

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

EFFECTO DE SEIS FRECUENCIAS DE RIEGO SOBRE EL  
RENDIMIENTO Y EVAPOTRANSPIRACION DEL PEPINO  
(Cucumis sativus L.). EN EL CENTRO DE PRODUCCION SAN  
JERONIMO, BAJA VERAPAZ

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

WALTHER JOSE OROZCO MONTENEGRO

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRONOMO

EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

GUATEMALA, JULIO DE 1987

DL  
01  
7(1011)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

LIC. RODERICO SEGURA TRUJILLO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. César Castañeda S.
VOCAL PRIMERO:	Ing. Agr. Gustavo A. Méndez G.
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Agr. Jorge Sandoval I.
VOCAL TERCERO:	Ing. Agr. Mario Melgar
VOCAL CUARTO:	Br. Luis Molina M.
VOCAL QUINTO:	T.U. Carlos Enrique Méndez M.
SECRETARIO:	Ing. Agr. Luis A. Castañeda A.



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apertado Postal No. 1643

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia
Asunto

10 de junio de 1987

Ingeniero Agrónomo  
César A. Castañeda S.  
Decano, Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos

Señor Decano:

Me es grato informarle que asesoré el trabajo de tesis de grado del estudiante Walther José Orozco Montenegro, Carnet No. 82-12458, - titulado "EFECTO DE SEIS FRECUENCIAS DE RIEGO SOBRE EL RENDIMIENTO Y EVAPOTRANSPIRACION DEL PEPINO (*Cucumis sativus* L.) EN EL CENTRO DE PRODUCCION SAN JERONIMO, BAJA VERAPAZ", y por cumplir con los requisitos académicos requeridos en la Facultad de Agronomía, recomiendo se le dé la aprobación correspondiente.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TOLOS"

Ing. Agr. Jorge E. Sandoval I.  
ASESOR

JESI/mvp

Guatemala,  
1 de junio de 1987

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

Señores:

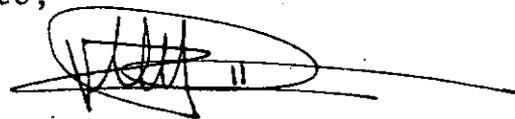
En cumplimiento con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, someto a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

"EFECTO DE SEIS FRECUENCIAS DE RIEGO SOBRE EL RENDIMIENTO Y EVAPOTRANSPIRACION DEL PEPINO (Cucumis sativus L.) EN EL CENTRO DE PRODUCCION SAN JERONIMO, BAJA VERAPAZ"

Presentado como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Esperando que el mismo merezca vuestra aprobación.

Atentamente,



Br. Walther José Orozco Montenegro

ACTO QUE DEDICO .

A: DIOS TODOPODEROSO

A:  
MIS PADRES JOSE I. OROZCO ARAUJO  
DORA MONTENEGRO COFIÑO DE OROZCO

A:  
MIS HERMANAS NURY MARITZA  
DORA ANABELLA Y  
CYNTHIA ROXANA

A:  
MI CUÑADO Dr. HECTOR I. ROSAS

A:  
MI SOBRINA JESSICA MARITZA

A:  
MI NOVIA MARNI GEORGINA MARQUEZ

A:  
MIS FAMILIARES Y AMIGOS

TESIS QUE DEDICO

A:

GUATEMALA

A:

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA

A:

LA FACULTAD DE AGRONOMIA

AL:

COLEGIO DE INFANTES

A:

LA FAMILIA AGRICOLA INVOLUCRADA  
EN EL DESARROLLO DEL PAIS

## AGRADECIMIENTO

- Expreso mi agradecimiento sincero al Ing. Agr. M Sc. Jorge Sandoval, por la orientación y asesoría en la elaboración del presente trabajo de tesis y a su esposa Verónica de Sandoval.
- Al Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA) de la Facultad de Agronomía.
- Al Personal de campo, técnico y administrativo del Centro de Producción Agrícola "San Jerónimo" del ICTA, Baja Verapaz.

## INDICE GENERAL

	PAGINA
INDICE DE CUADROS .....	i
INDICE DE FIGURAS .....	iii
RESUMEN.....	iv
1. INTRODUCCION .....	1
2. HIPOTESIS .....	3
3. OBJETIVOS .....	4
4. REVISION DE LITERATURA .....	5
4.1 Características generales del cultivo .....	5
4.2 Factores que afectan los requerimientos de agua de los cultivos .....	6
4.3 Efecto del contenido de humedad del suelo sobre los cultivos.....	9
4.4 Frecuencia y Programación del Riego .....	11
4.5 Constantes de Humedad del suelo .....	12
4.5.1 Capacidad de campo y formas de determinación.....	12
4.5.2 Punto de marchitez permanente y métodos para determinarlo.....	13
4.6 Método del plástico para determinar densidad aparente .....	14
4.7 Contenidos de humedad del suelo .....	15
4.7.1 Humedad utilizable .....	15
4.7.2 Humedad fácilmente utilizable .....	16
4.8 Evapótranspiración .....	16

	PAGINA
4.9 Métodos para determinar evapotranspiración..	18
4.9.1 Métodos de Parcelas experimentales...	19
4.9.2 Método de Blaney-Criddle.....	20
4.10 Conclusiones de algunos trabajos realizados en Guatemala, sobre evapotranspiración.....	22
5. METODOLOGIA .....	24
5.1 Ubicación y descripción del área experimental	24
5.2 Análisis y determinaciones previas .....	25
5.2.1 Análisis físico del suelo .....	25
5.2.2 Análisis químico del suelo .....	26
5.3 Manejo del cultivo .....	27
5.4 Manejo del experimento .....	28
5.4.1 Trazo del experimento .....	28
5.4.2 Lámina de agua a reponer en cada riego	28
5.4.3 Lámina de agua consumida .....	29
5.4.4 Riegos generales .....	30
5.4.5 Método y momento de muestreo .....	30
5.4.6 Diseño estadístico .....	31
5.4.7 Parcela experimental .....	31
5.4.8 Variables respuesta .....	31
5.4.9 Métodos de análisis de resultados ...	32
6. RESULTADOS Y DISCUSION .....	34
6.1 Variables respuesta .....	34
6.1.1 Rendimiento .....	35
6.1.2 Número de plantas vivas al final del ciclo del cultivo.....	36

	PAGINA
6.2	Uso del agua ..... 36
6.2.1	Lámina de agua consumida (evapotranspiración) y número de riegos aplicados ..... 36
6.2.2	Agotamiento de la humedad aprovechable del suelo ..... 38
6.3	Comparación de la evapotranspiración medida con la calculada por la fórmula de Blaney-Criddle modificado por Phelan ..... 40
6.4	Determinación del coeficiente "C" en la relación Et/Ev ..... 42
7.	CONCLUSIONES ..... 44
8.	RECOMENDACIONES ..... 46
9.	BIBLIOGRAFIA ..... 48
10.	APENDICE ..... 51

## INDICE DE CUADROS

	PAGINA
CUADRO 1	Propiedades físicas del suelo..... 26
CUADRO 2	Propiedades Químicas del suelo ..... 27
CUADRO 3	Resultados promedio de las variables respuesta 35
CUADRO 4	Láminas totales de agua consumida en Cms y número de riegos para cada uno de los tratamientos..... 37
CUADRO 5	Relación Et/Ev para las diferentes etapas fenológicas del cultivo..... 43
CUADRO 6	Resultados organizados de rendimiento de frutos comerciales en toneladas métricas por hectárea 52
CUADRO 7	Análisis de varianza para el rendimiento de frutas comerciales en toneladas métricas por hectárea..... 52
CUADRO 8	Resultados organizados de número de plantas vivas al final del ciclo de cultivo por parcela 53
CUADRO 9	Análisis de varianza para el número de plantas vivas al final del ciclo de cultivo por parcela 53
CUADRO 10	Control de humedad antes y después del riego y cálculo de la lámina consumida para todos los tratamientos durante los riegos generales..... 54
CUADRO 11	Control de humedad antes y después del riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-8..... 55
CUADRO 12	Control de humedad antes y después del riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-12..... 56
CUADRO 13	Control de humedad antes y después del riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-16..... 57

## PAGINA

CUADRO 14	Control de humedad antes y después del riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-20.....	58
CUADRO 15	Control de humedad antes y después del riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-24.....	59
CUADRO 16	Control de humedad antes y después del riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-28.....	60
CUADRO 17	Cálculo de Evapotranspiración semanal y total por la fórmula de Blaney-Criddle.....	61
CUADRO 18	Evapotranspiración semanal y total en cms. de los diferentes tratamientos y Blaney-Criddle modificado por Phelan.....	62
CUADRO 19	Valores de pendiente, intercepto, pruebas de hipótesis y coeficientes de determinación $r^2$ de la evapotranspiración semanal de los tratamientos Vrs. fórmula de Blaney-Criddle modificada por Phelan.....	63
CUADRO 20	Relación entre Evapotranspiración semanal de los tratamientos y la evaporación semanal del tanque tipo "A" .....	64

## INDICE DE FIGURAS

		PAGINA	
FIGURA	1	Porcentaje de humedad aprovechable para el tratamiento F-8.....	65
FIGURA	2	Porcentaje de humedad aprovechable para el tratamiento F-12.....	66
FIGURA	3	Porcentaje de humedad aprovechable para el tratamiento F-16.....	67
FIGURA	4	Porcentaje de humedad aprovechable para el tratamiento F-20.....	68
FIGURA	5	Porcentaje de humedad aprovechable para el tratamiento F-24.....	69
FIGURA	6	Porcentaje de humedad aprovechable para el tratamiento F-28.....	70
FIGURA	7	Evapotranspiración semanal de la fórmula vrs. Evapotranspiración semanal del tratamiento F-8.....	71
FIGURA	8	Evapotranspiración semanal de la fórmula vrs. Evapotranspiración semanal del tratamiento F-12.....	72
FIGURA	9	Evapotranspiración acumulada de los 6 tratamientos y la fórmula de Blaney-Criddle modificado por Phelan.....	73
FIGURA	10	Plano general del experimento.....	74

## R E S U M E N

El presente experimento se llevó a cabo en el Centro de Producción San Jerónimo, del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola localizado en el valle de San Jerónimo, Baja Verapaz, evaluándose el efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración del pepino (Cucumis sativus L.). Las frecuencias evaluadas fueron 8, 12, 16, 20, 24 y 28 días arregladas en un diseño experimental de bloques al azar con 4 repeticiones, teniendo un total de 24 parcelas en las cuales se midió el consumo de agua en forma directa y se comparó con el consumo estimado por la fórmula de Blaney-Criddle modificado por Phelan.

El experimento se realizó del 10 de diciembre de 1986 al 9 de marzo de 1987 en un suelo de textura franco arenosa. El método utilizado para la determinación de la humedad fue el gravimétrico tomando muestras con un barreno helicoidal después de cada riego y antes de aplicar el siguiente cubriendo dos estratos, de 0 a 30 y de 30 a 60 centímetros. Con estos datos la densidad aparente y el porcentaje de humedad a capacidad de campo se determinó la cantidad de agua a aplicar en cada riego y el agua consumida por el cultivo entre un riego y el siguiente.

El efecto de las diferentes frecuencias de riego se midió a través de las siguientes variables respuesta: ren-

dimiento de frutos comerciales en toneladas métricas por hectárea y número de plantas vivas al final del ciclo de cultivo por parcela.

Al evaluar los diferentes tratamientos se encontró que regando cada 8 días se obtiene la mayor producción. En cuanto al número de plantas vivas al final del ciclo de cultivo, se encontró que las diferentes frecuencias no afectan esta variable.

Al medir la evapotranspiración en los diferentes tratamientos puede notarse que la cantidad de agua consumida tiende a disminuir conforme se alarga el intervalo, alcanzando valores desde 30.81 centímetros para el tratamiento regado cada 8 días, hasta 14.79 centímetros para el tratamiento regado cada 24 días, encontrándose además que el mayor consumo se manifiesta en las etapas fenológicas de floración, fructificación y cosecha, sin llegar nunca a los valores de humedad correspondientes al punto de marchitez permanente.

En las comparaciones estadísticas entre evapotranspiración medida y calculada, se determinó que el valor de la evapotranspiración medida en el tratamiento regado cada 12 días, es igual a la calculada por la fórmula de Blaney-Criddle modificado por Phelan, no siendo así para los intervalos de riego de 8, 16, 20, 24 y 28 días, pero la correlación del modelo de regresión lineal con la evapotranspiración obtenida por la fórmula para el tratamiento regado cada 8 días es alta, por lo que se puede realizar un ajuste de este método indirecto de determinar evapotranspiración.

Finalmente se recomienda continuar con este tipo de investigaciones en la misma región y en otras de similar importancia para poder contar con información suficiente en cuanto a necesidades de agua y métodos indirectos para calcularlas. También se recomienda utilizar los factores provenientes de la relación  $E_t/E_v$  para las diferentes etapas fenológicas con el fin de afinarlos ya que este método es bastante práctico y sencillo de utilizar.

## 1. INTRODUCCION

Guatemala es un país eminentemente agrícola y que posee muchas riquezas naturales que están siendo mal aprovechadas por la falta de una investigación y tecnología propia que se adapte a nuestras necesidades.

En muchas regiones del país en donde el riego es el factor principal para la producción agrícola la aplicación adecuada y oportuna del agua es el elemento más importante para obtener buenas cosechas por ello en estas regiones no solamente debe interesar obtener altos rendimientos sino también encontrar la forma de utilizar eficientemente el agua.

En las diferentes unidades de riego del país, es muy poca la información con que se cuenta sobre frecuencias de riego y cantidad de agua a aplicar en los cultivos más importantes, por esta razón los agricultores hacen un uso inadecuado del agua, aplicando cantidades excesivas, a intervalos inadecuados, ocasionando un desperdicio del recurso agua, reducción de la aireación del suelo, mayor incidencia de enfermedades fungosas, lavado de elementos nutritivos y en consecuencia disminución del área potencialmente regable.

Para poder efectuar una utilización eficiente del agua se necesita conocer las necesidades reales de agua de

cada cultivo, en cada tipo de suelo, en cada época y en cada región, es por eso que el Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA) de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos ha emprendido investigaciones tendientes a lograr un mejor aprovechamiento de nuestros recursos naturales.

## 2. HIPOTESIS

- 2.1 Los rendimientos obtenidos en el cultivo del pepino, serán diferentes con la aplicación de las frecuencias de riego de 8, 12, 16, 20, 24 y 28 días.
- 2.2 El valor de la evapotranspiración o consumo de agua por el cultivo será diferente en los tratamientos regados con distinto intervalo de riego.
- 2.3 La evapotranspiración medida en el campo durante todo el ciclo del cultivo para cada una de las frecuencias de riego, será diferente del valor de la evapotranspiración estimada con la fórmula de Blaney-Criddle modificada por Phelan.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GENERAL

3.1.1 Determinar el efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración del cultivo del pepino (Cucumis sativus L.) para la época y condiciones del área.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

3.2.1 Determinar la frecuencia de riego más recomendable para el cultivo y condiciones del área.

3.2.2 Determinar la lámina de agua a aplicar en cada riego y la total en el ciclo del cultivo.

3.2.3 Establecer el grado de agotamiento de la humedad aprovechable del suelo.

3.2.4 Verificar la adaptabilidad de la fórmula de Blaney-Criddle modificada por Phelan para el área en la estimación de la evapotranspiración.

3.2.5 Establecer la relación evapotranspiración/evaporación para diferentes etapas de desarrollo del cultivo en los tratamientos con mayor rendimiento.

#### 4. REVISION DE LITERATURA

##### 4.1 Características generales del cultivo

El pepino (Cucumis sativus L.), es una planta anual que pertenece a la familia de las Cucurbitáceas, es de consistencia herbosa y hábito trepador, ésta última característica se presta para siembra con tutores y mejorar en esta forma la calidad del fruto, obteniéndose más número de ellos con las características que exige el mercado. (8)

El tallo presenta vellosidad, jugoso, carnosos y tiene forma columnar, es suave y muy sensible a la ruptura, cada herida o aplastamiento recibida por el tallo causa daño grave a la planta y éste se manifiesta en una disminución de la producción.

Sus hojas son alternas y ásperas, poseen un pedúnculo bastante largo, su forma varía entre triangular y acorazada, presenta bordes dentados.

La flor del pepino, como todas las flores de las cucurbitáceas es unisexual, encontrándose en una misma planta un mayor número de flores masculinas que femeninas, su reproducción es por semilla.

Este cultivo se desarrolla mejor en época de mayor temperatura ambiental, pero puede cultivarse en todas las épocas del año siempre en zonas con temperaturas mayores de 13 °C, las temperaturas altas aceleran el crecimiento, floración y fructificación. (11)

El pepino se cultiva con más frecuencia en climas cálidos y templados, prefiere suelos francos, franco arenosos, franco arcillosos, fértiles bien abonados y con un pH entre 5.5 y 7.0.

Para la siembra el terreno se prepara arando y volteando el suelo a una profundidad de 25 centímetros, para lograr un grado de humedad adecuado, evitar la compactación y formación de terrones, después de la aradura se dan dos pasos de rastra. (12)

Porras, Mirón (21) y González del Valle (8) recomiendan utilizar distanciamientos de siembra de 1.80 mts. entre surcos y 0.30 mts. entre plantas, el Ministerio de Agricultura (12) recomienda distanciamientos de 1.20 a 1.80 mts. entre surcos y de 0.50 a 0.90 mts. entre plantas.

Se recomienda también depositar tres a cuatro semillas por postura y posteriormente dejar una o dos plantas, las que mejor desarrollo presenten.

#### 4.2 Factores que afectan los requerimientos de agua de los cultivos

Los requerimientos de agua de los cultivos en general son muy variables. Roe (24) indica que el requerimiento de agua varía grandemente tanto entre diferentes tipos de plantas como entre las de un mismo tipo, también dentro de estas necesidades influyen condiciones naturales como el clima, la cantidad de distribución de lluvia y la clase de suelo y subsuelo.

Las necesidades de agua dependen de la evapotranspiración (13), por eso el procedimiento para calcular la cantidad de agua requerida por los cultivos es medir la evapotranspiración potencial y más exactamente la real. (28)

Se sabe que los factores climáticos juegan el papel principal en cuanto a las pérdidas de agua por evapotranspiración. (13) En términos generales, los factores del clima 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. (9)

La secretaría de Recursos Hidráulicos de México (13) menciona los siguientes factores que afectan la evapotranspiración: alta intensidad de radiación, baja presión de vapor en el aire, turbulencia debida al viento y a la rugosidad de la superficie. Afirma también que la fuente de energía para la evapotranspiración es la radiación solar y que un aumento de temperatura produce un aumento de la transpiración y que la humedad relativa del aire no influye directamente.

Hide (1954) mencionado por la secretaría de Recursos Hidráulicos de México (14) encontró que a bajas tensiones de humedad en el suelo, la evapotranspiración esta regulada por las condiciones de la atmósfera, pero que a medida que el suelo se seca, la evaporación depende de factores

del suelo, tales como: humedad relativa del aire del suelo, el coeficiente de difusión, la conductividad capilar y el gradiente hidráulico cerca de la superficie del suelo.

La tensión de humedad y el contenido de humedad influyen sobre el movimiento del agua en el suelo y con ello en la cantidad de agua disponible para la transpiración. El punto de marchitez permanente también influye, pues la transpiración disminuye rápidamente cuando el contenido de humedad llega o está cerca de él.

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

Las sales del suelo producen una presión osmótica, lo cual implica una mayor tensión de humedad del suelo, por lo que los suelos salinos tienen menor disponibilidad de agua para las plantas.

Los factores de la planta, también afectan la evapotranspiración, en forma general pueden mencionarse: la profundidad de raíces y su capacidad de absorción de agua, la superficie foliar así como su capacidad para soportar períodos de sequía o excesos de humedad y su estado de desarrollo. (16)

#### 4.3 Efecto del contenido de humedad del suelo sobre los cultivos:

Existen muchas áreas en las que las lluvias son insuficientes, por lo que es necesario recurrir a la técnica del riego para la producción de cosechas, así para calcular la cantidad de agua que artificialmente debe ponerse a disposición de la planta, es preciso estudiar sus necesidades y las características agroclimáticas del medio en que vive, ya que ejercen una influencia decisiva sobre los requerimientos de humedad. (18)

Las raíces de las plantas que crecen en los suelos húmedos, extraen más humedad que cuando las mismas especies se cultivan en terrenos más secos. Cuando el suelo está húmedo la mayor parte de la humedad necesaria para la planta es proporcionada por la parte del terreno cercano a la superficie lo que se debe a que las raíces suelen crecer en esta zona. Por el contrario a medida que el contenido de humedad disminuye, se consumen volúmenes de agua mayores de capas más profundas. (15)

Se ha descubierto que hay fases en el crecimiento de la mayoría de las plantas de cultivo, durante las que el no mantener baja la tensión de agua del suelo da como resultado un menor rendimiento.

El límite superior de producción de un cultivo viene determinado por las condiciones climáticas y por el potencial genético del mismo. Hasta que punto pueda alcanzarse, depende siempre de la precisión con que los aspectos técnicos del suministro de agua estén en consonancia con las necesidades biológicas de agua en la producción del cultivo. Por ello la utilización eficiente del agua en la producción, solo puede lograrse cuando la planificación, el proyecto y la operación de suministro de agua y del sistema de distribución estén orientados a atender en cantidad y tiempo incluyendo los períodos de escasez, las necesidades de un cultivo para un crecimiento óptimo y de altos rendimientos.

El déficit de agua durante el período de establecimiento retrasa el desarrollo y produce plantas menos vigorosas. Cuando tiene lugar un déficit de agua durante el período vegetativo inicial se produce menos superficie foliar, lo que ocasiona una reducción en el rendimiento.

El período vegetativo final, el período de floración y el período de formación de la cosecha, son los más sensibles al déficit de agua. Durante el período de maduración un suministro abundante de agua, reduce el contenido de azúcares de los frutos e influye negativamente en el sabor. Por el contrario, un déficit riguroso de agua en este período, ocasiona el agrietamiento y formación irregular de los frutos.

Se indica que en términos generales las hortalizas anuales cultivadas por sus frutos, son bastante sensibles a la dotación de agua y aún más cuando los frutos comienzan a desarrollarse. Existen pruebas que indican que en algunos de estos cultivos el crecimiento ha sido en forma significativa reducido. (26)

#### 4.4 Frecuencia y programación del Riego:

En términos generales los factores que influyen sobre el momento más oportuno de regar son: factores edáficos, climáticos, época de siembra, necesidades de agua de los cultivos, disponibilidad de agua y capacidad de la zona radicular para el almacenamiento. Los cultivos de zona radicular superficial requieren de riegos más frecuentes que aquellos de sistema radicular más profundo.

La textura del suelo influye directamente en la frecuencia y lámina de agua por cada aplicación los suelos arenosos requieren mayor frecuencia de riego, en cambio los suelos limosos tienen la capacidad de almacenar mayor cantidad de agua por lo tanto requieren de menor frecuencia pero mayor cantidad de aplicación. (15)

Aunque la aplicación de agua sea en forma adecuada, un riego demasiado frecuente reduce la eficiencia de aplicación al aumentarse algunas pérdidas por conducción y distribución. 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, aunque el volúmen total de agua aplicado durante todo el ciclo vegetativo sea aproximadamente el mismo. (26)

#### 4.5 Constantes de Humedad del suelo

##### 4.5.1 Capacidad de campo y formas de determinarla:

El servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (22) la define como la cantidad de agua que retiene un suelo con buen drenaje después de que el agua libre ha sido filtrada, es decir, la máxima cantidad de agua que puede retener contra la gravedad. Es el momento en que el contenido hídrico se ha hecho estable, lo cual sucede 1 y 3 días después de una lluvia de riego. Para fines prácticos se considera que la tensión de humedad del suelo a capacidad de campo es de 0.3 atmósferas (15) aunque algunos investigadores estiman que puede variar entre 0.1 y 0.3, e incluso hasta 0.7. (22)

Existen dos formas de determinarla. La primera se realiza en laboratorio, sometiendo muestras de suelo a una tensión de 0.3 atmósferas. Según Kramer (16), estas estimaciones no son indicadoras muy confiables del valor de campo, pues la capacidad de campo depende del perfil del suelo y su estructura. La segunda forma es medirla en el campo, para lo cual Withers y Vipond (28) y el Servicio de Conservación

de suelos (22) proponen el siguiente método: delimitar un área de muestreo de un metro cuadrado con bordos de 2 cms. de altura y levantar otros bordos exteriores a los primeros, para facilitar el movimiento vertical del agua en la zona de muestreo. Después hay que humedecer el suelo para saturarlo, tanto en la zona de muestreo como en la parte exterior. Si el suelo es arcilloso, se puede empezar a muestrear entre 24 y 48 horas después. Si es arenoso debe cubrir el área, incluido el bordo exterior, con nylon.

Debe muestrearse cada 8 a 12 horas, tomando dos o tres muestras por estrato a estudiar, cada vez que se muestree. Es más exacto el dato si se muestrea durante unos 4 a 5 días. El contenido de humedad se determina por el método gravimétrico, pesándolas ya secas. Posteriormente se hace una gráfica en la cual se coloca el contenido de humedad en las ordenadas y el tiempo en las absisas; con ella es posible determinar el porcentaje de humedad que corresponde a la capacidad de campo de cada estrato, en el momento en que la curva se estabiliza.

#### 4.5.2 Punto de marchitez permanente y métodos para determinarlo:

El punto de marchitez permanente es el índice o cantidad de humedad del suelo en la cual las plantas se marchitan (22, 28) y no se recuperan en turgencia aunque se les

coloque en cámara húmeda o se añada agua al suelo. (6, 28)

Representa, pues, el límite inferior de humedad aprovechable por las plantas. Existen divergencias en cuanto al rango de tensión al cual se produce, pero todos coinciden al tomar 15 atmósferas como la tensión a punto de marchitez permanente, ya que a esta tensión el crecimiento cesa. Israelsen y Hansen (15) afirman que cualquier variación no tiene importancia, ya que la variación en contenido de humedad es poca aunque haya grandes cambios de tensión.

Se puede determinar en laboratorio para obtener resultados rápidos, sometiendo muestras de suelo a tensiones de 15 atmósferas y determinando el contenido de humedad final. También se puede determinar usando plantas de girasol sembradas en recipientes (1). En el campo se puede determinar midiendo la humedad del suelo cuando las plantas se han marchitado permanentemente. Se puede calcular aproximadamente dividiendo capacidad de campo por un factor cuyo valor oscila entre 2.0 y 2.4, que es función de la proporción de limo del suelo; si esta es alta se usa 2.4. (22)

#### 4.6 Método del plástico para determinar densidad aparente

Este método consiste en hacer una calicata, en la cual se hacen gradas en cada estrato de 30 centímetros, en cada grada hecha se hace un agujero en forma de cubo de 15x15x15 cms., sacando la tierra del interior y colocándola en una

bolsa plástica amarrada con el objeto de que no se escape la humedad del interior, luego se pesa. Posteriormente se coloca un plástico dentro del cubo al cual se le agrega agua hasta llegar al nivel del suelo, la cantidad de agua agregada corresponde al volúmen de suelo extraído. (2)

La determinación de la densidad aparente puede efectuarse tomando una muestra representativa de cada estrato y determinarle el porcentaje de humedad mediante el método gravimétrico, para luego aplicar la fórmula siguiente:

$$Da = \frac{100 \times Psh}{Vt (100 + Ps)}$$

Donde:        Da = Densidad aparente en grs/cm<sup>3</sup>  
               Psh = Peso del suelo húmedo en Kgs.  
               Vt = Volúmen total en litros  
               Ps = Porcentaje de humedad (%)

#### 4.7 Contenidos de humedad del suelo

##### 4.7.1 Humedad utilizable:

Llamada también humedad disponible o aprovechable, es la humedad retenida entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente por el suelo en la zona activa de raíces del cultivo (1), o sea, es la humedad que se puede almacenar por el suelo para ser usada por las plantas. (15)

#### 4.7.2 Humedad fácilmente utilizable:

Thorne y Peterson (27) citan varios estudios que indican que el agua no es igualmente disponible entre todo el rango de capacidad de campo a punto de marchitez permanente. La tensión de humedad del suelo no pasa de una atmósfera en la mayoría de los suelos hasta que cerca del 50-75% del agua utilizable fácilmente por las plantas, ya que la humedad fácilmente utilizable es la parte de la humedad utilizable es la parte de la humedad utilizable que puede ser extraída por las plantas sin gran esfuerzo y que representa aproximadamente un 75% de la humedad utilizable total.

Muchas evidencias indican que el crecimiento de las plantas decrece conforme la tensión de la humedad del suelo aumenta. Thorne y Peterson (27) concluyen la discusión sobre este tema diciendo que si la remoción de agua del suelo por las plantas requiere energía, es lógico suponer que si aumenta la humedad, la tensión decrece, por lo que las plantas gastan menos energías en suplir sus necesidades de agua y puede entonces crecer más.

#### 4.8 Evapotranspiración:

Black (5), Israelsen y Hansen (15) y Kramer (16) coinciden en definir el término Et como la suma de evaporación de agua del suelo y de la transpiración de plantas. Se puede

decir, en forma más completa que el Et o uso consuntivo es la suma de: a) transpiración, proceso por medio del cual las plantas toman agua del suelo, circula a través de los tallos hacia las hojas, desde donde se desprende en forma de vapor y pasa a la atmósfera, y que sucede de un 90-95% durante el día, representando una parte importante del agua de desgaste en un cultivo, y b) evaporación, que es el agua evaporada del terreno adyacente, por la superficie de las hojas de las plantas. Israelsen y Hansen (15) indican también que la evapotranspiración depende de la temperatura, de las prácticas de riego, de la duración del período de crecimiento, de las precipitaciones y de otros factores. El volumen de agua transpirado de las plantas depende de la cantidad de agua de que dispongan, de la temperatura y humedad del aire, del régimen de vientos de la intensidad luminosa del sol, del estado de desarrollo de las plantas, de su follaje y de la naturaleza de las hojas.

Grassi (9) hace referencia a evapotranspiración potencial (Etp) y evapotranspiración real o uso consuntivo. La evapotranspiración potencial sucede con una vegetación de escasa altura y activo crecimiento, que cubre totalmente el terreno y que no tiene restricciones de humedad edáfica, y depende fundamentalmente de las condiciones climáticas existentes, las cuales son dadas por las características físicas de la atmósfera vecina al suelo.

Grassi (9) hace referencia a evapotranspiración potencial (Etp) y evapotranspiración real o uso consuntivo. La evapotranspiración potencial sucede con una vegetación de escasa altura y activo crecimiento, que cubre totalmente el terreno y que no tiene restricciones de humedad edáfica, y depende fundamentalmente de las condiciones climáticas existentes, las cuales son dadas por las características físicas de la atmósfera vecina al suelo.

Al referirse a la evapotranspiración real o uso consuntivo indica que las características variables de la cobertura vegetal natural o cultivada, de las condiciones edáficas y de los niveles de humedad del suelo, modifican los supuestos tomados al definir evapotranspiración potencial, pues actúan como factores reductores por lo tanto evapotranspiración real es igual a la potencial afectada por un factor "K", que toma en cuenta el efecto de la relación agua-suelo-planta, ese coeficiente K varía a lo largo del ciclo y es una expresión de las características morfológicas y fisiológicas del cultivo y de la incidencia del ambiente edáfico.

#### 4.9 Métodos para determinar evapotranspiración:

Para determinar la evapotranspiración existen básicamente dos métodos, atendiendo a la forma de obtener los datos: los directos y los indirectos.

Los métodos directos son aquellos que proporcionan una

lectura de humedad del suelo en forma más rápida y directa en el terreno. Israelsen y Hansen (15) mencionan los siguientes: Experimentos en tanques y lisímetros, Parcelas experimentales, estudios sobre humedad del suelo, métodos de integración y métodos de entradas y salidas de agua para grandes extensiones. El servicios de Conservación de Suelos (22) menciona los tensiómetros y los instrumentos a base de resistencias eléctricas y el método de dispersión de neutrones. (28)

Los métodos indirectos son procedimientos o fórmulas basadas en datos climáticos por medio de los cuales se puede calcular la Et de cualquier cultivo, haciendo uso además de tablas con valor para las constantes o coeficientes usados. Existe una gran cantidad de fórmulas. Minera V. (16) cita 12 y Barillas K (4) 16. Algunos de los más conocidos son: Blaney-Criddle, Penman, Thorntwaite, Hargreaves, Jensen-Haise, Grassi-Chistiansen, Lowry-Johnson Tanque tipo A.

A continuación se describe el método directos a usar en esta investigación y los métodos indirectos con los cuales se harán comparaciones.

#### 4.9.1 Método de Parcelas experimentales

Israelsen y Hansen (15) consideran que este método proporciona datos más reales que los tanques y lisímetros. El método consiste en establecer parcelas en los terrenos y

Llevar un control de humedad del suelo mediante muestreos con barreno a diferentes profundidades. La determinación de humedad se hace por medio del método gravimétrico, según el cual se deben tomar muestras de suelo de 100 ó más gramos, pesarlas, secarlas al horno a 105-110°C y después pesarlas de nuevo. La pérdida de peso dividida por el peso del suelo seco, multiplicada por 100 da el porcentaje de humedad referido al suelo seco (15). Se requiere tomar muestras en varios lugares representativos de la zona considerada, para obtener mayor precisión (15). DIRENARE (10) recomienda muestrear en tres sitios y luego promediar, y tomar muestras en el tercio medio del estrato o capa considerada. Una limitante en este método es el tiempo que requiere para el secado que es de 24 horas. (15)

#### 4.9.2 Método de Blaney-Criddle:

Este método usa temperatura y horas luz mensuales y fue desarrollado para la región árida del oeste de los Estados Unidos (9 15). Grassi (9) indica que se desarrolló al relacionar los valores reales de uso consuntivo con la temperatura media mensual (t) y con el porcentaje mensual de las horas anuales sw brillo solar (p). De este modo, el uso consuntivo o evapotranspiración mensual se puede calcular usando la fórmula:  $u=k.f.$  y para un ciclo de cultivo de "n" meses:

$$U = \sum_{i=1}^n (k \cdot f_i) = K \cdot F$$

Donde:

k = coeficiente mensual del cultivo

f<sub>i</sub> = factor de uso consuntivo mensual

K = coeficiente del cultivo para el ciclo vegetativo

F = suma de los factores mensuales de uso consuntivo.

Para temperatura en °C y U en mm/mes, f se calcula así:

$$f_i = \frac{T_i + 17.8}{21.8} \quad (p_i)$$

p<sub>i</sub> = porcentaje mensual de horas luz respecto al total anual

El Servicio de Conservación de Suelos introdujo un factor de corrección "k", el cual es función de la temperatura media mensual (k<sub>t</sub>) y del estado de desarrollo del cultivo (k<sub>c</sub>), por lo que:

$$k_i = k_{t_i} \cdot k_{c_i}$$

El coeficiente de temperatura (k<sub>t</sub>) se calcula así:

$$k_{t_i} = 0.03144 \times t_i + 0.2396$$

El coeficiente de cultivo (k<sub>c</sub>) varía a lo largo del ciclo de acuerdo al porcentaje de desarrollo del cultivo, y

puede ser obtenido en tablas específicas.

Grassi (9), al discutir sobre los métodos de medición de evapotranspiración dice que ésta fórmula ha dado valores superiores en condiciones de bajas exigencias evapotranspiratorias (menos 5 mm/día) y valores inferiores con altas exigencias (más de 5 mm/día).

#### 4.10 Conclusiones de algunos trabajos realizados en Guatemala sobre evapotranspiración:

Los métodos indirectos han sido desarrollados bajo condiciones diferentes a las de nuestro país, por lo que se ha hecho necesario comprobar su adaptabilidad mediante comparaciones con métodos directos como el de parcelas experimentales, lo cual ya se ha realizado en varios cultivos de importancia económica, de los cuales a continuación se mencionarán algunos resultados obtenidos:

Andrino Alvarez (3) trabajó sobre tomate, en el Valle de la Fragua, Zacapa los métodos de Blaney-Criddle y tanque evaporímetro tipo "A", demostraron ser aplicables para estimar evapotranspiración bajo condiciones de humedad como las observadas en los tratamientos de 12 y 16 días.

Méndez Guzmán (19) en su trabajo sobre melón, desarrollado en el Valle de la Fragua, Zacapa, concluye que la fórmula de Blaney-Criddle es la que más coincide con la evapo-

transpiración real medida en los tratamientos de 8 y 16 días considerada globalmente, pero no para períodos cortos arrojando datos en exceso en la mayor parte del ciclo del cultivo. También concluye que la fórmula de Hargreaves dió resultados similares a los medidos en los tratamientos de 12, 24 y 28 días, sin embargo para períodos cortos no se adaptó.

Sánchez Chávez (25) trabajando con cebolla, en Barcenas, Villa Nueva, concluye que la tasa de evapotranspiración semanal calculada con la fórmula de Hargreaves modificada y la medida en el tratamiento regado cada 4 días son iguales.

Morales Milián (20) trabajando con pepino, en el Valle de la Fragua, Zacapa, concluye que los métodos de Blaney--Criddle y tanque evaporímetro tipo "A", demostraron variabilidad con la medida directamente en el campo, porque no se ajustaron a las condiciones de humedad de los distintos tratamientos. También concluye que el rendimiento de 8, 12 y 16 días no tiene significancia y el tratamiento que reportó los mayores rendimientos fue el de 8 días.

## 5. METODOLOGIA

### 5.1 Ubicación y descripción del área experimental

El experimento fue realizado en el centro de Producción Agrícola del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA), que se encuentra ubicado en el valle de San Jerónimo, en el Departamento de Baja Verapaz.

La estación experimental se encuentra entre las coordenadas  $15^{\circ} 03' 40''$  de latitud Norte y  $90^{\circ} 15' 0''$  de longitud Oeste.

En esta región ocurre una precipitación promedio de 975 mm. anuales distribuidos de mayo a noviembre, por lo que se hace necesario el empleo de riego cuando se cultiva en época en que la precipitación es prácticamente nula, durante los meses de noviembre y abril.

El valle de San Jerónimo, está ubicado dentro de la conformación ecológica sub-tropical seca según Holdrige. La temperatura promedio anual es de  $21^{\circ}\text{C}$ , con una humedad relativa promedio anual de 73%, la elevación promedio sobre el nivel del mar es de 1000 metros. (17)

Los suelos pertenecen a la clase agrológica I y se define en forma general, como profundo, textura media, estructura en bloque sub-angulares medianos, moderadamente desarrollados, de consistencia suave a ligeramente dura en se-

co y friable en húmedo; son suelos permeables con una zona radicular de 50 a 80 cms. (17)

Los campos de la estación experimental han sido utilizados durante varios años en la siembra del maíz, para producir semillas mejoradas en la estación lluviosa; así como de hortalizas (tomate, melón, ajo), en el período de estiaje bajo la práctica del riego, lográndose así dos cosechas por año. (17)

## 5.2 Análisis y determinaciones previas

Estos se realizaron con el propósito de establecer ciertos parámetros que serían de utilidad para realizar en mejor forma la investigación.

### 5.2.1 Análisis físico del suelo

Este análisis incluyó la determinación de textura, densidad aparente, capacidad de campo y punto de marchitez permanente para cada uno de los estratos contemplados de acuerdo al cultivo.

Las determinaciones de capacidad de campo, densidad aparente y punto de marchitez permanente fueron realizadas en el campo siguiendo los procedimientos que se indicaron anteriormente.

La determinación de textura fue realizada en el laboratorio de suelos de la Dirección de Riego y Avenamiento (DIRYA).

Los resultados obtenidos para estos análisis se presentan en el cuadro 1.

CUADRO 1. PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO

Estrato (cms)	LABORATORIO		CAMPO	CALCULADO
	Textura	c.c. (%)	D.a grs/cc	P.M.P (%)
0 - 30	Franco	26.65	1.09	13.33
30 - 60	Franco arenosa	24.47	1.20	12.24

### 5.2.2 Análisis químico del suelo

Para la realización del análisis químico del suelo, se tomaron varias submuestras para luego formar una muestra compuesta del área experimental y fue enviada al laboratorio de suelos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA).

La finalidad de este análisis fue para tener recomendaciones en relación a la fertilización del cultivo. El cuadro 2 presenta los resultados proporcionados por el laboratorio.

CUADRO 2. PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO

pH	Microgramos/ml		meq/100 ml de suelo	
	P	K	Ca	Mg
7.6	10.5	120	8.21	3.43

### 5.3 Manejo del cultivo

El cultivo se manejó de acuerdo a las recomendaciones del Programa de Hortaliza del ICTA en relación a variedad, preparación del terreno, método y distancias de siembra, control de plagas y enfermedades, control de malezas y fertilización.

Se sembró la variedad Poinsett, que es de guías vigorosas y de gran producción, sus frutos son de color oscuro de 20 centímetros de largo por 5 cm. de diámetro. Para preparar el terreno se dará un paso de arado a una profundidad de 40 centímetros y posteriormente se darán 2 pasos de ras-tra en forma cruzada para dejar bien mullido el suelo y luego se surquean con una pendiente de 0.2% a una distancia de 1.20 mts. y un distanciamiento de 0.2 mts. entre plantas.

Para el control de enfermedades y plagas se aplicó semanalmente una mezcla de insecticida y fungicida como control preventivo, el control de malezas se hizo en forma ma-

nual y la fertilización se realizó siguiendo las recomendaciones del laboratorio de suelos.

#### 5.4 Manejo del Experimento

##### 5.4.1 Trazo del experimento:

Se procedió a la construcción de cuatro tomas para regar las cuatro repeticiones y luego se delimitaron las parcelas contando los surcos necesarios, dejando el espacio correspondiente entre las mismas.

El tamaño de parcelas utilizado fue de 8.4 por 4.5 mts. dejando 2.4 mts. entre parcelas, además se dejaron 4.0 mts. entre bloques construyendo la toma respectiva a 2.0 mts. antes del bloque y a 1.0 mt. después del bloque con un ancho de 1.5 mts. aproximadamente.

##### 5.4.2 Lamina de agua a reponer en cada riego:

Para poder calcular la lámina de agua a reponer es necesario contar inicialmente con los siguientes datos:

- Porcentaje de humedad a capacidad de campo (%HCC).
- Porcentaje de humedad obtenida antes del riego (%HAR).
- Densidad aparente ( $D_a$ )
- Profundidad del estrato en centímetros ( $pe$ ).

Estos datos se sustituyen en la fórmula de lámina a reponer ( $L_r$ ).

$$Lr = \frac{\%HCC - \%HAR}{100} \times Da \times Pe$$

Como entre el muestreo y la lámina de agua a reponer existe un período de un día en el que no se conoce el consumo, es necesario efectuar un ajuste proporcional relacionado mediante una regla de tres simple, el período de consumo conocido con el día comprendido entre el muestreo y la lámina de agua a reponer.

Con esta fórmula se obtuvo la lámina a reponer en cada riego, en cada parcela y para cada estrato. Para obtener la lámina total a reponer fue necesario sumar las láminas para cada estrato.

#### 5.4.3 Lámina de agua consumida:

Al obtener los valores de porcentaje de humedad después de riego y antes del siguiente se puede calcular la lámina de agua consumida para un período determinado, mediante la ecuación siguiente:

$$Lc = \frac{\%HDR - \%HAR}{100} \times Da \times Pe$$

Donde:

$\%HDR$  = Porcentaje de humedad después del riego

$Lc$  = Lámina consumida en centímetros

Como entre los muestreos antes y después de un mismo

riego existe un período de tres días en los cuales no se conoce el consumo, es necesario efectuar un ajuste proporcional relacionado mediante una regla de tres simple, el período de consumo conocido con los tres días comprendidos entre muestreos.

#### 5.4.4 Riego generales:

Durante las dos primeras semanas del cultivo fue necesario regar uniformemente todo el ensayo para que al iniciar cada tratamiento la plantación estuviera completamente establecida. Durante este período también se registraron datos del contenido de humedad del suelo.

#### 5.4.5 Metodo y momento de muestreo:

Para el muestreo se empleó un barreno helicoidal, sacando seis muestras por parcela, tres para cada uno de los estratos de 0 a 30 y 30 a 60 cms. tomando la muestra del tercio medio de cada estrato. Los puntos a muestrear se tomaron al azar tratando de cubrir toda el área de la parcela, estos muestreos se hicieron antes y después de cada riego, antes del riego se muestreó con una anticipación de 24 horas y después del riego se muestreó a las 48 horas debido a que es cuando el suelo teóricamente alcanza el porcentaje de humedad de capacidad de campo y en un tiempo menor es casi imposible muestrear.

#### 5.4.6 Diseño estadístico:

El diseño experimental de bloques al azar se puede utilizar cuando se tenga un solo gradiente, por lo que en nuestro caso la variable a estudiar es la humedad, por lo tanto fue el único gradiente, por lo que se pudo utilizar perfectamente este diseño (23). Se evaluaron 6 tratamientos con 4 repeticiones, siendo los tratamientos las frecuencias de 8, 12, 16, 20, 24, 28 días; los cuales se identificaron como F-8, F-12, F-16, F-20, F-24, F-28, respectivamente.

#### 5.4.7 Parcela experimental:

Area de ensayo 1.778.4 m<sup>2</sup>

Area útil del ensayo 907.2 m<sup>2</sup>

Area de cada parcela experimental 37.8 m<sup>2</sup>

Area útil de cada parcela experimental 27 mts<sup>2</sup>

Número de parcelas 24

Distancia entre parcelas 2.4 mts<sup>2</sup>

Distancia entre bloques 4.0 m

Número de surcos por parcela 7

Densidad de siembra parcela neta 115 plantas

Densidad de siembra parcela bruta 161 plantas

#### 5.4.8 Variables respuesta:

Para poder evaluar el efecto de los diferentes tratamientos, se analizaron las variables respuesta siguientes:

- Rendimiento de frutos comerciales en TM/Ha
- Número de plantas vivas al final del ciclo del cultivo/parcela

#### 5.4.9 Métodos de análisis de resultados:

Para las variables respuesta los resultados obtenidos se analizaron por medio de un análisis de varianza y prueba de Tukey al 5% de significancia.

Para verificar si los valores de tasa de evapotranspiración semanal calculada con la fórmula de Blaney-Criddle, equivale a los valores de evapotranspiración medida en el campo, se efectuó un análisis de correlación para determinar que porcentaje de la variable independiente (Valores de evapotranspiración calculados) es explicado por el modelo de regresión lineal simple,  $Y = b_0 + b_1 X$  considerándose para este análisis un nivel de significancia del 1% para mayor confiabilidad de los resultados.

De obtener coeficientes de determinación " $r^2$ " menores a los tabulados para un nivel de significancia del 1% y  $n-2$  grados de libertad, se concluirá que la fórmula de Blaney-Criddle no se adapta a la región. Si los coeficientes de determinación " $r^2$ " calculados fueran mayores a los tabulados para el nivel de significancia y los grados de libertad mencionados, deberán efectuarse dos pruebas de hipótesis para determinar que la pendiente de la recta es igual a cero, de ser así estos indicarían que los valores de evapotranspiración calculados son equivalentes a los medidos directamente por lo

que la fórmula de Blaney-Criddle, se adapta a la región. En el caso de rechazar las hipótesis planteadas nos indicará que los datos calculados no son equivalentes a los medidos en el campo, pero que podrían ajustarse por tener un coeficiente de determinación " $r^2$ " alto.

La prueba de hipótesis para determinar que la pendiente de la recta es igual a uno, se efectúa mediante comparaciones 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.

Además de este análisis estadístico, también se efectuó una comparación gráfica ploteando los valores de la evapotranspiración semanal de los tratamientos F-8 y F-12 versus los valores de evapotranspiración de la fórmula de Blaney-Criddle modificado por Phelan para observar su comportamiento con respecto a la pendiente de la recta.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos en el presente experimento y la discusión de ellos, se presentan a continuación divididos en cuatro partes para darles una mayor claridad y facilidad de interpretación .

La primera comprende los resultados y análisis respectivos de las variables respuesta por medio de las cuales se evaluó el efecto de los diferentes tratamientos. En la segunda se analiza el uso del agua por las plantas y en la tercera se determinan las comparaciones entre evapotranspiración medida y evapotranspiración calculada por medio de la fórmula de Blaney-Criddle modificado por Phelan. En la última parte se calcula el coeficiente "C" de la relación Evapotranspiración/evaporación para el tratamiento en el que se obtuvo el mayor rendimiento.

### 6.1 Variables respuesta

Las variables respuesta evaluadas en este experimento fueron: Rendimiento de frutos comerciales en TM/Ha y Número de plantas vivas al final del ciclo de cultivo por parcela. En el cuadro 3 se resumen los resultados de los promedios obtenidos en los diferentes tratamientos para cada una de las variables anteriormente mencionadas, las cuales se discutirán en detalle a continuación.

CUADRO 3 RESULTADOS PROMEDIO DE LAS VARIABLES RESPUESTA.

Tratamiento	Frutos comerciales en Tm/Ha	No. de plantas vivas al final del ciclo
F-8	16.75	146.89
F-12	11.48	156.75
F-16	11.20	159.01
F-20	9.13	147.14
F-24	10.99	150.55
F-28	7.40	158.26

#### 6.1.1 Rendimiento:

Los promedios de rendimiento de frutos comerciales en toneladas métricas por hectárea se presentan en el cuadro 3, como puede observarse el rendimiento más alto corresponde al tratamiento F-8 (riego cada 8 días), mientras que el tratamiento F-28 (riego cada 28 días), fue en el que se obtuvo el más bajo rendimiento.

Los resultados de varianza para el rendimiento de frutos comerciales en toneladas métricas por hectárea que se presenta en el cuadro 7 nos indica que existe diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, al efectuar

la comparación de medias por la prueba de Tukey encontramos que el tratamiento F-8 mostró el mayor rendimiento, manifestándose en el F-28 el menor.

#### 6.1.2 Número de plantas vival al final del ciclo de cultivo por parcela:

El número promedio de plantas vivas al final del ciclo de cultivo, puede observarse en el cuadro 3, notándose que el número promedio de plantas es similar para todos los tratamientos. Los resultados organizados de número de plantas vivas al final del ciclo de cultivo, se presentan en el cuadro 8 del apéndice y el análisis de varianza se muestra en el cuadro 9 del apéndice el cual nos indica que no existe diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos.

#### 6.2 Uso del agua

En esta parte se hace referencia a la lámina de agua consumida, al número de riegos aplicados y al agotamiento de la humedad aprovechable por cada uno de los tratamientos.

##### 6.2.1 Lámina de agua consumida (evapotranspiración) y número de riegos aplicados:

En el cuadro 4, puede observarse las láminas totales de agua consumida ó evapotranspiración y el número de riegos para cada uno de los tratamientos.

CUADRO 4 LAMINAS TOTALES DE AGUA CONSUMIDA EN CMS. Y NUMERO DE RIEGOS PARA CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS.

Tratamiento	Lámina consumida total en cms.	No. de riegos aplicados
F-8	30.81	11
F-12	27.56	8
F-16	25.39	7
F-20	17.91	6
F-24	14.79	5
F-28	16.04	5

Tomando en cuenta la humedad del suelo antes y después de cada riego se determinaron las láminas consumidas entre un riego y el siguiente, efectuando un ajuste proporcional para tres días que es el período comprendido entre muestreos de los cuales no se conoce el consumo, esto puede observarse en los cuadros del 10 al 16 del apéndice, en donde el cuadro 10 corresponde al cálculo del consumo de agua durante los riegos generales el que fue uniforme para todos los tratamientos, en los seis cuadros restantes se observa el cálculo del consumo en forma individual.

De manera general puede observarse en el cuadro 4, que el consumo de agua es menor conforme se alarga el intervalo

de riego lo cual es de esperarse ya que las plantas al disponer de más agua tenderán a consumir más teniendo un rango de 30.81 centímetros para el tratamiento F-8, hasta 14.79 centímetros para el tratamiento F-24.

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

Durante todo el ciclo del cultivo se llevó un control de la humedad del suelo para cada tratamiento en los estratos A (0 a 30 cms) y B (30 a 60 cms) el cual se presenta en las figuras de la 1 a la 6 del apéndice. En estas figuras puede observarse que durante los primeros 16 días correspondientes al período de establecimiento, en el cual todos los tratamientos fueron regados de la misma manera, el agotamiento de la humedad aprovechable fue aproximadamente uniforme con valores promedio del 18.5% para el estrato A y de 15.5% para el estrato B. También puede observarse que el agotamiento de la humedad aprovechable del suelo nunca alcanzó valores correspondientes al punto de marchitez permanente en ningún tratamiento siendo el grado de dicho agotamiento mayor para los tratamientos regados con intervalos de riego más largos. El mayor consumo de agua se observó en las etapas fenológicas de floración, fructificación y cosecha, por lo que se detalla a continuación el comportamiento de cada uno de ellos.

La figura 1 corresponde al tratamiento F-8, en ella

Puede observarse claramente que el agotamiento de la humedad aprovechable fue mayor durante las últimas etapas fenológicas del cultivo, alcanzando valores promedios del 30% para el estrato A y del 19% para el estrato B.

En la figura 2, correspondiente al tratamiento F-12, puede observarse que el agotamiento de la humedad aprovechable fue mayor al agotamiento del tratamiento anterior alcanzando valores de 48% para el estrato A y del 31% para el estrato B.

La figura 3, corresponde al tratamiento F-16 en donde puede observarse que el agotamiento de la humedad aprovechable alcanza valores del 61% para el estrato A y del 34% para el estrato B.

En la figura 4, correspondiente al tratamiento F-20 puede verse que el agotamiento de la humedad aprovechable fue similar al agotamiento del tratamiento anterior (f-16), alcanzando valores en este caso del 59% para el estrato A y del 34% para el estrato B.

La figura 5, corresponde al tratamiento F-24 en el cual puede observarse que la humedad descendió hasta 62% para el estrato A y un 25% para el estrato B.

En la figura 6, puede observarse el comportamiento de la humedad correspondiente al tratamiento más largo (f-28), puede verse que el agotamiento de la humedad apro-

vechable llegó a valores del 63% para el estrato A y del 52% para el estrato B.

El agotamiento de la humedad aprovechable en estos últimos tratamientos presenta diferencia con respecto a los primeros, lo que afecta la calidad de los frutos, encontrándose que conforme se amplía el intervalo de riego se producen frutos con características no comerciales, debido a que no recibieron el riego en el momento oportuno.

### 6.3 Comparación de la Evapotranspiración medida con la calculada por la fórmula de Blaney-Criddle modificado por Phelan

En los cuadros 17 y 18 del apéndice puede observarse el cálculo de la evapotranspiración semanal por la fórmula de Blaney-Criddle modificado por Phelan.

Para verificar la adaptabilidad de la fórmula de Blaney-Criddle modificado por phelan en la estimación de la evapotranspiración 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 los coeficientes de determinación " $r^2$ " son mayores al tabulado para un nivel de significancia del 1% y  $n-2$  grados de libertad, en los tratamientos F-8 y F-12, concluyendo que el modelo de regresión lineal simple si explica satisfactoriamente la relación entre los datos medidos y los calculados, lo cual se

observa en el cuadro 19 del apéndice.

En el mismo cuadro 19 del apéndice, para los tratamientos F-16, F-20, F-24 y F-28 se concluye que el modelo de regresión lineal simple no explica satisfactoriamente la relación entre los datos, pues el coeficiente de determinación, es menor al tabulado.

Realizada la prueba de "t" para probar la hipótesis de que la pendiente de la recta, es igual a uno y el intercepto igual a cero, se encontró que estadísticamente sólo para el tratamiento F-12 fue igual a uno e igual a cero respectivamente; lo que indica que para calcularse láminas de consumo con intervalos de riego de 12 días, pueden éstas determinarse por medio de la fórmula. Sin embargo, en vista que el análisis de correlación también indica que el modelo de regresión lineal simple es bueno para el tratamiento F-8 y en este la pendiente de la recta no es igual a uno, es necesario realizar un ajuste de la fórmula de Blaney-Criddle modificado por Phelan, para poder calcular láminas de consumo a través de ésta.

En las figuras 7 y 8 del apéndice se muestra el comportamiento gráfico de la evapotranspiración semanal para los tratamientos regados cada 8 y 12 días respectivamente versus la fórmula de Blaney-Criddle modificado por Phelan, en relación con la pendiente de la recta.

En la comparación gráfica efectuada (figura 9), puede notarse que la curva de Blaney-Criddle modificado por Phelan manifiesta un comportamiento similar al de las curvas de los tratamientos F-8 y F-12.

El comportamiento de la curva del tratamiento F-16 es semejante al comportamiento manifestado por la curva de Blaney-Criddle, mientras que las curvas de los tratamientos F-20, F-24, y F-28 manifiestan un comportamiento diferente al de la fórmula.

#### 6.4 Determinación del coeficiente "C" de la relación Et/Ev

La evaporación del tanque es un fenómeno afectado por los mismos factores que afectan la evapotranspiración a excepción del elemento planta, por consiguiente los valores de evaporación son diferentes cuantitativamente a los valores de evapotranspiración calculados en parcelas experimentales pudiéndose ajustar dichos valores por medio de un factor proveniente de la relación Et/Ev. En este experimento pudo observarse que tanto la tasa de evaporación semanal como la evaporación total fue mayor que la medida en todos los tratamientos, por lo que sí es necesario ajustar los datos de evaporación para obtener la evapotranspiración del cultivo. En el cuadro 20 del apéndice se observa la evaporación semanal y el factor semanal de ajuste durante todo el ciclo para todos los tratamientos. Tomando en cuenta el tratamien-

to regado cada 8 días en el cual se obtuvo el mejor rendimiento, puede resumirse el factor de ajuste para las diferentes etapas fenológicas del cultivo (cuadro 5).

CUADRO 5. RELACION Et/Ev PARA LAS DIFERENTES ETAPAS FENOLOGICAS DEL CULTIVO

ETAPAS FENOLOGICAS	DURACION	RELACION Et/Ev
Desarrollo vegetativo	10-12-86 al 24-01-87	0.65
Floración	7-01-87 al 13-02-87	0.84
Fructificación	24-01-87 al 28-02-87	0.88
Cosecha	13-02-87 al 9-03-87	0.93

## 7. CONCLUSIONES

1. El tratamiento regado cada 8 días rindió la mayor producción de frutos comerciales en toneladas métricas por hectarea.
2. Las diferentes frecuencias de riego no afectan el número de plantas vivas al final del ciclo de cultivo.
3. De manera general la evapotranspiración total del cultivo tiende a disminuir conforme el intervalo de riego es mayor, siendo de 30.81, 27.56, 25.39, 17.91, 14.79 y de 16.04 cms., para los tratamientos regados cada 8, 12, 16, 20, 24, y 28 días respectivamente.
4. El agotamiento de la humedad aprovechable del suelo nunca alcanzó valores correspondientes al punto de marchitez permanente en ningún tratamiento, siendo el grado de dicho agotamiento mayor para los tratamientos regados con intervalos de riego más largos. El mayor consumo de agua se observó en las etapas fenológicas de floración, fructificación y cosecha.

5. Los valores de tasa de evapotranspiración calculados por la fórmula de Blaney-Criddle modificada por Phelan y los medidos con el intervalo de riego de 12 días son iguales. La evapotranspiración calculada con la fórmula y medida en el tratamiento regado cada 8 días, tiene una alta correlación, por lo que la fórmula de Blaney-Criddle modificada por Phelan puede ser ajustada para usarla en el cálculo de la evapotranspiración para esta frecuencia de riego.
  
6. El coeficiente "C" obtenido de la relación evapotranspiración medida entre la evaporación del tanque, para el tratamiento regado cada 8 días fue de: 0.65 para la etapa de desarrollo vegetativo, 0.84 en la etapa de floración, 0.88 en la etapa de fructificación y 0.93 para la etapa de cosecha.

## 8. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda regar cada 8 días ya que esta frecuencia fue la que obtuvo mayor producción en comparación con las otras, mostrando diferencia estadísticamente significativa.
2. Los valores de tasa de evapotranspiración calculados por la fórmula de Blaney-Criddle modificado por Phelan para el intervalo de riego de 12 días puede ser utilizado para estimar la evapotranspiración en la región.
3. Los coeficientes obtenidos para estimar evapotranspiración en función de la evaporación del tanque pueden utilizarse como datos preliminares. Se recomienda seguirlos afinando ya que constituyen un método sencillo, práctico, y aplicable a la región.
4. Que este tipo de investigaciones se continúe realizando en la misma región, época y cultivo para confirmar los resultados obtenidos.

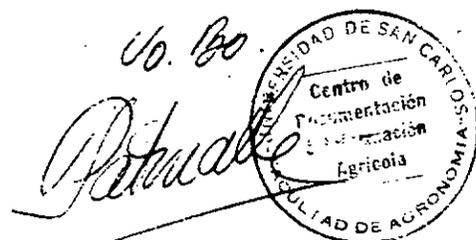
5. Desarrollar este tipo de investigaciones en otras regiones y con otros cultivos, para tener una información más completa sobre los requerimientos de agua y la aplicabilidad de los diferentes métodos para estimar evapotranspiración.

## 9. BIBLIOGRAFIA

1. AGUA. 1966. Su aprovechamiento en la agricultura. Traducido por J. Meza Nieto. México, Herrero, p 370-407.
2. AGUILERA CONTRERAS, M. 1979. Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera. Tesis Ing. Agr. México, Universidad de Chapingo, Facultad de Agronomía. 321 p.
3. ANDRINO ALVAREZ, F. 1985. Efecto en los rendimientos de tomate (Lycopersicum esculentum) de cinco frecuencias de riego y verificación de la adaptabilidad de fórmulas empíricas para estimación de evapotranspiración en el Oasis, la Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 69 p.
4. 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 de Guatemala, Facultad de Agronomía. 69 p.
5. BLACK, C.A. 1975. Relaciones suelo-planta. Traducido por Armando Buffeti y Susana Darre. Argentina, Hemisferio Sur. p 75-157.
6. DOOREMBOS, J.; PRUITT, W.O. 1975. Las necesidades de agua de los cultivos. FAO. Serie Riego y Drenaje, no. 33. 159 p.
7. DOOREMBOS, J.; KASSAN, A.H. 1979. Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos. FAO. Serie Riego y Drenaje, no. 33. 212 p.
8. GONZALEZ DEL VALLE, J. 1975. Evaluación de distancias de siembra en pepino (Cucumis sativus L.) para ensalada. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 51 p.
9. 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. Mérida, Venezuela, CIDIAT, Texto no. RD-8. 88 p.

10. GUATEMALA. DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS AGRICOLAS. 1970. Proyecto de riego la Fragua. Guatemala. s.p.
11. ----- . 1976. Proyecto integral de producción, comercialización e industrialización de hortalizas y frutas (melón y sandía) en el nor-orient de Guatemala; 5o. informe. Guatemala. 15 p.
12. ----- . 1985. Cultivo del pepino (Cucumis sativus L.). Guatemala. 12 p.
13. INFLUENCIA DE los factores del clima sobre las necesidades de agua de los cultivos. 1969. México, Secretaría de Recursos Hidráulicos, Dirección General de Distritos de Riego. Memorandum Técnico no. 267. 31 p.
14. INFLUENCIA DE los factores del suelo sobre las necesidades de agua de los cultivos. 1969. México, Secretaría de Recursos Hidráulicos, Dirección General de Distritos de Riego. Memorandum Técnico no. 266. 17 p.
15. ISRAELSEN, O.W.; HANSEN, V.E. 1979. Principios y aplicaciones de riego. Traducido por Alberto García Palacios. Barcelona, España, Reverté. 276 p.
16. KRAMER, J.P. 1974. Relaciones hídricas de suelos y plantas; una síntesis moderna. México, Edutex. 362 p.
17. MARTINEZ GOMEZ, C. 1977. Influencia de la lámina de agua aplicada y frecuencia de riego; sobre el rendimiento del cultivo del frijol en la Unidad de Riego San Jerónimo, Baja Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 66 p.
18. MELA MELA, P. 1963. Cultivos de regadío. Zaragoza, España, Agrociencia. v. 1, 350 p.
19. MENDEZ GUZMAN, L. 1984. Efecto de seis frecuencias riego en el rendimiento y evapotranspiración en melón (Cucumis melo L.) en el valle de la Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 92 p.

20. MORALES MILIAN, L. 1986. Efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración del pepino (Cucumis sativus L.) en la Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala; Facultad de Agronomía. 67 p.
21. PORRAS MIRON, M.R. 1977. Selectividad de insecticidas en la polinización del cultivo del pepino (Cucumis sativus L.). Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 30 p.
22. RELACIONES ENTRE suelo-planta-agua. 1972. Traducido por Emilio Avila de la Torre. México, Diana. 99 p.
23. REYES CASTAÑEDA, P. 1982. Diseño de experimentos aplicados. 2a. ed. México, Trillas. 344 p.
24. ROE, H.B. 1950. Moisture, requirements in agriculture, farm irrigation. Estados Unidos, Mac-Graw Hill. 179 p.
25. SANCHEZ CHAVEZ, J. 1984. Efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración en cebolla (Allium cepa L.) para la zona de Bárcenas Villa Nueva. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 66 p.
26. TELLO SAMAYOA, C.A. 1983. Efecto de cinco frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración del chile pimiento (Capsicum annum) en la unidad de riego el Rancho-Jícaro. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 70 p.
27. THORNE, D.W.; PETERSON, H.B. 1954. Irrigated soils; their fertility and management. Estados Unidos, The Blakiston Company. p 28-55.
28. WHITHERS, D.W.; VIPOND, S. 1979. El riego, diseño y práctica. Traducido por Agustín Contin. México, Diana. 150 p.



10. A P E N D I C E

CUADRO 6. RESULTADOS ORGANIZADOS DE RENDIMIENTO DE FRUTOS COMERCIALES EN TONELADAS METRICAS POR HECTAREA

TRATA- MIENTOS	REPETICIONES				TOTAL	PROMEDIO
	I	II	III	IV		
F-8	20.78	12.51	15.01	18.68	67.00	16.75
F-12	12.16	10.85	11.69	11.21	45.91	11.48
F-16	10.97	11.10	9.30	13.43	44.81	11.20
F-20	8.10	10.90	7.99	9.54	36.53	9.13
F-24	8.57	10.08	11.90	13.41	43.96	10.99
F-28	5.74	6.77	5.60	11.48	29.60	7.40
TOTAL	66.33	62.21	61.49	77.75	267.81	

CUADRO 7. ANALISIS DE VARIANZA PARA EL RENDIMIENTO DE FRUTAS COMERCIALES EN TONELADAS METRICAS POR HECTAREA

F.V.	G. L.	S. C.	C. M.	Fc	Ft 5%
Tratamientos	5	198.576600	39.715330	9.237	2.90 +
Bloques	3	28.182270	9.394091	2.185	3.20 NS
Error	15	64.494590	4.299640		
Total	23	291.253500			

Coefficiente de variación 18.58%

CUADRO 8 RESULTADOS ORGANIZADOS DE NUMERO DE PLANTAS VIVAS AL FINAL DEL CICLO DE CULTIVO POR PARCELA

TRATA- MIENTOS	REPETICIONES				TOTAL	PROMEDIO
	I	II	III	I.V		
F-8	12.33	12.12	12.57	11.45	48.47	12.12
F-12	12.57	12.12	12.69	12.69	50.07	12.52
F-16	12.69	12.69	12.37	12.69	50.44	12.61
F-20	12.21	12.12	12.69	11.49	48.51	12.13
F-24	12.29	12.49	11.87	12.41	49.06	12.27
F-28	12.69	12.49	12.45	12.69	50.32	12.58
TOTAL	74.78	74.03	74.64	73.42	296.87	

NOTA: A los resultados originales de número de plantas vivas al final del ciclo de cultivo por parcela, se les sacó raíz cuadrada para convertirlos de variables discretas a continuas.

CUADRO 9 ANALISIS DE VARIANZA PARA EL NUMERO DE PLANTAS VIVAS AL FINAL DEL CICLO DEL CULTIVO POR PARCELA

F.V.	G.L.	S. C.	C. M.	Fc	Ft 5%
Tratamientos	5	1.027344	0.205	1.706	2.90 NS
Bloques	3	0.193359	0.064	0.535	3.29 NS
Error	15	1.806397	0.120		
TOTAL	23	3.027100			

Coefficiente de variación 2.8055%

CUADRO 10. CONTROL DE HUMEDAD ANTES Y DESPUES DEL RIEGO Y CALCULO DE LA LAMINA CONSUMIDA PARA TODOS LOS TRATAMIENTOS DURANTE LOS RIEGOS GENERALES

ESTRATO	PORCENTAJE DE HUMEDAD				CONSUMO	* AJUSTE	LAMINA TOTAL
	DR		AR				
	FECHA	%	FECHA	%			
0-30	12-12-86	25.91	17-12-86	24.66	0.41	0.34	0.91
30-60		23.53		23.10			
0-30	20-12-86	26.58	25-12-86	24.27	0.76	0.74	1.98
30-60		23.83		22.51			

Lámina total en  
riegos generales

2.89

\* Ajuste proporcional que corresponde a tres días en los cuales no se conoce el consumo. Este período es el comprendido entre muestreos antes y después de riegos.

CUADRO 11. CONTROL DE HUMEDAD ANTES Y DESPUES DEL RIEGO Y CALCULO DE LA LAMINA CONSUMIDA PARA EL TRATAMIENTO F-8

ESTRATO CMS	PORCENTAJE DE HUMEDAD				CONSUMO	AJUSTE	LAMINA TOTAL
	DR		AR				
	FECHA	%	FECHA	%			
0-30	28-12-86	26.23	2-1-87	24.3	0.63	0.62	1.66
30-60		23.83		22.69	0.41		
0-30	5-1-87	26.56	10-1-87	24.07	0.81	0.83	2.22
30-60		24.89		23.27	0.58		
0-30	13-1-87	26.66	18-1-87	24.03	0.86	0.97	2.58
30-60		25.11		23.03	0.75		
0-30	21-1-87	26.78	26-1-87	23.85	0.96	1.09	2.91
30-60		24.81		22.41	0.86		
0-30	29-1-87	26.69	3-2-87	23.53	1.03	0.94	2.51
30-60		24.74		23.24	0.54		
0-30	6-2-87	26.57	11-2-87	23.91	0.87	1.26	3.36
30-60		23.83		20.4	1.23		
0-30	14-2-87	26.65	19-2-87	22.31	1.42	1.45	3.87
30-60		24.47		21.69	1.0		
0-30	22-2-87	26.65	27-2-87	21.91	1.55	1.33	3.55
30-60		24.79		22.93	0.67		
0-30	2-3-87	26.65	9-3-87	19.64	2.29	1.58	5.26
30-60		25.67		21.8	1.39		

Lámina parcial 27.92

Riegos generales 2.89

LAMINA TOTAL 30.81

CUADRO 12 CONTROL DE HUMEDAD ANTES Y DESPUES DEL RIEGO Y CALCULO DE LA LAMINA CONSUMIDA PARA EL TRATAMIENTO F-12

ESTRATO CMS	PORCENTAJE DE HUMEDAD				CONSUMO	AJUSTE	LAMINA TOTAL
	DR		AR				
	FECHA	%	FECHA	%			
0-30	28-12-86	16.23	6-1-87	22.37	1.26	0.7	2.81
30-60		23.83		21.48	0.85		
0-30	9-1-87	26.26	18-1-87	22.12	1.35	0.7	2.79
30-60		24.89		22.83	0.74		
0-30	21-1-87	25.61	30-1-87	20.46	1.68	1.07	4.29
30-60		24.71		20.43	1.54		
0-30	2-2-87	25.6	11-2-87	21.04	1.49	0.95	3.81
30-60		24.62		20.82	1.37		
0-30	14-2-87	26.65	23-2-87	18.44	2.68	1.4	5.6
30-60		24.47		20.15	1.52		
0-30	26-2-87	26.65	9-3-87	19.52	2.33	1.15	5.36
30-60		25.05		19.82	1.88		

LAMINA PARCIAL 24.66

RIEGOS GENERALES 2.89

LAMINA TOTAL 27.55

CUADRO 13 CONTROL DE HUMEDAD ANTES Y DESPUES DEL RIEGO Y CALCULO DE LA LAMINA CONSUMIDA PARA EL TRATAMIENTO F-16

ESTRA-	PORCENTAJE DE HUMEDAD				CON-SUMO	AJUSTE	LAMINA
	DR		AR				
	FECHA	%	FECHA	%			
0-30	28-12-86	26.23	10-1-87	21.33	1.6	0.64	3.41
30-60		23.83		20.58	1.17		
0-30	13-1-87	24.88	26-1-87	20.88	1.31	0.63	3.36
30-60		24.72		20.78	1.42		
0-30	29-1-87	15.19	11-2-87	19.4	1.89	0.69	3.70
30-60		24.8		21.69	1.12		
0-30	14-2-87	26.65	27-2-87	17.29	3.06	1.08	5.77
30-60		24.47		19.95	1.63		
0-30	2-3-87	21.69	9-3-87	16.23	1.78	1.88	6.26
30-60		24.66		17.42	2.60		

LAMINA PARCIAL 22.50

RIEGOS GENERALES 2.89

LAMINA TOTAL 25.39

CUADRO 14 CONTROL DE HUMEDAD ANTES Y DESPUES DEL RIEGO Y CALCULO DE LA LAMINA CONSUMIDA PARA EL TRATAMIENTO F-20

ESTRATO CMS	PORCENTAJE DE HUMEDAD				CONSUMO	AJUSTE	LAMINA TOTAL
	DR		AR				
	FECHA	%	FECHA	%			
0-30	28-12-86	26.23	14-1-87	21.9	1.42	0.38	2.52
30-60		23.83		21.84	0.72		
0-30	17-1-87	26.04	3-2-87	21.08	1.62	0.53	3.53
30-60		24.73		20.9	1.38		
0-30	6-2-87	15.01	23-2-87	16.74	2.7	0.76	5.06
30-60		24.08		20.36	1.6		
0-30	26-2-87	22.07	9-3-87	17.3	1.56	0.84	3.91
30-60		23.3		19.12	1.51		

LAMINA PARCIAL 15.02

RIEGOS GENERALES 2.89

LAMINA TOTAL 17.91

CUADRO 15 CONTROL DE HUMEDAD ANTES Y DESPUES DE RIEGO  
Y CALCULO DE LA LAMINA CONSUMIDA PARA EL  
TRATAMIENTO F-24

ESTRA- TO CMS	PORCENTAJE DE HUMEDAD				CON- SUMO	AJUSTE	LAMINA TOTAL
	DR		AR				
	FECHA	%	FECHA	%			
0-30	28-12-86	26.23	18-1-87	22.67	1.16	0.78	2.22
30-60		23.83		21.67	0.78		
0-30	21-1-87	25.51	30-1-87	22.85	0.87	0.57	2.28
30-60		24.78		22.45	0.84		
0-30	30-1-87	22.85	11-2-87	17.87	1.63		
30-60		22.45		21.28	0.42		
0-30	14-2-87	26.65	4-3-87	11.92	2.85	0.56	3.93
30-60		24.47		23.04	0.52		
0-30	4-3-87	17.92	9-3-87	15.09	0.93		1.42
30-60		23.04		21.68	0.42		

LAMINA PARCIAL 11.9

RIEGOS GENERALES 2.89

LAMINA TOTAL 14.79

CUADRO 16 CONTROL DE HUMEDAD ANTES Y DESPUES DE RIEGO Y CALCULO DE LA LAMINA CONSUMIDA PARA EL TRATAMIENTO F-28

ESTRATO TO CMS	PORCENTAJE DE HUMEDAD				CONSUMO	AJUSTE	LAMINA TOTAL
	DR		AR				
	FECHA	%	FECHA	%			
0-30	28-12-86	26.23	22-1-87	20.77	1.79	0.44	4.09
30-60		23.83		18.67			
0-30	25-1-87	24.85	6-2-87	21.46	1.11	0.76	3.81
30-60		25.3		19.92			
0-30	6-2-87	21.46	19-2-87	18.09	1.10		1.64
30-60		19.92		18.41			
0-30	22-2-87	21.71	9-3-87	17.27	1.45	0.60	3.61
30-60		21.56		17.23			

LAMINA PARCIAL 13.15  
RIEGOS GENERALES 2.89  
LAMINA TOTAL 16.04

CUADRO 17. CALCULO DE EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL Y TOTAL  
POR LA FORMULA DE BLANEY-CRIDDLE

	1 FRACCION SEMAMANAL	TEMP ° C	2 P %	$\frac{T + 17.8}{21.8}$	f 1x2x3	Kt	Kc	Et fxKtxKc	Et <sup>1</sup> cms.	
10 Dic. - 16 Dic.	1	21.0	1.80	1.78	3.20	0.89	0.47	1.34	1.29	
17 Dic. - 23 Dic.	1	19.9	1.80	1.73	3.11	0.86	0.51	1.36	1.31	
24 Dic. - 30 Dic.	1	22.4	1.80	1.84	3.31	0.94	0.55	1.71	1.65	
31 Dic. - 6 Ene.	1	18.7	1.71	1.67	2.86	0.82	0.62	1.45	1.40	
7 Ene. - 13 Ene.	1	19.1	1.70	1.69	2.87	0.83	0.70	1.67	1.61	
14 Ene. - 20 Ene.	1	21.6	1.70	1.81	3.08	0.91	0.78	2.19	2.12	
21 Ene. - 27 Ene.	1	20.7	1.70	1.77	3.01	0.88	0.81	2.15	2.08	
28 Ene. - 3 Feb.	1	20.7	1.76	1.77	3.12	0.88	0.81	2.22	2.15	
4 Feb. - 10 Feb.	1	20.7	1.84	1.77	3.26	0.88	0.79	2.27	2.20	
11 Feb. - 17 Feb.	1	22.4	1.84	1.84	3.39	0.94	0.75	2.39	2.31	
18 Feb. - 24 Feb.	1	24.3	1.84	1.93	3.55	1.00	0.72	2.56	2.48	
25 Feb. - 3 Mar.	1	24.9	1.87	1.96	3.67	1.02	0.70	2.62	2.54	
4 Mar. - 9 Mar.	0.86	22.5	1.63	1.85	2.59	0.94	0.66	1.61	1.56	
F =								41.02	25.54	24.7

$$Et^1 = K_g \times F$$

$$41.02 = 24.61 \text{ cms}$$

$$Kt = (0.031144 \times t) + 0.2396$$

Factor de ajuste:

$$K^1 = \frac{Et}{F} = \frac{25.54}{41.02} = 0.62$$

$$FA. = \frac{K_g}{K^1} = 0.96$$

$$Et^1 = Et \times 0.96$$

CUADRO 18. EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL Y TOTAL EN CMS. DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS Y BLANEY-CRIDDLE MODIFICADO POR PHELAN

SEMANA		TRATAMIENTOS							BLANEY-CRIDDLE
FECHA	No.	F-8	F-12	F-16	F-20	F-24	F-18	MOD. POR PHELAN	
10-12/ 16-12-86	1	0.80	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.29	
17-12/ 23-12-86	2	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.31	
24-12/ 30-12-86	3	1.53	1.66	1.56	1.13	0.95	1.23	1.65	
31-12-86/ 6-1-87	4	1.72	1.64	1.49	0.88	0.65	1.02	1.40	
7- 1/ 13- 1-87	5	2.08	1.63	1.37	0.88	0.65	1.02	1.61	
14- 1/ 20- 1-87	6	2.34	1.88	1.47	1.18	0.84	1.02	2.12	
21- 1/ 27- 1-87	7	2.50	2.50	1.59	1.24	1.33	1.56	2.08	
28- 1/ 3- 2-87	8	2.2	2.35	1.62	1.16	1.27	1.98	2.15	
4- 2/ 10- 2-87	9	2.93	2.22	1.62	1.60	1.20	1.27	2.20	
11- 2/ 17- 2-87	10	3.32	3.12	2.40	1.77	1.32	0.88	2.31	
18- 2/ 24- 2-87	11	3.19	3.18	2.52	1.77	1.38	1.16	2.48	
25- 2/ 3- 3-87	12	3.44	2.68	3.59	2.10	1.38	1.40	2.54	
4- 3/ 9- 3-87	13	3.16	2.30	3.76	1.80	1.42	1.10	1.56	
TOTAL		30.81	27.56	25.39	17.91	14.79	16.04	24.7	

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y PROYECCIONES DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

CUADRO 19 VALORES DE PENDIENTE, INTERCEPTO, PRUEBAS DE HIPOTESIS Y COEFICIENTES DE DETERMINACION  $R^2$  DE LA EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL DE LOS TRATAMIENTOS Vrs. FORMULA DE BLANEY-CRIDDLE MODIFICADA POR PHELAN

TRATAMIENTO	$r_c^2$	PENDIENTE $b_1$	$t_c$ $b_1$	INTERCEPTO	$t_c$ $b_0$
F-8	0.62 ++	1.45	3.84	-0.38	-0.01
F-12	0.69 ++	1.26	1.75	-0.27	-1.48
F-16	0.17 NS	----	----	-----	-----
F-20	0.38 NS	----	----	-----	-----
F-24	0.13 NS	----	----	-----	-----
F-28	0.04 NS	----	-----	-----	-----

$$t_t (11, 0.05) = 2.201$$

$$r_t^2 (11, 0.01) = 0.47$$

++ Si existe correlación lineal

CUADRO 20 RELACION ENTRE EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL DE LOS TRATAMIENTOS Y LA EVAPORACION SEMANAL DEL TANQUE TIPO "A"

SEMANA	EVAPO- RACION cms/sem	TRATAMIENTOS					
		F-8 Et/Ev	F-12 Et/Ev	F-16 Et/Ev	F-20 Et/Ev	F-24 Et/Ev	F-28 Et/Ev
10-12 al 16-12-86	2.8	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
17-12 al 23-12-86	2.6	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
24-12 al 30-12-86	2.66	0.58	0.62	0.59	0.42	0.36	0.46
31-12-86 al 6-1-87	2.64	0.65	0.62	0.56	0.33	0.25	0.39
7-1 al 13-1-87	2.84	0.73	0.57	0.48	0.31	0.23	0.36
14-1 al 20-1-87	2.78	0.84	0.68	0.53	0.42	0.30	0.37
21-1 al 27-1-87	3.03	0.83	0.83	0.52	0.41	0.44	0.51
28-1 al 3-2-87	3.11	0.71	0.75	0.52	0.40	0.41	0.57
4-2 al 10-2-87	3.16	0.93	0.70	0.51	0.51	0.38	0.40
11-2 al 17-2-87	3.42	0.97	0.91	0.70	0.52	0.39	0.26
18-2 al 24-2-87	3.69	0.93	0.73	0.97	0.57	0.37	0.38
4-3 al 9-3-87	3.40	0.93	0.68	1.11	0.53	0.42	0.35

FIGURA 1.

# PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE TRATAMIENTO F-8

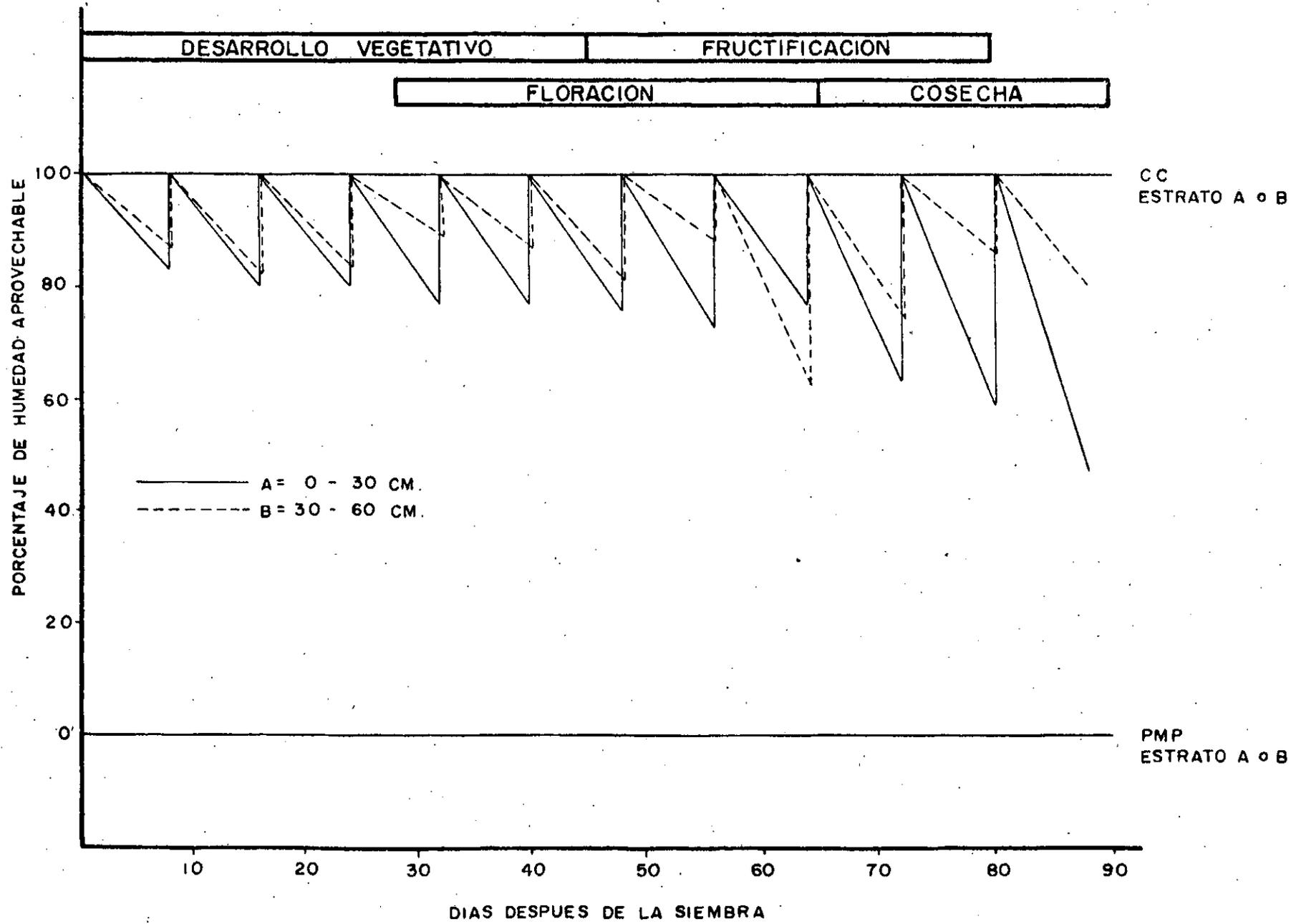


FIGURA 2. PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE  
TRATAMIENTO F-12

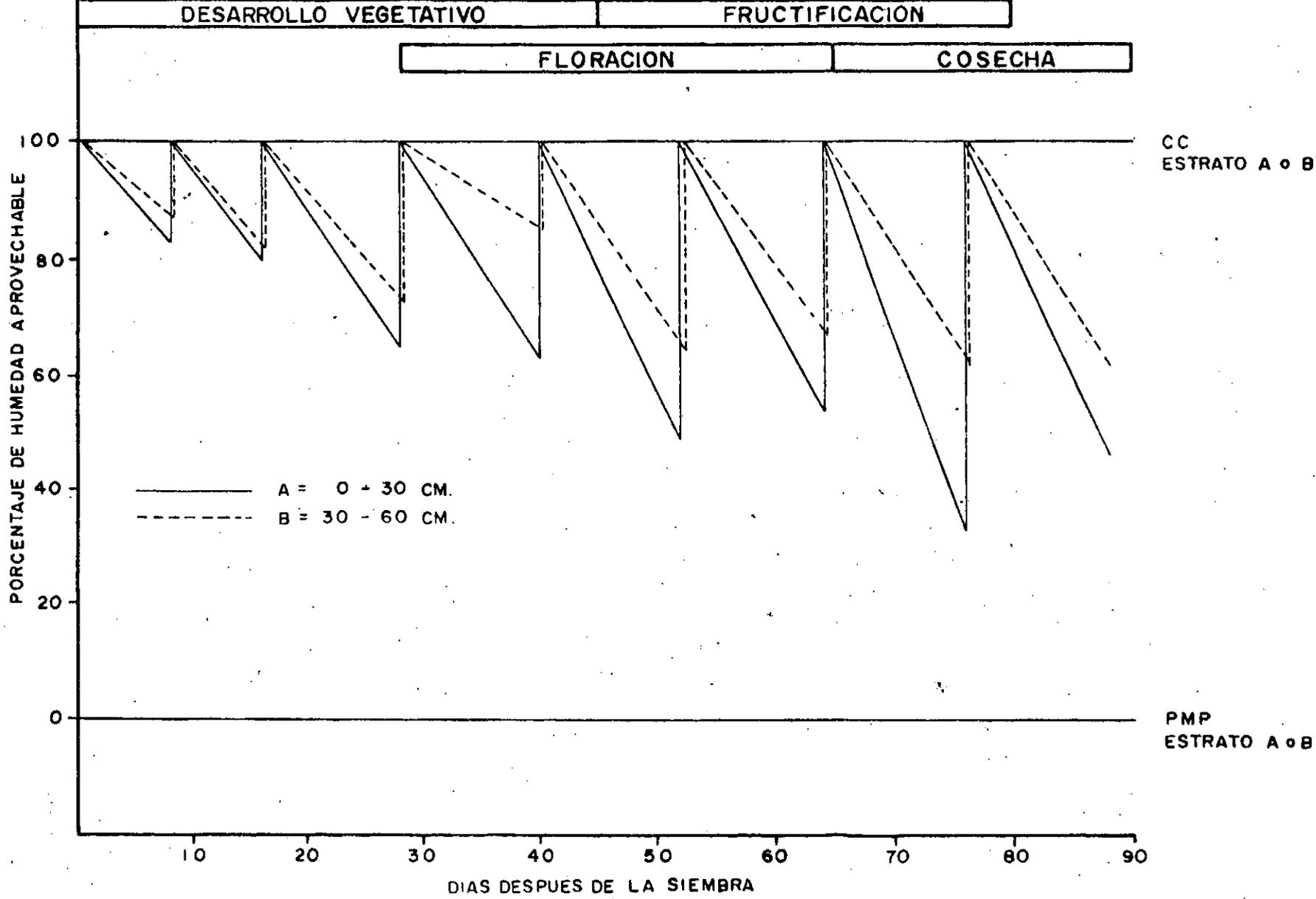
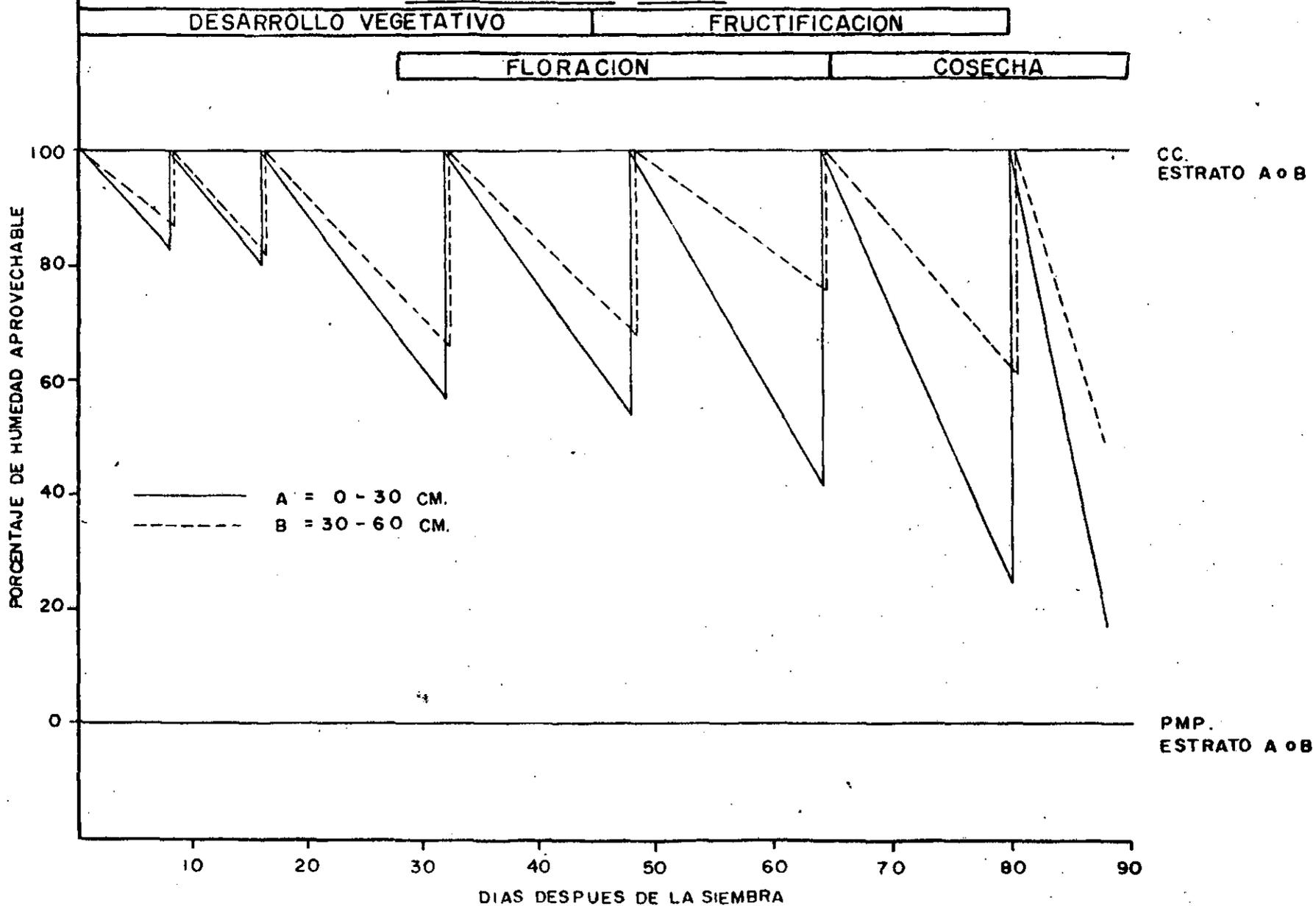


FIGURA 3. PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE  
TRATAMIENTO F-16



ESTACION DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS DEL INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

FIGURA 4.

# PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE TRATAMIENTO F-20

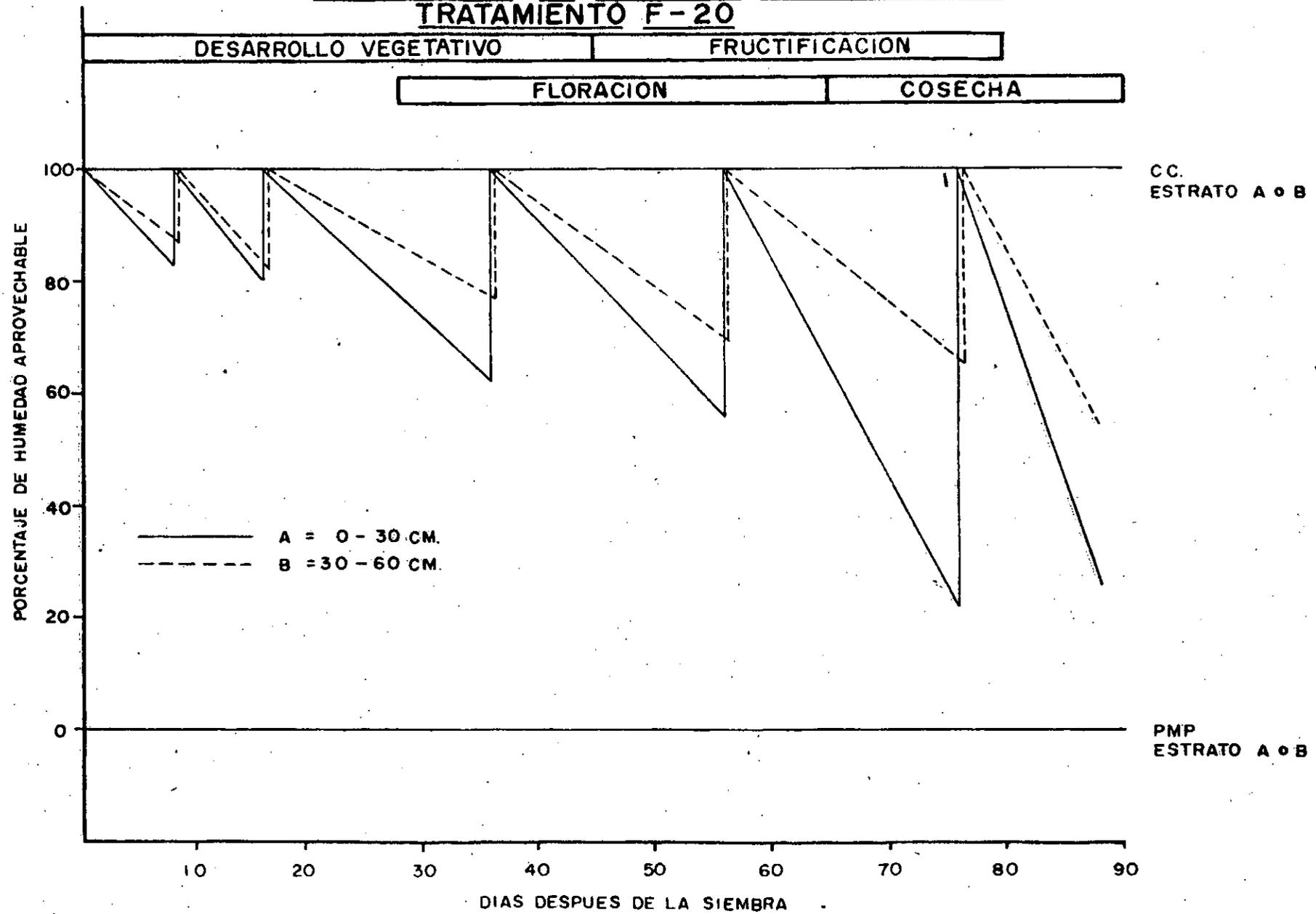


FIGURA 5.

# PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE TRATAMIENTO F-24

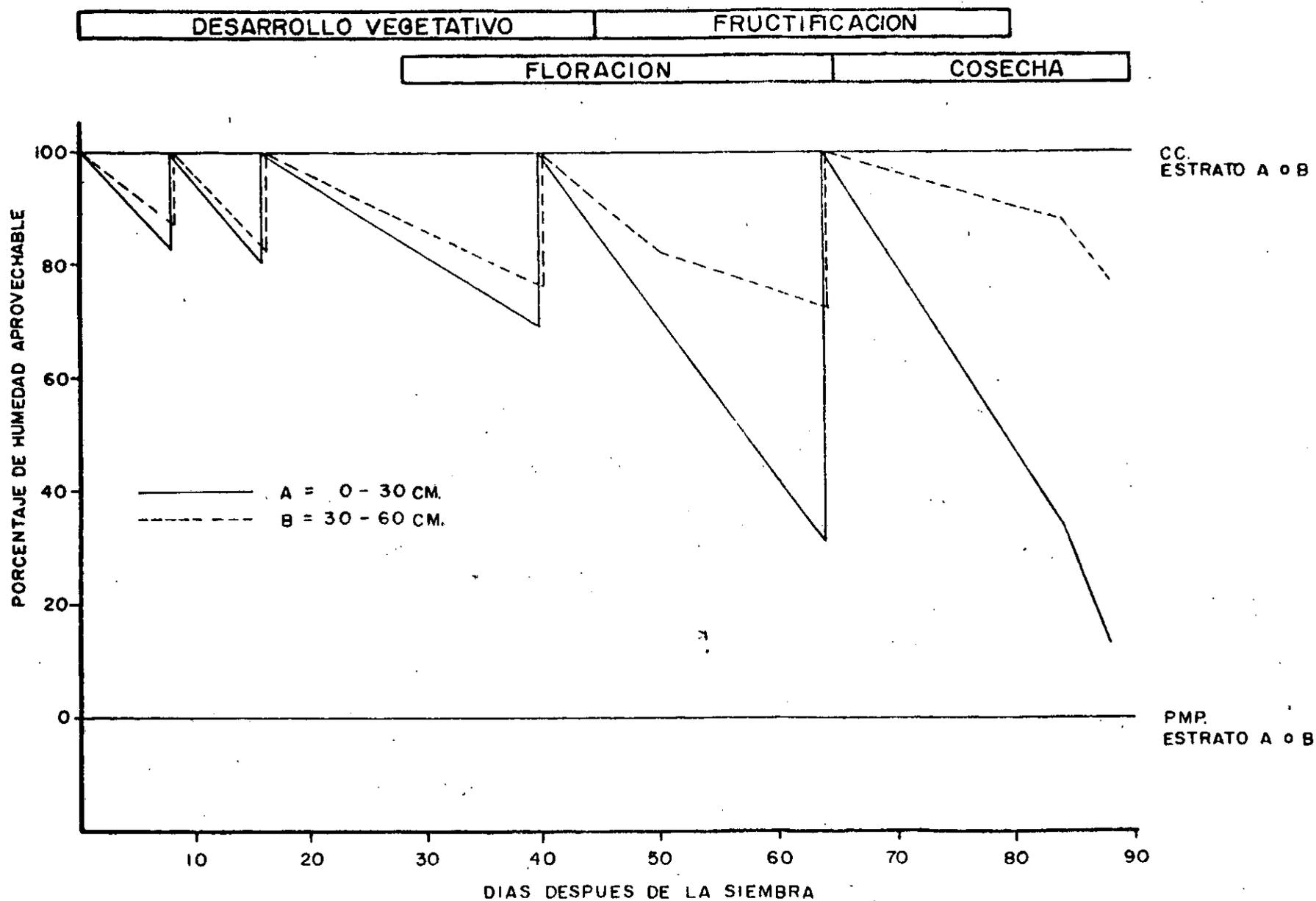
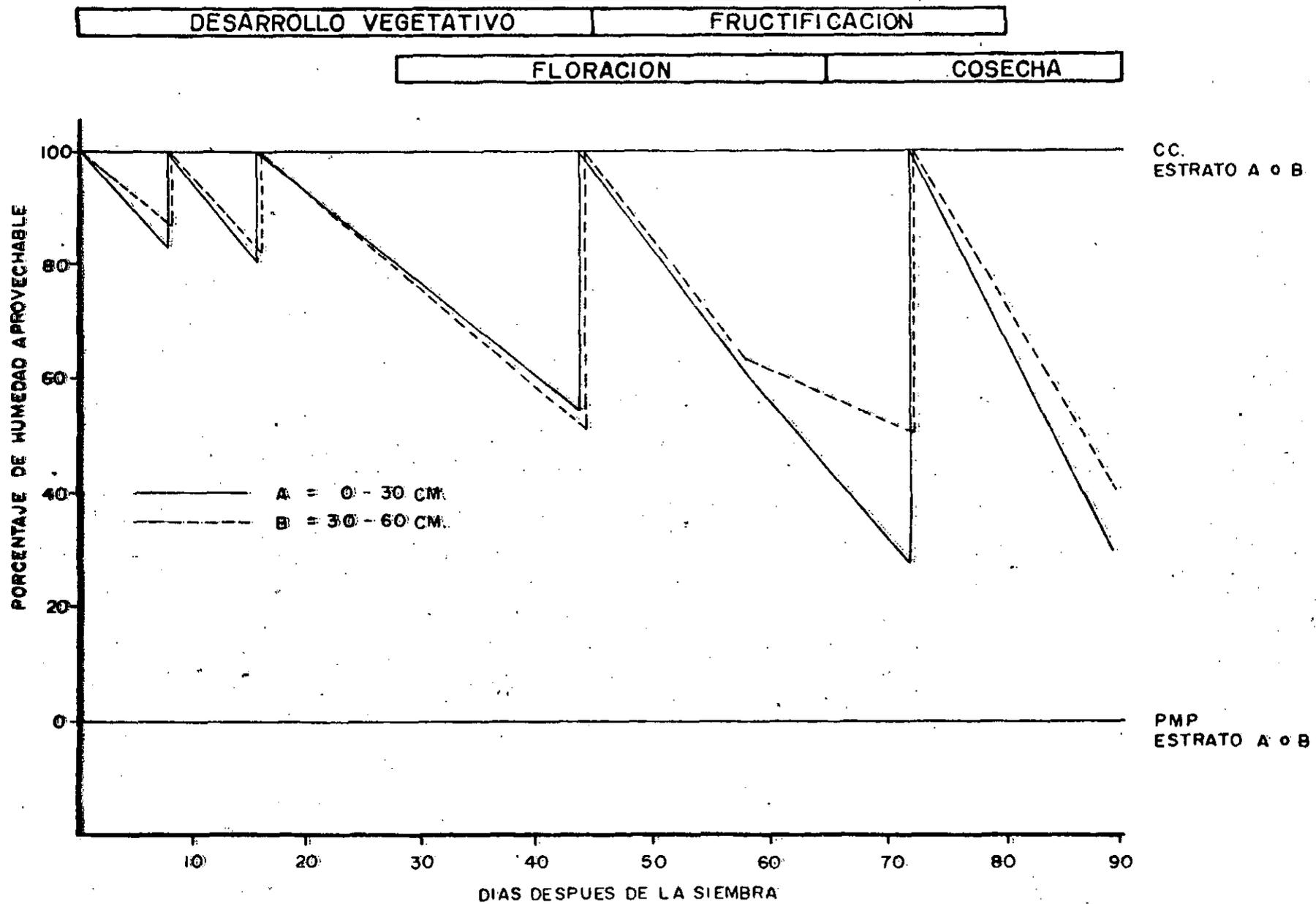


FIGURA 6. PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE  
TRATAMIENTO F-28



71

FIGURA 7.  
EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL DE LA FORMULA VRS.  
EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL DEL TRATAMIENTO F-8

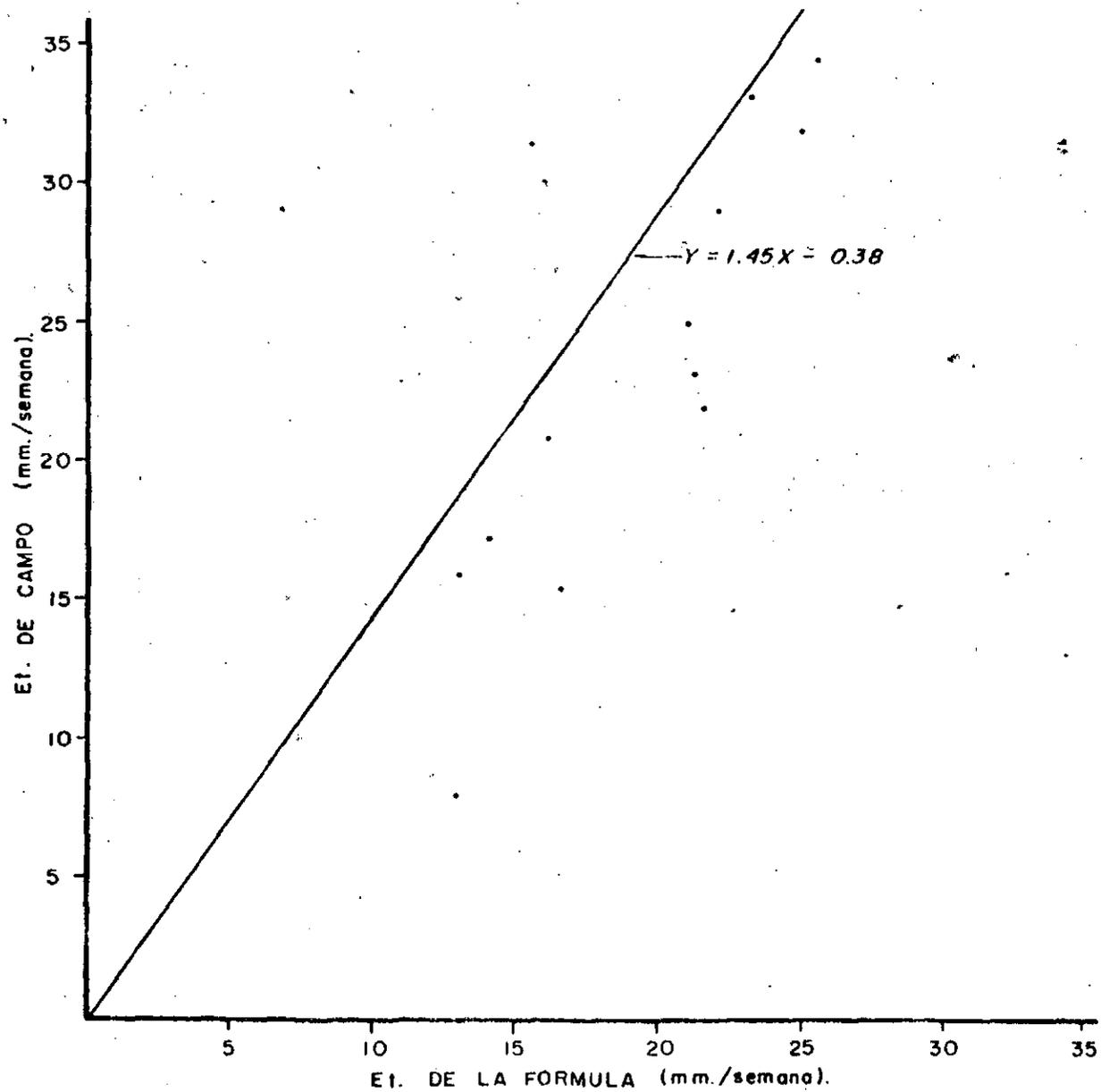


FIGURA 8.  
EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL DE LA FORMULA VRS.  
EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL DEL TRATAMIENTO F-12

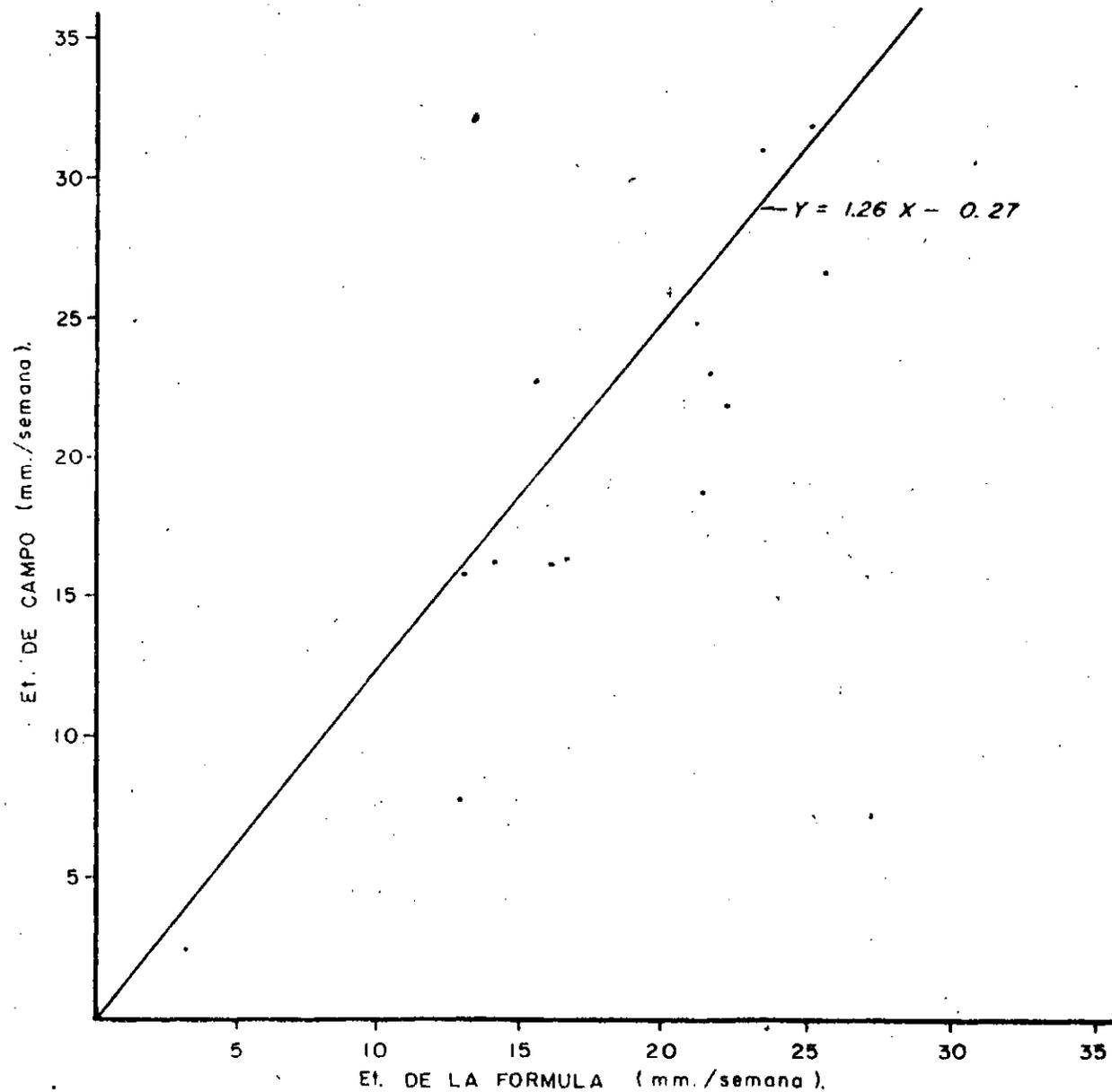


FIGURA 9.

**EVAPOTRANSPIRACION ACUMULADA DE LOS 6 TRATAMIENTOS Y LA FORMULA DE BLANEY-CRIDDLE MODIFICADO POR PHELAN.**

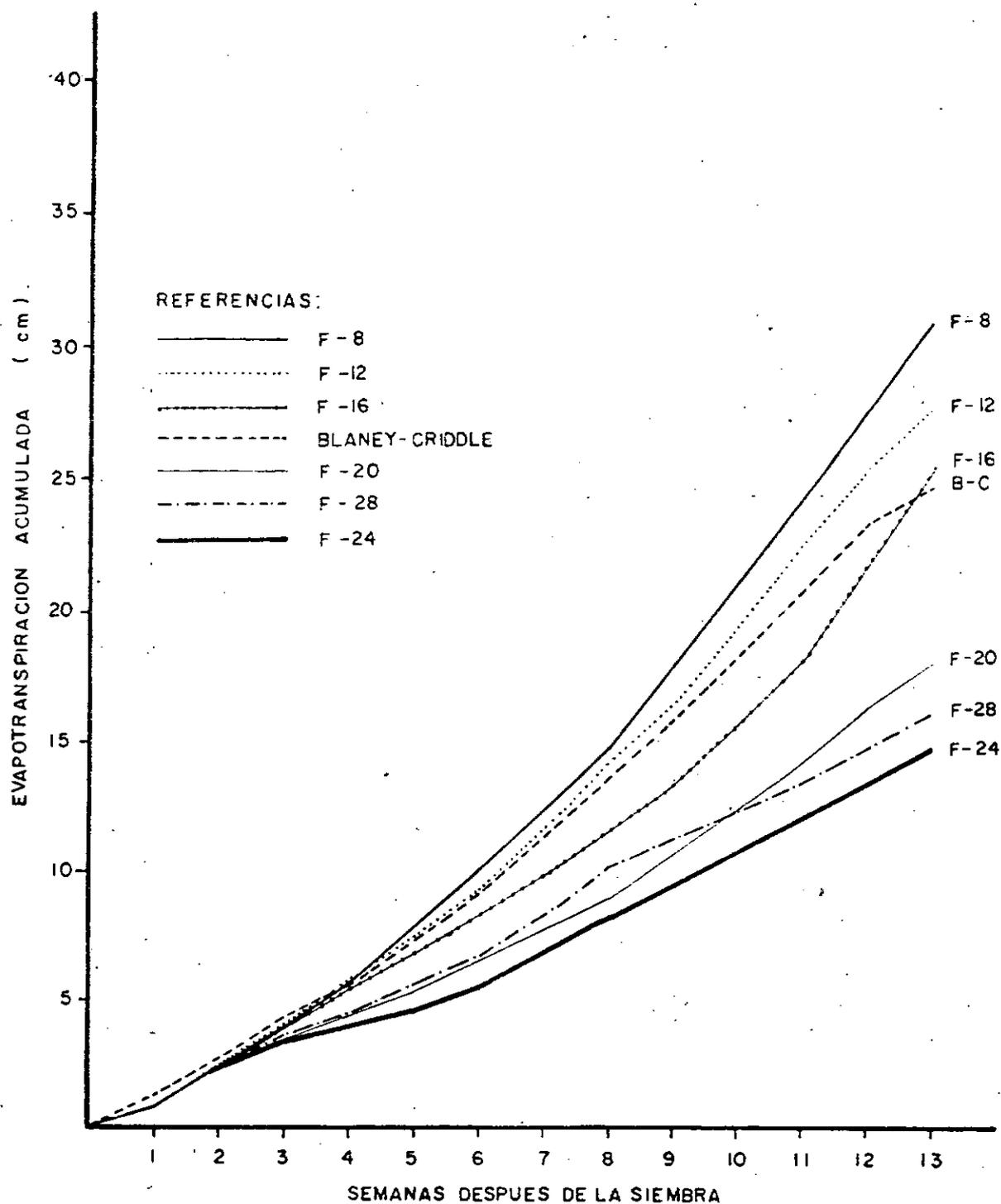
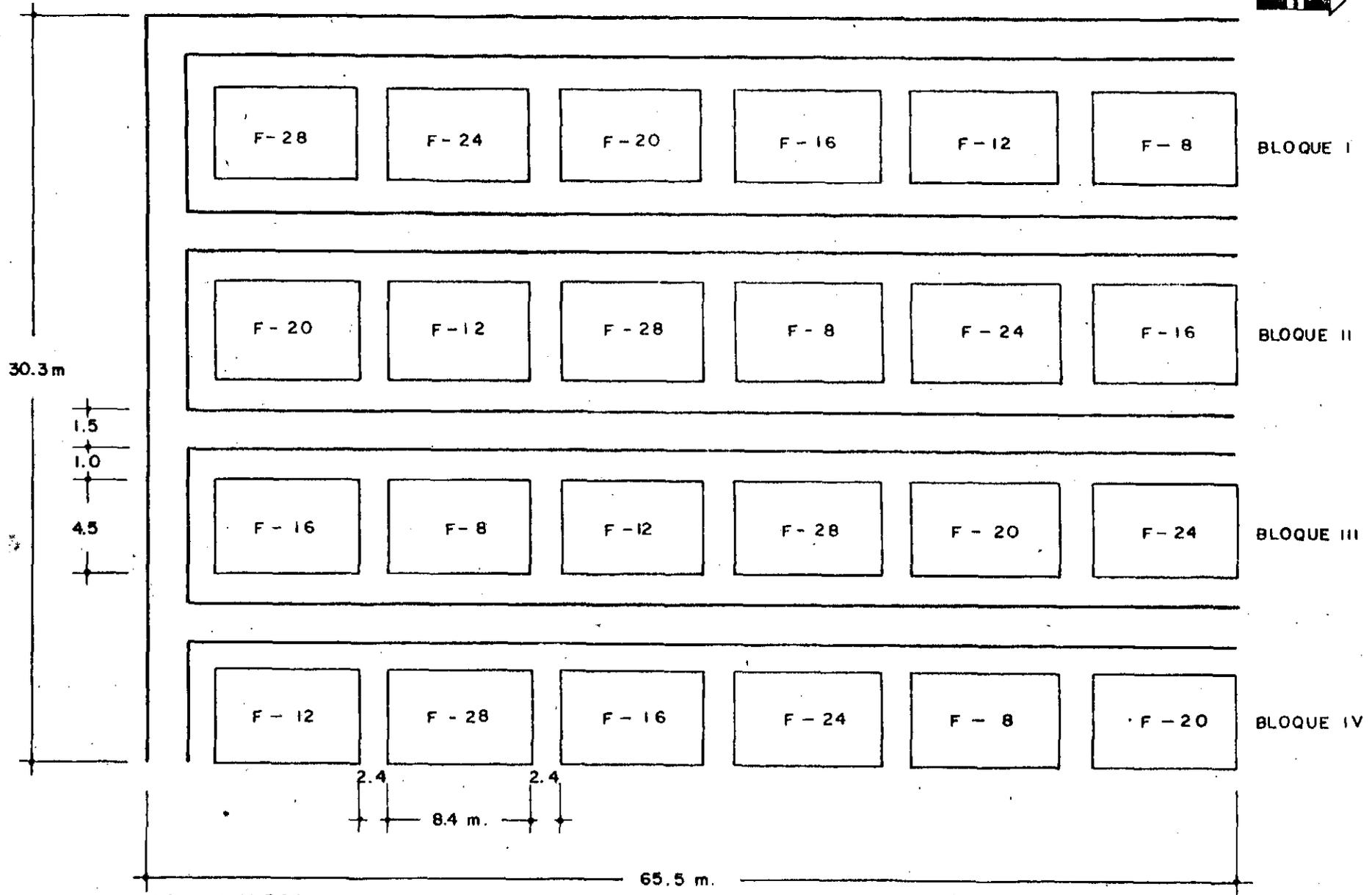


FIGURA 10.

# PLANO GENERAL DEL EXPERIMENTO



ESCALA 1:300

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia
Asunto

"IMPRIMASE"



ING. AGR. CESAR A. CASTANEDA S.  
D E C A N O