de investigación, se desarrolló un análisis de correlación entre los valores de evapotranspiración medida en el campo para cada frecuencia y los estimados, a fin de determinar que porcentaje de valores de evapotranspiración calculados (variable independiente) es explicado por el modelo de regresión lineal simple ( $Y = b_0 + b_1x$ ); para este análisis se consideró un nivel de significancia del 1 % para mayor confiabilidad.

De obtener coeficientes de determinación " $r^2$ " menores a los tabulados para un nivel de significancia de 1 % y  $n-2$  grados de libertad, se concluye que el modelo de regresión lineal simple no explica satisfactoriamente la relación entre los datos medidos y los calculados, lo que indica que las fórmulas de Blaney-Criddle y las de Hargreaves I, II y III no se adaptan a la zona donde se realizó el estudio. Si los coeficientes de determinación " $r^2$ " calculados fueran mayores a los tabulados para el nivel de significancia y los grados mencionados, se deberá efectuar dos pruebas de hipótesis, las que determinaran si la pendiente de la recta es igual a uno y el



intercepto de la recta igual a cero. La prueba de hipótesis para determinar si la pendiente de la recta es estadísticamente igual a uno, se efectuará mediante comparación entre "t" calculada ( $t_c$ ) y "t" tabulada ( $t_t$ ) de los valores de dos colas al 5 % de significancia y  $n-2$  grados de libertad de la distribución "t" de Student.

En estas pruebas, para aceptar las hipótesis nulas planteadas, los valores de "t" tabulada tienen que ser mayores o iguales a los valores de "t" calculada.

Además del análisis estadístico anterior, también se realizó una comparación gráfica ploteando los valores de tasa de evapotranspiración semanal y la evapotranspiración acumulada de cada uno de los tratamientos con los valores calculados con la fórmula de Blaney-Criddle modificada por Phelan y Hargreaves I, II y III, para poder observar la tendencia que sigue cada una de las curvas y determinar si los valores medidos presentan la misma tendencia que los valores calculados.

#### 6.4.3 Uso del agua:

##### 6.4.3.1 Lámina de agua total consumida:

Se elaboraron para cada uno de los tratamientos, cuadros de control de humedad antes y después de cada riego (incluyendo riegos generales), donde se calculó la lámina consumida por riego para el estrato, con lo

cual, se obtuvieron las láminas parciales y la total consumida por tratamiento.

#### 6.4.3.2 Agotamiento de la humedad aprovechable del suelo:

A partir de la siembra se llevó un control de la humedad del suelo para todos los tratamientos en el estrato de 0-80 cms. Se procedió de la siguiente manera:

##### 6.4.3.2.A Cálculo de la Reserva Util:

La reserva útil del suelo se calculó, promediando el valor de la humedad volumétrica a capacidad de campo y punto de marchitez permanente encontrados para los estratos mencionados anteriormente, hasta una profundidad de 0.80 metros asumiéndose la máxima actividad radicular a esta profundidad. Para esto se hizo uso de la expresión.

$$RU = \%HVCC - \%HVPMP$$

Donde:

$Ru$  = Reserva útil del suelo (mm) para el estrato de 0 a 0.80 metros

$\%HVCC$  = Lámina de agua a capacidad de campo para el estrato de 0 a 0.80 metros (mm)

$\%HVPMP$  = Lámina de agua en el punto de marchitez permanente para el estrato de 0 a 0.80 metros (mm).

#### 6.4.3.2.B Porcentaje de agotamiento de la humedad del suelo entre dos riegos

En base a la reserva útil del suelo y a la reserva de agua medida con la sonda en cada frecuencia, presente en los mismos estratos de 0 a 0.80 metros, se procedió a encontrar el valor de porcentaje de agotamiento de la humedad del suelo entre dos riegos en base a la fórmula siguiente:

$$AS(\%) = (\text{reserva de agua a CC} - \text{Reserva de agua de 0-80}) / RU * 100.$$

Donde:

A S (%) = Porcentaje de agotamiento de la humedad del suelo

Humedad CC = Lámina de agua a capacidad de campo (mm).

Humedad 0-80 = Humedad a 10 cms. + Humedad 20 cms. +  
humedad a 30 cms. + ..... +  
Humedad a 80 cms.

RU (mm) = Reserva útil del suelo estrato 0-80 cms.

Los datos obtenidos se plotearon en una gráfica para tener una mejor ilustración de los mismos. Estas gráficas nos mostraron las láminas de humedad que el suelo tiene antes y después del riego y la lámina a que llegó después de efectuar el mismo, lo que nos permitió determinar que etapas fenológicas del cultivo producen mayor agotamiento de la humedad del suelo.



## 7. RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la presente investigación y la discusión de los mismos, separados en tres partes: La primera corresponde a los resultados y análisis de las variables respuesta que se utilizaron para evaluar el efecto de los diferentes tratamientos y en las cuales se apoyó este experimento. La segunda parte se refiere al análisis del uso del agua por las plantas para los diferentes tratamientos, la última comprende una comparación en los resultados de evapotranspiración medida en cada tratamiento, con los calculados por las fórmulas de Blaney-Criddle y Hargreaves, para verificar la adaptabilidad de las mismas al área.

### 7.1 Variables respuesta:

En el cuadro 3, se puede apreciar en resumen los resultados promedio obtenidos en los diferentes tratamientos, para las variables rendimiento en kilogramos por hectárea, número de plantas vivas al momento de la dobla por parcela útil y altura de plantas en metros.

CUADRO 3 RESULTADOS DE LAS VARIABLES RENDIMIENTO EN KGS/HA., NUMERO Y ALTURA DE PLANTAS EN LOS TRATAMIENTOS EVALUADOS.

TRATAMIENTO	RENDIMIENTO EN KILOGRAMOS POR Ha.	NUMERO DE PLANTAS VIVAS AL MOMENTO DE LA DOBLA	ALTURA DE PLANTAS EN METROS
F-8	2721.808	1 9 2	2.193
F-10	2648.088	1 9 2	2.148
F-12	2454.494	1 9 2	1.974
F-14	2173.607	1 9 1	1.878

\* Los datos estan expresados en la parcela útil.

#### 7.1.1 Rendimiento en Grano:

Como se observa en el cuadro 3, y 5 "A" del apéndice de manera general a intervalos de riego más largo la producción decrece, así el tratamiento regado cada 8 días fué el que produjo más, con 2721.808 Kg/Ha. y el tratamiento de 14 días el que produjo menos con 2173.607 Kg/Ha., como se puede notar hay gran diferencia en cuanto rendimiento, lo cual se confirma al realizar el análisis de varianza que se presenta en el cuadro 6 "A" del apéndice, en el cual se concluye que existen diferencias significativas en cuanto a rendimiento por tratamiento, con 95 % de confiabilidad. Al realizar la prueba de Tukey, cuadro 7 "A" del Apéndice, se encuentra que la diferencia entre los tratamientos de mayor rendimiento F-8 y F-10, no es estadísticamente significativa. Por otro lado se tiene que estadísticamente los tratamientos

F-12 y F-14 presentan diferencias entre sí, siendo el tratamiento F-12 el que tiene valores intermedios y F-14 el que ofrece los menores rendimientos.

Estos resultados confirman lo indicado por Doorembos (10), con respecto a que los riegos tardíos, especialmente cuando la planta es muy sensible a la tensión de humedad del suelo, puede tener efectos negativos muy significativos sobre el rendimiento, especialmente si esta escasez de agua se da inmediatamente antes de la floración y durante el principio de ésta.

#### 7.1.2 Número de plantas vivas al momento de la dobla:

En el cuadro 3, se observa el promedio por tratamiento y en el cuadro 8 "A" del apéndice, se presentan los resultados organizados por tratamiento y repetición del Número de plantas vivas al momento de la dobla del cultivo por parcela útil, en el cuadro 9 "A" del apéndice, se presenta el análisis de varianza donde se obtuvo que no hay diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, por lo que se concluye que el efecto del riego no influye sobre el número de plantas vivas al momento de la dobla del cultivo, con lo cual se puede decir que las plantas de maíz se mantienen vivas hasta una frecuencia de riego de 14 días, pero con efectos fisiológicos negativos.



### 7.1.3 Altura de plantas al momento de la dobla:

En el cuadro 3, y 10 "A" del apéndice se puede apreciar que conforme aumenta el intervalo de riego, comienza a decrecer la altura de las plantas, siendo esto un efecto fisiológico negativo como lo expresa Doorembos (10).

Al observar el análisis de varianza, del cuadro 11 "A" del Apéndice, se concluye con un 95 % de confiabilidad que, existe diferencia significativa en la altura de planta al momento de la dobla del cultivo.

En el cuadro 12 "A" del apéndice, se presenta la prueba de Tukey, ésta nos indica que entre los tratamientos de mayor altura F-8 y F-12 no existen diferencia estadísticamente significativa y que los tratamientos F-12 y F-14 no son iguales estadísticamente entre sí, siendo el tratamiento F-14 el que mostró la altura de planta menor.

## 7.2 Uso del Agua:

### 7.2.1 Lámina de agua consumida:

En el cuadro 4, se presenta un resumen del número de riegos aplicados y lámina total de agua consumida por tratamiento, según los valores que se presentan, la lámina total aumenta cuando el intervalo de riego es más corto, esto verifica los resultados obtenidos en experimentos realizados por Castro (6) y García (14).

CUADRO 4 LAMINAS DE AGUA CONSUMIDAS EN CENTIMETROS Y NUMERO DE RIEGOS POR TRATAMIENTO DURANTE TODO EL CICLO DEL CULTIVO.

NUMERO DE RIEGOS	T R A T A M I E N T O S			
	F-8	F-10	F-12	F-14
1 *	2.889	2.889	2.889	2.889
2 *	3.982	3.982	3.982	3.982
3	4.433	4.501	4.786	4.746
4	4.171	4.676	4.975	4.612
5	4.406	4.906	4.930	5.896
6	3.376	4.440	4.953	6.773
7	4.002	4.753	4.847	
8	3.941	4.774		
9	4.324			
10	5.018			
TOTAL	40.542	34.741	31.363	28.899

\* = riegos generales o de establecimiento.

En el cuadro 4, puede verse que de manera general a intervalos de riego más corto, la planta consume más agua debido a que tiene más disponibilidad de ella. El consumo varió desde 40.542 cms. para la frecuencia de 8 días, hasta 28.899 cms. para la de 14 días. Además puede observarse que el número de riegos aplicados en cada tratamiento durante todo el ciclo varía desde 10 en el tratamiento regado cada 8 días hasta 6 en el tratamiento regado cada 14 días. Estos dos factores influyen en que

el costo de riego para las frecuencias más cortas sea relativamente mayor que para las frecuencias largas.

Las láminas que se consumieron en cada riego, se pueden observar en los cuadros del 13 "A" al 17 "A" del Apéndice, estas láminas se determinaron en base a los datos de porcentajes de humedad volumétrica obtenidos con la sonda de neutrones (según fué descrito en la metodología) en cada muestreo realizado antes y después de cada riego. Para este fin se obtuvo la ecuación de la curva de calibración de la sonda obtenida a través de un análisis de regresión lineal entre 50 valores de humedad volumétrica (humedad gravimétrica multiplicada por la densidad aparente) y sus correspondientes contajes relativos. En la figura 5 "A" del Apéndice, puede observarse la curva de calibración para el suelo del ensayo experimental habiéndose obtenido la ecuación siguiente:

$$Y = 0.05 + 17.01 * CR$$

donde:

Y = Humedad volumétrica ( % )

CR = Contaje relativo



### 7.2.2 Agotamiento de la humedad aprovechable del suelo:

En las figuras del 1 "A" al 4 "A" del Apéndice, se puede notar como se consumió la humedad aprovechable durante todo el ciclo del cultivo, dentro de los estratos estudiados de 0-40 cms. y 40-80 cms.

Se nota que en todos los tratamientos existe un mayor agotamiento de la humedad aprovechable en las etapas fenológicas de inicio de floración y durante ésta (entre 55 y 65 días después de la siembra). También se puede observar que en ninguno de los tratamientos el porcentaje de humedad aprovechable llegó al punto de marchitez permanente. En los tratamientos de frecuencia larga, se observa un mayor agotamiento de la humedad aprovechable.

Para el tratamiento F-8 en la figura 1 "A" del Apéndice, puede notarse que el agotamiento de la humedad aprovechable fué mayor durante las etapas de floración y fructificación en que se llegó a tener valores promedios del 57 % para el estrato 0-40 cms. y un 50 % para el estrato 40-80 cms. Durante todo el ciclo del cultivo se consumió un 49 % de la humedad aprovechable para el estrato 0-40 cms. y un 38 % para el estrato 40-80 cms. Por lo que se considera que el cultivo no fué sometido en ningún momento a altas tensiones y por lo mismo fué el tratamiento que dió los mejores rendimientos.

Para el tratamiento F-10 en la figura 2 "A" del Apéndice, se observa un comportamiento casi constante durante todo el ciclo del cultivo llegando a un máximo de 59 % de agotamiento de la humedad aprovechable en el estrato 0-40 cms. durante la etapa inicial de la floración, sucediendo lo mismo para el estrato 40-80 cms. donde se llegó a un máximo de 51 %.

Para el tratamiento F-12, se observa en la figura 3 "A" del Apéndice, que el agotamiento de la humedad aprovechable también se comportó similar al tratamiento F-10, notándose un comportamiento casi constante durante todo el ciclo del cultivo llegando a un máximo de 58 % para el estrato 0-40 cms. durante la etapa inicial de la floración y un 50 % para el estrato 40-80 cms. durante la etapa de fructificación. A pesar del comportamiento similar entre ambos tratamientos, el agotamiento de la humedad aprovechable durante todo el ciclo del cultivo, el promedio fué mayor en el tratamiento F-12 con un 52 %, contra un 50 % del tratamiento F-10 para el estrato 0-40 cms. y un 45 % para el tratamiento F-12, contra un 43 % para el tratamiento F-10 para el estrato 40-80 cms. por lo que la tensión en el tratamiento F-12 fué mayor que en el F-10, lo cual explica las diferencias en el rendimiento de ambos tratamientos.

Por último en la figura 4 "A" del Apéndice, correspondiente al tratamiento F-14, se observa que los

valores promedios del agotamiento de la humedad aprovechable para las etapas de floración y fructificación, fué superior al 79 % para el estrato 0-40 cms. y superior al 66 % para el estrato de 40-80 cms. no llegando en ningún momento al punto de marchitez permanente, aunque se notó en las observaciones de campo, una marcada diferencia en el vigor de las plantas y por consiguiente en el tamaño de las mazorcas de maíz, comparando los primeros tres tratamientos con el tratamiento último. De lo anterior se deduce que el rendimiento se vió afectado por el contenido de humedad en el suelo, principalmente en las etapas de floración y fructificación.

### 7.3 Comparación de la evapotranspiración medida con la sonda de neutrones con la calculada por la fórmula de Blaney-Criddle, modificada por Phelan y Hargreaves I, II y III:

En el cuadro 18 "A" del Apéndice, se presenta el calculo de la evapotranspiración semanal por fórmula de Blaney-Criddle, modificada por Phelan y en el cuadro 19 "A" del apéndice, se presenta el calculo obtenido mediante las fórmulas de Hargreaves I, II y III.

La tasa de evapotranspiración semanal y total para los cuatro tratamientos, Blaney-Criddle modificada por Phelan y Hargreaves I, II y III, se presentan en el cuadro 20 "A" del apéndice.



Para verificar la adaptabilidad de las fórmulas, se efectuó un análisis de correlación para determinar que porcentaje de la variable independiente es explicado por el modelo de regresión lineal simple, encontrándose que todos los coeficientes de determinación " $r^2$ " son menores al tabulado para un nivel de significancia de 0.1 % y  $n-2$  grados de libertad, concluyendo que el modelo de regresión lineal simple no explica satisfactoriamente la relación entre los datos medidos y los calculados, lo cual puede observarse en el cuadro 21 "A" del apéndice.

La prueba estadística anterior confirma al efectuar la comparación gráfica de las figuras 6 "A" al 9 "A" del apéndice, correspondiente a las curvas de tasa de evapotranspiración semanal de los tratamientos y fórmulas empleadas, pudiendo notarse que la tendencia es diferente entre la evapotranspiración medida y la calculada por las diferentes fórmulas, esto vuelve a manifestarse en la figura 10 "A" del Apéndice, correspondiente a las curvas de tasa de evapotranspiración semanal acumulada de los tratamientos y fórmulas.

Es de hacer notar que las tres fórmulas de Hargreaves usadas en este documento dan resultados de evapotranspiración potencial iguales (se hizo análisis de correlación y regresión para probar lo anterior).

## 8. CONCLUSIONES:

- 8.1 Las diferentes frecuencias de riego aplicadas, tienen influencia sobre las variables, rendimiento en Kg/Ha. y altura de plantas al momento de la dobla.
- 8.2 En cuanto al rendimiento, los tratamientos regados con intervalo de 8 y 10 días produjeron el mayor rendimiento respectivamente, siendo estadísticamente iguales y los tratamientos de 12 y 14 días dieron un rendimiento menor, existiendo diferencias estadísticamente significativas entre estas dos frecuencias. En todos los tratamientos, la producción disminuyó a medida que el intervalo de riego fué mayor.
- 8.3 La variable altura de planta al momento de la dobla, mostró diferencia significativa entre tratamientos, siendo estadísticamente iguales los tratamientos regados cada 8 y 10 días, los cuales mostraron la mayor altura y los tratamientos regados cada 12 y 14 días los de menor altura respectivamente, siendo estadísticamente diferentes. de manera general la altura de planta decrece a medida que la frecuencia de riego es más larga.
- 8.4 La aplicación de riego a diferentes intervalos no tuvo influencia sobre la variable número de plantas vivas al momento de la dobla.

8.5 La lámina de agua consumida aumenta conforme se acorta el intervalo de riego, siendo para la totalidad del ciclo de 40.542, 34.741, 31.363 y 28.898 cms.; para los tratamientos regados cada 8, 10, 12 y 14 días respectivamente, por lo que las diferentes frecuencias de riego utilizadas, sí influyen en las tasas de evapotranspiración.

8.6 Los valores máximos de evapotranspiración se alcanzaron en la etapa de floración y la fructificación, los valores menores se dieron al inicio del ciclo del cultivo, con esto se deduce que el cultivo de maíz necesita un suministro adecuado de agua durante el inicio de la floración y durante la fructificación, ya que son las etapas fenológicas que presentan el mayor agotamiento de la humedad aprovechable.

8.7 En ningún tratamiento el agotamiento de la humedad aprovechable alcanzó valores de 100 %, por lo que la humedad del suelo no alcanzó nunca valores de punto de marchitez permanente.

8.8 Los valores de evapotranspiración medida en el campo con sonda de neutrones, son diferentes a los calculados por las fórmulas de Blaney-Criddle modificada por Phelan y Hargreaves I, II y III, lo cual indica que ninguna de las fórmulas usadas, se adapta a la región en la estimación de la evapotranspiración.



## 9. RECOMENDACIONES:

- 9.1 Debido a que los resultados obtenidos fueron para una época específica, se recomienda que éste tipo de investigación, se continúe realizando en la misma región, época y cultivo, con el objeto de confirmar los resultados obtenidos.
- 9.2 Se recomienda regar con cualquiera de las frecuencias 8 ó 10 días, pues fueron las que produjeron el mayor rendimiento en comparación con las otras, además estadísticamente son iguales.
- 9.3 Ya que ninguna de las fórmulas evaluadas, calcula correctamente la evapotranspiración en la región, época y cultivo de maíz, no se recomienda utilizarlas en la determinación del uso del agua, mientras no se efectúen otros trabajos similares que determinen la validez y adaptabilidad de las mismas.

## 10. BIBLIOGRAFIA:

1. AGUILERA, M.; MARTINEZ, R. 1980. Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera. 2 ed. México, Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio de Irrigación. 321 p.
2. ANDRINO ALVAREZ, F. 1985. Efecto en los rendimientos de tomate (Lycopersicum esculentum) de cinco frecuencias de riego y verificación de la adaptabilidad de formulas empíricas para estimación de evapotranspiración en el Oasis, La Fragua, Zacapa. Tesis Ing Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 99 p.
3. BARILLAS KLEE, E. 1983. Determinación experimental de la evapotranspiración de tomate y melón en el valle de La Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 69 p.
4. BOOHER, L. 1974. El riego superficial. Roma, FAO. Cuadernos de Fomento Agropecuario no. 95. 162 p.
5. CARDONA PAIZ, J. C. 1983. Impacto socioeconómico de la implantación del riego en San Cristobal Acasaguastlán. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 58 p.
6. CASTRO MAGAÑA, M. 1976. Consumo de agua para el cultivo de maíz (Zea mays), en la Unidad de Riego El Tempisque. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 58 p.
7. CORADO ESQUIVEL, M. 1984. Efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración en el melón (Cucumis melo L.) en el valle La Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 63 p.
8. CRUZ, J. R. DE LA. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala, basada en el sistema Holdridge. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.

9. DONAHUE; MILLER; SHICKLUMA. 1983. Soil an introducción to soil and plant growth. Fift edition. New Jersey, E.E.U.U., Prentice-hall, p. 198,465-467.
10. DOOREMBOS, J.; KASSAM, A. H. 1979. Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma, FAO. Serie Riego y Drenaje no. 33. 212 p.
11. -----; PRUIT, W. O. 1976. Las necesidades de agua en los cultivos. Roma, FAO. Serie de Riego y Drenaje no. 24. 110 p.
12. DUNNW, T.; LEOPOLD, L. B. 1978. Water in enviromental planning. Colorado, EE.UU., Freeman. 818 p.
13. FRANCIS, C. J.; TURRELLE, J. W. 1968. riego del maíz. México, AID. Boletín Agrícola no. 2059. 14 p.
14. GARCIA ALDANA, M. R. 1987. Efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y la evapotranspiración del maíz (Zea mays L.) en el valle de La Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 58 p.
15. GRASSI, C. J. 1975. Estimación de los usos consuntivos de agua y requerimientos de riego con fines de formulación y diseño de proyectos; criterios y procedimientos. Merida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 88 p.
16. GUATEMALA. DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS AGRICOLA. 1981. Recomendaciones técnicas para el riego por sifones. Guatemala. 6 p.
17. ----- . INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS. 1990. Recomendaciones técnicas agropecuarias para los departamentos de Zacapa, Chiquimula, El Progreso e Izabal. Guatemala. 191 p.
18. ----- . MINISTERIO DE AGRICULTURA. RECURSOS HIDRAULICOS. 1974. Operación, conservación y tecnificación de distritos de riego. Guatemala. 493 p.



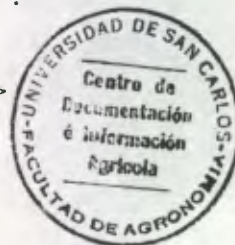
19. HARGREAVES, H. G. 1977. Requeriment manual for irrigation crops and rained agriculture. EE.UU., Agency for International Development. 42 p.
20. -----, 1983. Estimating crop evapotranspiration requeriment. Utah, EE. UU., Utah State University. 10 p.
21. -----; SAMANI, Z. A. 1986. World water for agriculture-precipitation management. Utah, International Irrigation Center. 22 p.
22. ISRAELSEN, O. N.; HANSEN, V. E. 1980. Principios y aplicaciones del riego. Trad. por Alberto García. Barcelona, España, Reverte. 366 p.
23. JENKINS, M. T. 1932. Differential resistance or hibred and crossbred strains of corn to drought and heat injury. Journals of American-Society of Agronomy (EE.UU.) no. 24: 504-506.
24. KAPLAN, I. 1987. Física nuclear. 2 ed. Río de Janeiro, Brasil, Editoria Guanabara Dois. 633 p.
25. KIRDA, C. 1987. Notes on nuclear methods in soil water studies. Viena, Austria, International Atomic Energy, Soil Sciencie Unit, Agricultural Laboratory Seibersdorf. 54 p.
26. KRAMER, J. P. 1974. Relaciones hídricas de suelos y plantas; una síntesis moderna. México, D. F., Edutex. 382 p.
27. MARAUX, F. 1983. El agua del suelo; balance hídrico de los cultivos. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 145 p.
28. MENDEZ GARCIA, J. C. 1986. Efecto de cinco frecuencias de riego en el rendimiento y la evapotranspiración en melón (Cucumis melo L.) tipo cantaloupe en el valle de La Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 65 p.
29. MENDEZ GUZMAN, L. F. 1984. Efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y la evapotranspiración en melón (Cucumis melo L.) tipo cantaloupe en el valle de La Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 92 p.

30. MEXICO. SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS, DIRECCION GENERAL DE DISTRITOS DE RIEGO Y UNIDADES DE RIEGO. 1970. Formulación de calendarios de riego, usando datos climáticos de cultivos y riegos. México. SARH. Memorandum Técnico. no. 282. 105 p.
31. MORAN PALMA, L. F. 1987. Efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración en el chile pimiento (Capsicum annum L.) en la Unidad de Riego El Progreso. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San carlos, Facultad de Agronomía. 104 p.
32. OLIVA CERMEÑO, E. E. 1986. Efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y la evapotranspiración en el cultivo del tomate (Lycopersicum esculentum) en la Unidad de Riego El Progreso. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 96 p.
33. RELACIONES ENTRE suelo-planta-agua. 1972. Traducido por Emilio Avila de la Torre. México, Diana. 99 p.
34. REYES RODRIGUEZ, L. I. 1979. Frecuencias de riego en el cultivo de maíz, con cuatro diferentes láminas de agua, longitud de surcos y niveles de abonamiento químico, en el área de La Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 56 p.
35. RUANO ROSSIL, J. M. 1985. Efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración del cultivo del tabaco (Nicotiana tabacum L.) en la Unidad de Riego El Progreso. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 119 p.
36. SAGASTUME GARZA, M. B. 1986. Efecto de siete frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración en cebolla (Allium cepa L.) para la zona de Bárcena, Villa Nueva. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 68 p.
37. SANCHEZ CHAVEZ, J. 1984. Efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración en cebolla (Allium cepa L.) para la zona de Bárcena, Villa Nueva. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 66 p.

38. SANDOVAL ILLESCAS, J. E. 1989. Principio de riego y drenaje. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 345 p.
39. -----, 1989. Resumen de la investigación realizada en frecuencias de riego y evapotranspiración de 1982 a 1989. Tikalia (Gua) 7 (1): 82-85.
40. SIMMONS, CH. S.; TARANO, J. M.; PINTO, J. H. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José Pineda Ibarra. 1000 p.
41. TELLO SAMAYOA, C. A. 1983. Efecto de cinco frecuencias de riego en los rendimientos y medición de la evapotranspiración del chile pimiento (Capsicum annum L.) en la Unidad de Riego El Rancho-Jicaro. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 70 p.
42. ZEA MORALES, J. L. 1984. Efecto de cinco frecuencias de riego sobre el rendimiento y la evapotranspiración del tomate en un suelo de la serie Chicaj en el valle de La Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 78 p.

Vo.Bo.

*Patualla*





**APENDICE**

CUADRO 5 "A" RENDIMIENTO EN GRANO DE MAIZ EN Kg/Ha, ORGANIZADOS POR TRATAMIENTO Y REPETICION.-

TRATAMIENTO	BLOQUES O REPETICIONES						TOTAL	PROME.
	I	II	III	IV	V	VI	Yi	Yi
F-8	2838.4	2753.3	2665.46	2589.8	2764.5	2719.4	16330.7	2721.7
F-10	2718.2	2698.1	2649.23	2616.1	2598.3	2608.6	15888.5	2648.0
F-12	2519.3	2471.2	2428.21	2501.2	2423.3	2383.7	14727.0	2454.5
F-14	2273.2	2238.7	2174.48	2126.5	2132.5	2096.3	13041.6	2173.6
TOTAL	10349.1	10161.3	9917.38	9833.5	9918.6	9808.0	59987.9	

CUADRO 6 "A" ANALISIS DE VARIANZA PARA RENDIMIENTO EN GRANO DE MAIZ EN Kg/Ha.

F.V.	G.L.	S. C.	C.M.	Fc	Ft 5 %	
TRATAMIENTOS	3	1078384	359461	177.46	3.29	S
BLOQUES	5	56480	11296	5.5766		
ERROR	15	30384	2025.6			
TOTAL	23	1165248				

Coeficiente de Variacion = 1.800627 %

CUADRO 7 "A" PRUEBA DE TUCKEY PARA RENDIMIENTO EN GRANO DE MAIZ EN Kg/Ha.

TRATAMIENTO	MEDIAS (Kg/ha)	
F-8	2721.808	----- -
F-10	2648.088	----- -
F-12	2454.494	----- -
F-14	2173.607	----- -

CUADRO 8 "A" NUMERO DE PLANTAS VIVAS AL MOMENTO DE LA DOBLA DEL CULTIVO POR PARCELA UTIL, ORGANIZADOS POR TRATAMIENTO Y REPETICION.-

TRATAMIENTO	BLOQUES O REPETICIONES						TOTAL	PROME.
	I	II	III	IV	V	VI	Yi	Yi
F-8	36864	36864	36864	36864	36864	36864	221184	36864
F-10	36864	36864	36864	36864	36864	36864	221184	36864
F-12	36481	36864	36864	36864	36481	36864	220418	36736
F-14	36864	36864	36481	36864	36481	36100	219654	36609
TOTAL	147073	147456	147073	147456	146690	146692	882440	

VALORES TRANSFORMADOS A RAIZ CUADRADA

CUADRO 9 "A" ANALISIS DE VARIANZA PARA NUMERO DE PLANTAS VIVAS AL MOMENTO DE LA DOBLA DEL CULTIVO POR PARCELA UTIL.-

F.V.	G.L.	S. C.	C.M.	Fc	Ft 5 %	
TRATAMIENTOS	3	1.875	0.625	2.58620	3.29	N S
BLOQUES	5	1.00	0.2	0.82758		
ERROR	15	3.625	0.24166			
TOTAL	23	6.5				

Coefficiente de Variacion = 0.2563734 %

N S = NO SIGNIFICATIVO (TRATAMIENTOS IGUALES)



CUADRO 10 "A" ALTURA DE PLANTA EN METROS, AL MOMENTO DE LA DOBLA DEL CULTIVO, POR TRATAMIENTO Y REPETICION.-

TRATAMIENTO	BLOQUES O REPETICIONES						TOTAL	PROME.
	I	II	III	IV	V	VI	Yi	Yi
F-8	2.201	2.206	2.177	2.185	2.192	2.200	13.161	2.194
F-10	2.152	2.146	2.155	2.150	2.145	2.140	12.888	2.148
F-12	2.011	1.984	2.005	2.025	1.913	1.906	11.844	1.974
F-14	1.915	1.881	1.896	1.930	1.846	1.801	11.269	1.878
TOTAL	8.279	8.217	8.233	8.290	8.096	8.047	49.162	

CUADRO 11 "A" ANALISIS DE VARIANZA PARA ALTURA DE PLANTA EN METROS, AL MOMENTO DE LA DOBLA DEL CULTIVO.

F.V.	G.L.	S. C.	C.M.	F.c.	F.t 5 %	
TRATAMIENTOS	3	0.39294	0.131	150.68	3.29	S
BLOQUES	5	0.01243591	0.0025	2.8613		
ERROR	15	0.01303864	0.0009			
TOTAL	23	0.418418				

Coeficiente de Variacion = 1.439303 %

CUADRO 12 "A" PRUEBA DE TUCKEY PARA ALTURA DE PLANTA EN METROS, AL MOMENTO DE LA DOBLA DEL CULTIVO.

TRATAMIENTO	MEDIAS (METROS)		
F-8	2.1935		
F-10	2.1480		
F-12	1.9740		
F-14	1.8782		

CUADRO 13 "A" CONTROL DE LA HUMEDAD ANTES Y DESPUES DE RIEGO Y CALCULO DE LA LAMINA CONSUMIDA PARA TODOS LOS TRATAMIENTOS DURANTE LOS RIEGOS GENERALES.

ESTRATO EN CMS.	HUMEDAD VOLUMETRICA				DIFERENCIA %	CONSUMO ENTRE MUESTREO CMS	(*) AJUSTE CMS	LAMINA EN CMS
	DESPUES DE RIEGO FECHA	%	ANTES DE RIEGO FECHA	%				
00-40	19.884		17.626	2.258	0.903	0.677	1.581	
40-80	4-4-92	17.157	8-4-92	15.283	1.873	0.749	1.311	
00-40	19.049		15.750	3.299	1.320	0.792	2.111	
40-80	11-4-92	16.998	15-4-92	14.079	2.919	1.168	1.868	
LAMINA TOTAL							6.87	

(\*) = AJUSTE: DIAS NO INCLUIDOS ENTRE LOS MUESTREOS

CUADRO 14 "A" CONTROL DE LA HUMEDAD ANTES Y DESPUES DE RIEGO Y CALCULO DE LA LAMINA CONSUMIDA PARA EL TRATAMIENTO F-8.

ESTRATO EN CMS.	HUMEDAD VOLUMETRICA				DIFERENCIA %	CONSUMO ENTRE MUESTREO CMS	(*) AJUSTE CMS	LAMINA EN CMS
	DESPUES DE RIEGO		ANTES DE RIEGO					
	FECHA	%	FECHA	%				
00-40	18-4-92	19.802	23-4-92	15.635	4.167	1.667	1.000	2.667
40-80		16.987		14.227	2.760	1.104	0.662	1.766
00-40	26-4-92	19.356	1-5-92	15.490	3.866	1.547	0.928	2.474
40-80		17.775		15.125	2.650	1.060	0.636	1.696
00-40	4-5-92	19.123	9-5-92	15.451	3.671	1.469	0.881	2.350
40-80		17.671		14.457	3.213	1.285	0.771	2.057
00-40	11-5-92	22.298	18-5-92	18.427	3.871	1.548	0.221	1.770
40-80		18.182		14.668	3.514	1.406	0.201	1.606
00-40	19-5-92	23.891	26-5-92	18.056	5.835	2.334	0.333	2.667
40-80		18.147		15.227	2.920	1.168	0.167	1.335
00-40	27-5-92	22.680	3-6-92	17.486	5.194	2.078	0.297	2.375
40-80		18.511		15.085	3.427	1.371	0.196	1.567
00-40	4-6-92	23.067	11-6-92	18.416	4.651	1.860	0.266	2.126
40-80		18.941		14.034	4.807	1.923	0.275	2.198
00-40	12-6-92	24.578	19-6-92	18.707	5.871	2.349	0.336	2.684
40-80		18.412		13.307	5.105	2.042	0.292	2.334
						SUB-TOTAL.....	33.67	
						RIEGOS GRALES...	6.87	
						TOTAL.....	40.54	



CUADRO 15 "A" CONTROL DE LA HUMEDAD ANTES Y DESPUES DE RIEGO Y CALCULO DE LA LAMINA CONSUMIDA PARA EL TRATAMIENTO F-10.

ESTRATO EN CMS.	HUMEDAD VOLUMETRICA				DIFERENCIA %	CONSUMO ENTRE MUESTREO CMS	(*) AJUSTE CMS	LAMINA EN CMS
	DESPUES DE RIEGO FECHA	%	ANTES DE RIEGO FECHA	%				
00-40	18-4-92	19.802	25-4-92	15.257	4.545	1.818	0.779	2.597
40-80		16.987		13.656	3.331	1.332	0.571	1.903
00-40	28-4-92	19.361	5-5-92	14.456	4.905	1.962	0.841	2.803
40-80		17.832		14.554	3.278	1.311	0.562	1.873
00-40	8-5-92	20.826	16-5-92	16.430	4.396	1.758	0.754	2.512
40-80		17.542		13.351	4.191	1.676	0.718	2.395
00-40	17-5-92	21.917	26-5-92	16.236	5.681	2.273	0.253	2.525
40-80		16.798		12.489	4.309	1.724	0.192	1.915
00-40	27-5-92	22.088	5-6-92	16.898	5.190	2.076	0.231	2.307
40-80		17.676		12.577	5.099	2.040	0.227	2.266
00-40	6-6-92	22.405	15-6-92	16.929	5.477	2.191	0.243	2.434
40-80		18.341		13.077	5.264	2.105	0.234	2.339
						SUB-TOTAL.....	27.87	
						RIEGOS GRALES...	6.87	
						TOTAL.....	34.74	

CUADRO 16 "A" CONTROL DE LA HUMEDAD ANTES Y DESPUES DE RIEGO Y CALCULO DE LA LAMINA CONSUMIDA PARA EL TRATAMIENTO F-12.

ESTRATO EN CMS.	HUMEDAD VOLUMETRICA				DIFERENCIA %	CONSUMO ENTRE MUESTREO CMS	(*) AJUSTE CMS	LAMINA EN CMS
	DESPUES DE RIEGO	ANTES DE RIEGO	FECHA	FECHA				
00-40	19.802	14.896	18-4-92	29-4-92	4.906	1.962	0.654	2.616
40-80	16.987	12.919			4.068	1.627	0.542	2.170
00-40	18.896	13.777	30-4-92	9-5-92	5.119	2.048	0.683	2.730
40-80	17.211	13.001			4.210	1.684	0.561	2.245
00-40	22.579	16.552	11-5-92	22-5-92	6.027	2.411	0.219	2.630
40-80	18.167	12.896			5.270	2.108	0.192	2.300
00-40	23.448	17.259	23-5-92	3-6-92	6.189	2.476	0.225	2.701
40-80	17.979	12.816			5.162	2.065	0.188	2.253
00-40	24.007	18.274	4-6-92	15-6-92	5.733	2.293	0.208	2.502
40-80	18.988	13.614			5.375	2.150	0.195	2.345
SUB-TOTAL.....								24.49
RIEGOS GRALES...								6.87
TOTAL.....								31.36

CUADRO 17 "A" CONTROL DE LA HUMEDAD ANTES Y DESPUES DE RIEGO Y CALCULO DE LA LAMINA CONSUMIDA PARA EL TRATAMIENTO F-14.

HUMEDAD VOLUMETRICA								
ESTRATO EN CMS.	DESPUES DE RIEGO	ANTES DE RIEGO		DIFERENCIA	CONSUMO ENTRE MUESTREO	(*) AJUSTE CMS	LAMINA EN CMS	
	FECHA	%	FECHA	%	%	CMS		
00-40		19.802		14.963	4.839	1.935	0.528	2.463
	18-4-92		29-4-92					
40-80		16.987		12.503	4.484	1.794	0.489	2.283
00-40		22.838		18.101	4.737	1.895	0.517	2.412
	2-5-92		14-5-92					
40-80		18.569		14.246	4.323	1.729	0.472	2.201
00-40		23.760		17.430	6.330	2.532	0.691	3.223
	15-5-92		28-5-92					
40-80		18.759		13.508	5.251	2.100	0.573	2.673
00-40		24.355		17.060	7.295	2.918	0.796	3.714
	29-5-92		11-6-92					
40-80		19.008		12.999	6.009	2.404	0.656	3.059
SUB-TOTAL.....						22.03		
RIEGOS GRALES...						6.87		
TOTAL.....						28.90		



CUADRO 18 "A" CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL Y TOTAL POR EL METODO DE BLANEY-CRIDDLE MODIFICADA POR PHELAN.

S E M A N A	(1) FRACCION SEMANTAL	TEMPE- RATURA ( C )	(2) P %	(3) T+17.8 21.8	1x2x3 f	Kt	Kc	f*Kt*Kc Et	Et' Cms.
29-3-92 AL 4-4-92	1	26.87	1.94	2.0491	3.975	1.076	0.43	1.840	1.761
5-4-92 AL 11-4-92	1	26.92	1.97	2.0514	4.045	1.078	0.45	1.962	1.878
12-4-92 AL 18-4-92	1	26.54	1.97	2.0399	4.010	1.066	0.49	2.095	2.005
19-4-92 AL 25-4-92	1	26.11	1.97	2.0142	3.971	1.053	0.56	2.341	2.241
26-4-92 AL 2-5-92	1	26.37	1.99	2.0261	4.032	1.061	0.64	2.738	2.620
3-5-92 AL 9-5-92	1	27.24	2.02	2.0660	4.171	1.088	0.76	3.448	3.301
10-5-92 AL 16-5-92	1	25.19	2.02	1.9720	3.981	1.024	0.84	3.425	3.278
17-5-92 AL 23-5-92	1	26.88	2.02	2.0495	4.137	1.077	0.96	4.277	4.094
24-5-92 AL 30-5-92	1	28.44	2.02	2.1211	4.282	1.125	1.04	5.011	4.797
31-5-92 AL 6-6-92	1	27.32	2.06	2.0697	4.264	1.090	1.07	4.975	4.762
7-6-92 AL 13-6-92	1	26.13	2.07	2.0151	4.166	1.053	1.07	4.696	4.495
14-6-92 AL 19-6-92	0.86	26.41	1.77	2.0200	3.090	1.062	1.04	3.414	3.268
T O T A L E S					48.124			40.221	38.500

Kg = 0.80 = Coeficiente Global, tomado del cuadro 24 "A".  
 Kc = Coeficiente de desarrollo, tomado del cuadro 25 "A".  
 P = Porcentaje mensual de horas luz, tomado del cuadro 26 "A".

Et = K' \* f  
 K' = Et / f => 40.221 / 48.124 = 0.8358

FA = Factor de Ajuste  
 FA = Kg / K' => 0.80 / 0.8358 = 0.9572  
 Et' = FA \* Et

Et = Kg \* f => 48.124 \* 0.80 = 38.4995

CUADRO 19 "A" CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION POR LAS FORMULAS DE HARGREAVES I, II Y III.

SEMANA	FRAC- CION SEMA- NAL	PROMEDIO TEMPERATURA SEMANAL EN GRAOS CENTIGRADO			HUMEDAD RELATIVA: PROMEDIO: %	Ra mm/sun	EVAPORACION POTENCIAL MILIMETROS / SEMANALES			Kc	EVAPORACION REAL MILIMETROS / SEMANALES		
		MINIMA	MEOA	MAXIMA	HARGREAVES: I		HARGREAVES: II	HARGREAVES: III	HARGREAVES: I		HARGREAVES: II	HARGREAVES: III	
29-3-92 AL 4-4-92	1	22.60	26.87	31.69	72.655	107.0	39.3404	32.1507	33.3492	0.35	13.7691	11.2528	11.6722
5-4-92 AL 11-4-92	1	19.86	26.92	30.79	70.867	109.6	40.9616	36.1371	35.9248	0.45	18.4327	16.2617	15.1662
12-4-92 AL 18-4-92	1	21.76	26.54	30.93	71.859	109.6	40.2631	32.8233	33.6898	0.60	24.1578	19.6940	20.2139
19-4-92 AL 25-4-92	1	20.36	26.11	31.23	69.788	109.6	40.5866	35.3917	36.2254	0.66	26.7872	23.3585	23.9088
26-4-92 AL 2-5-92	1	20.00	26.37	32.89	71.786	110.1	40.3105	38.9267	40.1990	0.72	29.0236	28.0272	28.9433
3-5-92 AL 9-5-92	1	22.71	27.24	33.14	72.080	111.3	41.1425	36.0971	37.7857	0.79	32.5026	28.5167	29.8507
10-5-92 AL 16-5-92	1	21.86	25.19	30.99	71.571	111.3	39.7360	32.2358	34.1871	0.95	37.7492	30.6240	32.4777
17-5-92 AL 23-5-92	1	19.26	26.88	31.02	72.756	111.3	40.8618	38.0319	37.6818	1.03	42.0876	39.1728	38.8123
24-5-92 AL 30-5-92	1	19.67	28.44	32.03	73.859	111.3	41.8549	40.3471	39.2664	1.10	46.0404	44.3818	43.1931
31-5-92 AL 6-6-92	1	22.79	27.32	33.29	71.788	110.7	41.4016	36.0907	37.7986	1.18	48.8539	42.5870	44.6026
7-6-92 AL 13-6-92	1	20.57	27.13	30.11	73.586	110.6	40.5175	34.2228	33.8778	0.95	38.4916	32.5117	32.1839
14-6-92 AL 20-6-92	0.86	22.69	26.41	31.43	71.649	94.8	34.7823	27.6334	29.9066	0.68	30.6084	24.3174	25.4378
T O T A L E S											388.5042	340.7057	347.4625

Kc = Coeficiente de cultivo, tomado del cuadro 22 "A".

Ra = Radiacion Extraterrestre, tomado del cuadro 23 "A" para una Latitud Norte de 14º 56'

$$\text{HARGREAVES I} = \text{ETP} = 2 \times 10^{-3} \times \text{Ra} \left( 1.8 \text{ Tmed.} + 32 \right) \left( 100 - \text{HRmed.} \right)^{0.25}$$

$$\text{HARGREAVES II} = \text{ETP} = 1.24 \times 10^{-3} \times \text{Ra} \left( \text{Tmax.} - \text{Tmin.} \right)^{0.5} \left( 1.8 \text{ Tmed.} + 32 \right)$$

$$\text{HARGREAVES III} = \text{ETP} = 0.0023 \times \text{Ra} \left( \text{Tmax.} - \text{Tmin.} \right)^{0.5} \left[ \left( \text{Tmax.} + \text{Tmin.} \right) / 2 \right] + 17.8$$

CUADRO 20 "A" VALOR DE EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL Y TOTAL EN CENTIMETROS DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS, BLANEY-CRIDDLE MODIFICADA POR PHELAN Y HARGREAVES I, II y III.-

SEMANA	T R A T A M I E N T O S				BLANEY CRIDDLE	H A R G R E A V E S		
	F-8	F-10	F-12	F-14		I	II	III
1	2.889	2.889	2.889	2.889	1.761	1.377	1.125	1.167
2	3.485	3.485	3.485	3.485	1.878	1.843	1.626	1.617
3	3.835	3.181	2.845	2.450	2.005	2.416	1.969	2.021
4	3.686	3.030	2.883	2.450	2.241	2.679	2.336	2.391
5	3.809	3.084	2.879	2.311	2.620	2.902	2.803	2.894
6	3.239	2.960	2.884	2.311	3.301	3.250	2.852	2.985
7	3.401	2.940	2.863	2.605	3.278	3.775	3.062	3.248
8	3.428	2.974	2.576	2.605	4.094	4.209	3.917	3.881
9	3.617	2.848	2.345	2.353	4.797	4.604	4.438	4.319
10	4.004	2.671	2.014	2.353	4.762	4.885	4.259	4.460
11	2.772	2.520	1.992	2.196	4.495	3.849	3.251	3.218
12	2.376	2.160	1.707	0.891	3.268	3.061	2.432	2.544
TOTAL	40.542	34.741	31.363	28.899	38.500	38.850	34.071	34.746



2

CUADRO 21 "A" COEFICIENTES DE DETERMINACION "r" DEL MODELO  
LINEAL DE LOS CUATRO TRATAMIENTOS vs. FORMULAS.

TRATAMIENTOS	F O R M U L A S	rc
F-8	BLANEY-CRIDDLE	0.000003
	HARGREAVES I	0.0508
	HARGREAVES II	0.0888
	HARGREAVES III	0.09488
F-10	BLANEY-CRIDDLE	0.2894
	HARGREAVES I	0.16679
	HARGREAVES II	0.09816
	HARGREAVES III	0.10959
F-12	BLANEY-CRIDDLE	0.5055
	HARGREAVES I	0.36896
	HARGREAVES II	0.28228
	HARGREAVES III	0.29056
F-14	BLANEY-CRIDDLE	0.11805
	HARGREAVES I	0.0947
	HARGREAVES II	0.0552
	HARGREAVES III	0.0665

2

r TABULADO AL 0.1 % DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.606

CUADRO 22 "A" COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc).

CULTIVO	FASES DE DESARROLLO DEL CULTIVO					PERIODO VEGETATIVO TOTAL
	INICIAL	DESARROLLO DEL CULTIVO	MEDIOS DEL PERIODO	FINALES DEL PERIODO	RECOLECCION	
Banana tropical	0.4-0.5	0.7-0.85	1.00-1.1	0.9-1.0	0.75-0.85	0.7-0.8
Banana Subtropical	0.50-0.65	0.8-0.9	1.00-1.2	1.0-1.15	1.0-1.15	0.85-0.95
Frijol verde	0.3-0.4	0.65-0.75	0.95-1.05	0.9-0.95	0.85-0.95	0.85-0.9
Frijol Seco	0.3-0.4	0.7-0.8	1.05-1.2	0.65-0.75	0.25-0.3	0.7-0.8
Col	0.4-0.5	0.7-0.8	0.95-1.1	0.9-1.0	0.80-0.95	0.7-0.8
Algodon	0.4-0.5	0.6-0.8	1.05-1.25	0.8-0.9	0.65-0.70	0.8-0.9
Vid	0.35-0.55	0.7-0.8	0.7-0.9	0.6-0.8	0.55-0.70	0.55-0.75
Cacahuete	0.4-0.5	0.7-0.8	0.95-1.1	0.75-0.85	0.5-0.6	0.75-0.8
Maiz dulce	0.3-0.5	0.7-0.9	1.05-1.2	1.0-1.2	0.95-1.1	0.8-0.95
Maiz Grano	0.3-0.5	0.7-0.85	0.95-1.1	0.8-0.95	0.55-0.6	0.75-0.9
Cebolla seca	0.4-0.6	0.7-0.8	0.95-1.05	0.85-0.9	0.75-0.85	0.8-0.9
Cebolla verde	0.4-0.6	0.7-0.75	1.05-1.25	0.95-1.05	0.95-1.05	0.65-0.8
Guisante seco	0.4-0.5	0.7-0.85	1.1-1.3	1.0-1.05	0.95-1.1	0.8-0.95
Pimiento fresco	0.3-0.5	0.7-0.75	1.05-1.2	0.95-1.0	0.80-0.90	0.7-0.8
Patata	0.4-0.5	0.7-0.8	1.1-1.3	0.85-0.95	0.70-0.75	0.75-0.9
Arroz	1.1-1.15	1.1-1.3	1.05-1.2	0.95-1.05	0.95-1.05	1.05-1.2
Cartamo	0.3-0.4	0.7-0.8	1.0-1.15	0.65-0.7	0.20-0.25	0.65-0.7
Sorgo	0.3-0.4	0.7-0.75	1.0-1.15	0.75-0.8	0.5-0.55	0.75-0.85
Soya	0.3-0.4	0.7-0.8	1.05-1.25	0.7-0.85	0.4-0.5	0.75-0.9
Remolacha azucarera	0.3-0.5	0.75-0.85	1.0-1.3	0.9-1.0	0.6-0.70	0.8-0.9
Ca"a de azucar	0.3-0.5	0.7-1.0	1.05-1.25	0.75-0.8	0.5-0.6	0.85-1.05
Girasol	0.3-0.4	0.7-0.8	1.0-1.2	0.7-0.8	0.35-0.45	0.75-0.85
Tabaco	0.3-0.4	0.7-0.8	1.0-1.2	0.9-1.0	0.75-0.85	0.85-0.95
Tomate	0.3-0.5	0.7-0.8	1.05-1.25	0.8-0.85	0.6-0.65	0.75-0.9
Sandia	0.3-0.5	0.7-0.8	0.95-1.05	0.8-0.9	0.65-0.75	0.75-0.85
Trigo	0.3-0.4	0.7-0.8	1.05-1.25	0.65-0.75	0.20-0.25	0.8-0.9
Alfalfa	0.3-0.4				1.05-1.2	0.85-1.05
Citricos						
-Desyerbe total						0.65-0.75
-sin control malezas						0.85-0.9
Olivo						0.4-0.6

FUENTE: FAO, Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos, Doorembos y Kassam.



CUADRO 23 "A" RADIACION EXTRATERRESTRE  $R_0$  EXPRESADA EN EQUIVALENTE DE EVAPORACION EN MM/DIA.

HEMISFERIO NORTE												HEMISFERIO SUR												
												LATITUD:												
Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
3.8	6.1	9.4	12.7	13.8	17.1	16.4	14.1	10.9	7.4	4.6	3.2	50	17.5	14.7	10.9	7.0	4.2	3.1	3.5	5.5	8.9	12.9	16.5	18.2
4.3	6.6	9.8	13.0	15.9	17.2	16.5	14.3	11.2	7.8	5.0	3.7	48	17.6	14.9	11.2	7.5	4.7	3.5	4.0	6.0	9.3	13.2	16.6	18.2
4.9	7.1	10.2	13.3	16.0	17.2	16.6	14.5	11.5	8.3	5.5	4.3	46	17.7	15.1	11.5	7.9	5.2	4.0	4.4	6.5	9.7	13.4	16.7	18.3
5.3	7.6	10.6	13.7	16.1	17.2	16.6	14.7	11.9	8.7	6.0	4.7	44	17.8	15.3	11.9	8.4	5.7	4.4	4.9	6.9	10.2	13.7	16.7	18.3
5.9	8.1	11.0	14.0	16.2	17.3	16.7	15.0	12.2	9.1	6.5	5.2	42	17.8	15.5	12.2	8.8	6.1	4.9	4.9	7.4	10.6	14.0	16.8	18.3
6.4	8.6	11.4	14.3	16.4	17.3	16.7	15.2	12.5	9.6	7.0	5.7	40	17.9	15.7	12.5	9.2	6.6	5.3	5.9	7.9	11.0	14.2	16.9	18.3
6.9	9.0	11.8	14.5	16.4	17.2	16.7	15.3	12.8	10.0	7.5	6.1	38	17.9	15.8	12.8	9.6	7.1	5.8	6.3	8.3	11.4	14.4	17.0	18.3
7.4	9.4	12.1	14.7	16.4	17.2	16.7	15.4	13.1	10.6	8.0	6.6	36	17.9	16.0	13.2	10.1	7.5	6.3	6.8	8.8	11.7	14.6	17.0	18.2
7.9	9.3	12.4	14.8	16.5	17.1	16.8	15.5	13.4	10.8	8.5	7.2	34	17.8	16.1	13.5	10.5	8.0	6.8	7.2	9.2	12.0	14.9	17.1	18.2
8.3	10.2	12.8	15.0	16.5	17.0	16.8	15.6	13.6	11.2	9.0	7.8	32	17.8	16.2	13.8	10.9	8.5	7.3	7.7	9.6	12.4	15.1	17.2	18.1
8.8	10.7	13.1	15.2	16.5	17.9	16.8	15.7	13.9	11.6	9.5	8.3	30	17.8	16.4	14.0	11.3	8.9	7.8	8.1	10.1	12.7	15.3	17.3	18.1
9.3	11.1	13.4	15.3	16.5	16.8	16.7	15.7	14.1	12.0	9.9	8.8	28	17.7	16.4	14.3	11.6	9.3	8.2	8.6	10.4	13.0	15.4	17.2	17.9
9.8	11.5	13.7	15.3	16.4	16.7	16.6	15.7	14.3	12.3	10.3	9.3	26	17.6	16.4	14.4	12.0	9.7	8.7	9.1	10.9	13.2	15.5	17.2	17.8
10.2	11.9	13.9	15.4	16.4	16.6	16.5	15.8	14.5	12.6	10.7	9.7	24	17.5	16.5	14.6	12.3	10.2	9.1	9.5	11.2	13.4	15.6	17.1	17.7
10.7	12.3	14.2	15.5	16.3	16.4	16.4	15.8	14.6	13.0	11.1	10.2	22	17.4	16.5	14.8	12.6	10.6	9.5	9.6	10.0	11.6	13.7	15.7	17.0
11.2	12.7	14.4	15.6	16.3	16.4	16.3	15.9	14.8	13.3	11.6	10.7	20	17.3	16.5	15.0	13.0	11.0	10.0	10.4	12.0	13.9	15.8	17.0	17.4
11.6	13.0	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.8	14.9	13.6	12.0	11.1	18	17.1	16.5	15.1	13.2	11.4	10.4	10.8	12.3	14.1	15.8	16.8	17.1
12.0	13.3	14.7	15.6	16.0	15.9	15.9	15.7	15.0	13.9	12.4	11.6	16	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.8	16.7	16.8
12.4	13.6	14.9	15.7	15.8	15.7	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12.0	14	16.7	16.4	15.3	13.7	12.1	11.2	11.6	12.9	14.5	15.8	16.5	16.6
12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	13.3	12.5	12	16.6	16.3	15.4	14.0	12.5	11.6	12.0	13.2	14.7	15.8	16.4	16.5
13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.6	12.9	10	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12.0	12.4	13.5	14.8	15.9	16.2	16.2
13.6	14.5	15.3	15.6	15.3	15.0	15.1	15.4	15.3	14.8	13.9	13.3	8	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16.0	16.0
13.9	14.8	15.4	15.4	15.1	14.7	14.9	15.2	15.3	15.0	14.2	13.7	6	15.8	16.0	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14.0	15.0	15.7	15.8	15.7
14.3	15.0	15.5	15.5	14.9	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.1	4	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.5	15.4
14.7	15.3	15.0	15.3	14.6	14.2	14.3	14.9	15.3	15.3	14.8	14.4	2	15.3	15.7	15.7	15.1	14.1	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.3	15.1
15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.6	15.1	14.8	0	15.0	15.2	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8



CUADRO 24 "A" VALORES DE COEFICIENTE DE GLOBAL Kg PARA VARIOS CULTIVOS

CULTIVO	PERIODO DE CRECIMIENTO (VEGETATIVO)	COEFICIENTE GLOBAL Kg
Aguacate	Todo el año	0.50 a 0.55
Ajonjolí	3 a 4 meses	0.80
Alfalfa	Entre heladas	0.80 a 0.85
	En invierno	0.60
Algodón	6 a 7 meses	0.60 a 0.65
Arroz	3 a 5 meses	1.00 a 1.20
Cacahuate	5 meses	0.60 a 0.65
Cacao	Todo el año	0.75 a 0.80
Café	Todo el año	0.75 a 0.75
Camote	5 a 6 meses	0.60
Caña de azúcar	Todo el año	0.75 a 0.90
Cartamo	5 a 8 meses	0.55 a 0.65
Cereales de grano pequeño (Alpiste)	3 a 6 meses	0.75 a 0.85
(Avena)		
(Cebada) (Centeno)		
(Trigo)		
Citricos	7 a 8 meses	0.50 a 0.65
Chile	3 a 4 meses	0.60
Esparrago	6 a 7 meses	0.60
Fresa	Todo el año	0.45 a 0.60
Frijol	3 a 4 meses	0.60 a 0.70
Frutales de hueso y pepita (Hoja caduca)	Entre heladas	0.60 a 0.70
Frutales establecidos de clima tropicales y subtropicales. (hoja decidua).	Todo el año	0.75Ev a 0.80Ev
Garbanzo	4 a 5 meses	0.60 a 0.70
Girasol	4 meses	0.50 a 0.65
Gladiola	3 a 4 meses	0.60
Haba	4 a 5 meses	0.60 a 0.70
Hortalizas	2 a 4 meses	0.60
Jitomate	4 meses	0.70
Lechuga y Col	3 meses	0.70
Lenteja	4 meses	0.60 a 0.70
Lino	7 a 8 meses	0.70 a 0.80

Nota: Los valores menores de Kg corresponden a las regiones costeras y los valores máximos a las zonas de clima árido.

FUENTE: Relaciones Agua-Planta-Atmosfera, Aguilera y Martinez.

CUADRO 25 "A" VALORES DE COEFICIENTE DE DESARROLLO K<sub>c</sub> PARA VARIOS CULTIVOS PARA USO EN EL CALCULO DE USOS CONSUNTIVO

PORCENTAJE DE DESARROLLO	C U L T I V O S A N U A L E S													
	MAIZ	TRIGO	ALGODON	SORGO	SOYA	ARROZ	FRIJOL	AJONJOLI	GARBANZO	CEBOLLA	TOMATE	CHILE	PAPA	CUCURB.
0	0.42	0.15	0.20	0.30	0.58	0.45	0.50	0.30	0.30	0.15	0.43	0.48	0.30	0.45
5	0.45	0.20	0.22	0.35	0.45	0.50	0.54	0.35	0.35	0.20	0.43	0.50	0.35	0.47
10	0.48	0.30	0.25	0.40	0.41	0.55	0.60	0.40	0.40	0.30	0.43	0.55	0.40	0.50
15	0.51	0.40	0.28	0.48	0.45	0.65	0.65	0.50	0.50	0.40	0.45	0.65	0.45	0.53
20	0.60	0.55	0.32	0.60	0.51	0.72	0.73	0.60	0.55	0.65	0.45	0.75	0.50	0.55
25	0.65	0.70	0.40	0.70	0.51	0.80	0.80	0.70	0.65	0.70	0.60	0.80	0.60	0.60
30	0.70	0.90	0.50	0.80	0.51	0.85	0.90	0.80	0.70	0.90	0.55	0.90	0.70	0.65
35	0.80	1.10	0.62	0.90	0.52	0.90	0.97	0.87	0.75	1.10	0.65	0.95	0.82	0.70
40	0.90	1.25	0.89	1.00	0.55	0.92	1.05	0.95	0.78	1.25	0.75	0.93	0.97	0.75
45	1.00	1.40	0.90	1.08	0.57	0.93	1.10	1.00	0.80	1.40	0.85	1.03	1.05	0.80
50	1.05	1.50	0.98	1.07	0.60	0.93	1.12	1.10	0.82	1.50	0.95	1.05	1.15	0.81
55	1.07	1.57	1.00	1.05	0.63	0.93	1.12	1.20	0.85	1.57	1.00	1.05	1.25	0.82
60	1.08	1.62	1.02	1.00	0.66	0.92	1.10	1.28	0.55	1.62	1.03	1.05	1.30	0.80
65	1.07	1.61	1.00	0.95	0.68	0.90	1.05	1.30	0.82	1.61	1.02	1.03	1.35	0.59
70	1.05	1.55	0.95	0.90	0.70	0.85	1.02	1.32	0.80	1.55	0.98	1.00	1.38	0.57
75	1.02	1.45	0.87	0.82	0.70	0.80	0.95	1.29	0.75	1.45	0.95	0.97	1.38	0.75
80	1.00	1.30	0.80	0.75	0.66	0.68	0.87	1.25	0.70	1.30	0.90	0.90	1.35	0.72
85	0.95	1.10	0.75	0.70	0.63	0.63	0.80	1.10	0.65	1.10	0.85	0.85	1.35	0.71
90	0.90	0.95	0.65	0.65	0.56	0.58	0.72	1.00	0.60	0.95	0.80	0.80	1.30	0.70
95	0.87	0.80	0.55	0.60	0.43	0.55	0.70	0.90	0.50	0.80	0.75	0.70	1.25	0.67
100	0.85	0.62	0.50	0.55	0.31	0.47	0.62	0.80	0.40	0.62	0.70	0.60	1.20	0.65

FUENTE: Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmosfera, Aguilera y Martinez.

CUADRO 26 "A" PORCENTAJE MENSUAL DE HORAS LUZ

LA-TI-	HEMISFERIO NORTE											
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
17	7.86	7.32	8.43	8.48	9.04	8.87	9.11	8.87	8.27	8.22	7.69	7.8
16	7.94	7.30	8.42	8.45	8.98	8.98	9.07	8.80	8.28	8.24	7.72	7.9
15	7.43	7.35	8.42	8.45	8.94	8.86	9.03	8.80	8.28	8.26	7.78	7.97
14	7.08	7.39	8.43	8.44	8.90	8.73	8.99	8.79	8.28	8.28	7.85	8.04

CUADRO 27 "A" ENRAIZAMIENTO MAXIMO EN CMS., SEGUN TIPO DE SUELO.

CULTIVO	CODIGO DE SUELO							
	CO-DI-GO	Fa	FL	F	FAa	FA	FAL	A
	1	70	90	70	65	60	55	50
Maiz	1	70	90	70	65	60	55	50
Sorgo	2	90	90	90	85	80	60	50
Algodon	3	80	100	80	80	80	60	50
Ajonjolí	4	90	90	90	90	90	70	50
Tomate	5	65	90	80	70	50	45	40
Tabaco	6	60	60	60	50	50	45	40
Hortalizas	7	50	62	50	45	40	35	30
Pastos	8	100	115	100	100	90	70	65
Cana de azucar	9	100	115	100	100	90	70	65
Arroz	10	60	80	70	60	50	45	10

## NOMENCLATURA

F = Franco  
a = arenoso  
A = Arcilloso  
L = Limoso

## FUENTE:

Curso: RELACIONES SUELO-AGUA-PLANTA, Curso de Post-Grado, 1987,  
CIDIAT, Mérida, Venezuela.



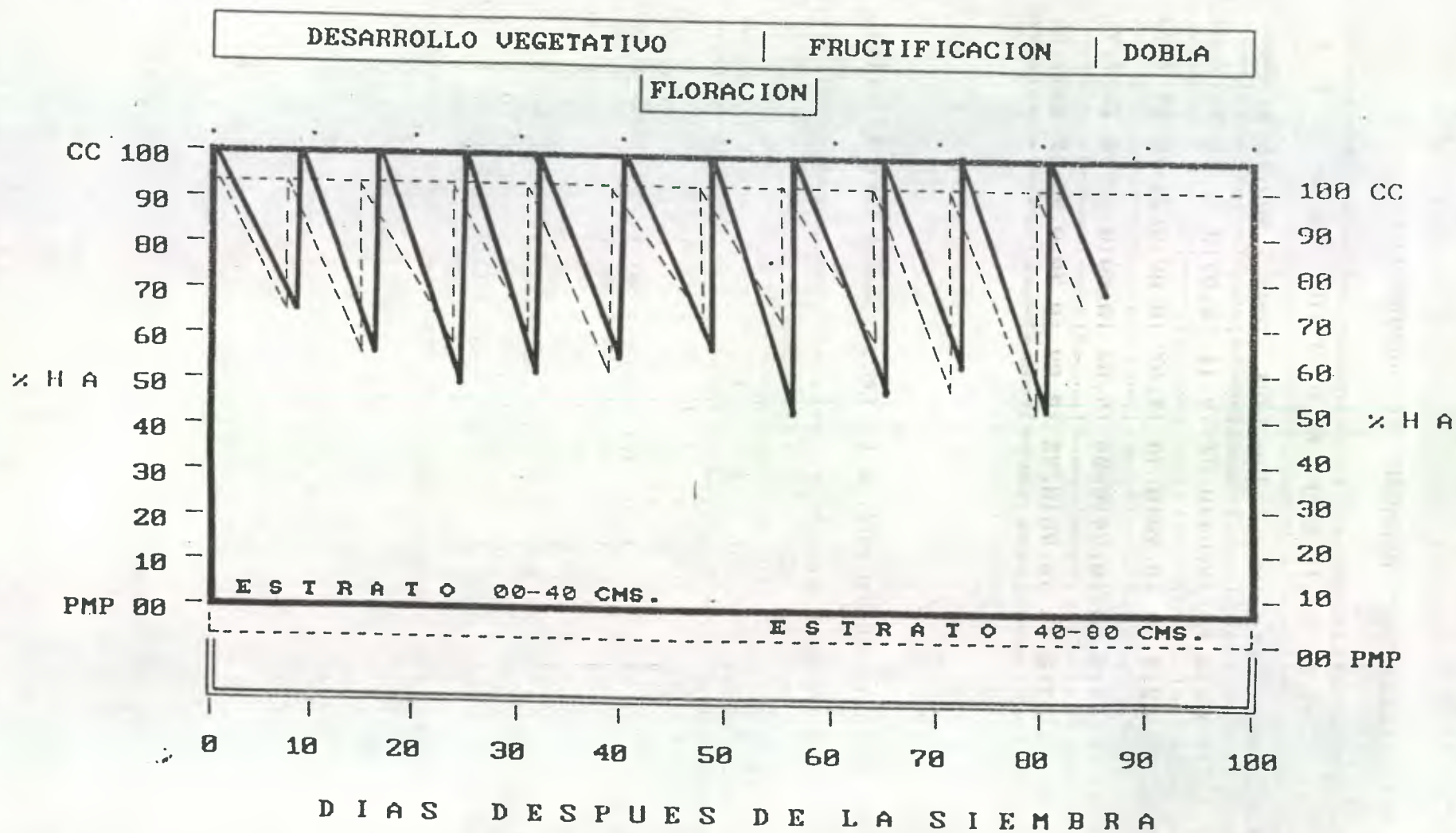


FIGURA 1 "A" PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE (% H A) PARA EL TRATAMIENTO F-8

DESARROLLO VEGETATIVO

FRUCTIFICACION

DOBLA

FLORACION

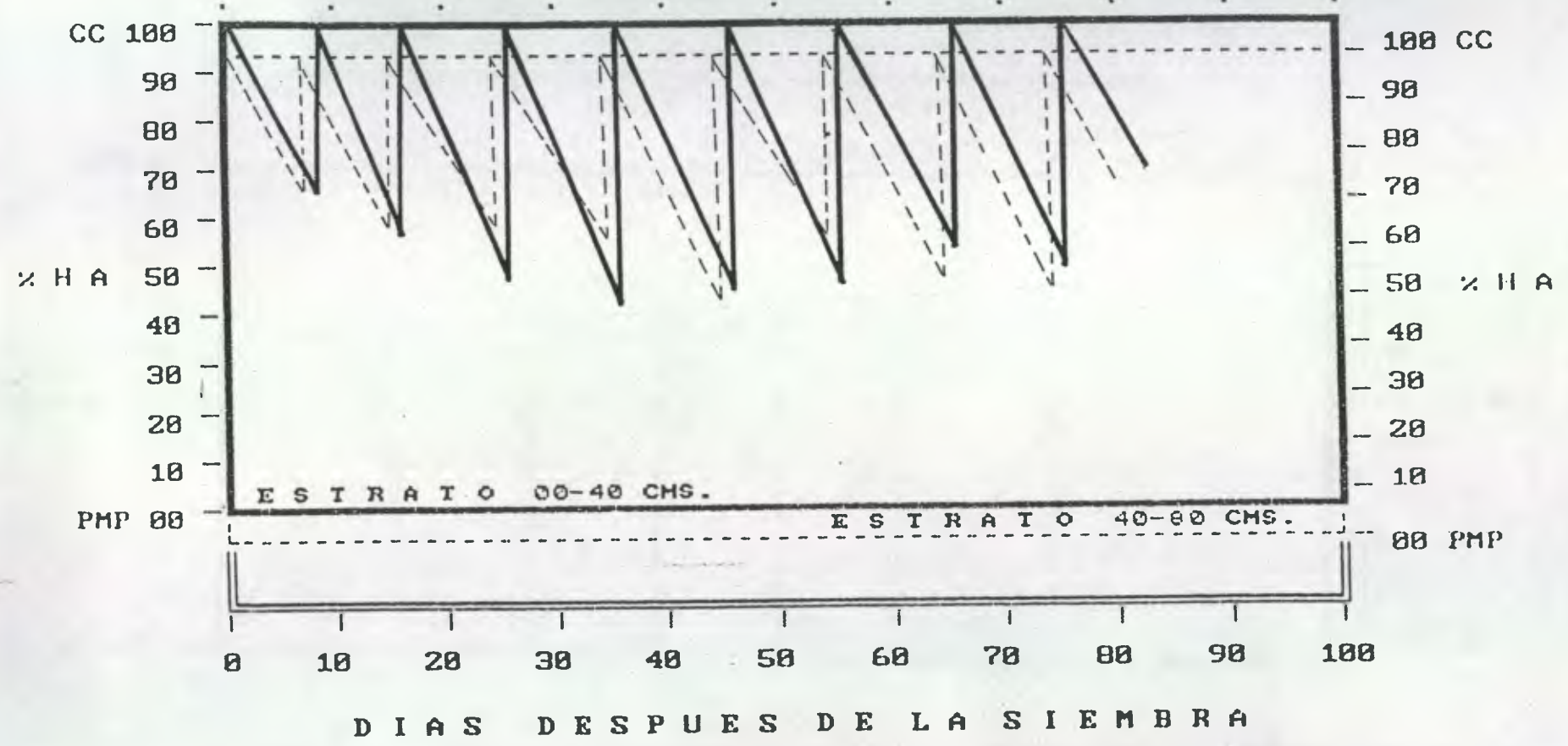


FIGURA 2 "A" PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE (% H A) PARA EL TRATAMIENTO F-10

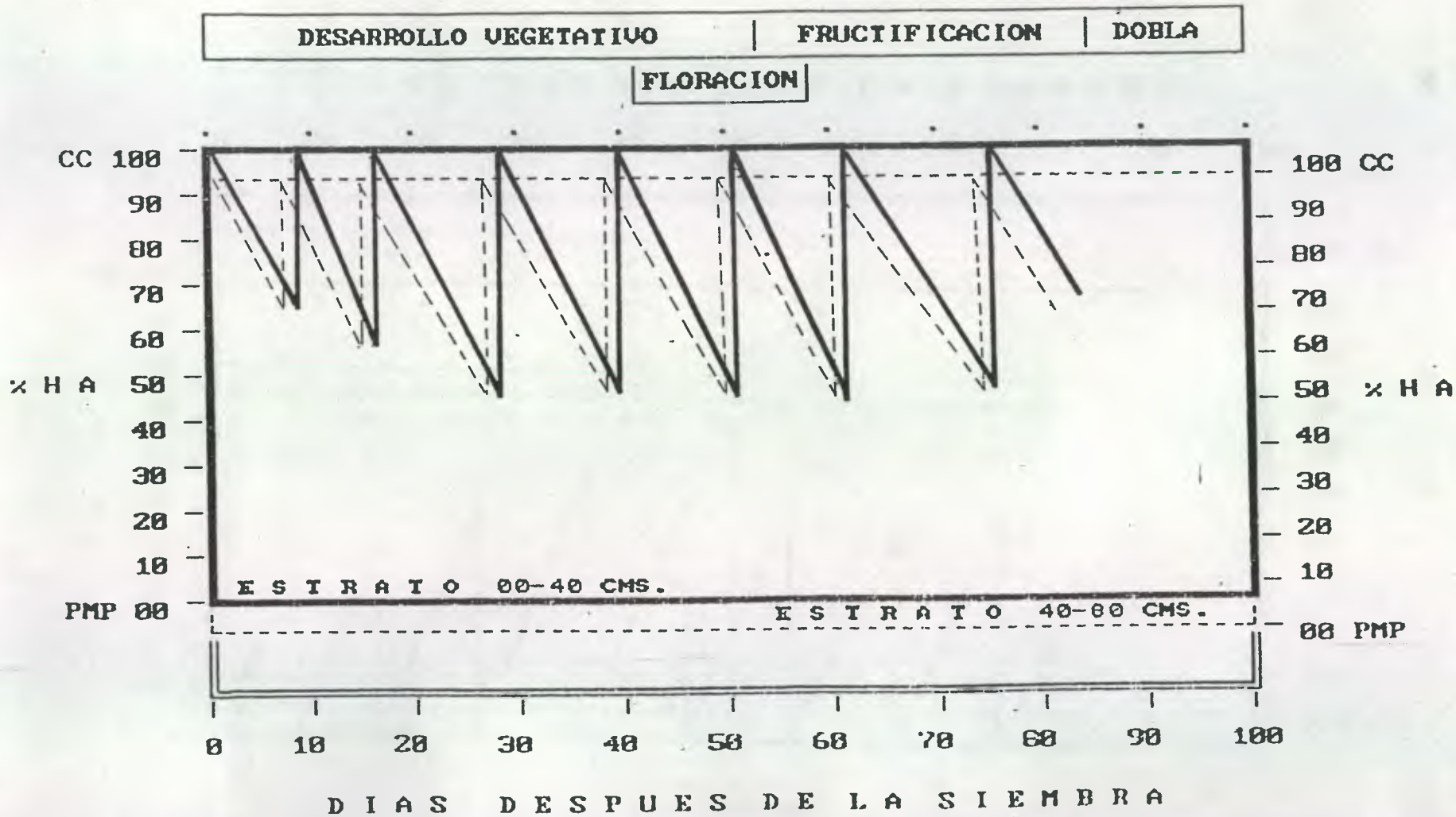


FIGURA 3 "A" PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE (% H A) PARA EL TRATAMIENTO F-12



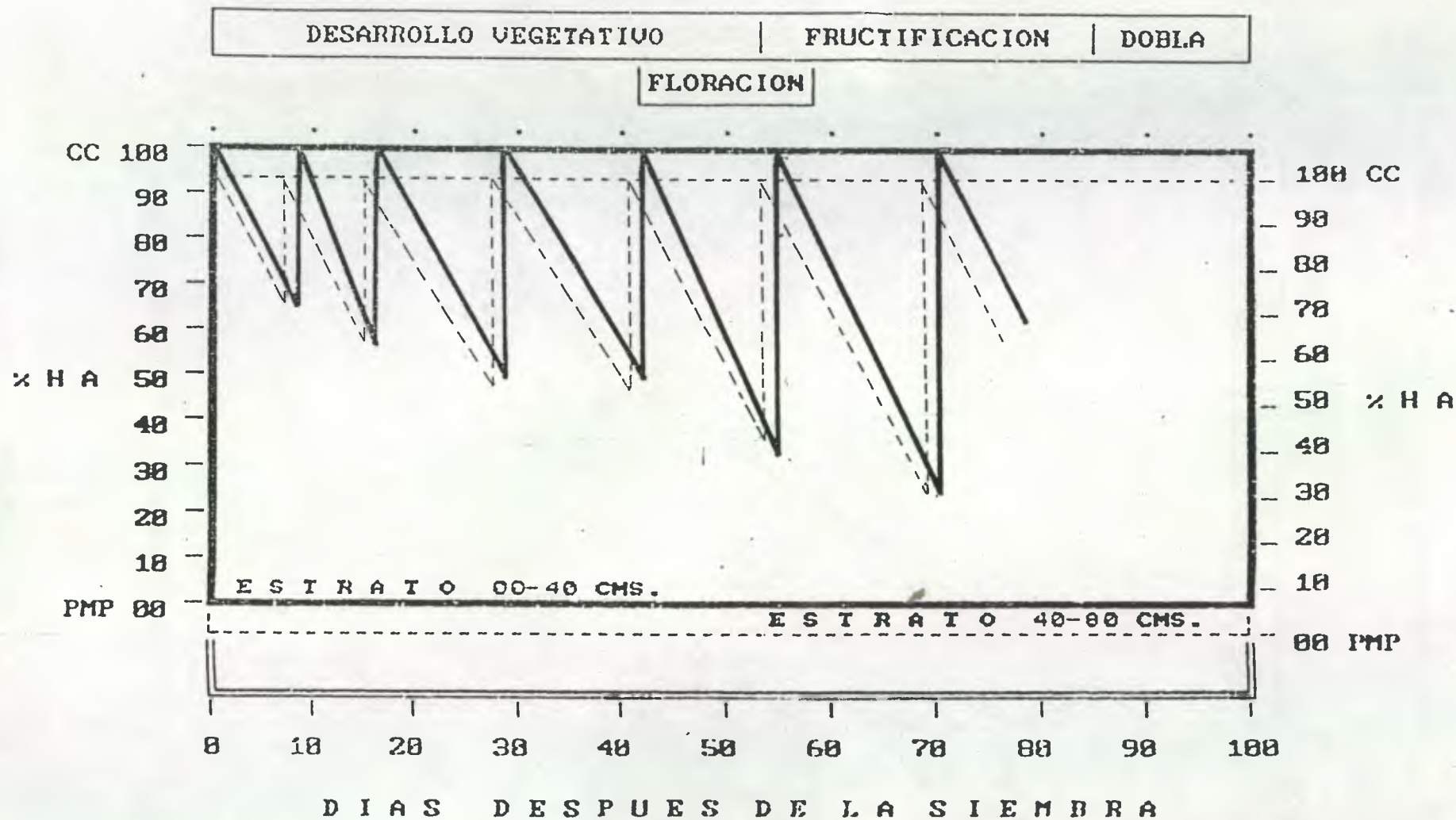


FIGURA 4 "A" PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE (% H A) PARA EL TRATAMIENTO F-14

PORCENTAJE DE HUMEDAD VOLUMETRICA

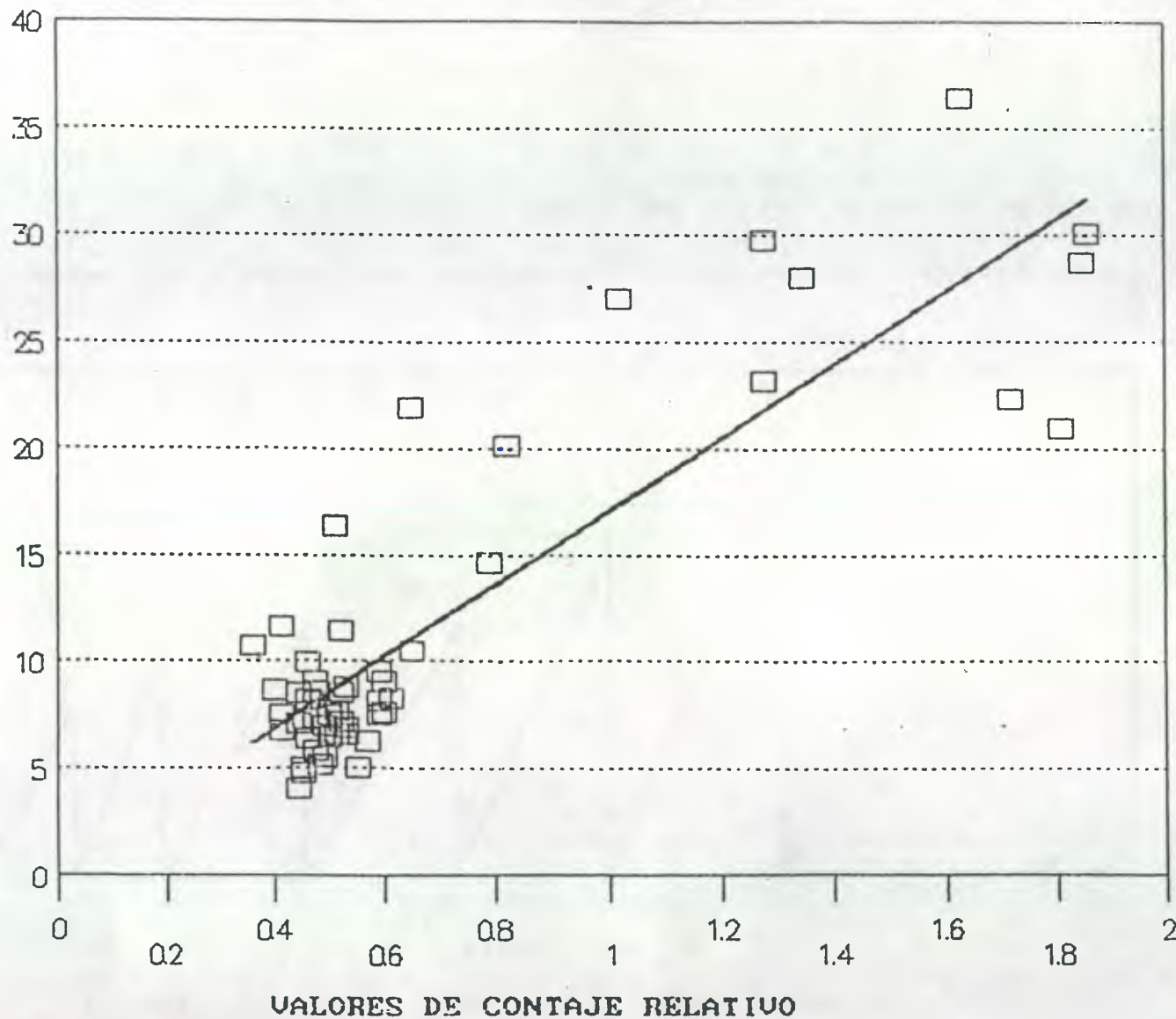


FIGURA 5 "A" CURVA DE CALIBRACION DE SONDA DE NEUTRONES CPN 503, PARA LOS SUELOS DE SAN CRISTOBAL ACASAGUASTLAN, EL PROGRESO.

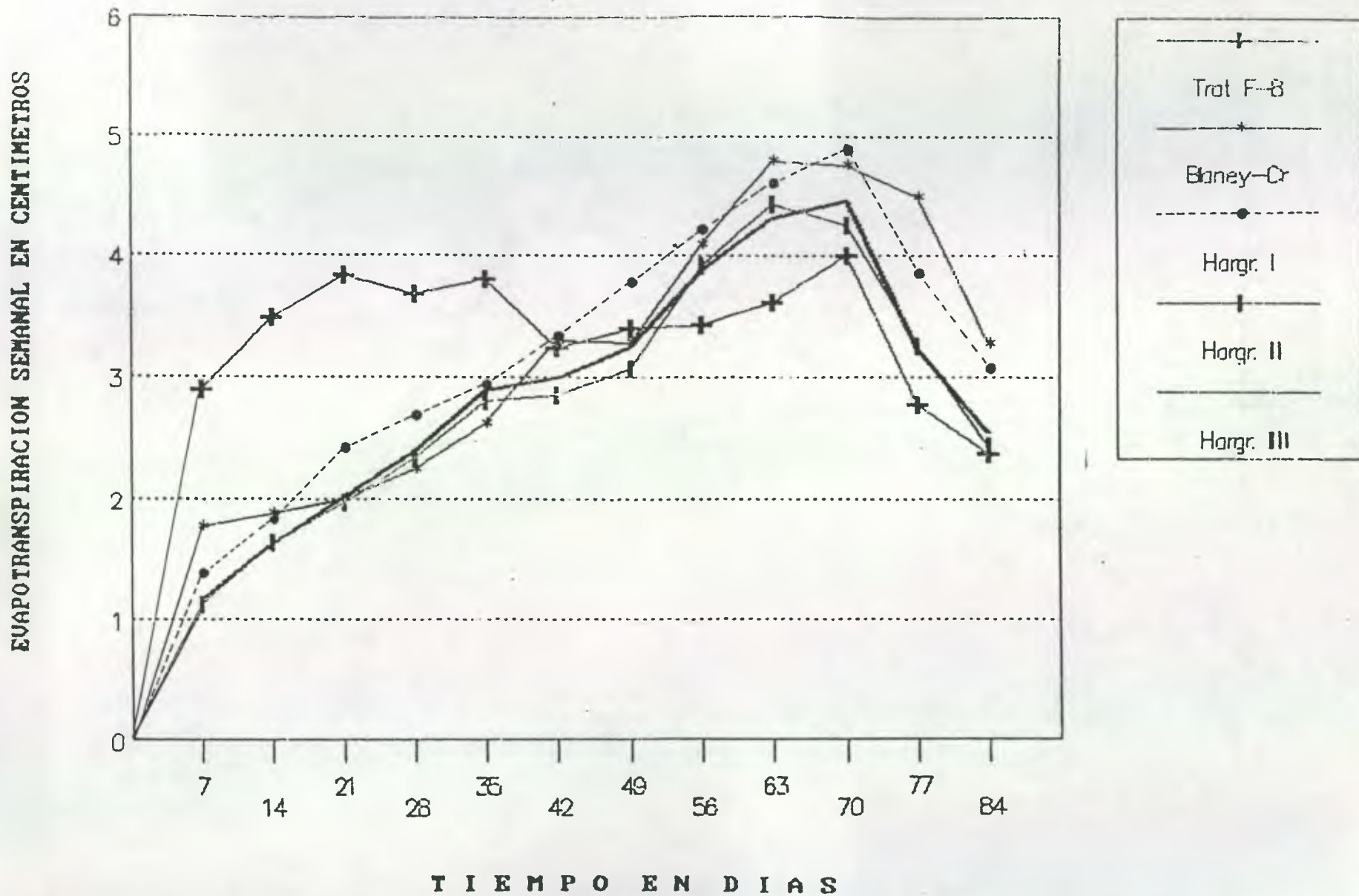


FIGURA 6 "A" TASA DE EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL DEL TRATAMIENTO F-8 Y FORMULAS



EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL EN CENTIMETROS

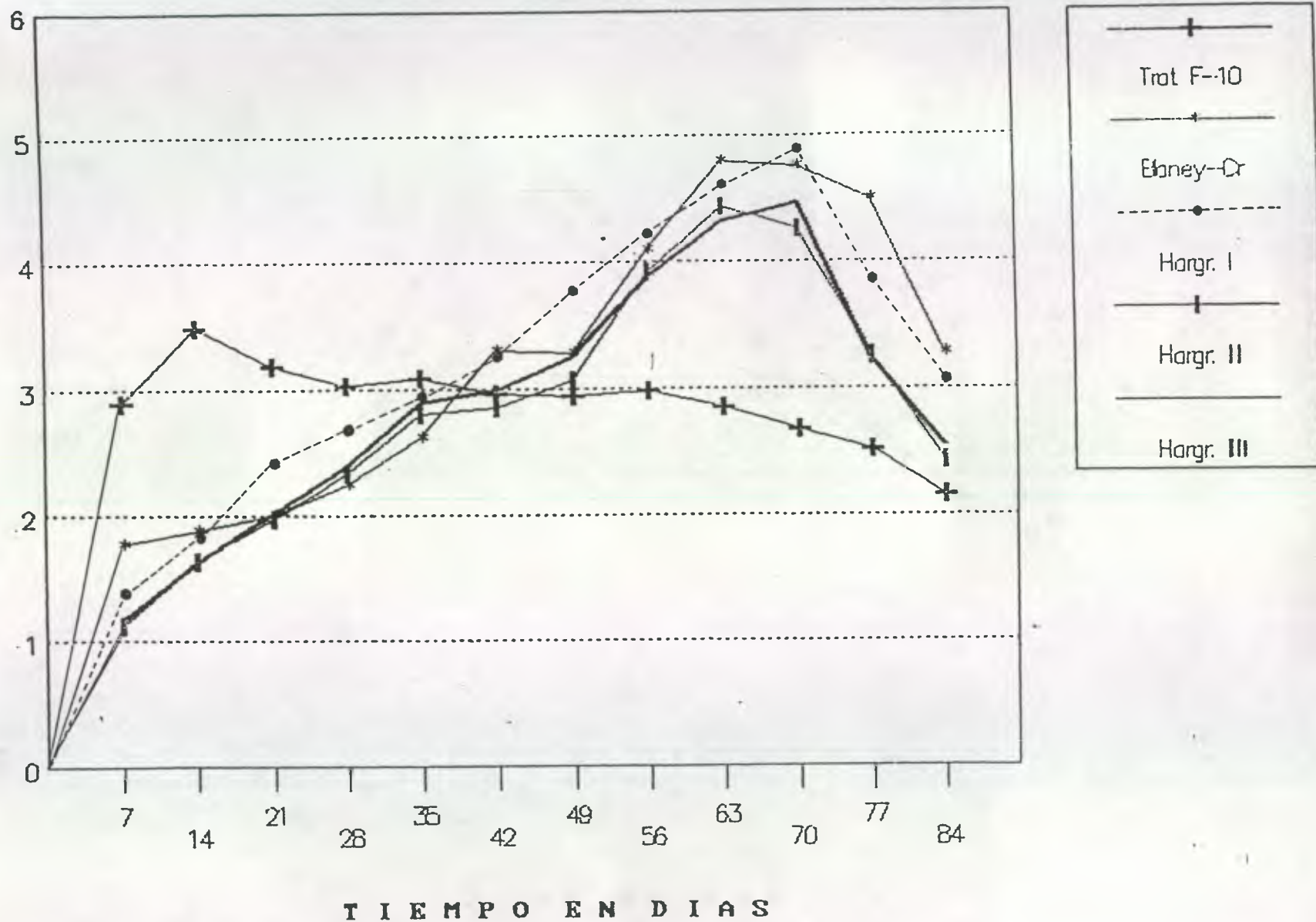


FIGURA 7 "A" TASA DE EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL DEL TRATAMIENTO F-10 Y FORMULAS

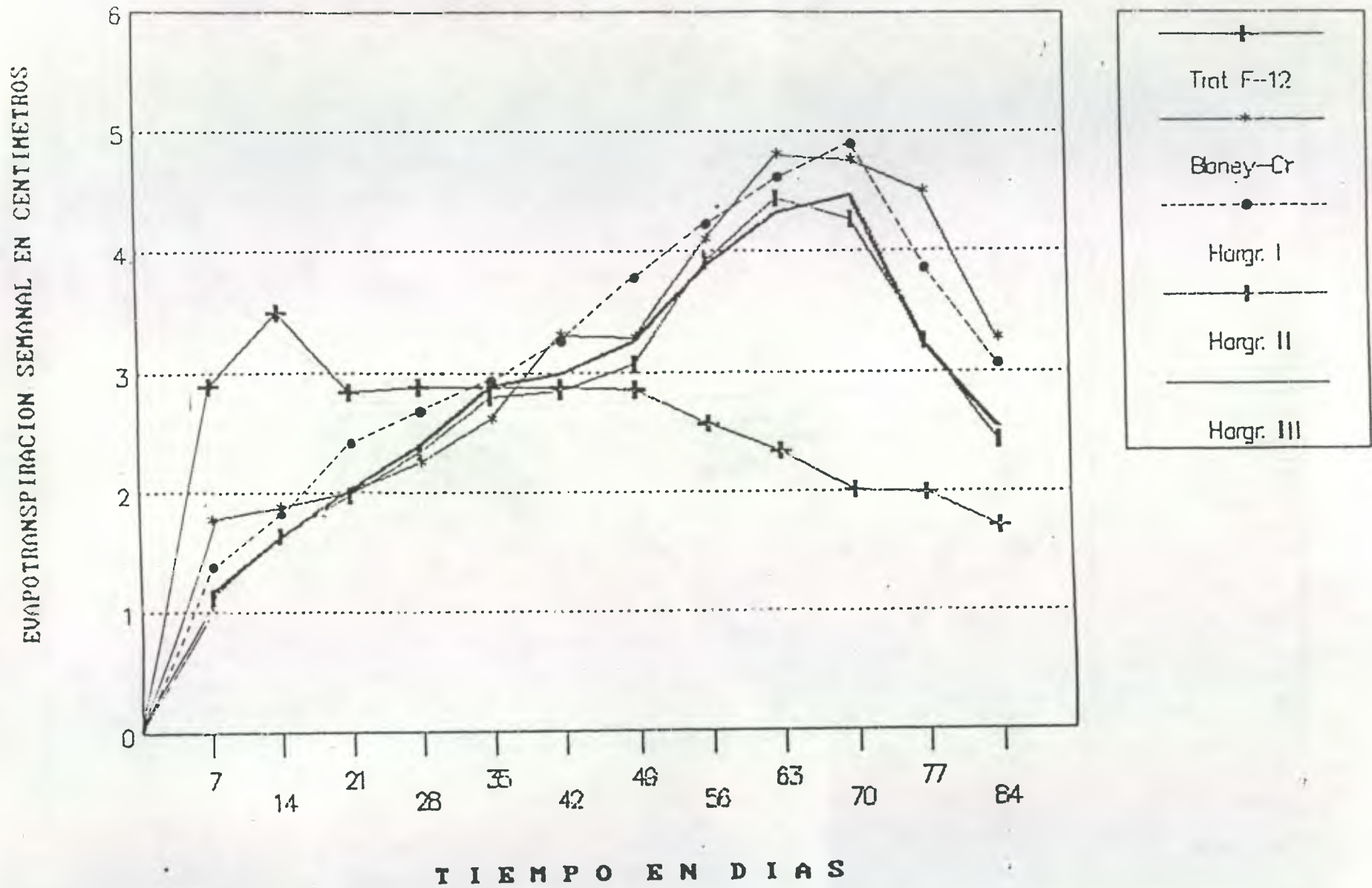


FIGURA B "A" TASA DE EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL DEL TRATAMIENTO F-12 Y FORMULAS

EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL EN CENTIMETROS

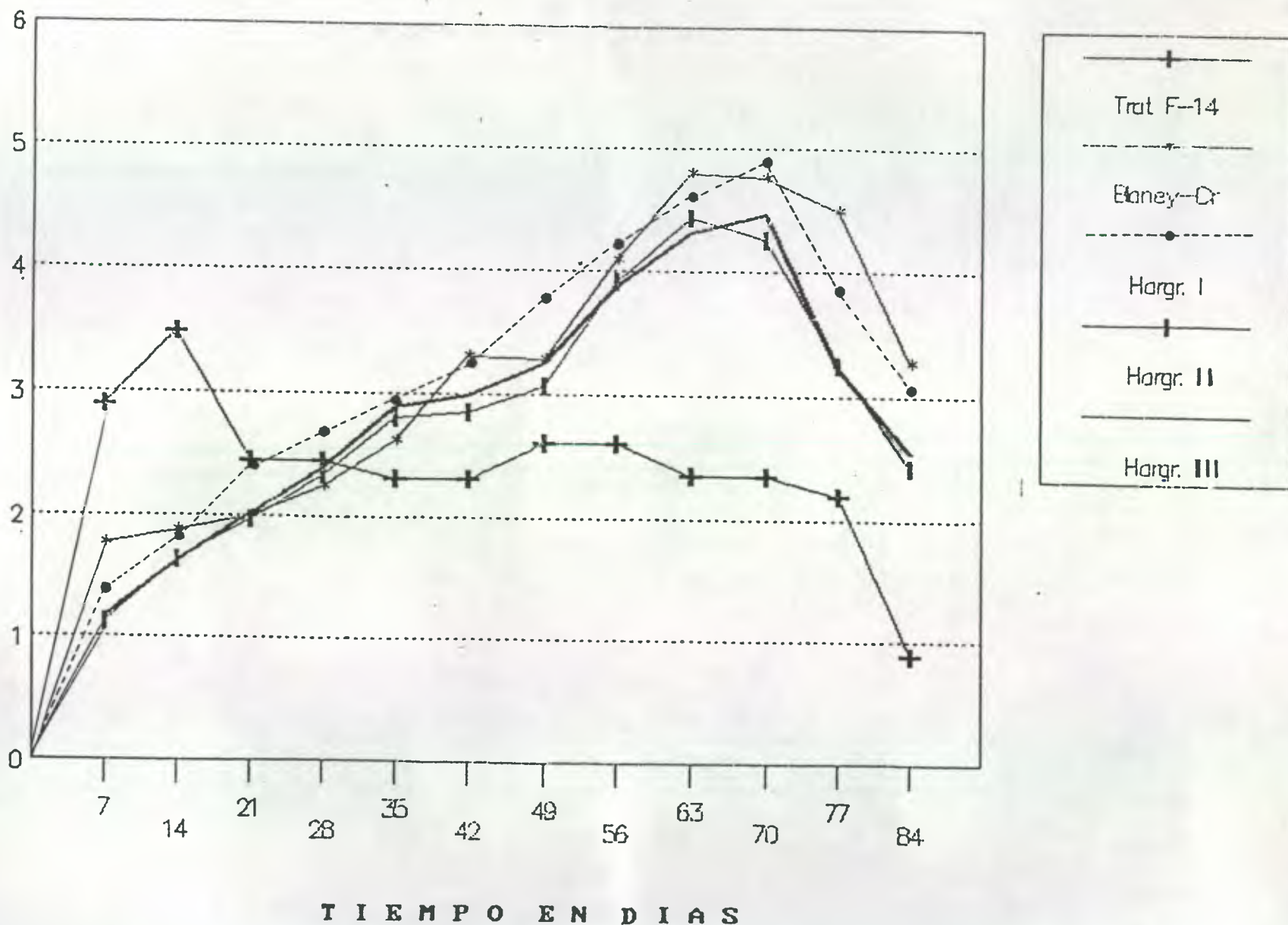


FIGURA 9 "A" TASA DE EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL DEL TRATAMIENTO F-14 Y FORMULAS



BIBLIOTECA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL ACUMULADA EN CMS.

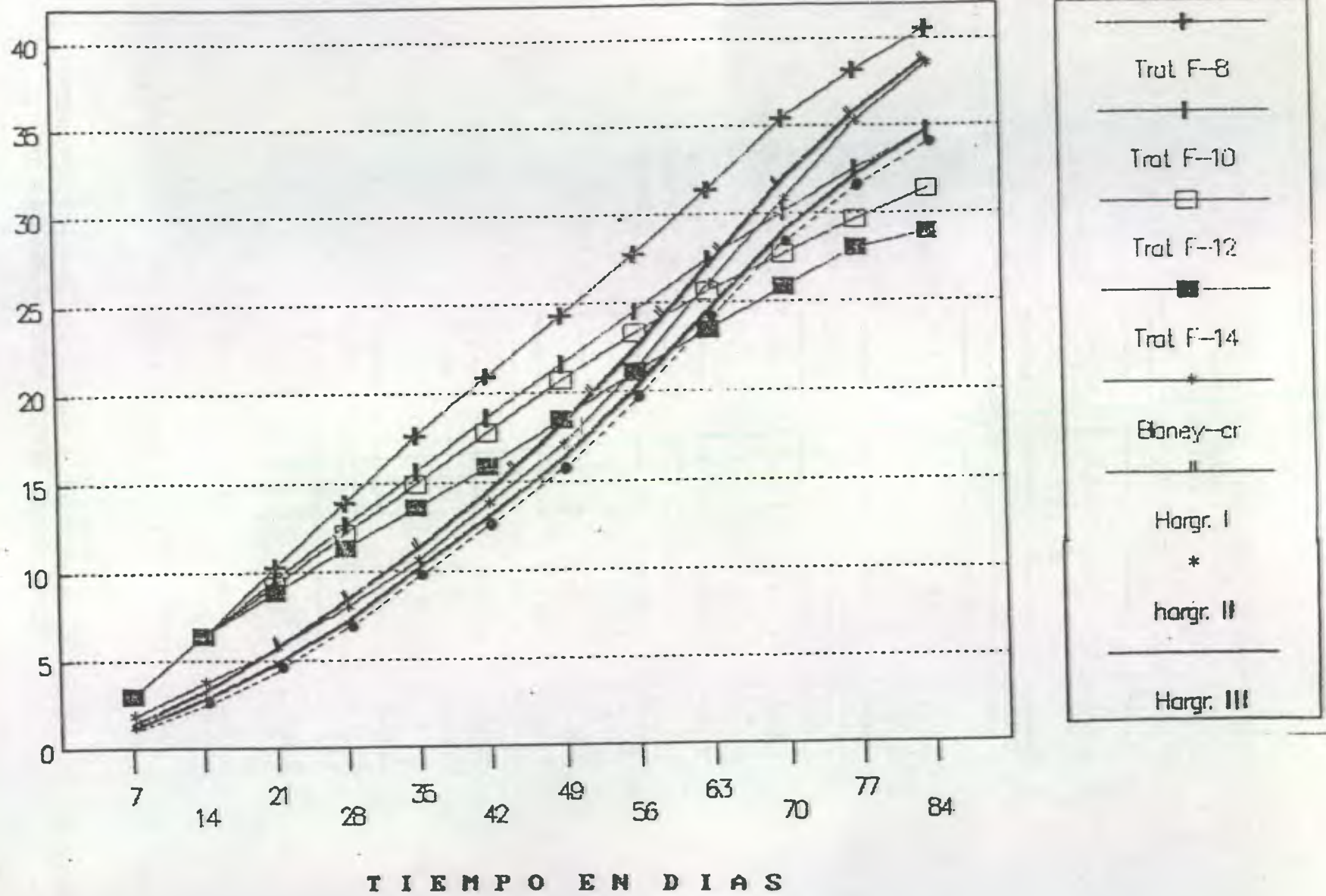
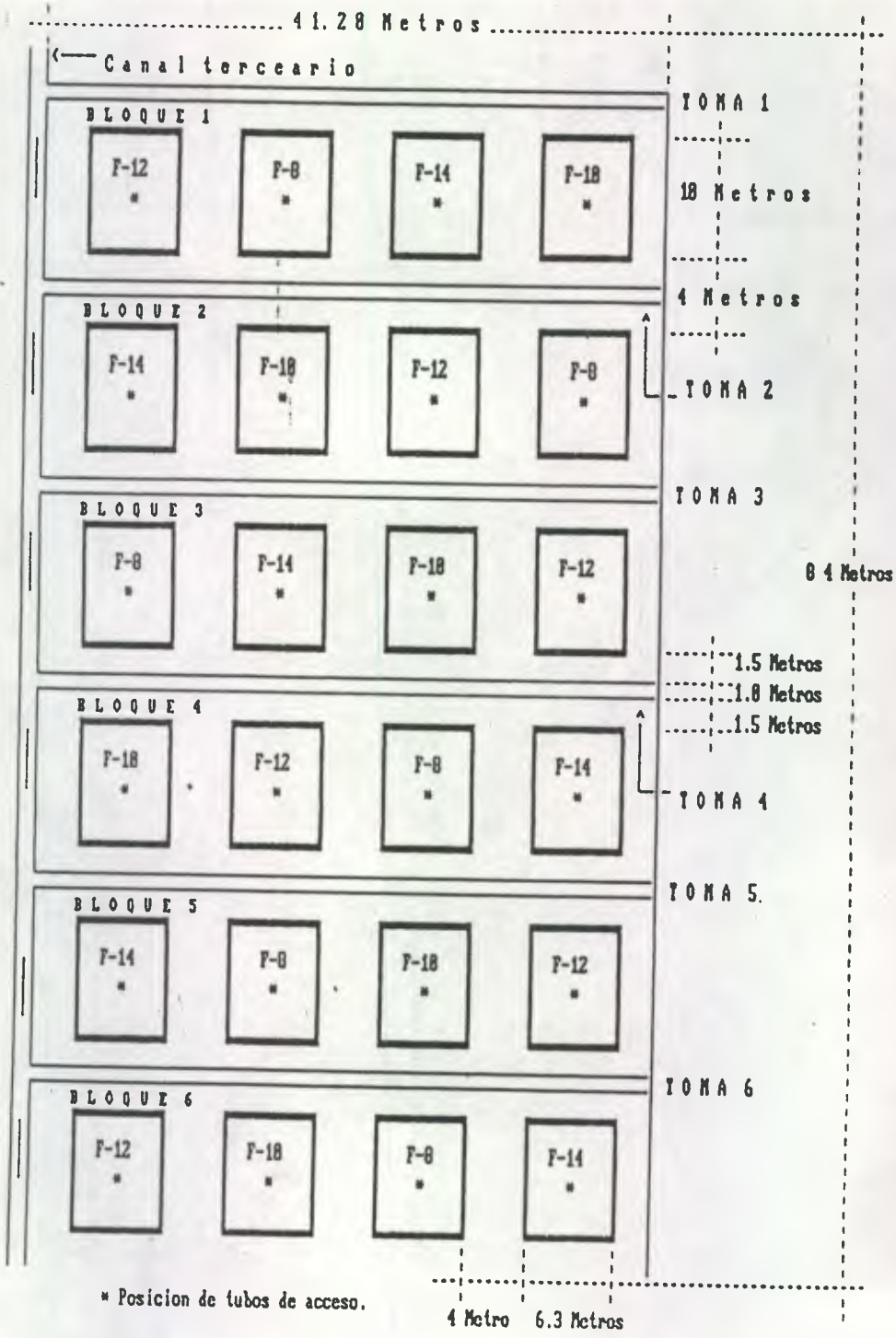


FIGURA 19 "A" TASA DE EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL ACUMULADA DE LOS TRATAMIENTOS y FORMULAS.



**FIGURA 11 "A" CROQUIS DE CAMPO Y ALEATORIZACION DE LOS TRATAMIENTOS DEL ENSAYO SOBRE FRECUENCIAS DE RIEGO EN MAIZ.**









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

Ref. Sem.045-92


LA TESIS TITULADA: "EFECTO DE CUATRO FRECUENCIAS DE RIEGO EN EL RENDIMIENTO Y LA EVAPOTRANSPIRACION DEL MAIZ (Zea mays L.), EN LA UNIDAD DE - RIEGO SAN CRISTOBAL ACASAGUASTLAN, EL PROGRESO".

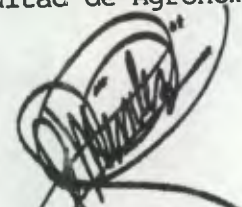
DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: MARIO ENRIQUE AYALA MARROQUIN

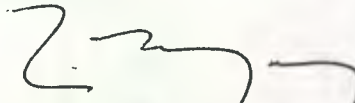
CARNET No: 81-14479

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Rolando Lara  
Ing. Agr. Miguel Morales Cayax

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. María Antonieta Alfaro  
A S E S O R

  
Ing. Agr. Gustavo Méndez  
A S E S O R

  
Dr. Luis Mejía de León  
DIRECTOR DEL IIA



I M P R I M A S E

  
Ing. Agr. Maynor Estrada Rosales  
DECANO EN FUNCIONES

c.c.Control Académico  
Archivo

APARTADO POSTAL 1545 • 01901 GUATEMALA, C. A.  
TELEFONO: 769794 • FAX (5022) 769675