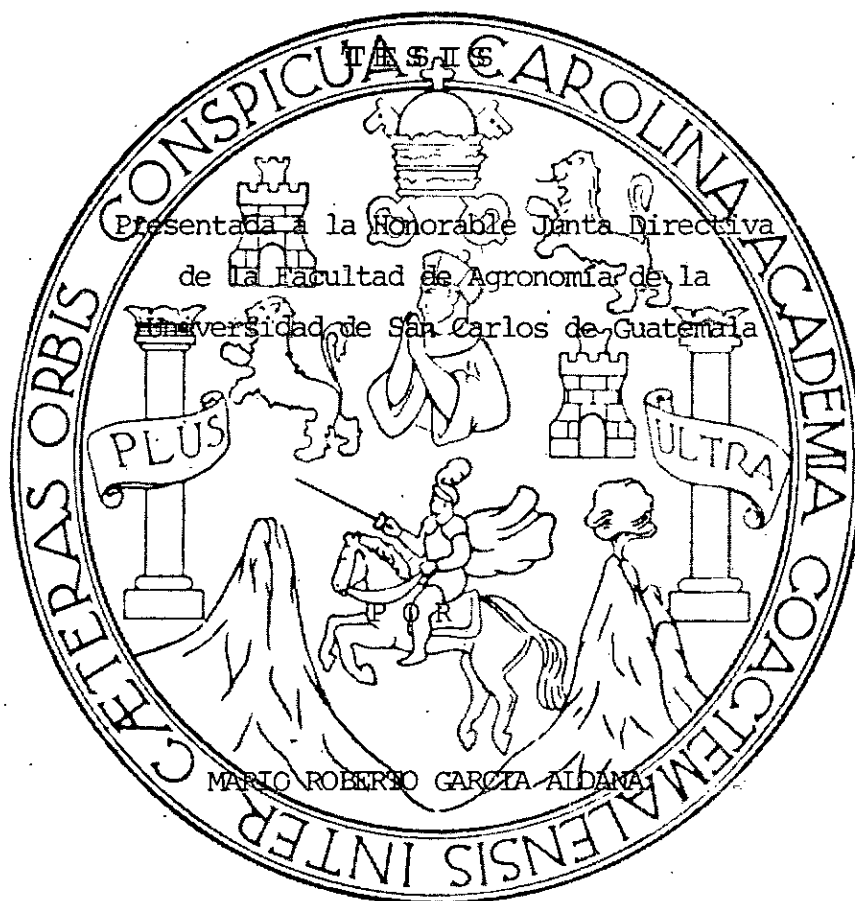


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

"EFECTO DE SEIS FRECUENCIAS DE RIEGO EN EL RENDIMIENTO Y LA
EVAPOTRANSPIRACION DEL MAIZ (Zea mays L.)
EN EL VALLE DE LA FRAGUA, ZACAPA



En el Acto de su Investidura como
INGENIERO AGRONOMO
En el Grado Académico de:
LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala, 1987

DL
01
T(990)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR

LIC. RODERICO SEGURA TRUJILLO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. César Castañeda S.
VOCAL I:	Ing. Agr. Gustavo Méndez
VOCAL II:	Ing. Agr. Jorge Sandoval
VOCAL III:	Ing. Agr. Mario Melgar
VOCAL IV:	Br. Luis Molina
VOCAL V:	T.U. Carlos E. Méndez
SECRETARIO:	Ing. Agr. Luis Alberto Castañeda

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Agr. César Castañeda S.
EXAMINADOR:	Ing. Agr. Guillermo Méndez
EXAMINADOR:	Ing. Agr. Jorge Sandoval
EXAMINADOR:	Ing. Agr. Amilcar Gutiérrez
SECRETARIO:	Ing. Agr. Rodolfo Albizúrez P.

Guatemala,
Abril de 1987

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

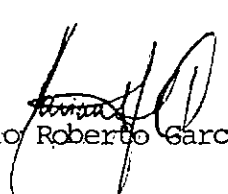
Señores Miembros:

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

"EFECTO DE SEIS FRECUENCIAS DE RIEGO EN EL RENDIMIEN-
TO Y LA EVAPOTRANSPIRACION DEL MAIZ (Zea mays L.) EN
EL VALLE DE LA FRAGUA, ZACAPA"

A efecto de cumplir con el requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Atentamente,


Mario Roberto García Aldana

/mdg.



Referencia	IA-073-87
Asunto	

FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

6 de abril de 1987

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

Señor Decano:

Por la presente me permito manifestarle que he asesorado y revisado el trabajo de tesis titulado "EFECTO DE SEIS FRECUENCIAS DE RIEGO EN EL RENDIMIENTO Y EVAPOTRANSPIRACION DEL MAIZ (Zea mays L.) EN EL VALLE DE LA FRAGUA, ZACAPA", desarrollado por el estudiante MARIO ROBERTO GARCIA ALDANA.

Considero que dicho trabajo de investigación cumple con los requisitos para ser presentado como tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo y constituye además, un valioso aporte al desarrollo de la Agricultura bajo riego, en Guatemala.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Agr. M.S. Jorge Sandoval I.
A S E S O R

JSI/eqded.

ACTO QUE DEDICO

A DIOS	Como el Ser Supremo que ilumina mi camino
A MIS PADRES	Ing. Agr. Waldemar García Osegueda Aura Marina Aldana de García
A MI ESPOSA	Mayra Soto Hernández de García
A MIS HERMANOS	Jorge, Julio, Patricia y Luis
A MIS SOBRINOS	María Jiménez, Edna Patricia, Diego Alejandro, Luisa María y Julio Gustavo
A LA FAMILIA AGUILAR	RODRIGUEZ
A TODA MI FAMILIA EN GENERAL	

AGRADECIMIENTO

Especialmente:

- A Mis padres, como un reconocimiento de sus esfuerzos y de la oportunidad brindada para alcanzar el presente objetivo.
- A Mi señora esposa, por su constante apoyo y dedicación en la realización del presente trabajo.
- AL Ing. Agr. M.Sc. Jorge Sandoval, por su valiosa asesoría y colaboración para la realización del presente trabajo.
- AL Personal de campo, técnico y administrativo del Centro de Producción Agrícola "El Oasis" del ICTA, Zacapa.
- A Todas aquellas personas, que de una u otra manera colaboraron a la realización del presente trabajo.

El presente trabajo de tesis forma parte del programa de Frecuencias de Riego del Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA) de la Facultad de Agronomía - de la Universidad de San Carlos de Guatemala, y fue desarrollado mediante el convenio existente entre la Facultad de Agronomía y el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA).

INDICE GENERAL

	Página
INDICE DE CUADROS	i
INDICE DE CUADROS DEL APENDICE	ii
INDICE DE FIGURAS DEL APENDICE	iv
RESUMEN	v
1. INTRODUCCION	1
2. HIPOTESIS	2
3. OBJETIVOS	3
4. REVISION DE LITERATURA	4
4.1 Efecto de la humedad en el cultivo del maíz	4
4.2 Estudios sobre frecuencias de riego y consumo de humedad en el maíz	4
4.2.1 Frecuencias	4
4.2.2 Láminas de evapotranspiración	5
4.2.3 Agotamiento de la humedad aprovechable	5
4.3 Absorción de agua y profundidad radicular en el maíz	6
4.4 Constantes de humedad del suelo	7
4.4.1 Capacidad de campo	7
4.4.2 Punto de marchitez permanente	8
4.4.3 Método del plástico para determinar densidad aparente	8
4.5 Evapotranspiración	9
4.5.1 Método de parcelas experimentales	9
4.5.2 Método de Blaney-Criddle modificado por Phelan	10
4.5.3 Método de Hargreaves	11
4.5.4 Método de evaporación del tanque tipo "A"	13
4.6 Trabajos realizados sobre evapotranspiración en Guatemala	14
5. METODOLOGIA	15
5.1 Ubicación y descripción del área experimental	15
5.2 Análisis y determinaciones previas	15
5.3 Aspectos agronómicos	16
5.4 Manejo del experimento	17
5.4.1 Trazo del experimento	17
5.4.2 Método de riego	17
5.4.3 Cálculo de lámina de agua a reponer	17

	Página
5.4.4 Cálculo de la lámina de agua consumida	18
5.4.5 Riegos generales	18
5.4.6 Método y momento de muestreo	18
5.4.7 Diseño estadístico	19
5.4.8 Parcela experimental	19
5.4.9 Variables respuesta	20
5.4.10 Métodos del análisis estadístico de los resultados	20
6. RESULTADOS Y DISCUSION	21
6.1 Variables respuesta	21
6.1.1 Rendimiento en grano	21
6.1.2 Número de plantas vivas al final del ciclo	22
6.2 Uso del agua	22
6.2.1 Láminas de agua consumidas	22
6.2.1 Agotamiento de la humedad aprovechable del suelo	23
6.3 Comparaciones entre evapotranspiración medida y evapotranspiración estimada con fórmulas	25
7. CONCLUSIONES	27
8. RECOMENDACIONES	28
9. APENDICE	29
10. BIBLIOGRAFIA	56

INDICE DE CUADROS

		<u>Página</u>
Cuadro 1	Resultado del análisis químico del suelo	15
Cuadro 2	Propiedades físicas del suelo	16
Cuadro 3	Resultados promedio de las variables respuesta	21
Cuadro 4	Láminas de agua consumida en centímetros y número de riegos por tratamiento durante todo el ciclo del cultivo	22
Cuadro 5	Relación Et/Ev para las diferentes etapas fenológicas del cultivo.	26

INDICE DE CUADROS DEL APENDICE

	<u>Página</u>
Cuadro 6 Rendimiento en grano de maíz en kilogramos por hectárea organizados por tratamiento	30,
Cuadro 7 Análisis de varianza para rendimiento en grano de maíz en kilogramos por hectárea	30
Cuadro 8 Prueba de Tukey para rendimiento en grano de maíz en kilogramos por hectárea	30
Cuadro 9 Número de plantas vivas al final del ciclo del cultivo por parcela organizadas por tratamiento y repetición	31
Cuadro 10 Análisis de varianza para el número de plantas vivas al final del ciclo de cultivo por parcela.	31
Cuadro 11 Lámina de agua consumida en el período de establecimiento	32
Cuadro 12 Cálculo de lámina consumida en el tratamiento F-8	32
Cuadro 13 Cálculo de lámina consumida en el tratamiento F-12	33
Cuadro 14 Cálculo de lámina consumida en el tratamiento F-16	33
Cuadro 15 Cálculo de lámina consumida en el tratamiento F-20	34

		<u>Página</u>
Cuadro 16	Cálculo de lámina consumida en el tratamiento F-24	34
Cuadro 17	Cálculo de lámina consumida en el tratamiento F-28	35
Cuadro 18	Cálculo de evapotranspiración semanal y total por la fórmula de Blaney-Criddle	36
Cuadro 19	Cálculo de evapotranspiración semanal y total por la fórmula de Hargreaves modificada en 1966	37
Cuadro 20	Cálculo de evapotranspiración semanal y total por la fórmula de Hargreaves modificada en 1983	38
Cuadro 21	Evapotranspiración semanal y total de los seis tratamientos, Blaney-Criddle, Hargreaves modificado en 1966, Hargreaves modificado en 1983 y tanque evaporímetro tipo "A"	39
Cuadro 22	Coefficientes de determinación " r^2 " de la evapotranspiración semanal de los tratamientos vs. fórmulas	40
Cuadro 23	Relación semanal de evapotranspiración/evaporación durante el ciclo del cultivo de los seis tratamientos	41

INDICE DE FIGURAS DEL APENDICE

	<u>Página</u>
Figura 1 Porcentaje de humedad aprovechable, tratamiento F - 8	42
Figura 2 Porcentaje de humedad aprovechable, tratamiento F - 12	43
Figura 3 Porcentaje de humedad aprovechable, tratamiento F - 16	44
Figura 4 Porcentaje de humedad aprovechable, tratamiento F - 20	45
Figura 5 Porcentaje de humedad aprovechable, tratamiento F - 24	46
Figura 6 Porcentaje de humedad aprovechable, tratamiento F - 28	47
Figura 7 Tasa de evapotranspiración del tratamiento F - 8 y fórmulas	48
Figura 8 Tasa de evapotranspiración del tratamiento F-12 y fórmulas	49
Figura 9 Tasa de evapotranspiración del tratamiento F-16 y fórmulas	50
Figura 10 Tasa de evapotranspiración del tratamiento F-20 y fórmulas	51
Figura 11 Tasa de evapotranspiración del tratamiento F-24 y fórmulas	52
Figura 12 Tasa de evapotranspiración del tratamiento F-28 y fórmulas	53
Figura 13 Evapotranspiración semanal acumulada de los seis tratamientos y fórmulas	54
Figura 14 Distribución de parcelas y sus dimensiones	55

RESUMEN

Esta investigación sobre el efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración del maíz (Zea mays L.), se realizó en un suelo de la serie Chicañ, del Centro de Producción Agrícola "El Oasis" del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas localizado en el Distrito de Riego # 7 La Fragua, Zacapa; dentro -- del período comprendido del mes de enero al mes de mayo de 1986.

Las frecuencias de riego utilizadas fueron de 8, 12, 16, 20, 24 y 28 días, arregladas en un diseño experimental de bloques al azar, con cuatro repeticiones, en las cuales se midió el consumo de agua en forma directa y se comparó con el consumo estimado por las fórmulas de Blaney-Criddle modificado por Phelan, Hargreaves modificado en 1966, Hargreaves modificado en 1983 y tanque evaporímetro tipo "A".

Para determinar la humedad se usó el método 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. La lámina de agua consumida por evapotranspiración durante cada intervalo se determinó de los datos de esos muestreos.

El efecto de las seis frecuencias de riego se midió a través de las siguientes variables respuesta; rendimiento en kilogramos por hectárea en grano de maíz y número de plantas vivas al final del ciclo por parcela.

Los resultados obtenidos manifiestan que entre las frecuencias de 8 y 12 días, no existe diferencia estadísticamente significativa en cuanto a rendimiento, siendo considerados como iguales. En cuanto al número de plantas vivas al final del ciclo de cultivo, se encontró que las diferentes frecuencias no afectan ésta variable.

Así mismo, se comprobó que la evapotranspiración en los diferentes tratamientos tiende a disminuir, conforme se alarga el intervalo de riego, alcanzando valores desde 49.64 centímetros para la F-8, - hasta 26.83 centímetros para la F-28. Encontrándose además, que el mayor consumo se manifiesta en las etapas fenológicas de floración

y fructificación, sin llegar nunca los niveles de humedad correspondientes al punto de marchitez permanente.

Se calcularon los valores de la relación evapotranspiración-evaporación para las etapas fenológicas de desarrollo vegetativo, floración y fructificación, siendo estos de 0.57, 0.88 y 1.05 respectivamente.

En las comparaciones estadísticas entre evapotranspiración medida y calculada, se determinó que los valores de evapotranspiración medida son diferentes a los calculados por las fórmulas de Blaney-Criddle modificado por Phelan, Hargreaves modificado en 1966, Hargreaves modificado en 1983 y tanque evaporímetro tipo "A", no adaptándose ni guno de los métodos para estimar evapotranspiración en la región.

Finalmente se recomienda continuar con este tipo de experimentos, tanto en el mismo cultivo y región, como en otras regiones y cultivos. También se recomienda utilizar los factores provenientes de la relación Et/Ev, para las diferentes etapas fenológicas, ya que este método es bastante práctico y sencillo de utilizar.

1.- INTRODUCCION

Guatemala es un país que posee muchas riquezas naturales, que están siendo mal aprovechadas por la falta de investigación y tecnología propia que se adapte a nuestras necesidades. Por ésta razón, hay un inadecuado uso del agua y del suelo, que son factores importantes para el desarrollo de la agricultura.

El Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA) de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, emprendió investigaciones tendientes a lograr un mejor aprovechamiento de nuestros recursos naturales. Una de éstas investigaciones, es sobre el manejo de nuestros recursos hídricos en interacción con el suelo y el clima para la producción de los cultivos. A partir de 1983, el IIA inició un programa de investigación sobre frecuencias de riego y verificación de la adaptabilidad de fórmulas empíricas en diversos cultivos, épocas y zonas del país, sobre todo en la Región Oriente de Guatemala, en donde la agricultura depende esencialmente del riego y la aplicación adecuada y oportuna de agua es necesaria para obtener buenas cosechas. Por eso es importante hacer este tipo de investigaciones.

El estudio se llevo a cabo en los terrenos del Centro de Producción Agrícola "EL Oasis" del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, localizado en el Distrito No. 7 del Valle de la Fragua, Zacapa.

El presente experimento evaluó el cultivo del maíz (Zea mays L.) por ser uno de los más importantes, ya que del mismo se obtiene el 60% de Proteína y el 40% de Carbohidratos en la ingesta diaria de la población guatemalteca (11). Se tomó como variable de estudio la frecuencia de riego con tratamientos cada 8,12,16,20, 24 y 28 días, la evapotranspiración se midió directamente utilizando parcelas experimentales y luego se comparó con los resultados obtenidos por métodos indirectos. Los métodos indirectos que se usaron fueron: Blaney-Criddle modificado por Phelan, Hargreaves modificado en 1966, Hargreaves modificado en 1983 y tanque evaporímetro tipo "A".

2. HIPOTESIS

- 2.1 Los rendimientos obtenidos en el cultivo de maíz, 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 las fórmulas de Blaney-Criddle modificada por Phelan, Hargreaves modificada en 1966, Hargreaves modificada en 1983 y tanque evaporímetro tipo "A"

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración del cultivo de maíz para la época y condiciones del área.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

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

3.2.2 Determinar la evapotranspiración total en el ciclo del cultivo para los diferentes tratamientos.

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

3.2.4 Verificar la adaptabilidad de las fórmulas de Blaney-Criddle modificada por Phelan, Hargreaves modificada en 1966, Hargreaves modificada en 1983 y tanque evaporímetro tipo "A"

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

4.- REVISION DE LITERATURA

4.1 Efecto de la humedad en el cultivo del maíz

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 evitarse el encharcamiento, especialmente durante los períodos de floración y de formación de la cosecha, ya que el encharcamiento puede reducir los rendimientos en grano en un 50% o más (7).

El efecto de una limitación de agua en el maíz es considerada como una disminución de los rendimientos en grano, la ocasiona el déficit de agua durante el período de floración, especialmente en el tiempo de formación del estigma y la polinización puede traducirse en una disminución de los rendimientos, debido a la desecación de los estigmas. El déficit de agua durante el período de formación de la 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 (7).

4.2 Estudios sobre frecuencias de riego y consumo de humedad en el maíz

4.2.1 Frecuencias:

Investigaciones realizadas sobre maíz en Israel (27), determinaron que el número óptimo de riegos, en la mayoría de las regiones de ese país fue de 4 a 6, efectuando la primera aplicación de agua a los 30 ó 35 días después de la siembra; la segunda, alrededor de 2 a 2 1/2 semanas después; y las siguientes aplicaciones con un intervalo de 10 a 14 días, hasta cerca de 45 días antes de la cosecha.

Castro M. (4), 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 R. (23), determinó que la frecuencia de riego óptima para el cultivo del maíz es de 13 días, para el Valle

de la Fragua, Zacapa. En el proyecto de riego piloto de Santa Rosalía, se estableció una frecuencia de riego cada 12 días, distribuida en 8 riegos durante el ciclo del cultivo de maíz (23).

4.2.2 Láminas de evapotranspiración

De acuerdo a Donahue (6), para áreas desérticas la evapotranspiración diaria del maíz varía de 2 a 15 mm., dependiendo de las condiciones climáticas y desarrollo del cultivo. La tasa de evapotranspiración máxima que se usa en California es de 6.4 a 10.2 mm. por día; en Bushland, Texas en 122 días de cultivo se usaron 61722 mm; y en Ohio, se utilizaron 469.9 mm. en 124 días de cultivo en el maíz.

Estudios realizados en México (22), establecieron una programación de riego en maíz basándose en la evaporación del tanque tipo "A" y considerando que se evapotranspiran de 217 a 613 mm. durante todo el ciclo de cultivo. En Israel (27), se aplicó una lámina neta de 450 a 480 mm. y se considera que la evapotranspiración total fue de 600 mm. con la que se pueden obtener óptimas producciones. Francis y Turelle (9), estiman que son necesarios de 305 a 914 mm. de agua para satisfacer las necesidades del maíz en todo su ciclo, esto incluye pérdidas por evapotranspiración, filtración y desperdicio. La capacidad de absorción de agua por la planta de maíz aumenta a 45 mm. en el primer mes, hasta llegar a 220 mm aproximadamente al inicio del cuarto mes de crecimiento, consumiendo en todo el ciclo vegetativo 750 mm (14).

En el proyecto de riego piloto de Santa Rosalía, se estableció una lámina de agua de 480 mm. para el cultivo del maíz distribuidos en todo el ciclo del cultivo (23). Castro M. (4), recomienda para Jalpatagua, Jutiapa, que se aplique una lámina neta de 225 mm. para el cultivo del maíz; pero Reyes R. (23), determinó que necesita una lámina de 500 mm. para el Valle de La Fragua.

4.2.3 Agotamiento de la humedad aprovechable

Pair y Hinz (19), aconsejan que el maíz sea regado cuando se haya consumido el 50% de la humedad aprovechable en el suelo. Jensen -

(13), coincide al recomendar que el agotamiento del agua disponible para el cultivo de maíz sea de un 40 a 60%. Arriaga N. (21), encontró que en la región lagunera de Coahuila, México, el mejor nivel de humedad aprovechable fue de un 60%. Castro M. (4), sugiere para la Unidad de Riego el Tempisque, Jutiapa, que el nivel mínimo de humedad aprovechable en el suelo para el cultivo del maíz varíe entre un 40 y 60%.

Reyes C. (22), determinó que para la primera etapa del cultivo del maíz, el 20% de la humedad aprovechable es el mínimo y que para las etapas de floración y maduración, regando al 62% y 64% de humedad aprovechable, se logran mejores rendimientos. Doorembos y Kassam (7), demostraron que teniendo en cuenta el nivel de evapotranspiración máxima, para atender todas las necesidades de agua, en el cultivo del maíz puede llegar el nivel de agotamiento alrededor de un 40% para el período de establecimiento, entre un 55 y 65% durante los períodos vegetativo, de floración y formación de la cosecha y hasta un 80% durante la maduración. Moreno R. (22), realizó estudios en las etapas fenológicas del maíz de espigamiento y maduración, con regímenes de humedad de riego expresado en trabajo obteniendo sus máximos rendimientos al someter la humedad del suelo a regímenes que equivalen a 10 y 13 atmósferas de tensión.

4.3 Absorción de agua y profundidad radicular en el maíz

En el maíz la profundidad y el ritmo de desarrollo de las raíces, está influido por la forma de distribución de las lluvias y por los sistemas de riego adoptados, además de la situación en cuanto a agua del suelo y los nutrientes del mismo. En suelos profundos las raíces pueden llegar a una profundidad de 2 mts., la raíz es muy ramificada y se sitúa en la capa superior de 0.8 a 1 mt., produciéndose cerca del 80% de absorción de agua del suelo dentro de esta capa. Jensen (13), estudió que la profundidad radicular del maíz cuando es regado normalmente es de 0.75 a 1.20 mts. Pair y Hinz (19), en Prosser, Washington, determinaron que el 100% de la extracción de humedad se da en los primeros 1.20 mts. de profundidad radicular. Otros investigadores mencionan que la planta de maíz, desarrolla una raíz de 0.95 mts. (14). Según Donahue (6),

en el maíz la profundidad radicular está entre 1.20 a 1.50 mts. y la divide en 4 estratos de absorción de humedad, estableciendo — que para el primer estrato hay un 40% de absorción de humedad radicular, el 30% se absorbe en el segundo estrato; para el tercero y cuarto estrato, que es la zona radicular más profunda, hay una absorción del 20% y 10% respectivamente.

4.4 Constantes de humedad del suelo

4.4.1 Capacidad de campo:

Se define como el contenido de agua de la porción húmeda del suelo, después que el exceso ha drenado y la velocidad del descenso ha disminuido en grado considerable (1).

La capacidad de campo puede determinarse de dos formas: la primera se realiza en el laboratorio, sometiendo muestras de suelo a una tensión de 0.3 atmósferas. Las estimaciones no son indicadores muy confiables del valor de campo, ya que la capacidad de campo depende del perfil del suelo y su estructura. La segunda, para determinarla es midiéndola en el campo, por un método propuesto por Withers y Vipond (29) y el Servicio de Conservación de Suelos que consiste en delimitar una área de muestreo de un metro cuadrado con bordes de 10 cm. de alto y levantar otros bordes exteriores a los primeros, para que se facilite el movimiento vertical del agua en la zona de muestreo. Después se humedece el suelo hasta saturarlo, tanto en la zona de muestreo, como en la parte exterior. Si el suelo es arcilloso, se debe comenzar a muestrear pasadas las 24 ó 48 horas después; si es arenoso, debe empezarse 12 ó 18 horas después. Se debe cubrir el área preparada incluyendo el borde exterior con un nylon para evitar la evaporación. Se toman de dos a tres muestras por estrato a estudiar, cada vez que se muestree. Los muestreos se deben realizar durante 4 ó 5 días para mayor exactitud.

El contenido de humedad se determina por el método gravimétrico, pesando las muestras húmedas, secándolas al horno a 105 - 110°C y pesándolas ya secas. Posteriormente se hace una gráfica, colocando el contenido de humedad en las ordenadas y el tiempo en las abscisas, con ella es posible determinar el porcentaje de humedad que co

responde a la capacidad de campo de cada estrato, el cual se da en el momento en que la curva se estabiliza.

4.4.2 Punto de marchitez permanente:

Baver (1959), citado por Aguilera (1), dice que el punto de marchitez permanente es el contenido de humedad retenido a una tensión equivalente a la presión osmótica en las raíces de las plantas y que dicha tensión es aproximadamente de 15 atmósferas.

El punto de marchitez permanente se puede determinar en el campo, midiendo la humedad del suelo cuando la planta se marchita permanentemente y se puede calcular aproximadamente, dividiendo la capacidad de campo entre un factor cuyo valor oscila entre 2.0 y 2.4 que es en función de la proporción de limo del suelo (30).

4.4.3 Método del plástico para determinar densidad aparente :

El método consiste en hacer una calicata, en la cual se hacen gradas en cada estrato de 30 cm. En la parte superior de cada grada se hace un agujero en forma de cubo de 15 cm. por lado, el suelo que se extrae se coloca en una bolsa plástica cerrada con el objeto de que no se escape la humedad; luego se pesa. Posteriormente se coloca un plástico dentro de las paredes del cubo, al cual se le agrega agua hasta llegar al nivel del suelo, la cantidad de agua agregada corresponde al volumen del suelo extraído (1).

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/cm³

Psh = Peso de suelo húmedo en Kgs.

Vt = Volumen total en litros

Ps = Porcentaje de humedad del suelo

4.5 Evapotranspiración

Según Israelsen y Hansen (12), la evapotranspiración es la suma de la transpiración y la evaporación.

Para medir o determinar la evapotranspiración existen dos clases de métodos: directos o indirectos.

Los métodos directos son aquellos que proporcionan una lectura de humedad midiéndola directamente, entre ellos tenemos: Experimentos en tanques lisímetros, Parcelas experimentales, Estudios sobre la humedad del suelo, Métodos de entradas y salidas de agua para grandes extensiones.

Los métodos indirectos son en función de datos climáticos, calculan o estiman la evapotranspiración de cualquier cultivo, haciendo uso además de tablas con valores constantes o coeficientes usados. Las fórmulas usadas son las siguientes: Método de Penman, Método de Thornthwaite, Método de Lowry-Johnson, Método de Blaney-Criddle, Método de Jensen-Haise, Método de Radiación, Método de evaporímetro de tanque, Método de Hargreaves.

4.5.1 Método de parcelas experimentales

Este método consiste en establecer parcelas en el campo, haciendo muestreos del suelo antes de cada riego y 48 horas después de haber regado, para poder determinar las variaciones de humedad en las capas que forman el perfil del suelo de cada parcela, llegando hasta la profundidad de mayor desarrollo radicular del cultivo (12).

Las determinaciones de humedad se hacen por el Método Gravimétrico, que consiste en extraer muestras del suelo con un barreno cada 0.30 mts., lo que es considerado como un estrato, de este sólo se toma el tercio medio y se coloca en botes de peso conocido con tapa hermética para evitar pérdidas de humedad; después a una temperatura constante de 105 - 110°C durante 24 horas por diferencia de peso, se determina la humedad de las muestras, la cual se relaciona con el peso de suelo seco para poder expresarla en forma de %, se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$Ps = \frac{Psh - Pss}{Pss} \times 100$$

Donde:

Ps = % de humedad de la muestra

Psh = Peso de suelo húmedo

Pss = Peso de suelo seco

4.5.2 Método de Blaney-Criddle modificado por Phelan:

De acuerdo a Grassi (10), el método de Blaney-Criddle, fue desarrollado para las condiciones del Oeste de los Estados Unidos, relacionando valores reales (actuales) de evapotranspiración con la temperatura media mensual, t y el porcentaje mensual de las horas de brillo solar, con respecto al total anual p . La fórmula general, que determina la evapotranspiración para un ciclo vegetativo de un cultivo, es:

$$\begin{aligned} Et &= Kg \cdot F \\ F &= \sum fi \\ f &= \frac{t \times 17.8}{21.8} (p) \end{aligned}$$

Donde:

Kg = es el coeficiente global o total del cultivo

F = es la suma de los factores mensuales de uso consuntivo

f = es el factor de uso consuntivo mensual

t = temperatura promedio mensual en grados C°

p = % mensual por horas luz con respecto al total anual.

Un trabajo realizado por el Dr. T.J. Phelan en el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, citado por Aguilera (1), introduce un factor de corrección de K , en función de la temperatura media mensual y del estado de desarrollo del cultivo de la manera siguiente:

$$K = Kt \cdot Kc$$

Donde:

$$K_t = 0.24 + 0.312t$$

K_c = factor del cultivo que varía a lo largo del ciclo vegetativo.

t = temperatura media mensual en $^{\circ}\text{C}$

4.5.3 Método de Hargreaves:

De acuerdo a Grassi (10), la fórmula de Hargreaves calcula la evapotranspiración en función de la temperatura media al mediodía y la duración del día dependiendo de la latitud. En unidades métricas y con temperaturas en grados centígrados, la fórmula se expresa:

$$E_t = 17.37 K_d t (1.0 - 0.01 H_n)$$

Donde:

K = Es el coeficiente empírico del cultivo

d = Es el coeficiente mensual de duración del día

t = Es la temperatura media al mediodía

H_n = Es la humedad relativa media al mediodía

El coeficiente "d", está relacionado con el coeficiente "p" de Blaney-Criddle, de modo que $d = 0.12 p$.

En 1966, el autor introdujo un factor de corrección a la fórmula y una tabla que incluye coeficientes para tener en cuenta el efecto del cultivo.

1) Efecto de la velocidad del viento. Los resultados deben aumentarse o disminuirse en un 9% por cada 50 Km. por día que corresponde a las condiciones de obtención de la fórmula.

2) Duración del resplandor solar. La fórmula se obtuvo con una insolación del 90%. Para situaciones diferentes corresponde aplicar las siguientes correcciones:

Insolación % : 30 40 50 60 70 80 90

Corrección % : -34 -28 -24 -20 -16 -9 -0

3) Altitud. Los resultados deben aumentarse en 1% por cada 100 mts. de elevación a partir de 150 mts., que corresponden a las condiciones de la fórmula.

Hargreaves (26), en uno de sus últimos artículos publicados, indica que el uso de fórmulas complicadas para determinar Et, entorpece el trabajo de riego en donde se requieren resultados en forma inmediata, sin tener que recurrir a datos climáticos sofisticados. Por lo que se calcula de Etp. y se multiplica por el coeficiente del cultivo (Kc), lo que es igual a Etr, es decir:

$$Etr = Etp Kc$$

Donde:

Etr = Evapotranspiración real

Etp = Evapotranspiración potencial

Kc = Coeficiente que depende de la etapa de desarrollo de cultivo.

La Etp se calcula de la manera siguiente:

$$Etp = 0.0075 \times Rs \times T^{\circ}F$$

Donde:

Etp = Evapotranspiración potencial en cm.

T[°]F = Temperatura media en grados F

Rs = Parámetro que está en función de T máxima y mínima absoluta.

$$Rs = 0.165 \times Ra \times TD^{0.5}$$

Donde:

Ra = Radiación extraterrestre en mm/día de evapotranspiración, de acuerdo a la latitud del lugar.

TD = Diferencia entre la temperatura máxima y la mínima absolutas, expresados en grados C.

4.5.4 Método de evaporación del tanque tipo "A":

La evaporación que se da en una superficie libre de agua en el tanque evaporímetro, (Ev) integra los efectos de los diferentes -- factores meteorológicos que influyen en la evapotranspiración. Estudios de correlación en diferentes cultivos y períodos del ciclo vegetativo, permiten obtener coeficientes para estimar evapotranspiración potencial (Etp), en función de la evaporación de una superficie libre de agua (Ev), donde (K) es el coeficiente de ajuste adimensional (10).

$$Etp = Ev \cdot K$$

Según Grassi (10), se han ensayado tanques de diferentes características, en cuanto a tamaño, color, ubicación y nivel con respecto al terreno. Trabajos experimentales de evaluación de -- comportamiento de los diferentes tanques han sido realizados por Pruitt, con relación a la evapotranspiración en lisímetros de una completa cobertura vegetal. La relación Et/Ev varió según tipo, tamaño y ambiente entre 0.75 y 1.25. Donahue (6), determinó para las condiciones del Oeste de los Estados Unidos, el agua requerida para la evapotranspiración del cultivo del maíz expresada como porcentaje del agua evaporada en un tanque evaporímetro tipo "A". 20 días después de la siembra en el estado de plantía encontró un valor de 0.21, cuando llegó al 50% de la cobertura total tenía un valor de 0.49, cuando la planta obtuvo la cobertura total el valor era de 0.49 y 50 días después de haber alcanzado la cobertura total tenía un valor de 0.68.

Grassi (10), dice que dada su mayor universalidad, porque se emplea en la mayor parte de los servicios meteorológicos, se usa más frecuentemente el tanque estandar tipo "A" del servicio meteorológico de los Estados Unidos.

4.6 Trabajos realizados sobre evapotranspiración en Guatemala

Estudios realizados sobre el cultivo del tomate en El Progreso y el Valle de La Fragua, por Andrino A. (2), Barillas K. (3), Oliva C. (18) y Zea M. (30); determinaron que las fórmulas de Blaney-Criddle, Hargreaves modificada en 1983 y en tanque evaporímetro tipo "A", sirven para estimar evapotranspiración, para condiciones de humedad de riego cada 8, 12 y 16 días. Además para el Valle de La Fragua, - Zacapa, Barillas K. (3), Corado E. (5) y Méndez Guzmán (16), quienes trabajaron con el cultivo del melón, concluyen que la fórmula de Blaney-Criddle coincide para estimar evapotranspiración para los tratamiento 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, Méndez García (15), recomienda regar cada 16 días durante las etapas de desarrollo vegetativo y floración del cultivo cada ocho días durante - la etapa de fructificación.

Sánchez Ch. (26) y Sagastume G. (25), determinaron para la zona de Bárcenas 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.

Huano R. (24), en la unidad de Riego El Progreso, trabajó con tabaco y encontró que las frecuencias de riego más recomendables son cada 8 y 12 días. Morales M. (17) en el Valle de La Fragua, determinó para el cultivo del pepino frecuencias de riego cada 8 y 12 días.

En Guatemala se han realizado 2 trabajos de investigación sobre maíz, uno se realizó en la Unidad de Riego El Tempisque, Jalpatagua por Castro M. (4), sobre consumo de agua en el cultivo. El segundo fué realizado en el Valle de La Fragua, Zacapa por Reyes R. (23), quién trabajó cuatro diferentes láminas de agua, longitudes de surco y niveles de abonamiento químico.

5.- METODOLOGIA

5.1 Ubicación y descripción del área experimental

El experimento se realizó en el Centro de Producción Agrícola "El Oasis" del ICTA, ubicado en el Valle de la Fragua, Zacapa; que se encuentra localizado en la zona Nororiental de la República, con las coordenadas geográficas siguientes: 14°, 57.5' latitud norte y 89°32.5' longitud oeste y una altitud de 230 msnm.

La precipitación pluvial media es de 500 mm/anales, caída entre los meses de mayo a octubre principalmente. La temperatura media anual es de 28.9°C., siendo el período más caluroso abril y el más frío enero.

Según Simmons (28), los suelos pertenecen a la serie Chicaj, - que son de textura arcillosa, con una capa superficial de 50 cm., - aproximadamente y de color negro, poseen un p.H. de 6.90, son de topografía plana y tienen un subsuelo casi de semipermeable a impermeable.

Según Holdridge (1976), pertenece a una zona de vida monte espinoso subtropical, siendo la vegetación característica de arbustos y plantas espinosas. Farrington y Porres (8), consideran el clima como cálido seco.

5.2 Análisis y determinaciones previas

Se efectuaron análisis químicos y físicos del suelo antes de implementar el experimento. El análisis químico del suelo se realizó tomando varias muestras de suelo a una profundidad de 30 cm. en el lote experimental, después se homogenizó una muestra compuesta - que fue enviada al laboratorio de suelos del ICTA, para poder contar con recomendaciones adecuadas para la fertilización. Los resultados de éste análisis, se encuentran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Resultados del análisis químico del suelo

pH	microgr./ml		meq./100 ml. de suelo	
	P	K	Ca	Mg
7.3	51.28	206	19.87	3.14

El análisis físico que sirvió para la determinación de densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y textura, se hizo tomando varias muestras de suelo del lote experimental de cada uno de los estratos a trabajar, se homogenizaron y se enviaron al laboratorio de suelos de la Dirección de Riego y Avenamiento (DIRYA), para su análisis. La densidad y la capacidad, también se determinaron a nivel de campo, utilizando la metodología -- descrita en los numerales 4.4.1 y 4.4.3, del capítulo de Revisión de Literatura. Los resultados de campo fueron diferentes a los obtenidos en el laboratorio, optando por tomar los primeros por considerarlos más confiables. Los resultados se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2 - Propiedades físicas del suelo

Estrato cms.	Textura	Densidad Aparente	Capacidad de Campo	Punto Marchi- tez permanente
0 - 30	Arcilla	1.62	31 %	15.5 %
30 - 60	Arcilla	1.57	29 %	14.5 %

5.3 Aspectos agronómicos

El cultivo evaluado en el presente experimento fue el de maíz (Zea mays L.), variedad ICTA B-1, que es una de la variedades más aceptadas en el valle. Posee plantas de una altura aproximada de 2.16 mts., su buen desarrollo radicular y poca altura lo hacen resistente al ácaro. Es una variedad del ciclo intermedio, sus mazorcas son bien formadas y cilíndricas, éstas características contribuyen a que su rendimiento sea más estable a las variables condiciones de lluvia y tipos de suelo en las regiones de Guatemala, inferiores a los 1,000 mts. sobre el nivel del mar (11).

Para preparar el terreno se dió una pasada de arado a una profundidad de 0.25 mts., y posteriormente se dieron dos pasadas de -- rastra en forma cruzada para dejar bien mullido el suelo; después

se surqueó con una pendiente de 0.35% y a una distancia de 0.90 mts sembrando a un lado del surco, sobre los que se usó una distancia de 0.50 mts. entre plantas.

Para el control de plagas, se hicieron cuatro aplicaciones de insecticidas en forma preventiva. El control de malezas, se hizo en forma manual; y la fertilización, siguiendo las recomendaciones del Laboratorio de Suelos del ICTA.

5.4 Manejo del experimento

5.4.1 Trazo del experimento:

El trazo del experimento se realizó después del surqueado, se construyeron cinco tomas, usando cuatro de ellas para regar cada una de las repeticiones y una para desagüe. La delimitación de las parcelas se hizo contando los surcos necesarios y dejando el espacio determinado entre las mismas. El tamaño de parcela que se usó fue de 7.20 mts. por 5.00 mts., dejando una distancia de 3.60 mts. entre parcelas y 8.00 mts., entre bloques. Para construir la toma respectiva se dejaron 4.00 mts., antes de cada bloque y 3.00 mts., después, para que la toma tuviera un metro de ancho.

La distribución de parcelas en el campo y sus dimensiones, pueden observarse en la figura 14 del apéndice.

5.4.2 Método de riego:

El método que se usó fue el de riego por gravedad y se derivó el agua de la toma hacia cada surco, por medio de sifones de 1/2" y 1". Aforando los sifones, se pudo estimar el volumen de agua aplicado en cada surco.

5.4.3 Cálculo de la lámina de agua a reponer:

En cuanto a la cantidad de agua que se aplicó en cada riego, la lámina se determinó por la siguiente fórmula:

$$La = \frac{P_{scc} - P_{sar}}{100} Da \times Pr$$

Donde:

La = Lámina de auxilio (cm.)
 Psc = Porcentaje de humedad a capacidad de campo
 Psar = Porcentaje de humedad antes de riego
 Pr = Profundidad radicular del estrato (cm.)

La lámina total se obtuvo sumando las láminas de los estratos

5.4.4 Cálculo de la lámina de agua consumida:

Luego de establecer los porcentajes de humedad para cada estrato, se calculó la lámina de agua consumida para un período determinado mediante la siguiente ecuación:

$$Lc = \frac{\%HDR - \%HAR}{100} \times Dap \times Pr$$

Donde:

Lc = Lámina de agua consumida (cm.)
 %HDR = Porcentaje de humedad después de riego
 %HAR = Porcentaje de humedad antes de riego
 Dap = Densidad aparente
 Pr = Profundidad del estrato considerado.

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 relacionando mediante una regla de tres simple, el período de consumo conocido con los tres días comprendidos entre muestreos.

5.4.5 Riegos generales:

Durante la etapa de establecimiento del cultivo, que duró cuatro semanas, fue necesario regar uniformemente todo el ensayo para darle a las plantas las condiciones adecuadas y posteriormente se trató individualmente con el intervalo o frecuencia correspondiente.

5.4.6 Método y momento de muestreo:

La humedad del suelo se determinó tomando muestras con un ba-

rreno tipo helicoidal, se tomaron seis muestras por parcela 24 horas antes de cada riego, en la forma siguiente: tres muestras para el primer estrato (0 - 30 cms.) y tres para el segundo estrato - (30 - 60 cms.); de la misma manera se hizo 48 horas después del riego, para verificar si el suelo llegó a capacidad de campo y determinar el consumo de humedad.

5.4.7 Diseño estadístico

El diseño estadístico empleado fue el de bloques al azar, con 4 repeticiones y 6 tratamientos.

Los seis tratamientos fueron de riego cada 8, 12, 16, 20, 24 y 28 días.

El modelo estadístico es el siguiente:

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

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta en la ij - écima unidad experimental

U = efecto de la media general

B_j = efecto de j - éximo bloque

T_i = efecto de i - éximo tratamiento

E_{ij} = error experimental asociado a la ij - écima unidad experimental

5.4.8 Parcela experimental:

Area del ensayo	=	3,161.6 M ²
Area útil del ensayo	=	518.4 M ²
Area de cada parcela experimental	=	36 M ²
Area útil de cada parcela experimental	=	21.6 M ²
Número de parcelas	=	24
Distancia entre parcelas	=	3.6 M
Distancia entre bloques	=	8.0 M
Número de surcos por parcela	=	5
Número de surcos útiles por parcela	=	3
Densidad de siembra por parcela neta	=	90 plantas
Densidad de siembra por parcela útil	=	54 plantas

5.4.9 Variables respuesta:

Las variables respuesta que se usaron para el presente experimento, fueron:

- a) Rendimiento en Kg/Ha en grano de maíz
- b) Número de plantas vivas por parcela al final del ciclo.

5.4.10 Métodos del análisis estadístico de los resultados:

Para las variables respuesta, los resultados obtenidos fueron analizados por medio de una análisis de varianza y prueba de Tukey al 5% de significancia.

Para verificar si los valores de tasa de evapotranspiración semanal calculada con las fórmulas de Blaney-Criddle modificada -- por Phelam, Hargreaves modificada en 1966, Hargreaves modificada en 1983 y tanque evaporímetro tipo "A" equivalen a los valores de evapotranspiración medida en el campo, se efectuó un análisis de correlación para determinar qué porcentaje de la variable independiente (valores de evapotranspiración calculados) es explicado por el modelo de regresión lineal simple, considerándose para este análisis un nivel de significancia del 1% para mayor confiabilidad de los resultados.

6.- RESULTADOS Y DISCUSION

El presente capítulo se dividió en tres partes, para que tenga una mayor facilidad de interpretación de los resultados y la discusión.

La primera parte, consiste en evaluar los resultados y análisis respectivos de las variables respuesta, por medio de las cuales se evaluó el efecto de los tratamientos; en la segunda parte, y en la tercera parte, se hacen comparaciones entre evapotranspiración medida y evapotranspiración calculada por medio de fórmulas.

6.1 Variables Respuesta

En el cuadro 3, se presenta el promedio de los resultados obtenidos en cada una de las variables respuesta que se evaluaron.

Cuadro 3 - Resultados promedio de las variables respuesta

Tratamiento	Rendimiento de Grano (*) Kg/Ha	No. de plantas vivas al final del ciclo.
F - 8	2,063.89	36
F - 12	2,124.65	36
F - 16	1,907.99	36
F - 20	971.53	36
F - 24	1,046.88	36
F - 28	941.25	36

(*) Con un contenido de humedad en el grano del 13%

6.1.1 Rendimiento de Grano

Como se observa en el cuadro 3, de manera general a intervalos de riego más largo la producción decrece.

En el análisis de varianza que se presenta en el cuadro 7, para el rendimiento en Kg/Ha en grano de maíz, se observa que hay diferencia significativa entre tratamientos. Al comparar las medias por las pruebas de Tukey cuadro 8, se encuentra que la diferencia

entre los tratamientos de mayor rendimiento F-12 y F-8, no es estadísticamente significativa, lo mismo sucede entre los tratamientos F-20, F-24 y F-28.

6.1.2 Número de Plantas Vivas al Final del Ciclo

No hubo diferencia estadísticamente significativa en esta variable para todos los tratamientos, por lo que se infiere que no hubo mortalidad por efecto de los tratamientos usados.

6.2 Uso del Agua

Los resultados en ésta parte se han subdividido en dos partes; la primera, hace referencia a la lámina de agua consumida; y la segunda se refiere al agotamiento de la humedad aprovechable por cada uno de los tratamientos

6.2.1 Láminas de Agua Consumida

En el cuadro 4, se presentan las láminas de agua consumidas y número de riegos para cada tratamiento.

Cuadro 4 - Láminas de agua consumida en centímetros y número de riegos por tratamiento durante todo el ciclo del cultivo.

Número de Riegos	F-8	F-12	F-16	F-20	F-24	F-28
1	2.23	2.23	2.23	2.23	2.23	2.23
2	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88
3	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10
4	2.41	1.65	6.88	9.15	6.61	7.73
5	5.26	6.85	4.81	8.91	11.50	9.89
6	2.92	9.07	8.00	10.40*	7.56*	
7	5.08	10.52	3.28*			
8	7.89	6.85*				
9	8.49					
10	8.38					
TOTAL	49.64	44.15	32.18	37.67	34.84	26.83

* Valores correspondientes a la lámina consumida ya no aplicada

En el cuadro 4, puede verse que de manera general a intervalos de riego más frecuentes, la planta consume más agua debido a que tiene más disponibilidad de ella. El consumo varió desde 49.64 cm., para la frecuencia de 8 días, hasta 26.83 para la de 28 días.

Las láminas que se consumieron en cada riego, se determinaron en base a los datos de porcentajes de humedad que se obtuvieron en los muestreos realizados antes y después de cada riego. También se efectuó un ajuste proporcional para los tres días que es el período comprendido entre muestreos, de los cuales no se conoce el consumo; esto se puede observar en los cuadros del 11 al 17 en el apéndice. El cuadro 11 corresponde al cálculo del consumo de agua durante los riegos generales, que fue uniforme para todos los tratamientos durante la etapa de establecimiento.

6.2.2 Agotamiento de la humedad aprovechable del suelo

Se llevó un control del agotamiento de la humedad del suelo, en los estratos, de 0 a 30 cm., y de 30 a 60 cm., por cada tratamiento, este control se graficó en las figuras 1 a la 6 del apéndice. Se puede notar en las figuras que en el período de establecimiento, el agotamiento promedio de la humedad aprovechable para el estrato 0 a 30 cms., fué de un valor de 23% y para el estrato de 30 a 60 cms. de un 37% promedio de consumo. Así también se puede observar que en ninguno de los tratamientos el porcentaje de humedad llegó al punto de marchitez permanente. Además, en forma general se nota para todos los tratamientos un mayor agotamiento de la humedad aprovechable del suelo, al iniciarse las etapas de floración y fructificación.

A continuación se detalla el comportamiento de cada uno de los tratamientos específicamente:

En la figura 1, correspondiente al tratamiento F-8, se aprecia que el agotamiento de la humedad aprovechable fue mayor durante las etapas de floración y fructificación del cultivo en que se llegó a tener valores promedios del 42% para el estrato "A" y un 37% en el estrato "B".

En la Figura 2, que es del tratamiento F-12, se observa que el agotamiento de la humedad aprovechable para los dos estratos, fue mayor llegando al consumo hasta un valor promedio del 55%, - para el estrato "A" y a un 45% en el estrato "B", en las etapas de floración y fructificación.

La Figura 3, que se refiere al tratamiento F-16, en donde - se comprueba que el agotamiento de la humedad aprovechable para las etapas de floración y fructificación alcanzaron valores del 57% para el estrato "A" y 48% en el estrato "B", que son valores muy similares a los obtenidos en el tratamiento anterior, en rendimiento se manifiesta una diferencia estadísticamente significativa que posiblemente está influenciada por el momento oportuno de riego.

La Figura 4, corresponde al tratamiento F-20 y se puede observar que la humedad aprovechable tuvo un descenso, para el estrato "A" fue de un 72% y para el estrato "B" del 62%, en las -- etapas de floración y fructificación.

La Figura 5, contiene el tratamiento F-24, en donde se puede notar que los valores de agotamiento de la humedad aprovechable, alcanzaron los valores siguientes: para el estrato "A" de 65% y 70% en el estrato "B", siempre en las mismas etapas de cultivo.

Finalmente, la figura 6 que corresponde al tratamiento F-28, que tenía el intervalo de riego más largo, los valores promedio del agotamiento de humedad aprovechable para las etapas de floración y fructificación, fueron para el estrato "A" de 70% y el estrato "B" con un 59%.

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 tres primeros tratamientos - de riego con los tres últimos. De lo que se deduce que el rendimiento se vió afectado por el contenido de humedad en el suelo, principalmente en las etapas de floración y fructificación.

6.3 Comparaciones entre evapotranspiración medida y evapotranspiración estimada con las fórmulas

Los cálculos de evapotranspiración semanal por las fórmulas -- de Blaney-Criddle, Hargreaves modificada en 1966, Hargreaves modificada en 1983 y tanque evaporímetro tipo "A", se pueden observar en los cuadros 18, 19, 20 y 21 del apéndice. Para verificar la adaptabilidad de éstos métodos, en la estimación de la evapotranspiración se efectuaron comparaciones gráficas (figuras de la 7 a la 13), de los valores medidos y los calculados usando la tasa de evapotranspiración acumulada. Además, se realizó un análisis de regresión y correlación lineal simple, encontrándose que todos los coeficientes -- de determinación " r^2 " son menores al tabulado, por lo que se concluye que éstos modelos no explican satisfactoriamente la relación entre los datos calculados y los medidos. Los valores de " r^2 ", se observan en el cuadro 22 del apéndice.

Se puede deducir entonces que a pesar de que en algunos casos, gráficamente pareciera haber una similitud entre la evapotranspiración medida y la calculada, el análisis estadístico demuestra que la tasa de evapotranspiración medida en los diferentes tratamientos y la estimada por las fórmulas de Blaney-Criddle, Hargreaves modificada en 1966, Hargreaves modificada en 1983 y tanque evaporímetro tipo "A", no se adaptan a la región.

La evaporación del tanque puede llegar a dar valores ajustados fácilmente, por medio de un factor que se obtiene de dividir la evapotranspiración entre la evaporación. La evaporación del tanque es un fenómeno afectado por todos los factores que afectan a la -- evapotranspiración, exceptuando el elemento planta. En el cuadro 5 se muestra la relación Et/Ev , en las diferentes etapas del cultivo, ésta relación se calculó tomando como base la media de los coeficientes de los tratamientos F-8 y F-12, en los cuales se obtuvieron los mejores rendimientos.

Cuadro 5 - Relación Et/Ev para las diferentes etapas fenológicas del cultivo.

ETAPA FENOLOGICA	D U R A C I O N	RELACION Et/Ev
Desarrollo vegetativo	29/01/86 al 01/04/86	0.57
Floración	24/03/86 al 04/04/86	0.88
Fructificación	01/04/86 al 25/04/86	1.05

Durante el período de fructificación, se tiene el mayor valor de Et/Ev, lo cual confirma que en esa etapa se da la máxima tasa - de evapotranspiración.

Se pueden observar en el cuadro 23 del apéndice, los valores de la relación Et/Ev para todo el ciclo del cultivo en cada uno de los tratamientos evaluados.

7.- CONCLUSIONES

- 1.- Los tratamientos regados cada 8 y 12 días, rindieron las mayores producciones en kilogramos por hectárea.
- 2.- Las diferentes frecuencias de riego usadas, no afectaron el número de plantas vivas al final del ciclo de cultivo.
- 3.- La evapotranspiración total del cultivo tiende a aumentar conforme el intervalo de riego es menor, teniendo valores de 49.64, 44.15, 32.18, 37.67, 34.88 y 26.83 cms., para los intervalos de riego de 8, 12, 16, 20, 24 y 28 días, respectivamente.
- 4.- Las etapas fenológicas de mayor consumo de agua fueron floración y fructificación, sin llegar nunca al porcentaje de humedad del suelo correspondiente al punto de marchitez permanente.
- 5.- Estadísticamente los valores de evapotranspiración medida en el campo son diferentes a los calculados de Blaney-Criddle, - Hargreaves modificado en 1966, Hargreaves modificado en 1983 y tanque evaporímetro tipo "A", no adaptándose ninguno de los métodos indirectos para la estimación de la evapotranspiración en la región.
- 6.- La relación de evapotranspiración / evaporación, para la etapa de desarrollo vegetativo fue de 0.57, para la floración de 0.88 y para la fructificación de 1.05

8.- RECOMENDACIONES

- 1.- Que este tipo de investigaciones se continúe realizando en la misma región, época y cultivo para confirmar los resultados obtenidos.
- 2.- 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.
- 3.- Los coeficientes obtenidos para estimar evapotranspiración en función de la evaporación del tanque evaporímetro tipo "A", pueden utilizarse como datos preliminares. Se recomienda seguirlos afinando, ya que constituyen un método sencillo, práctico y aplicable para calendarizar el riego.

9. APENDICE

CUADRO 6 RENDIMIENTO EN GRANO DE MAIZ EN Kg/Ha ORGANIZADOS POR TRATAMIENTO Y REPETICION

TRATAMIENTOS	REPETICIONES				TOTAL	PROMEDIO
	I	II	III	IV		
F-8	1986.11	2961.11	1191.67	2116.67	8255.56	2063.89
F-12	2687.5	2045.83	2308.33	1456.94	8498.60	2124.65
F-16	1665.28	1483.33	1820.83	2662.5	7631.94	1907.99
F-20	722.22	1262.5	1027.78	873.6	3886.10	971.53
F-24	941.67	819.44	1138.89	1987.5	4187.50	1046.88
F-28	1142.78	933.33	622.22	1066.67	3765	941.25
T O T A L	9145.56	9505.54	8109.72	9463.88	36224.70	

CUADRO 7 ANALISIS DE VARIANZA PARA RENDIMIENTO EN GRANO DE MAIZ EN Kg/Ha

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.c.	Ft 5%
Tratamientos	5	100253.34	200506.68	178.61	2.96 *
Bloques	3	141324.52	47108.17	4.20	3.11 NS
Error	15	157165.48	11226.11		
TOTAL	23	103238.24			

C.V. = 7.02%

CUADRO 8 PRUEBA DE TUKEY PARA RENDIMIENTO EN GRANO DE MAIZ EN Kg/Ha

TRATAMIENTO	MEDIAS
F-8	2063.89
F-12	2124.65
F-16	1907.99
F-20	971.53
F-24	1046.88
F-28	941.25

CUADRO 9 NUMERO DE PLANTAS VIVAS AL FINAL DEL CICLO DEL CULTIVO
POR PARCELA ORGANIZADAS POR TRATAMIENTO Y REPETICION

TRATAMIENTOS	R E P E T I C I O N E S				TOTAL	PROMEDIO
	I	II	III	IV		
F-8	36	36	36	35.33	143.33	35.83
F-12	34.33	36	36	36	142.33	35.58
F-16	36	36	35	36	143	35.75
F-20	35	36	35.53	36	142.53	35.63
F-24	36	34.67	36	36	142.67	35.67
F-28	34.67	36	35.33	36	142	35.5
TOTAL	212.00	214.67	213.86	215.33	855.86	

CUADRO 10 ANALISIS DE VARIANZA PARA EL NUMERO DE PLANTAS VIVAS AL
FINAL DEL CICLO DE CULTIVO POR PARCELA

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft 5%	
Tratamientos	5	0.48	0.10	0.25	2.96	NS
Bloques	3	0.68	0.17	0.43	3.11	NS
Error	15	5.53	0.40			
TOTAL	23	6.69				

C.V. = 1.77%

CUADRO 11 LAMINA DE AGUA CONSUMIDA EN EL PERIODO DE ESTABLECIMIENTO

Estrato en Cms.	Porcentaje de Humedad				Diferen- cia %	Consumo Entre Muestreos	Ajuste	Lámina en Cms.
	Después de Riego		Antes de Riego					
	Fecha	%	Fecha	%				
0 - 30	01/2/86	28.90	04/2/86	27.42	1.48	0.72	0.54	1.26
30 - 60	"	25.0	"	23.28	1.72	0.81	0.61	0.97
0 - 30	07/2/86	28.78	11/2/86	27.77	1.01	0.49	0.37	0.86
30 - 60	"	26.76	"	24.31	2.45	1.15	0.87	2.02
0 - 30	14/2/86	30.03	25/2/86	28.39	1.64	0.80	0.60	1.40
30 - 60	"	27.99	"	24.73	3.26	1.54	1.16	2.70

Total 9.21

CUADRO 12 CALCULO DE LAMINA CONSUMIDA EN EL TRATAMIENTO F-8

Estrato en Cms.	Porcentaje de Humedad				Diferen- cia %	Consumo Entre Muestreos	Ajuste	Lámina en Cms.
	Después de Riego		Antes de Riego					
	Fecha	%	Fecha	%				
0 - 30	28/2/86	29.39	05/3/86	26.82	2.57	1.24	0.75	1.99
30 - 60	"	27.38	"	26.83	0.55	0.26	0.16	0.42
0 - 30	08/3/86	29.96	13/3/86	25.50	4.46	2.17	1.30	3.47
30 - 60	"	28.05	"	25.67	2.38	1.12	0.67	1.79
0 - 30	16/3/86	29.64	21/3/86	28.39	1.25	0.61	0.36	0.97
30 - 60	"	27.74	"	25.53	2.51	1.22	0.73	1.95
0 - 30	24/3/86	30.36	29/3/86	25.26	5.10	2.48	1.49	3.97
30 - 60	"	27.27	"	25.80	1.47	0.69	0.42	1.11
0 - 30	01/4/86	31.78	06/4/86	27.10	4.68	2.27	1.36	3.63
30 - 60	"	29.67	"	24.02	5.65	2.66	1.60	4.26
0 - 30	09/4/86	32.62	14/4/86	26.27	6.35	3.09	1.85	4.94
30 - 60	"	29.65	"	25.23	4.72	2.22	1.33	3.55
0 - 30	17/4/86	31.19	22/4/86	25.19	6	2.92	1.75	4.67
30 - 60	"	28.40	"	23.48	4.92	2.32	1.39	3.71
0 - 30	25/4/86	31.42	---	---	---	---	---	---
30 - 60	"	20.23	---	---	---	---	---	---

Sub-Total 40.43

Riegos Generales 9.21

Total 49.64

CUADRO 13

CALCULO DE LAMINA CONSUMIDA EN EL TRATAMIENTO F-12

Estrato en Cms.	Porcentaje de Humedad				Diferen- cia %	Consumo Entre Muestreos	Ajuste	Lámina en Cms.
	Después de Riego		Antes de Riego					
	Fecha	%	Fecha	%				
0 - 30	28/2/86	29.56	09/3/86	27.28	2.28	1.11	0.37	1.48
30 - 60	"	28.02	"	27.74	0.28	0.13	0.04	0.17
0 - 30	12/3/86	32.62	21/3/86	26.21	6.41	3.12	1.04	4.16
30 - 60	"	29.54	"	25.25	4.29	2.02	0.67	2.69
0 - 30	24/3/86	31.15	02/4/86	22.46	8.69	4.22	1.41	5.63
30 - 60	"	28.92	"	23.45	5.47	2.58	0.86	3.44
0 - 30	05/4/86	32.71	14/4/86	23.14	9.57	4.65	1.55	6.20
30 - 60	"	28.96	"	22.08	6.88	3.24	1.08	4.32
0 - 30	17/4/86	33.23	24/4/86	28.40	4.83	2.35	1.41	3.76
30 - 60	"	28.70	"	24.60	4.10	1.93	1.16	3.09

Sub-Total 34.44

Riegos Generales 9.21

Total 44.15

CUADRO 14

CALCULO DE LAMINA CONSUMIDA EN EL TRATAMIENTO F-16

Estrato en Cms.	Porcentaje de Humedad				Diferen- cia %	Consumo entre Muestreos	Ajuste	Lámina en Cms.
	Después de Riego		Antes de Riego					
	Fecha	%	Fecha	%				
0 - 30	28/2/86	29.47	13/3/86	22.16	7.31	3.55	0.82	4.37
30 - 60	"	26.31	"	21.98	4.33	2.04	0.47	2.51
0 - 30	16/3/86	29.50	29/3/86	23.15	6.35	3.09	0.71	3.80
30 - 60	"	26.74	"	23.27	3.47	1.63	0.38	1.01
0 - 30	01/4/86	29.94	14/4/86	22.25	7.69	3.74	0.86	4.60
30 - 60	"	27.28	"	21.41	5.87	2.76	0.64	3.40
0 - 30	17/4/86	31.99	24/4/86	28.35	3.64	1.77	0.41	2.18
30 - 60		28.45		26.56	1.89	0.89	0.21	1.10

Sub-Total 22.97

Riegos Generales 9.21

Total 32.18

CUADRO 15

CALCULO DE LAMINA CONSUMIDA EN EL TRATAMIENTO F-20

Estrato en Cms.	Porcentaje de Humedad				Diferen- cia %	Consumo Entre Muestreos	Ajuste	Lámina en Cms.
	Después de Riego		Antes de Riego					
	Fecha	%	Fecha	%				
0 - 30	28/2/86	28.28	08/3/86	24.34	3.94	1.91	0.48	2.39
30 - 60	"	27.70	* "	23.04	4.66	2.19	0.55	2.74
0 - 30	08/3/86	24.34	17/3/86	20.50	3.84	1.87	0.21	2.08
30 - 60	"	23.04	"	19.32	3.72	1.75	0.19	1.94
0 - 30	20/3/86	29.42	28/3/86	25.40	4.02	1.95	0.49	2.44
30 - 60	"	27.22	* "	24.71	2.51	1.18	0.30	1.48
0 - 30	28/3/86	25.40	07/4/86	20.41	4.99	2.43	0.27	2.70
30 - 60	"	24.71	"	20.34	4.37	2.06	0.23	2.29
0 - 30	10/4/86	32.33	17/4/86	27.17	5.16	2.51	1.08	3.59
30 - 60	"	30.25	* "	26.42	3.83	1.80	0.77	2.57
0 - 30	17/4/86	27.17	24/4/86	22.82	4.35	2.11		2.11
30 - 60	"	26.42	"	21.89	4.53	2.13		2.13

* Muestreo Intermedio

Sub-Total 28.46

Riegos Generales 9.21

Total 37.67

CUADRO 16

CALCULO DE LAMINA CONSUMIDA EN EL TRATAMIENTO F-24

Estrato en Cms.	Porcentaje de Humedad				Diferen- cia %	Consumo Entre Muestreos	Ajuste	Lámina en Cms.
	Después de Riego		Antes de Riego					
	Fecha	%	Fecha	%				
0 - 30	28/2/86	28.84	10/3/86	26.49	2.35	1.14	0.23	1.37
30 - 60	"	28.35	* "	26.23	2.12	1.00	0.20	1.20
0 - 30	10/3/86	26.49	21/3/86	21.19	5.30	2.58	0.23	2.81
30 - 60	"	26.23	"	23.84	2.39	1.13	0.10	1.23
0 - 30	24/3/86	30.42	02/4/86	25.27	5.15	2.50	0.50	3.00
30 - 60	"	26.26	* "	22.51	3.75	3.75	0.75	4.50
0 - 30	02/4/86	25.27	14/4/86	21.25	4.02	1.95	0.18	2.13
30 - 60	"	22.51	"	18.89	3.62	1.71	0.16	1.87
0 - 30	17/4/86	31.83	24/4/86	25.55	6.28	3.05	1.31	4.36
30 - 60	"	28.91	"	24.16	4.75	2.24	0.96	3.20

* Muestreo Intermedio

Sub-Total 25.67

Riegos Generales 9.21

Total 34.88

CUADRO 17 CALCULO DE LAMINA CONSUMIDA EN EL TRATAMIENTO F-28

Estrato en Cms.	Porcentaje de Humedad				Diferen- cia %	Consumo Entre Muestras	Ajuste	Lámina en Cms.
	Después de Riego		Antes de Riego					
	Fecha	%	Fecha	%				
0 - 30	28/2/86	29.19	12/3/86	24.02	5.17	2.51	0.42	2.93
30 - 60	"	27.69	* "	23.63	4.06	1.91	0.32	2.23
0 - 30	12/3/86	24.02	25/3/86	20.83	3.19	1.55	0.12	1.67
30 - 60	"	23.63	"	21.85	1.78	0.84	0.06	0.90
0 - 30	28/3/86	30.42	07/4/86	26.60	3.82	1.86	0.31	2.17
30 - 60	"	29.15	* "	25.40	3.75	1.77	0.30	2.07
0 - 30	07/4/86	26.60	22/4/86	21.00	5.60	2.72	0.21	2.93
30 - 60	"	25.40	"	20.19	5.21	2.53	0.19	2.72
0 - 30	25/4/86	30.64	---	---	---	---	---	
30 - 60	"	29.51	---	---	---	---	---	

* Muestreo Intermedio

Sub-Total	17.62
Riegos Generales	9.21
Total	26.83

CUADRO 18

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

Semana	Fracción Semanal	T°C	P %	$\frac{T + 17.8}{21.8}$	f	Kt	Kc	Et' cm.	Et cm.
1	1.00	24.1	1.77	1.92	3.40	0.99	0.45	1.51	1.39
2	1.00	26.9	1.84	2.05	3.77	1.08	0.51	2.08	1.91
3	1.00	25.5	1.84	1.99	3.66	1.03	0.64	2.41	2.22
4	1.00	26.7	1.84	2.04	3.75	1.07	0.74	2.97	2.73
5	1.00	24.6	1.87	1.94	3.63	1.01	0.90	3.30	3.04
6	1.00	26.7	1.90	2.04	3.88	1.07	1.03	4.28	3.94
7	1.00	28.4	1.90	2.12	4.03	1.12	1.07	4.83	4.44
8	1.00	24.6	1.90	1.94	3.69	1.01	1.06	3.95	3.63
9	1.00	25.4	1.91	1.98	3.78	1.03	1.04	4.05	3.73
10	1.00	27.7	1.97	2.09	4.12	1.10	0.99	4.49	4.13
11	1.00	28.7	1.97	2.13	4.20	1.13	0.91	4.32	3.97
12	1.00	28.3	1.97	2.11	4.16	1.12	0.86	4.01	3.69
13	0.43	27.6	0.84	2.08	1.75	1.10	0.85	1.64	1.51

$$F = 47.82$$

$$Et' = 43.84 \quad 40.33$$

$$Et = K_g \times F = 0.80 \times 47.82 = 38.26 \text{ cm. Et total} \quad Et \text{ total} = 40.33 \text{ cm.}$$

Calculo de F.A.

$$K' = \frac{Et'}{F} = \frac{43.84}{47.82} = 0.92$$

$$F.A. = K_g / K' = \frac{0.80}{0.92} = 0.87$$

CUADRO 19

CALCULO DE EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL Y TOTAL POR LA FORMULA DE HARGREAVES
MODIFICADA EN 1966

Semana	Fracción Semanal	T°C	d	Hn %	17.37 (1.0 -0.01 Hn)	Kc	Et mm	CORRECCIONES			Et (Cm.) Corregida
								Viento	Altitud 0.8%	Insola- ción	
1	1.00	24.1	0.21	42.98	9.90	0.30	15.03	- 0.40	0.12	- 2.11	1.26
2	1.00	26.9	0.22	40.53	10.33	0.53	32.40	- 2.47	0.26	- 2.61	2.76
3	1.00	25.5	0.22	43.90	9.74	0.73	39.89	- 1.15	0.32	- 3.22	3.58
4	1.00	26.7	0.22	39.40	10.53	0.87	53.81	- 3.21	0.43	- 4.34	4.67
5	1.00	24.6	0.22	34.26	11.42	0.97	59.95	+ 1.53	0.48	- 5.03	5.69
6	1.00	26.7	0.23	37.66	10.83	0.99	65.84	- 1.08	0.53	- 5.73	5.96
7	1.00	28.4	0.23	29.42	12.26	1.00	80.08	- 4.63	0.64	- 6.97	6.91
8	1.00	24.6	0.23	37.97	11.64	0.96	63.22	+ 2.94	0.51	- 5.50	6.12
9	1.00	25.4	0.23	39.40	10.52	0.88	54.08	+ 1.06	0.43	- 4.18	5.14
10	1.00	27.7	0.24	36.00	11.12	0.75	55.44	- 0.06	0.44	- 3.74	5.21
11	1.00	28.7	0.24	31.00	11.98	0.50	41.26	- 1.70	0.33	- 2.79	3.71
12	1.00	28.3	0.24	34.00	11.46	0.28	21.79	- 0.29	0.17	- 1.47	2.02
13	0.43	27.6	0.10	41.18	10.21	0	0	0	0	0	0

Total 53.03

CUADRO 20

CALCULO DE EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL Y TOTAL POR LA FORMULA DE HARGREAVES MODIFICADA EN 1983

Etapas	Inicial	Desarrollo	Mediados	Finales
Fecha	29 / Enero	12/Febrero	14/marzo	13/abril
	A	A	A	A
Aproximada	11/Febrero	13/marzo	12/abril	25/abril

Semana	Promedio T en el Período			Ra mm/seml.	T.D. °C	R.S. mm/período	Etp. mm/período	Kc	ETR mm/período
	Max.°C	Min. °C	Media °F						
1	33.09	17.04	75.35	90.33	16.05	59.71	33.74	0.40	1.35
2	37.89	19.77	80.52	94.08	18.12	66.08	39.91	0.40	1.60
3	34.51	18.80	77.85	94.08	15.71	61.53	35.93	0.78	2.80
4	30.11	19.43	80.00	94.08	10.68	50.73	30.44	0.78	2.37
5	33.34	15.46	76.28	99.52	17.88	64.43	36.86	0.78	2.88
6	37.40	18.44	80.06	103.60	18.96	74.43	44.69	0.78	3.49
7	38.94	19.97	83.15	103.60	18.97	74.45	46.43	1.13	5.25
8	31.89	19.11	76.33	103.60	12.78	61.11	34.98	1.13	3.95
9	32.29	18.71	77.67	104.45	13.58	63.51	37.00	1.13	4.18
10	36.94	18.94	81.99	109.55	18.00	76.69	47.16	1.13	5.33
11	39.26	19.60	83.66	109.55	19.66	80.15	50.29	0.88	4.43
12	37.97	21.37	84.71	109.55	16.60	73.65	46.79	0.88	4.12
13	34.20	22.07	81.74	46.95	12.13	26.98	16.54	0.88	1.46

Total = 43.21

$$Etr = Etp \cdot Kc$$

$$Etp = 0.0075 \cdot RS \cdot T^{\circ F}$$

$$Rs = 0.165 \cdot Ra \cdot TD^{0.5}$$

CUADRO 21

EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL Y TOTAL DE LOS SEIS TRATAMIENTOS, BLANEY-CRIDDLE,
HARGREAVES MODIFICADO EN 1966, HARGREAVES MODIFICADO EN 1983, Y TANQUE EVA-
PORIMETRO TIPO "A"

Semana	Tratamientos						Blaney- Criddle	Hargreaves modificado en 1966	Hargreaves modificado en 1983	Evaporación en tanque tipo "A"
	F - 8	F - 12	F - 16	F - 20	F - 24	F - 28				
1	2.23	2.23	2.23	2.23	2.23	2.23	1.39	1.26	1.35	1.02
2	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	1.91	2.76	1.60	1.93
3	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.22	3.58	2.80	2.33
4	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.73	4.67	2.37	2.99
5	2.11	0.96	3.01	3.59	1.50	2.41	3.04	5.69	2.88	4.76
6	3.00	1.83	3.01	3.15	1.74	2.41	3.94	5.96	3.49	4.57
7	3.14	4.00	2.36	2.80	2.36	1.44	4.44	6.91	5.25	5.31
8	3.63	4.73	2.11	2.75	3.51	1.29	3.63	6.12	3.95	5.24
9	5.50	5.29	2.70	3.28	4.38	2.14	3.73	5.14	4.18	3.17
10	7.05	6.02	3.50	3.72	2.62	2.28	4.13	5.21	5.33	4.81
11	7.42	5.83	3.33	4.31	2.63	2.47	3.97	3.71	4.43	3.43
12	7.33	4.00	2.29	3.16	4.41	2.47	3.69	2.02	4.12	2.63
13	1.25	2.28	0.66	1.70	2.52	0.71	1.51	0.00	1.46	1.54
Total	49.64	44.15	32.18	37.67	34.88	26.83	40.33	53.03	43.21	43.73

CUADRO 22

COEFICIENTES DE DETERMINACION " r^2 " DE LA EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL DE LOS
TRATAMIENTOS vrs. FORMULAS

Trata- mientos	F o r m u l a s	r_c^2	r_t^2
F - 8	Blaney - Criddle	0.320	0.64
	Hargreaves modificado en 1966	0.002	"
	Hargreaves modificado en 1983	0.447	"
	Tanque evaporímetro tipo "A"	0.071	"
F-12	Blaney - Criddle	0.459	0.64
	Hargreaves modificado en 1966	0.008	"
	Hargreaves modificado en 1983	0.512	"
	Tanque evaporímetro tipo "A"	0.006	"
F-16	Blaney - Criddle	0.577	0.64
	Hargreaves modificado en 1966	0.376	"
	Hargreaves modificado en 1983	0.316	"
	Tanque evaporímetro tipo "A"	0.310	"
F-20	Blaney - Criddle	0.412	0.64
	Hargreaves modificado en 1966	0.152	"
	Hargreaves modificado en 1983	0.340	"
	Tanque evaporímetro tipo "A"	0.535	"
F-24	Blaney - Criddle	0.013	0.64
	Hargreaves modificado en 1966	0.064	"
	Hargreaves modificado en 1983	0.055	"
	Tanque evaporímetro tipo "A"	0.098	"
F-28	Blaney - Criddle	0.311	0.64
	Hargreaves modificado en 1966	0.075	"
	Hargreaves modificado en 1983	0.172	"
	Tanque evaporímetro tipo "A"	0.162	"

CUADRO 23

RELACION SEMANAL DE EVAPOTRANSPIRACION / EVAPORACION DURANTE EL CICLO DEL CULTIVO DE LOS SEIS TRATAMIENTOS

Semana	T r a t a m i e n t o s					
	F-8	F-12	F-16	F-20	F-24	F-28
1	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
2	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
3	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
4	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
5	0.30	0.13	0.41	0.49	0.21	0.33
6	0.46	0.28	0.46	0.49	0.27	0.37
7	0.44	0.56	0.33	0.39	0.33	0.21
8	0.52	0.68	0.30	0.39	0.50	0.18
9	1.21	1.17	0.59	0.72	0.96	0.47
10	0.91	0.78	0.45	0.48	0.34	0.30
11	1.12	0.88	0.50	0.65	0.40	0.37
12	1.05	0.57	0.33	0.45	0.63	0.35
13	0.28	0.49	0.14	0.36	0.54	0.15

DOBLA 25.04.86

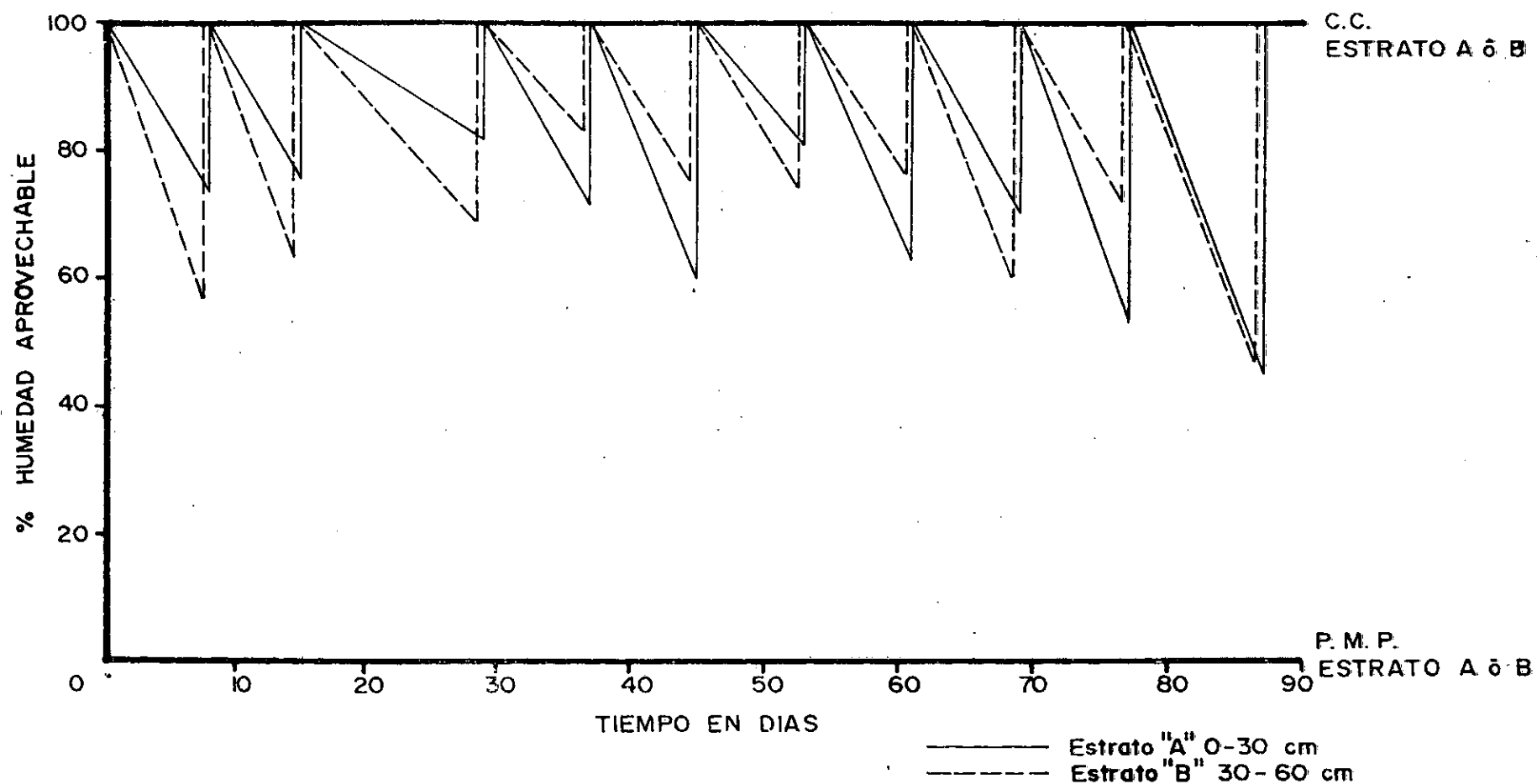


FIGURA 1
PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE TRATAMIENTO F-8

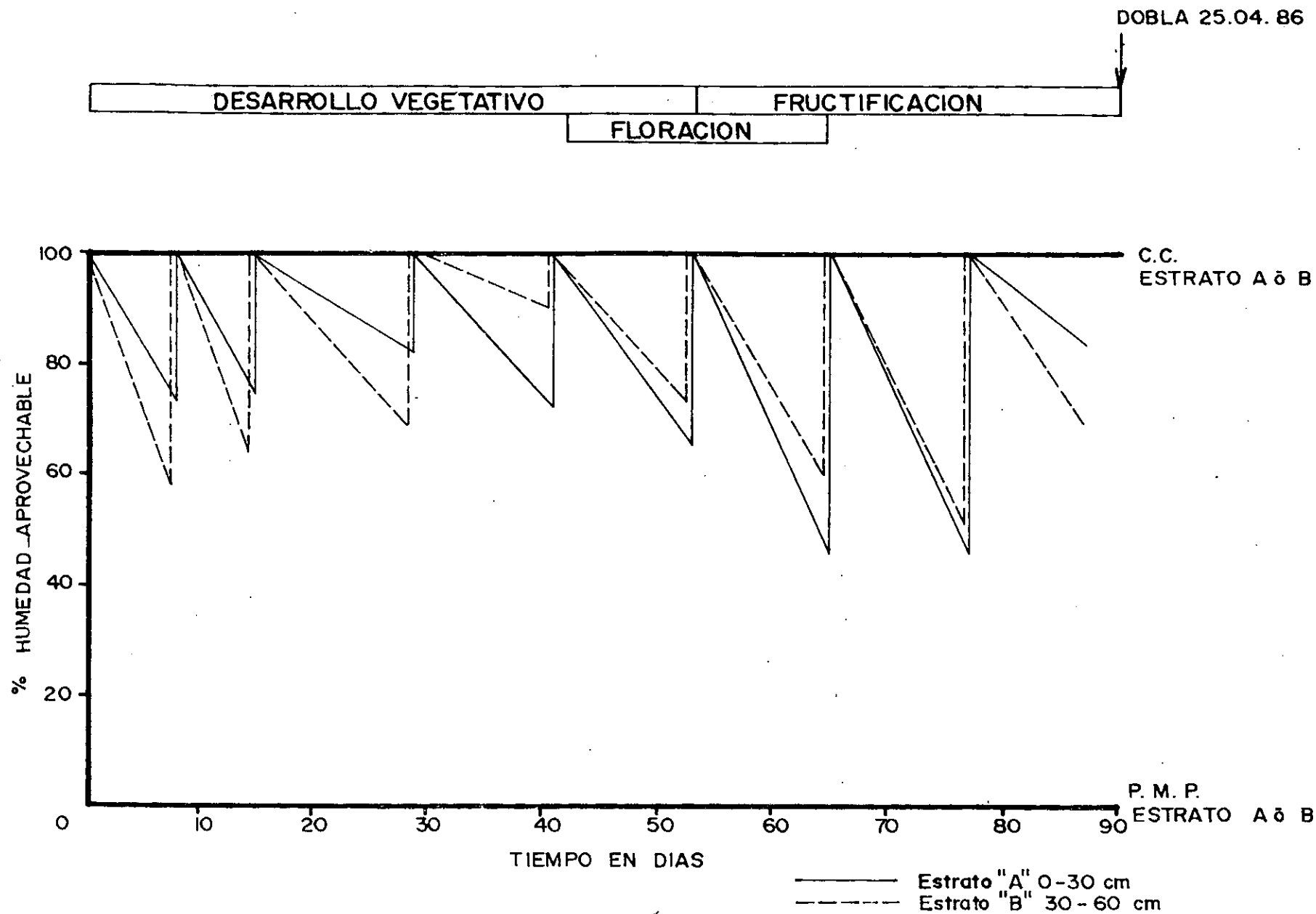


FIGURA 2
PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE TRATAMIENTO F-12

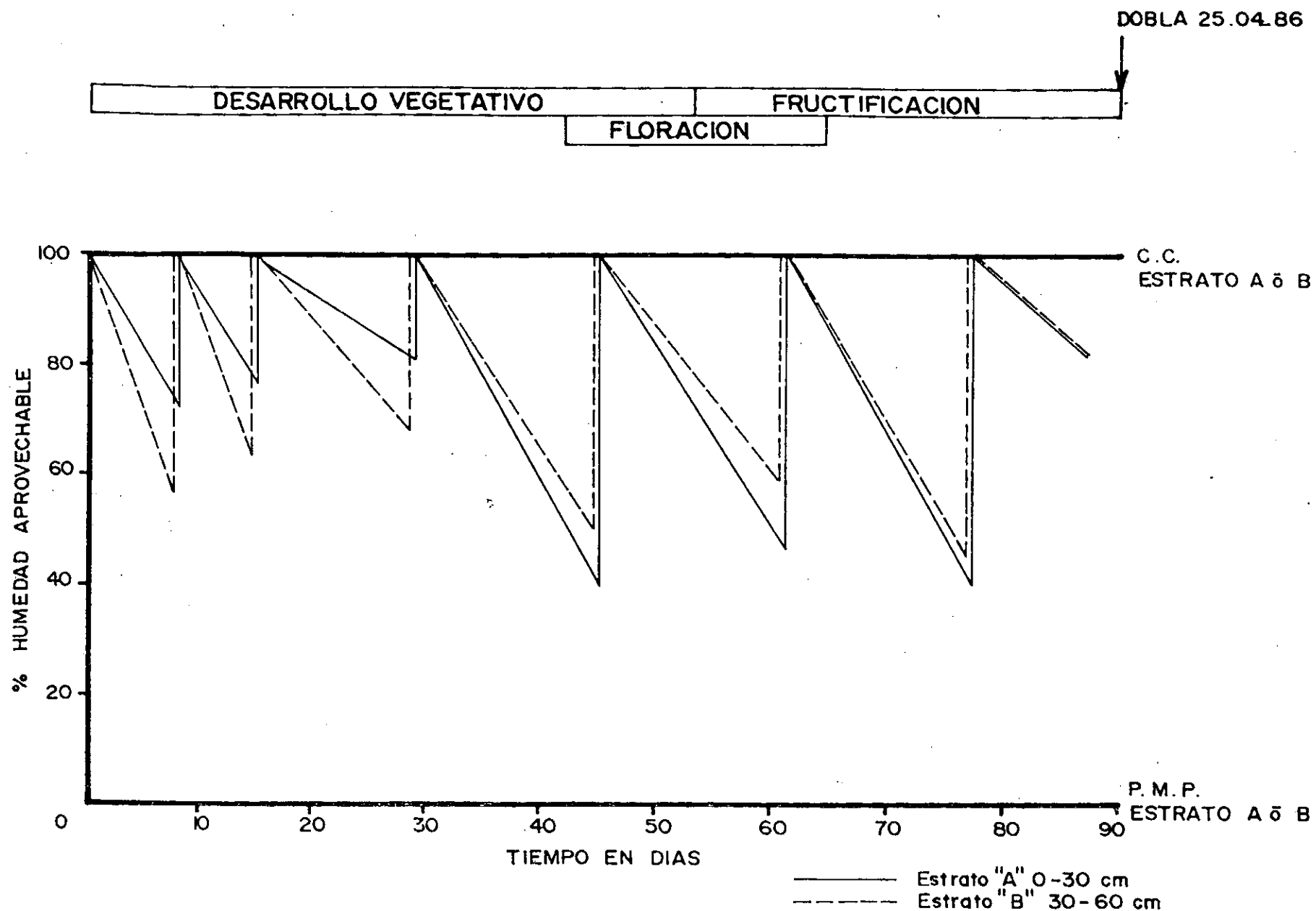


FIGURA 3
PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE TRATAMIENTO F - 16

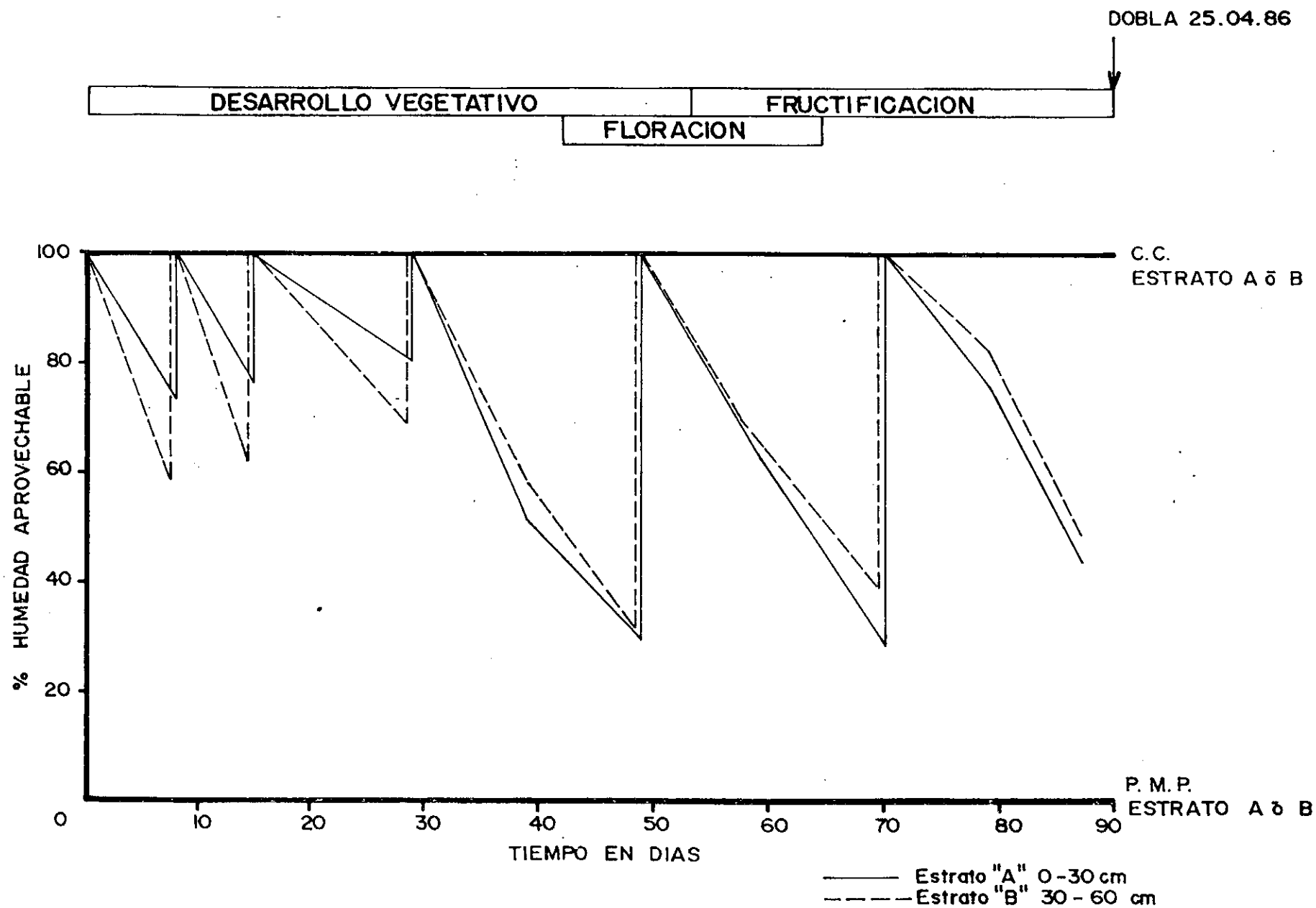


FIGURA 4
PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE TRATAMIENTO F-20

DOBLA 25.04.86

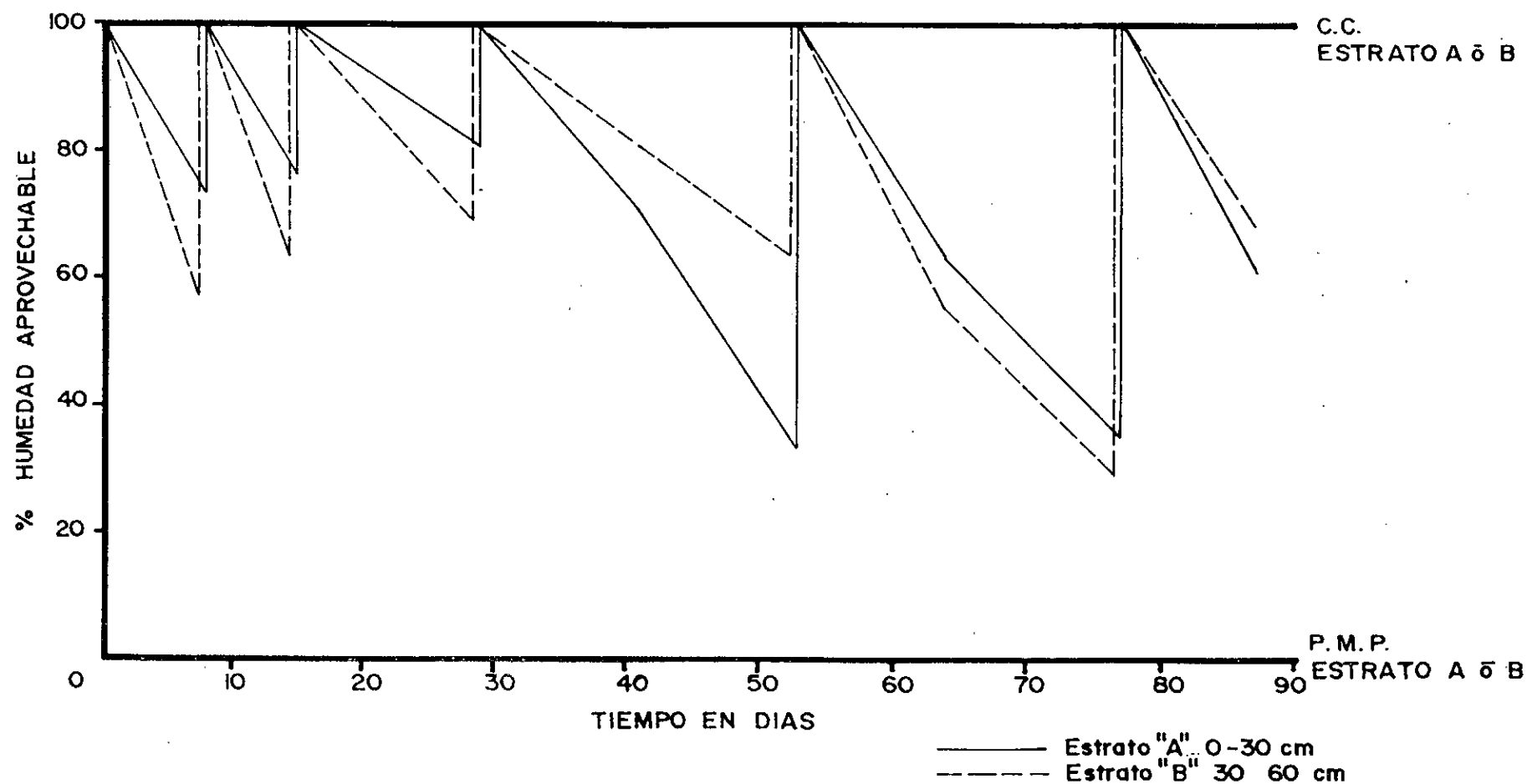


FIGURA 5
PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE TRATAMIENTO F-24

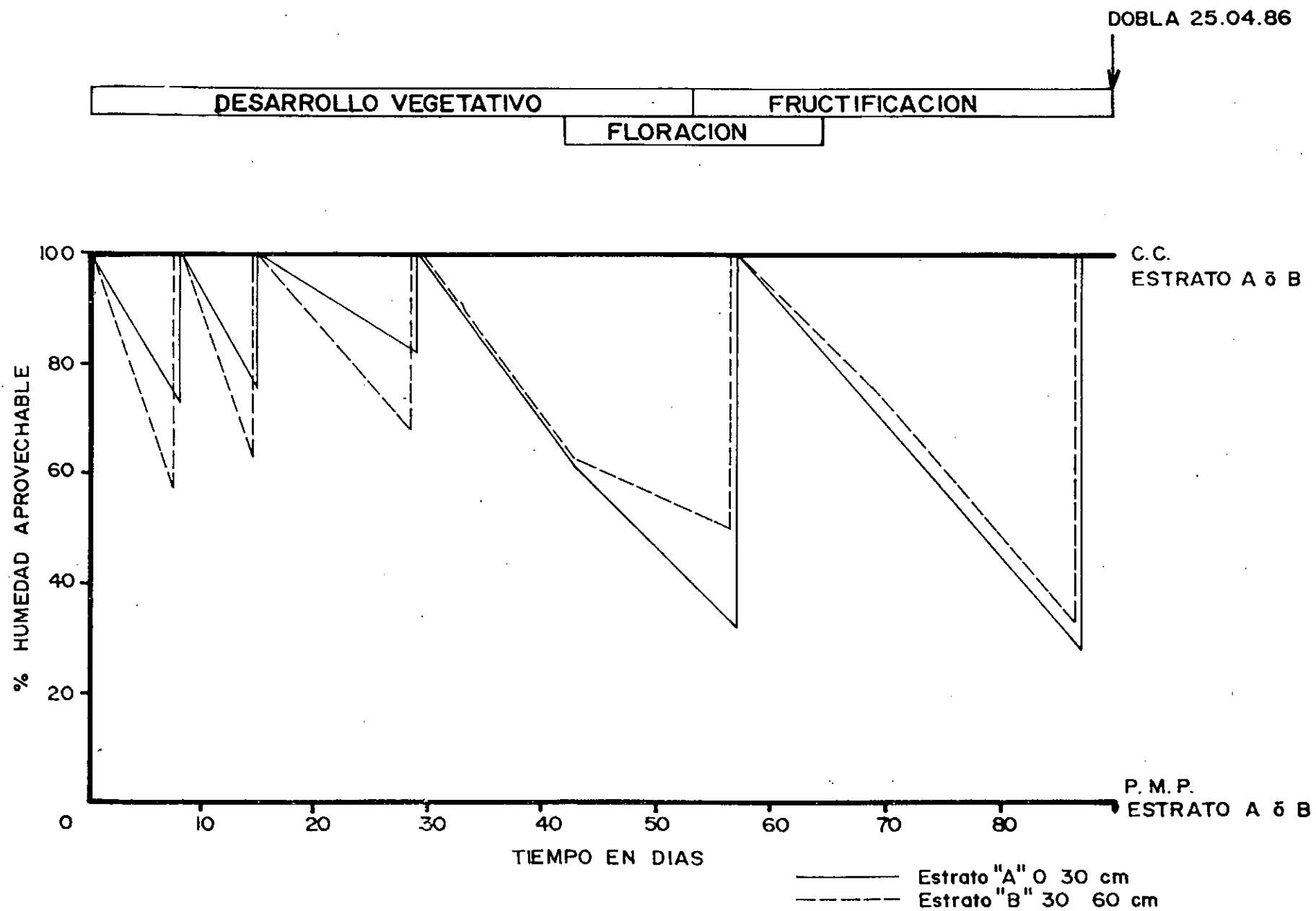


FIGURA 6
 PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE TRATAMIENTO F- 28

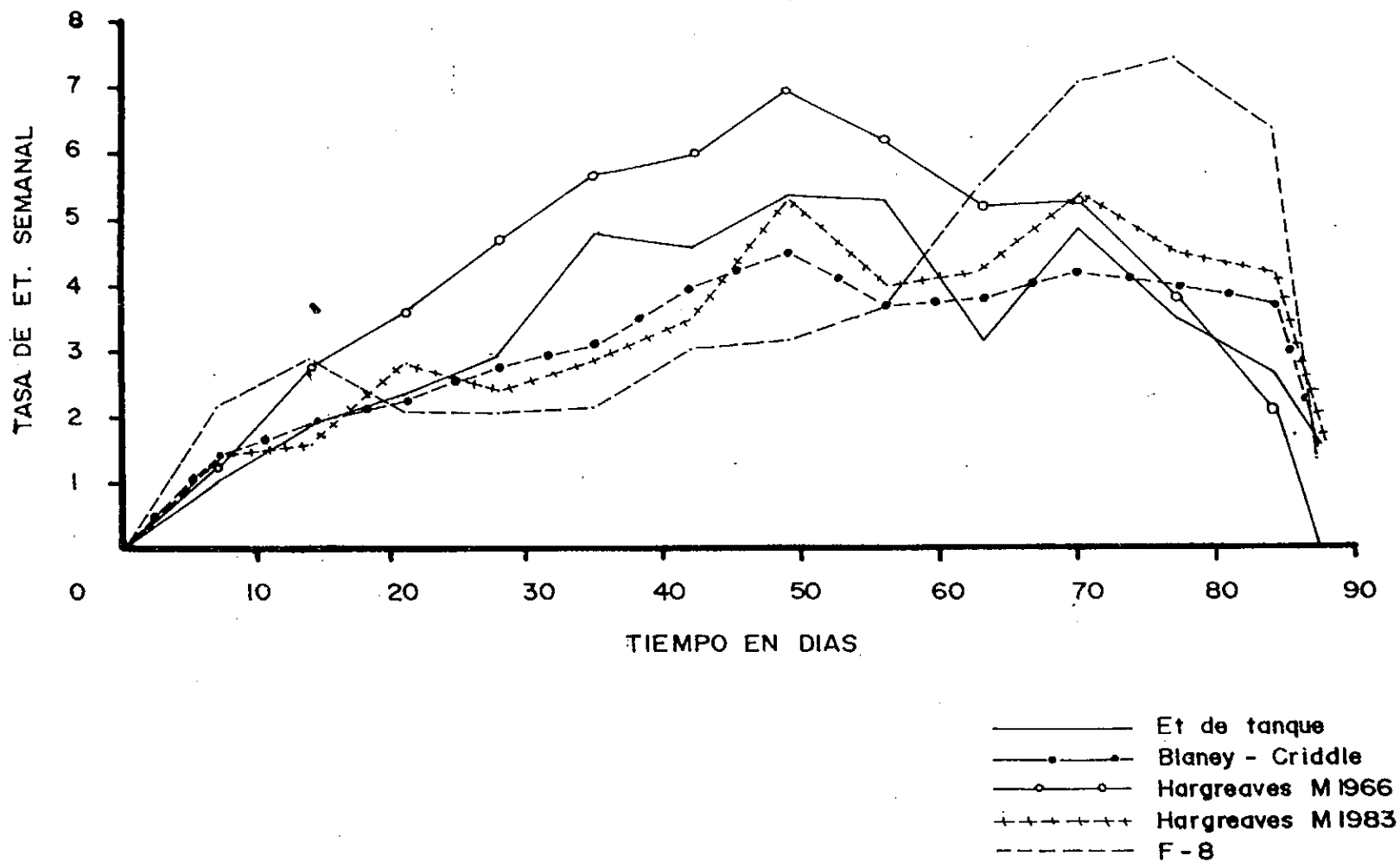


FIGURA 7
TASA DE EVAPOTRANSPIRACION DEL TRATAMIENTO F - 8 Y FORMULAS

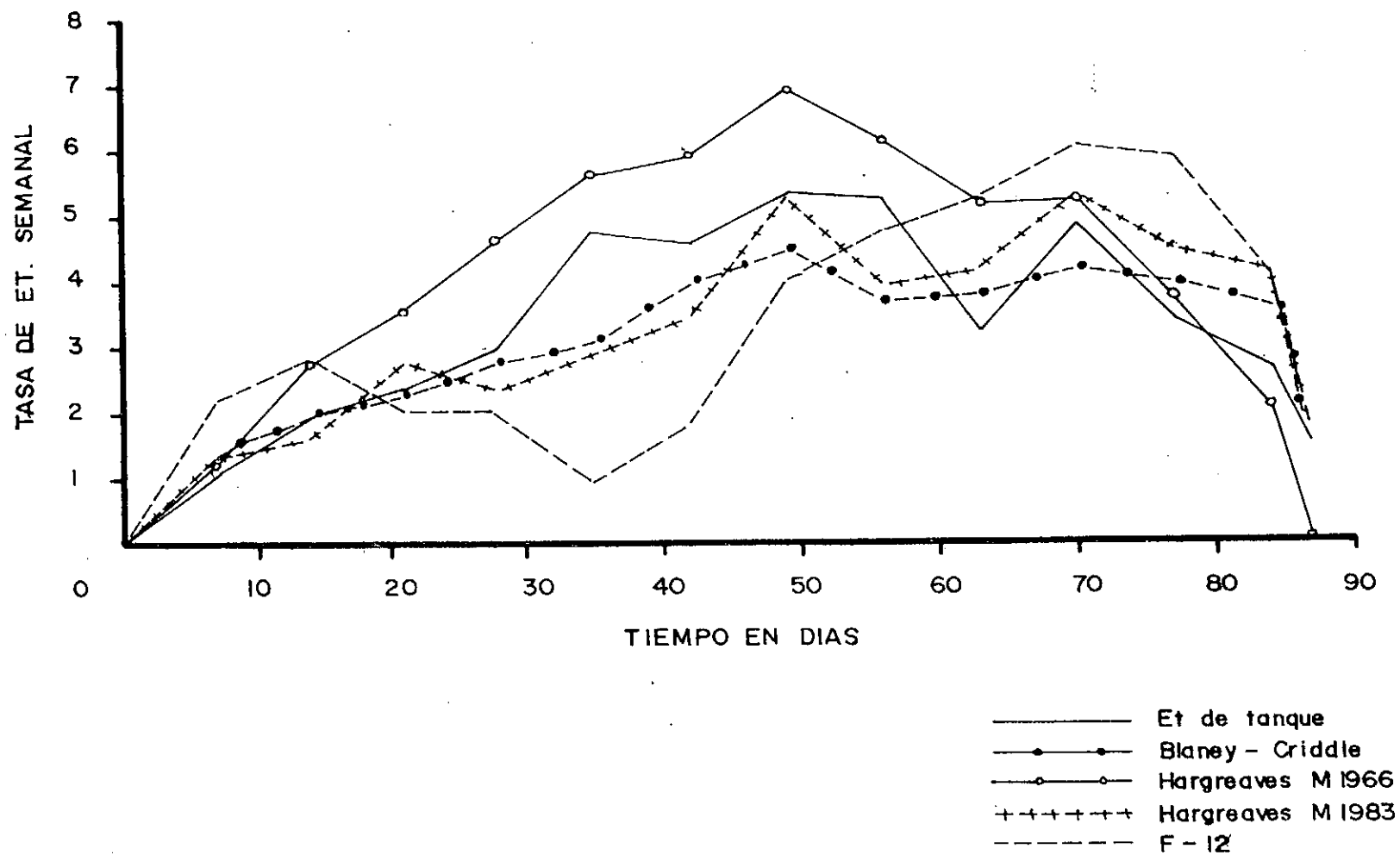


FIGURA 8
TASA DE EVAPOTRANSPIRACION DEL TRATAMIENTO F - 12 Y FORMULAS

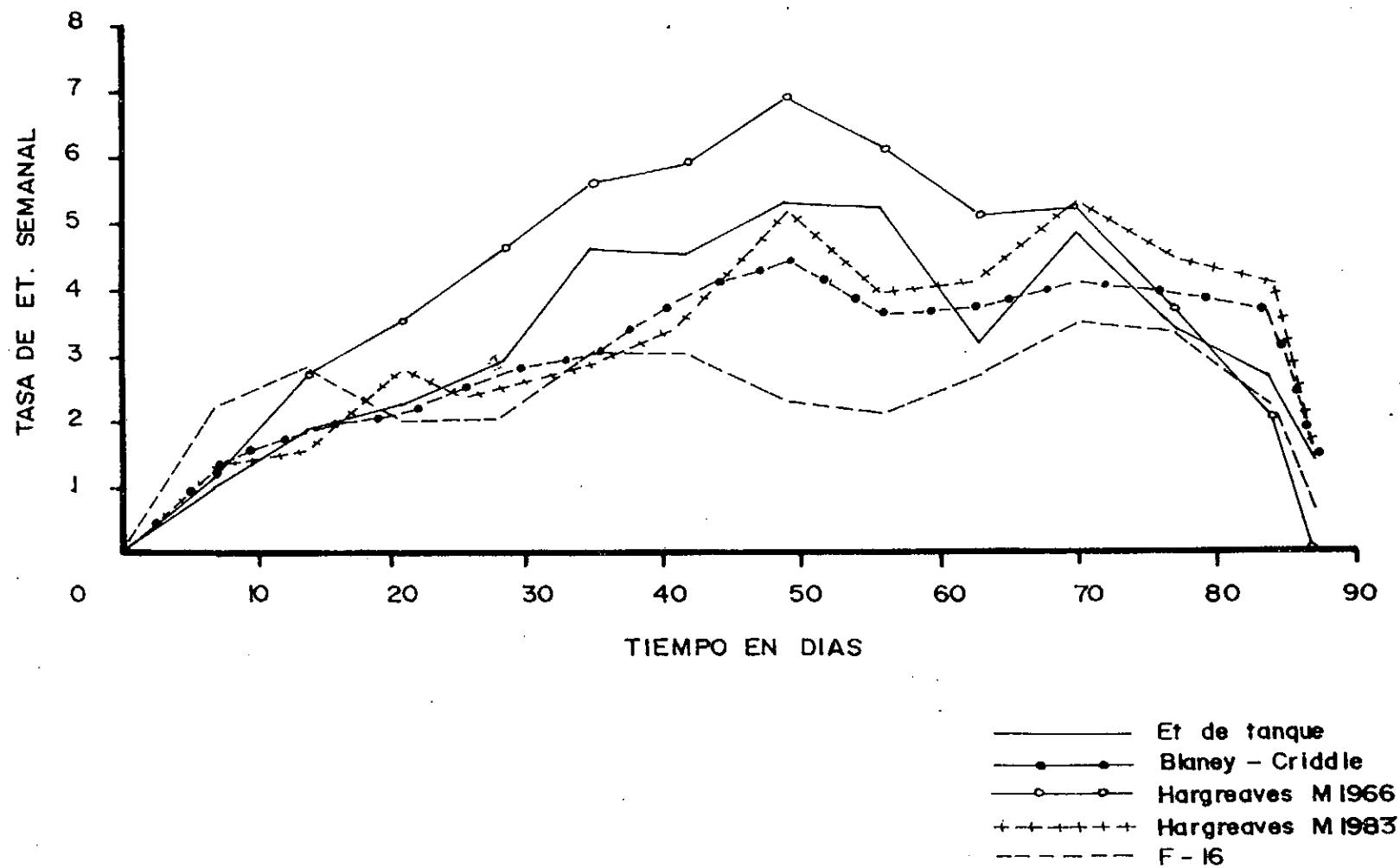


FIGURA 9
TASA DE EVAPOTRANSPIRACION DEL TRATAMIENTO F-16 Y FORMULAS

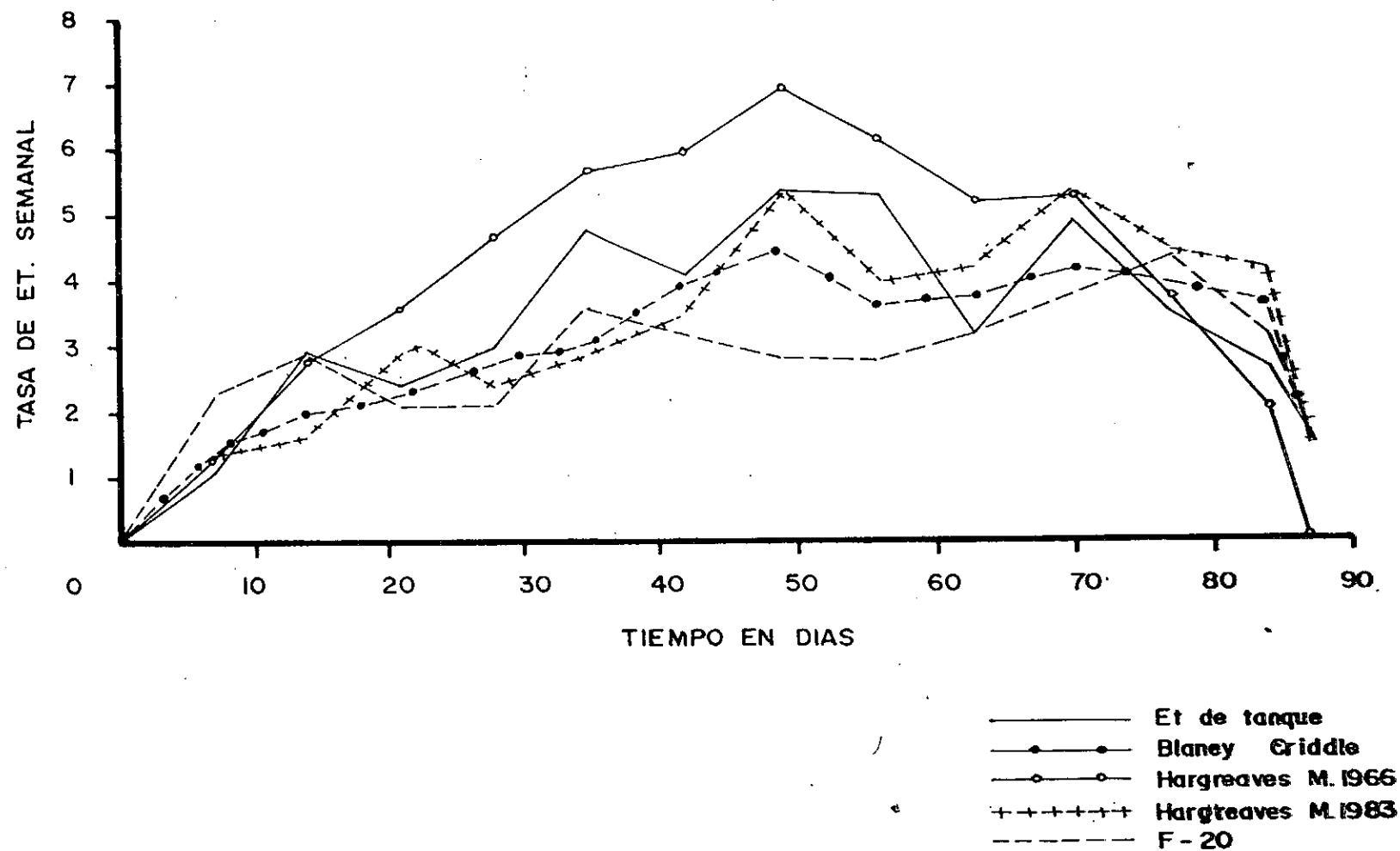


FIGURA 10
TASA DE EVAPOTRANSPIRACION DEL TRATAMIENTO F-20 Y FORMULAS

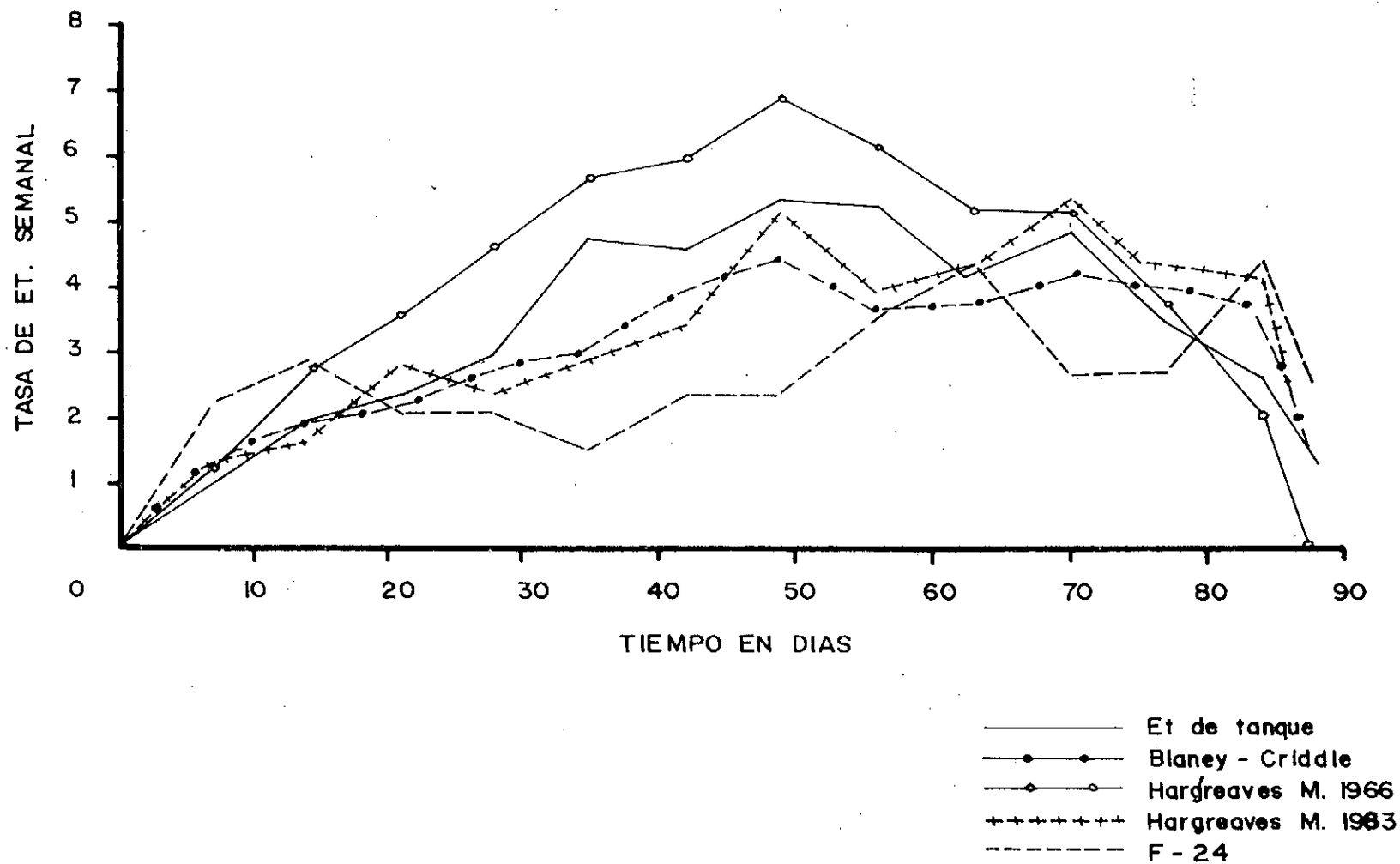


FIGURA II
TASA DE EVAPOTRANSPIRACION DEL TRATAMIENTO F-24 Y FORMULAS

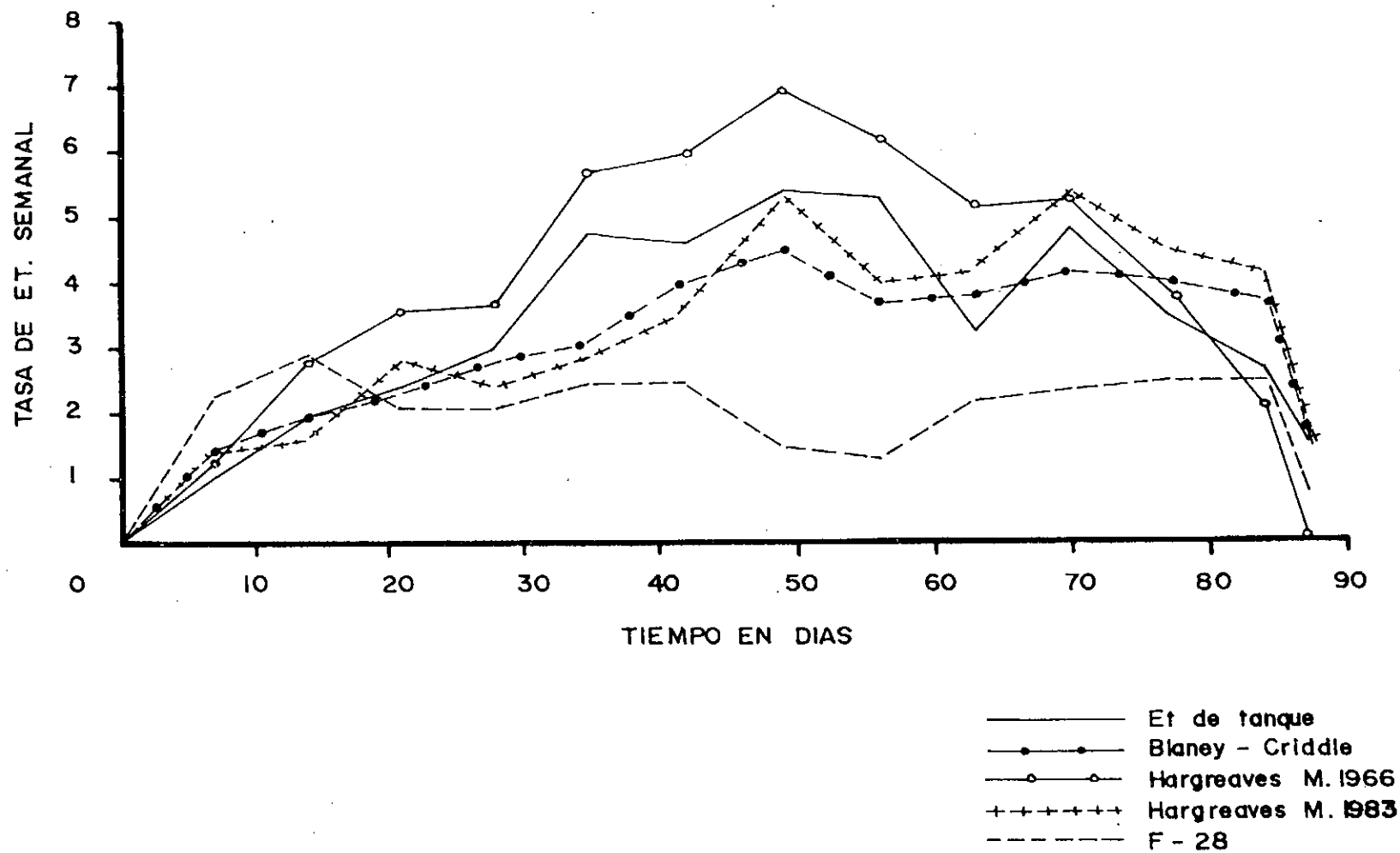


FIGURA 12
TASA DE EVAPOTRANSPIRACION DEL TRATAMIENTO F-28 Y FORMULAS

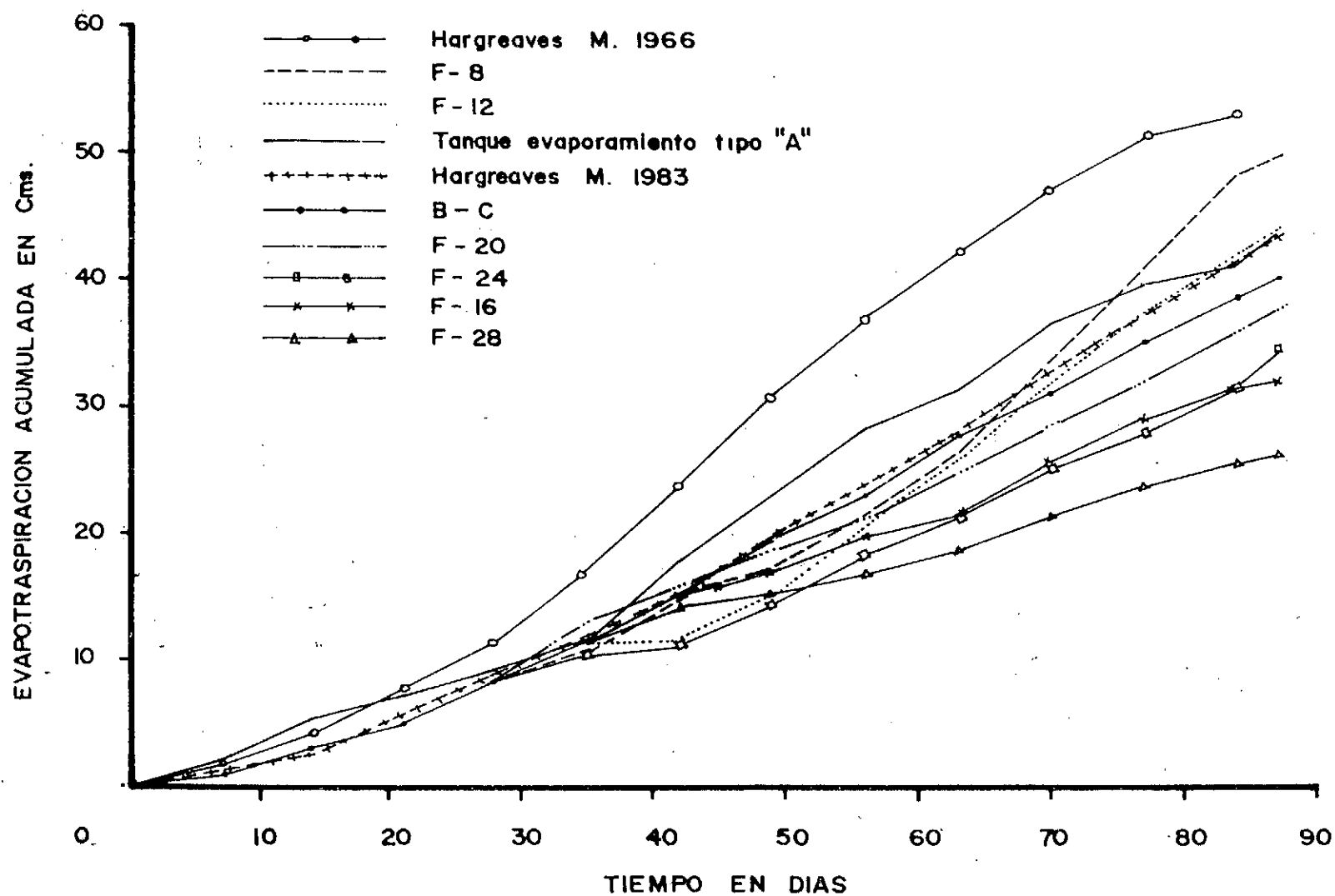


FIGURA 13

EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL ACUMULADA DE LOS SEIS TRATAMIENTOS Y FORMULAS

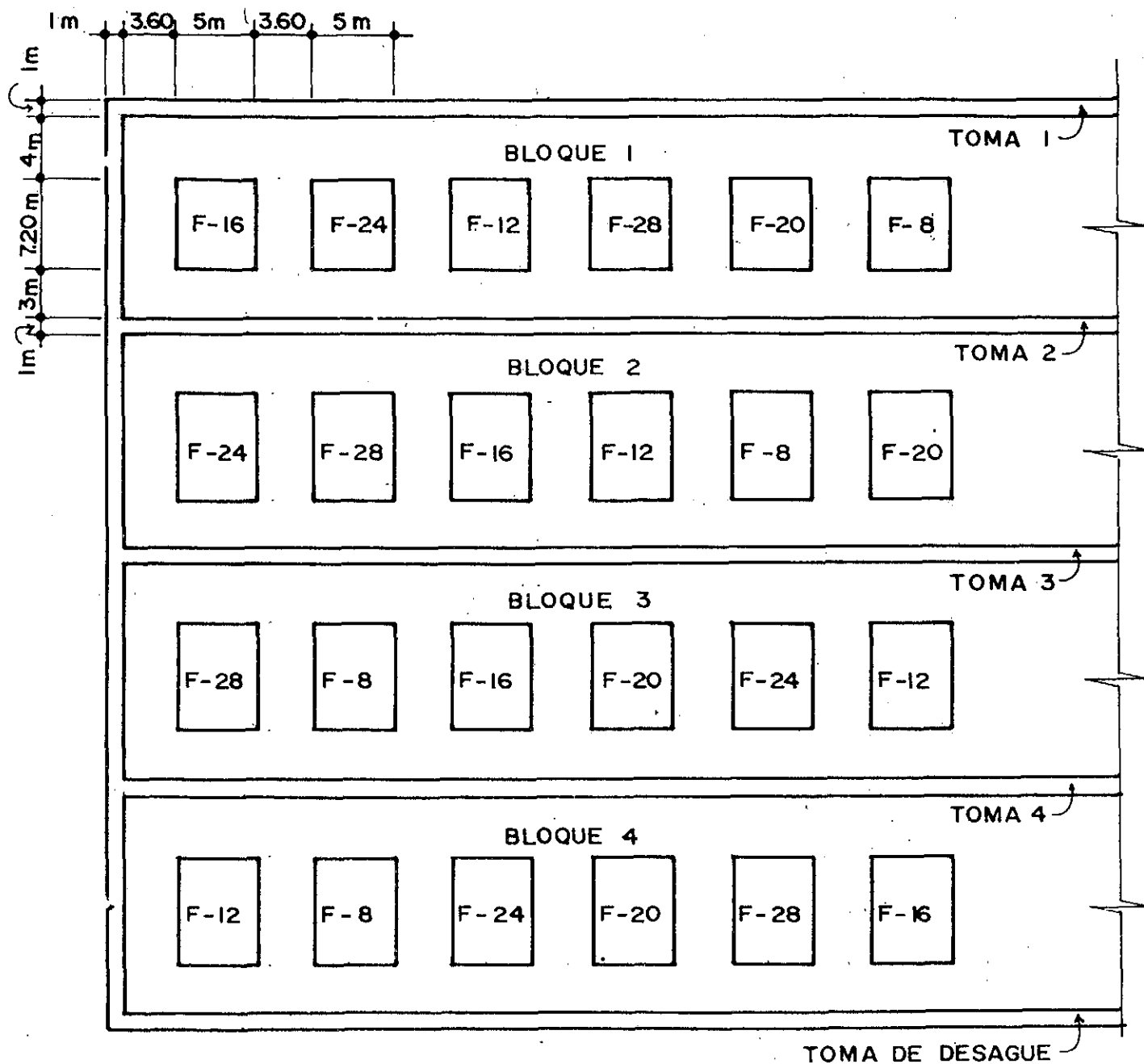


FIGURA 14
DISTRIBUCION DE PARCELAS Y SUS DIMENSIONES

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 fórmulas 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. 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.
5. CORADO ESQUIVEL, M. 1984. Efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración en el melón (Cucumis melo L.) en el valle de La Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 63 p.
6. DONAHUE; MILLER; SHICKLUNA. 1983. Soil an introduction to soils and plant growth. Fifth edition. New Jersey, E.E. U.U., Prentice-Hall, Inc. p. 198-465-467
7. DOOREMBOOS, J.; KASSAM, A.H. 1979. Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos. FAO. Serie Riego y Drenaje no. 33. 212 p.
8. FARRINGTON, W.; PORRES, G.O. 1964. Proyecto de irrigación del valle de La Fragua. Guatemala, Ministerio de Agricultura. p. 1-33
9. FRANCIS, C.J.; TURELLE, J.W. 1968. Riego del maíz. México, AID. Boletín Agrícola no. 2059. 14 p.
10. GRASSI, C.J. 1975. Estimación de los usos consuntivos de agua y requerimiento de riego con fines de formulación y diseño de proyectos; criterios y procedimientos. Mérida, Venezuela, CIDIAT. Texto no. RD-8. 88 p.
11. GUATEMALA. INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLA. s.f. Cultivo del maíz. Guatemala, 36 p.

12. ISRAELSEN, O.W.; HANSEN, V.E. 1979. Principios y aplicaciones de riego. Traducido por Alberto García Palacios. Barcelona, España, Reverté. 276 p.
13. JENSEN, M.E. 1980. Desing and operation of farm irrigation systems. Michigan, E.E.U.U. The American Society of - Agricultural Engineers. p. 777
14. MANUALES PARA educación agropecuaria. 1984. México Secretaría de Educación Pública. Serie Riego y Drenaje no. 35. p. 13-14.
15. MENDEZ GARCIA, J.G. 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.
16. MENDEZ GUZMAN, L.F. 1984. Efecto de seis frecuencias de 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, Facultad de Agronomía. 92 p.
17. MORALES MILIAN, L.A. 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, Facultad de Agronomía. 67 p.
18. OLIVA CERMEÑO, E.E. 1986. Efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y 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.
19. PAIR, C. 1977. Sprinkler irrigation. 2 ed. E.E.U.U., The Irrigation Association. p 147-148
20. RELACIONES ENTRE suelo-planta-agua. 1972. Traducido por Emilio Avila de la Torre. México, Diana. 99 p.
21. RESULTADOS DE investigaciones en métodos de riego 1976-1978. 1981. Cenamar (México) no. 1: 8-22
22. RESULTADOS DE investigaciones en métodos de riego 1979-1980. 1982. Cenamar (México) no. 3: 13,15,18.
23. REYES RODRIGUEZ, L.I. 1979. Frecuencia de riego en el cultivo del maíz, con cuatro diferentes láminas de agua, longitud de surco 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.

24. 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.
25. 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 Barcena, Villa Nueva. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 68 p.
26. SANCHEZ CHAVEZ, J. 1984. Efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración en cebolla (Allium cepa L.) para la zona de Barcena, Villa Nueva. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 66 p.
27. SHALHEVET, J. et al. 1981. Irrigation of field and orchard crops under semi-arid conditions. 2 ed. Israel, Keterpress Enterprises Ltd. no. 1. p. 24-25
28. SIMMONS, Ch. S.; TARANO, J.M. y PINTO, J.H. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Solsona. Guatemala, José Pineda Ibarra. 1000 p.
29. WITHERS, D.; VIPOND, S. 1979. El riego; diseño y práctica. Traducido por Agustín Coffín. México, Diana. p.47-127
30. 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.
Pabualle

