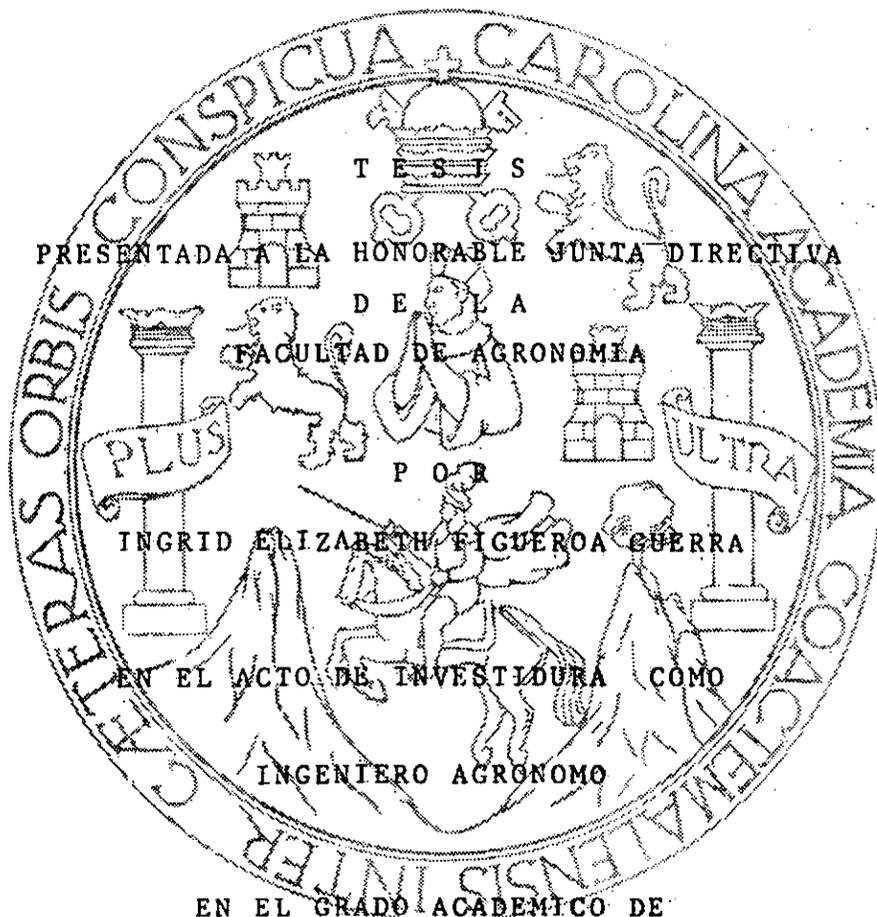


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

"EFECTO DE SEIS FRECUENCIAS DE RIEGO EN EL RENDIMIENTO
Y EVAPOTRANSPIRACION DEL CULTIVO DEL FRIJOL (Phaseolus
vulgaris L.) EN LA UNIDAD DE RIEGO SAN JERONIMO, BAJA
VERAPAZ"



LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

BIBLIOTECA CENTRAL-USAC
DEPOSITO LEGAL
PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 1987

DH
01
T(1094)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

R E C T O R

Lic. RODERICO SEGURA TRUJILLO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Ing. Agr. Anibal Bartolomé Martínez Muñoz
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Gustavo Adolfo Méndez Gómez
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Jorge E. Sandoval Illescas
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Mario Melgar M.
VOCAL CUARTO	Br. Marco Antonio Hidalgo
VOCAL QUINTO	T.U. Carlos E. Méndez M.
SECRETARIO	Ing. Agr. Rolando Lara Alecio

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Agr. César Augusto Castañeda Salguero
EXAMINADOR	Ing. Agr. Negli René Gallardo
EXAMINADOR	Ing. Agr. Oscar Leiva Ruano
EXAMINADOR	Ing. Agr. César Astorga
SECRETARIO	Ing. Agr. Luis Alberto Castañeda Amaya



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia IA-156-87

Asunto

Octubre de 1987

Ingeniero Agrónomo
Aníbal Martínez
Decano, Facultad de Agronomía.

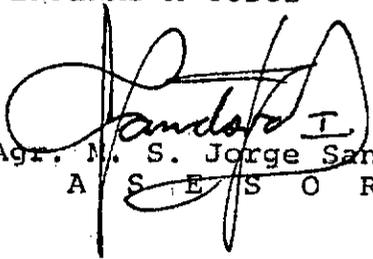
Señor Decano:

En atención al nombramiento recibido de ésa Decanatura, me permito manifestar a usted que he asesorado y revisado el trabajo de tesis titulado: "EFECTO DE SEIS FRECUENCIAS DE RIEGO EN EL RENDIMIENTO Y LA EVAPOTRANSPIRACION DEL CULTIVO DEL FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) EN LA UNIDAD DE RIEGO DE SAN JERONIMO, BAJA VERAPAZ", desarrollado por la estudiante Ingrid Elizabeth Figueroa Guerra.

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.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Agr. M. S. Jorge Sandoval I.

A S E S O R

JSI/eqded.

Guatemala,
Octubre de 1987

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

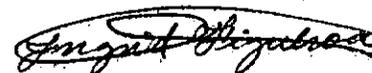
Señores:

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

" EFECTO DE SEIS FRECUENCIAS DE RIEGO EN EL RENDIMIENTO Y EVAPOTRANSPIRACION DEL CULTIVO DE FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.) EN LA UNIDAD DE RIEGO SAN JERONIMO, BAJA VERAPAZ"

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

Atentamente,



Ingrid Elizabeth Figueroa Guerra

iefg.

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

A MIS PADRES

A MI ESPOSO

Ing. Agr. Domingo Amador

A MIS HERMANOS

Marisa, Ruth, Amparo, Edgar, Marco Osmundo,
Marlon y Fredy

A MIS SOBRINOS

Karem, Janette, Beatriz, Claudia, Byron,
Lester, Vinicio, Julio, Cristian y Wendolyn

A MIS CUÑADOS

Elda, Patricia, Marina, Byron y Julio

TESIS QUE DEDICO

A: GUATEMALA

A: La Universidad de San Carlos

A: La Facultad de Agronomia

AGRADECIMIENTO

- AL: Ing. Agr. M.Sc. Jorge Sandoval Tlescas, por la Asesoría y orientación para la realización del presente estudio.
- AL: Instituto de Investigaciones Agronómicas -IIA-
- AL: Personal técnico, administrativo y de campo del Centro de Producción del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas -ICTA- de San Jerónimo, Baja Verapaz, en especial a los ingenieros: Vinicio Barrondo, Arnoldo Sierra y Otto Sierra

INDICE GENERAL

	<u>Página</u>
RESUMEN	i
1. INTRODUCCION	1
2. HIPOTESIS	3
3. OBJETIVOS	4
3.1 Objetivo General	4
3.2 Objetivos Específicos	4
4. REVISION DE LITERATURA	5
4.1 Generalidades sobre el cultivo del frijol	5
4.2 Estudios realizados en irrigación del cultivo del frijol	5
4.2.1 Períodos críticos de la deficiencia de agua en el cultivo del frijol	5
4.2.2 Consumo de agua en el cultivo del frijol	6
4.2.3 Frecuencia de riego y la lámina de agua a aplicar en el cultivo del frijol	7
4.3 Evapotranspiración	12
4.4 Métodos para determinar la evapotranspiración	13
4.4.1 Método de parcelas experimentales	14
4.4.2 Método de Blaney-Criddle	15
4.4.3 Método de Hargreaves modificado en 1966	17
4.4.4 Método de Hargreaves modificado en 1983	18
4.4.5 Método de evaporación del tanque tipo "A"	19
4.5 Experimentos realizados en Guatemala, para determinar la adaptabilidad de la fórmula de Blaney-Criddle modificada por J.T. Phelan y V.E. Hansen, y la de Hargreaves modificada en 1966 y en 1983, en diferentes cultivos y regiones	20

	<u>Página</u>
4.6 Constantes de humedad del suelo	23
4.6.1 Humedad a capacidad de campo	23
4.6.2 Punto de marchitez permanente	25
4.7 Método del plástico para determinar la densidad aparente	25
5. METODOLOGIA	26
5.1 Ubicación y descripción del área experimental	26
5.2 Análisis y determinaciones previas	27
5.3 Manejo del cultivo	28
5.4 Manejo del experimento	28
5.5 Diseño estadístico, características del área experimental y variables evaluadas	33
5.6 Método de análisis de resultados	34
6. RESULTADOS Y DISCUSION	36
6.1 Resultados y análisis de las variables respuesta	36
6.1.1 Rendimiento	37
6.1.2 Número de plantas vivas por parcela útil al final del ciclo	37
6.2 Uso del agua por el cultivo	38
6.2.1 Uso del agua por el cultivo	38
6.2.2 Agotamiento de la humedad aprovechable del suelo	39
6.3 Comparación de la evapotranspiración medida en el campo con las fórmulas calculadas de Blaney-Criddle modificada por Phelan y Hansen y Hargreaves modificada en 1966 y en 1983.	41
6.4 Cálculo del coeficiente "C" de la relación evapotranspiración versus evaporación	42
7. CONCLUSIONES	44
8. RECOMENDACIONES	45

9. BIBLIOGRAFIA

46

10. APENDICE

51

INDICE DE CUADROS

<u>CUADRO No.</u>		<u>Página</u>
1	Evapotranspiración del frijol de invierno en Coianira (GO), Brasil	6
2	Rendimientos y número de plantas vivas por parcela útil al final del experimento	36
3	Láminas totales de agua consumida por el cultivo y número de riegos para cada uno de los tratamientos	38
4	Relación evapotranspiración/evaporación para las diferentes etapas fenológicas del cultivo del frijol	42
5	Propiedades físicas del suelo en donde se realizó el experimento	52
6	Análisis químico del suelo en donde se realizó el experimento	52
7	Resumen de los cationes intercambiables en miliequivalentes por 100 gramos de suelo seco	53
8	Resultados organizados de rendimiento de grano en kilogramos por hectárea	54
9	Análisis de varianza para el rendimiento en grano en kilogramos por hectárea	54
10	Prueba de Tukey para el rendimiento en grano en kilogramos por hectárea	54
11	Número de plantas vivas al final del ciclo del cultivo por parcela organizadas por tratamiento y repetición	55
12	Análisis de varianza para el número de plantas vivas al final del ciclo del cultivo por parcela	55
13	Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para todos los tratamientos durante los riegos generales	56

CUADRO No.Página

14	Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-8	57
15	Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-12	58
16	Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-16	59
17	Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-20	60
18	Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-24	61
19	Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-28	62
20	Cálculo de la evapotranspiración semanal y total por el método de Blaney-Criddle	63
21	Cálculo de la evapotranspiración semanal y total por el método de Hargreaves 1966	64
22	Cálculo de la evapotranspiración semanal y total por el método de Hargreaves 1983	65
23	Coefficiente de determinación " r^2 " del modelo lineal de los seis tratamientos versus fórmulas	66
24	Relación entre evapotranspiración semanal de los tratamientos y la evaporación del tanque tipo "A"	67

CUADRO No.

Página

25	Evapotranspiración semanal y total (cm.) de los diferentes tratamientos y fórmulas	68
26	Valores y evapotranspiración semanal acumulada (cm.) de los diferentes tratamientos y fórmulas	69

INDICE DE FIGURAS

<u>FIGURA No.</u>		<u>Página</u>
1	Porcentaje de humedad aprovechable. Tratamiento F-8	70
2	Porcentaje de humedad aprovechable. Tratamiento F-12	71
3	Porcentaje de humedad aprovechable. Tratamiento F-16	72
4	Porcentaje de humedad aprovechable. Tratamiento F-20	73
5	Porcentaje de humedad aprovechable. Tratamiento F-24	74
6	Porcentaje de humedad aprovechable. Tratamiento F-28	75
7	Evapotranspiración semanal acumulada del tratamiento F-8 y las fórmulas calculadas	76
8	Evapotranspiración semanal acumulada del tratamiento F-12 y las fórmulas calculadas	77
9	Evapotranspiración semanal acumulada del tratamiento F-16 y las fórmulas calculadas	78
10	Evapotranspiración semanal acumulada del tratamiento F-20 y las fórmulas calculadas	79
11	Evapotranspiración semanal acumulada del tratamiento F-24 y las fórmulas calculadas	80
12	Evapotranspiración semanal acumulada del tratamiento F-28 y las fórmulas calculadas	81
13	Plano del lote experimental.....	82

RESUMEN

El presente estudio se realizó en la Unidad de Riego de San Jerónimo, Baja Verapaz, el cual consistió en la evaluación del efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad ICTA-Ostúa, empleándose para el mismo intervalos de riego de 8, 12, 16, 20, 24 y 28 días, arreglados bajo un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones, obteniéndose un total de veinticuatro unidades experimentales, en las cuales se determinó el consumo de agua usando el método de campo para efectuar una comparación con el consumo estimado a través de la fórmula de Blaney-Criddle modificada por J.T. Phelan y V.E. Hansen, y la de G.H. Hargreaves modificada en 1966 y 1983.

Para determinar la humedad, se empleó el método gravimétrico, efectuándose muestreos de suelo en los estratos de 0-30 y de 30-60 cm con un barrenador tipo helicoidal. Los muestreos se realizaron antes de riego, después de riego y en forma intermedia para todos los tratamientos. Con el porcentaje de humedad del suelo, porcentaje de humedad a capacidad de campo y la densidad aparente, se estableció la lámina de agua a aplicar en cada riego así como el consumo de agua durante el ciclo del cultivo.

El efecto de las diferentes frecuencias de riego se midió a través de las variables respuesta rendimiento de grano en kilogramos por hectárea y número de plantas vivas al final del experimento.

Evaluando los diferentes tratamientos se determinó que en los regados cada 8 y 12 días se obtuvieron los mayores rendimientos, mientras que en los demás tratamientos a medida que el intervalo de riego fue más largo, el rendimiento disminuyó significativamente. Se logró establecer que la evapotranspiración del cultivo tiende a aumentar conforme el intervalo de riego se hace más corto, obteniéndose resultados de 28.00, 22.83, 21.78, 19.17, 18.11 y 16.50 cm para los tratamientos de 8, 12, 16, 20, 24 y 28 días, respectivamente.

En general se concluye que para la zona considerada, el mayor agotamiento de humedad aprovechable del suelo se da en las etapas fenológicas de floración y fructificación, sin llegar a los valores correspondientes al punto de marchitez permanente.

Comparando estadísticamente los valores de evapotranspiración medida y calculada, se estableció que los valores de evapotranspiración medidos en el campo, son diferentes a los calculados por la fórmula de Blaney-Criddle modificada por J.T. Phelan y V.E. Hansen, y la de G.H. Hargreaves modificada en 1966 y 1983; no adaptándose ninguna de dichas fórmulas para estimar la evapotranspiración del cultivo en la región estudiada.

Los coeficientes obtenidos para estimar evapotranspiración en función de la evaporación del tanque tipo "A", pueden ser utilizados como datos preliminares. Se recomienda seguirlos afinando a través de esta misma línea de investigación en la misma región y cultivo, ya que constituyen un método sencillo, práctico y funcional.

1. INTRODUCCION.

El uso inadecuado del agua de riego, puede influir en el desarrollo de las plantas: generando un medio propicio para el desarrollo de enfermedades, provocando lixiviación de los nutrientes del suelo, incrementando los costos de producción, etc. Considerando lo anteriormente dicho y viendo la escasez alimenticia que año con año se incrementa en nuestro país, se justifica la necesidad de efectuar estudios que tiendan a generar información para hacer un uso más eficiente del agua de riego que ayude a incrementar el rendimiento de los cultivos.

Actualmente en Guatemala existe muy poca investigación relacionada con la frecuencia y la cantidad de agua a aplicar en los cultivos, es por ello que el Instituto de Investigaciones Agronómicas -IIA- de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, conjuntamente con el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas -ICTA-, se han interesado en efectuar investigaciones con el fin de hacer un mejor uso de los recursos hídricos en las unidades de riego de la república, para los cultivos de mayor importancia.

El presente estudio se realizó en la Unidad de Riego de San Jerónimo, Baja Verapaz, evaluando el efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración del cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris L.), ya que constituye uno de los principales cultivos de la región, seleccionando la variedad ICTA-Ostúa, por ser uno de los materiales que el ICTA se encuentra evaluando en todos sus aspectos tecnológicos.

Se utilizó como base la frecuencia de riego de ocho días debido que es la frecuencia utilizada tradicionalmente por los agricultores de la región; junto con ello se estudiaron las frecuencias de 12, 16, 20, 24 y 28 días.

En este estudio se analizó la verificación de la adaptabilidad de la fórmula de Blaney-Criddle modificada por Phelan y Hansen, y la de G.

H. Hargreaves modificada en 1966 y 1983. Se analizó además, la relación evapotranspiración medida en las parcelas experimentales versus evaporación del tanque tipo "A" para las diferentes etapas de desarrollo del cultivo.

2. HIPOTESIS.

- 2.1 Los rendimientos obtenidos en el cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris L.), 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 por 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 G.H. Hargreaves modificada en 1966 y en 1983, y con la fórmula de Blaney-Criddle modificada por J.T. Phelan y V.E. Hansen.

3. OBJETIVOS.

3.1 Objetivo General:

Determinar el efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración del cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris L.) en la zona de San Jerónimo, Baja Verapaz.

3.2 Objetivos Específicos:

3.2.1 Determinar la frecuencia de riego más recomendable para el cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris L.) en condiciones del área de San Jerónimo.

3.2.2 Determinar la evapotranspiración total en el ciclo del cultivo del frijol 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 la fórmula de Blaney-Criddle modificada por J.T. Phelan y V.E. Hansen, así como la de G. H. Hargreaves modificada en 1966 y 1983, para la estimación de la evapotranspiración en el área bajo estudio.

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

4. REVISION DE LITERATURA.

4.1 Generalidades sobre el cultivo del frijol:

El frijol (Phaseolus vulgaris L.), es una planta anual que pertenece a la familia de las leguminosas, originaria de América. De acuerdo a la variedad alcanza diferentes alturas, clasificándose en tipo arbustivo y trepador o de guía.

Se adapta a diferentes zonas climáticas del país comprendidas entre los 0 a 2,700 m sobre el nivel del mar, con temperaturas que oscilan entre los 18 y 23 grados centígrados. Las temperaturas mayores de 27 grados centígrados, provocan la caída de flores y las bajas temperaturas, retardan el crecimiento. En zonas frías debe cultivarse fuera de épocas de heladas y es conveniente una atmósfera seca durante la cosecha. Se adapta a suelos variados pero prefiere los de textura franca, fértiles con buena profundidad y drenaje interno rápido, en los cuales alcanza los rendimientos máximos. Suelos arenosos muy livianos o suelos extremadamente pesados no son aconsejables, como tampoco los superficiales o de difícil drenaje.

4.2 Estudios realizados en irrigación del cultivo del frijol:

A continuación se presenta un breve resumen de algunos experimentos realizados en Guatemala y otros países.

4.2.1 Períodos críticos de la deficiencia de agua en el cultivo del frijol:

Stone et al (43), refieren que la mayoría de los cultivos presentan períodos críticos, durante los cuales la deficiencia de agua causa serios decrementos en la producción. Para el frijol dichos períodos ya están determinados, estableciéndose que la deficiencia de agua es más perjudicial en las fases de floración y el desarrollo de la vaina; con un déficit de agua al final de la floración se reduce el rendimiento en un 42%, cuando el déficit ocurre en la fase de for

mación y crecimiento de las vainas, se reduce la producción en un 58%; se han observado reducciones en la producción del orden de 53, 71 y 35%, cuando el cultivo del frijol ha sido sometido a sequía en las fases de prefloración, floración y postfloración, respectivamente.

4.2.2 Consumo de agua en el cultivo del frijol:

Existen en la literatura, algunas informaciones sobre el consumo de agua por el cultivo del frijol, generalmente obtenidas a través del balance hídrico o del uso de lisímetros.

Silveira et al (40), verificaron, en un experimento conducido en Brasil, que el consumo de agua por el frijol de verano fue igual a 3.2 mm/día, de la germinación a la floración plena; y 1.7 mm/día, del desarrollo de las vainas a la maduración.

Silveira et al (40), comparan un experimento efectuado por Steinmetz en 1984 en la época de invierno en Goianira, Brasil, realizado en el mismo lugar y época, observándose diferencias en los resultados, como puede verse en el cuadro 1.

Cuadro 1. Evapotranspiración del frijol de invierno en Goianira (GO), Brasil.

FASES DEL CULTIVO	EVAPOTRANSPIRACION (mm/día)	
	Silveira <u>et al</u> (1981)	Steinmetz (1984)
Germinación al inicio de la floración	3.4	3.4
Floración	3.5	6.0
Desarrollo de vainas a la maduración	3.6	4.7

FUENTE: Steinmetz (1984).

4.2.3 Frecuencia de riego y lámina de agua a aplicar en el cultivo del frijol:

La frecuencia de irrigación, así como la cantidad de agua a ser aplicada son funciones del cultivo, del suelo, de las condiciones climáticas reinantes en las diferentes fases de desarrollo de la planta, y del método de irrigación.

Raggi *et al* (33), señalan que con una frecuencia de riego cada 7 y 10 días se obtienen producciones elevadas en el cultivo del frijol.

El agua disponible está en función de la textura, grado de compactación, estructura y contenido de materia orgánica del suelo. Se considera que la profundidad efectiva del sistema radicular del frijol; es de 60 cm, allí se concentra cerca del 90% de las raíces del frijol irrigado.

Doorembos y Kasan (7), señalan que la raíz penetrante de la planta de frijol puede alcanzar de 1 a 1.5 metros, el sistema radical lateral es extenso y se concentra en los primeros 30 cm. La absorción de agua se produce en los primeros 50 a 70 cm. de profundidad.

El frijol utiliza de 2/3 a 3/4 del agua disponible a la profundidad de 30 a 48 cm.

Los mejores rendimientos se han obtenido cuando la precipitación varía entre 300 y 500 mm, distribuidos entre la siembra, maduración y cosecha con una mayor exigencia después de la sexta semana de crecimiento en que se inicia la formación de frutos y llenado de los granos. Los riegos pueden hacerse espaciados de 8-10 días dependiendo del suelo y clima hasta la sexta semana, pero luego más frecuentes cada 5-6 días (43).

Robins (36), recomienda que suelos profundos sean regados de los 5-8 días después de presentarse el síntoma visual de tensión de las plantas; y suelos poco profundos aplicarlo dentro de los 5 días siguientes. Después del desarrollo ve getativo, los intervalos de riego son de 5-7 días para suelos de textura gruesa y de 15-25 días en suelos profundos de textura fina.

Vanegas (46), recomienda que se riegue con una frecuencia de 12 días, aplicando una lámina de agua de 50 mm hasta los 24 días de crecimiento, posteriormente riegos con frecuencia de 9 días aplicando una lámina de agua de 50 mm hasta los 70 días. El frijol muestra síntomas de agotamiento cuando se riega demasiado y el sistema radicular esparcido puede ne cesitar riegos más frecuentes, por lo cual el agua en el sur co debe ser retenido a menos de 3 pulgadas con el fin de reducir la humedad del suelo.

Martínez (19), en su estudio realizado en San Jerónimo, Baja Verapaz, recomienda efectuar riegos en el cultivo del fri jol con intervalo de riego de 12 días, aplicando una lámina de 8.0 cm en cada riego durante el desarrollo del cultivo; estableció que el nivel mínimo de humedad aprovechable en el suelo para el mejor desarrollo y producción del cultivo de frijol, se encuentra entre 39.8 y 50.0%; la demanda neta de riego para el cultivo es de 432 mm en su período de desarrollo. Los rendimientos para la frecuencia de 12 días fueron de 37.16 qq/ha y de 19.54 qq/ha en riego cada cuatro días.

En el proyecto de riego piloto de Santa Rosalía, Guatemala, se estableció para el cultivo del frijol un requerimiento de agua de 391 mm en su ciclo completo, con base en los datos climatológicos existentes para desarrollar el método de Blaney-Criddle.

Robins y Howe (36), establecieron que los requerimientos de agua que la planta necesita en su desarrollo son de 8-12 mm diarios durante el período de germinación, en las 2-3 primeras semanas; durante el período de floración y formación de las vainas el índice es de 20 a 40 mm diarios. Dicho índice puede continuar si las condiciones de clima son calurosas y secas hasta que las primeras vainas comiencen a madurar, en donde se consumirá una lámina total de 28 a 45 cm durante el ciclo vegetativo.

Cuando la finalidad del cultivo es la producción de semilla seca, el nivel de agotamiento durante el período de maduración no debe exceder del 60 al 70%.

Resende et al (35), estudiando el efecto de la frecuencia de irrigación en el estado hídrico de las plantas, crecimiento de las hojas, acumulación de materia seca, resistencia foliar, tasa de fotosíntesis y producción del frijol Kidney, determinaron que el uso de la alta frecuencia de irrigación no presentó ninguna ventaja cuando se comparó con la irrigación normal; la resistencia foliar y la tasa de fotosíntesis no fueron afectadas por la frecuencia de irrigación; por otro lado, el área de fotosíntesis, la materia seca total y la producción fueron reducidas aproximadamente en las mismas proporciones de reducción de evapotranspiración, independientemente de la frecuencia de irrigación.

Steinmetz et al (42), habiendo conducido un experimento para estudiar el efecto de diferentes láminas de agua e intervalos de riego sobre el rendimiento y densidad de raíces del frijol, determinaron que la mayor densidad de raíces en el suelo ocurrió en la lámina de 4 mm/día, los tratamientos de 2, 4 y 6 mm/día, consumieron 173, 395 y 411 mm de agua, respectivamente; la producción de granos disminuyó linealmente con el au-

mento del intervalo de riego solamente cuando 4 y 6 mm/día de agua fueron aplicados.

Aguilera et al (1), consideran que debido a que en el cultivo del frijol la mayor cantidad de raíces se concentran en la profundidad del suelo de 50 a 60 cm, los muestreos de suelo para control de humedad utilizando barreno deben efectuarse de 0-60 cm. de profundidad.

Dubetz y Mahalle (8), refieren que frijoles cultivados, en parcelas a las cuales se le proporcionó riego automático por aspersión fueron sometidos a una deficiencia de agua a 8 bares de tensión previo a los estadios de pre-floración, floración y post-floración.

Los pesos totales de las vainas verdes después de cuatro cortes fueron reducidos a 53%, 71% y 35%, respectivamente. Plantas sometidas a deficiencia hídrica permanente no alcanzaron una altura normal.

Maurer et al (21), indican que plantas de frijol que fueron cultivadas en lisímetros para determinar su respuesta a cinco regímenes de agua en el suelo, las plantas que crecieron en condiciones en que el agua bajó un 80% de su disponibilidad, fueron altas y mas pesadas, produciendo más vainas que las irrigadas cuando el agua bajó un 60%. Cuando las plantas alcanzaron el 32% del agua disponible fueron poco desarrolladas y de bajo rendimiento. Plantas que crecieron bajo condiciones de deficiencia de agua en el suelo antes de la floración se recobraron cuando se les proporcionó suficiente agua después de la floración, pero no rindieron en igual forma a los que se les proporcionó agua durante todo el desarrollo del cultivo. El contenido de materia seca más alto, se obtuvo cuando los tratamientos recibieron altas deficiencias de agua en el suelo en período de post-floración. El agotamiento de agua en el

suelo afectó el contenido de grasa y proteína cruda, fibra cruda y extracto libre de N, pero la relación de los tratamientos dependió de la composición de los frijoles en que fuera expresada la materia seca o fresca.

Millar y Gardner (25), establecen que dada la necesidad de mejorar los rendimientos de las plantas y hacer un uso eficiente del agua, se hace esencial que las relaciones suelo-contenido de agua, suelo-potencial de agua, velocidad de transpiración y respuesta de la planta, sean más cuantificadas.

La velocidad de producción de materia seca del frijol (Phaseolus vulgaris L. var. Bush Blue Lake) que creció bajo condiciones de campo en un suelo arenoso, fue analizado para un período seco. Medidas las plantas, potencial suelo, potencial de agua, acumulación de materia seca y resistencia de los estomas, fue realizada a medida que el suelo y el agua fueron agotados, mientras que la velocidad de transpiración decreció curvilíneamente con el potencial de agua del suelo. Cuando el potencial de agua del suelo decreció de -0.28 a -0.40 bares se dió en 47% la reducción en la producción de la materia seca. Esto se relacionó con la presión de turgencia operada por el mecanismo estomatal. La resistencia adaxial estomatal se incrementó a -6 bares en el potencial bajo de agua, lo cual coincidió con el rápido decrecimiento en la velocidad de producción de materia seca. Se encontró que el cierre estomatal, debido al agotamiento de agua, influyó en una mayor reducción de la velocidad del crecimiento que en la transpiración.

Mack y Varseveld (18), determinaron que el rendimiento de la vaina de frijol se incrementó por medio de la irrigación y densidad de plantas en 4 experimentos. Los rendimientos más altos fueron obtenidos a regímenes de potencial de agua del suelo de -0.6 bares, lo cual representó la remoción de 40 a

45% de agua disponible del suelo a 30 cm de profundidad. Los rendimientos más bajos fueron con un potencial de agua en el suelo de -2.5 bares, lo que representó la remoción de agua del 65 a 70%. Un promedio de 60% de aplicación adicional de agua a -0.6 bares que el tratamiento de -2.5 bares, incrementó el rendimiento aproximadamente en 54%. El rendimiento fue generalmente intermedio con -1.0 bares de potencial de agua en el suelo y 50 a 55% del agua disponible removida del suelo. Dos cultivares fueron usados en los dos experimentos y respondieron en forma diferente a la irrigación. El rendimiento de "Oregon 1604" fue más alto que el de "Galamor" con -0.6 bares de potencial de agua del suelo, pero fue más bajo que el "Galamor" con -2.5 bares.

El rendimiento de "Oregon 1604" promedió un 27% más alto en un arreglo cuadrático que en hileras de 91 cm, y el incremento fue más alto que por poblaciones de densidades bajas cuando se compararon en el experimento. El rendimiento fue de 20% mayor para la alta densidad de 43 plantas por metro cuadrado que para densidades de 25 plantas por metro cuadrado. El rendimiento de los 2 cultivares en el experimento promedió alrededor del 67% más alto en los de alta densidad de siembra (40-57 plantas por metro cuadrado) que en los de baja densidad (20 a 33 plantas por metro cuadrado). No hubo consistencia en las interacciones por densidad.

Generalmente hubo un agotamiento rápido del agua en el suelo en altas densidades que para las bajas densidades.

4.3 Evapotranspiración:

Israelsen y Hansen (16), coincidiendo con la mayoría de autores, definen el término de evapotranspiración como la suma de evapo-

ración de agua del suelo y de la transpiración de las plantas. El volumen de agua transpirado por las plantas depende de la cantidad de agua que dispongan, temperatura, humedad del aire, régimen de vientos, intensidad luminosa del sol, del estado de desarrollo de las plantas, de su follaje y de la naturaleza de las hojas.

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. Depende fundamentalmente de las condiciones climáticas existentes, las cuales son dadas por las características variables de la cobertura vegetal natural o cultivada, de las condiciones edáficas y de los niveles de humedad del suelo. La evapotranspiración real es igual a la potencia afectada por un factor "K" que toma en cuenta el efecto de la relación agua-suelo-planta. Este coeficiente "K" varía a lo largo del ciclo y es una expresión morfológica y fisiológica del cultivo y de la incidencia del ambiente edáfico.

4.4 Métodos para determinar la evapotranspiración:

Para determinar la evapotranspiración existen básicamente dos métodos atendiendo a la forma de obtenerse los datos; éstos son los directos y los indirectos.

Los métodos directos son aquellos por medio de los cuales se mide la evapotranspiración, entre éstos, Israelsen y Hansen mencionan los lisímetros y parcelas experimentales.

Los métodos indirectos son procedimientos o fórmulas basadas

en datos climáticos por medio de los cuales puede calcularse la evapotranspiración de cualquier cultivo, haciendo uso además de tablas con valores para las constantes o coeficientes usados. A continuación se presenta una revisión bibliográfica, de los métodos utilizados en este estudio.

4.4.1 Método de parcelas experimentales:

Israelsen y Hansen (16), consideran que este método proporciona datos más reales que los 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 la humedad se realiza por medio del método gravimétrico, según el cual se deben tomar muestras de 100 o más gramos, pesarlas, secarlas al horno a 105-110 grados centígrados durante 24 horas y luego pesarlas de nuevo. La pérdida del peso se divide entre el peso del suelo seco, multiplicada por 100 da el porcentaje de humedad referido al suelo seco. Se requiere tomar muestras en varios lugares representativos de la zona considerada, para obtener mayor precisión. Se recomienda muestrear en tres sitios y luego promediar, tomar muestras en el tercio medio del estrato o capa considerada para obtener mayor precisión. Una limitante en este método es el tiempo que requiere para el secado del suelo.

Según Grassi (15), hay dos variables para determinar los tratamientos a aplicar a un complejo de cultivo-suelo, y son:

- Frecuencia fijada por el umbral de riego electo para cada tratamiento en donde la lámina de riego es constante.
- Intervalo de riego en número y preestablecido de días constantes para cada tratamiento en donde la lámina de reposición es variable.

En caso de la lámina constante, se requiere de determinaciones frecuentes a fin de regar al nivel de humedad preestablecida. En cambio cuando la lámina es variable, sólo es necesario conocer la humedad antes del riego a fin de calcular la lámina a reponer.

4.4.2 Método de Blaney Criddle:

Este método usa temperaturas y horas luz mensuales. Se desarrolló al relacionar los valores reales de uso consuntivo con la temperatura mensual (t) y con el porcentaje mensual de las horas anuales de brillo solar. De este modo, el uso consuntivo o evapotranspiración (U) se puede calcular usando la fórmula:

$$U = K.F$$

Para un ciclo de "n" meses:

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

Donde:

- U = evapotranspiración durante todo el ciclo;
- k = coeficiente mensual del cultivo;
- f = factor del uso consuntivo mensual;
- K = coeficiente del cultivo para el ciclo vegetativo

F = suma de los factores mensuales de uso consuntivo

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

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

Donde:

p = porcentaje mensual de horas luz respecto al total anual;

t = temperatura media mensual en grados centígrados.

El método de Blaney-Criddle, fue modificado por dos autores, J.T. Phelan y Vaughn E. Hansen (1).

La modificación propuesta por Phelan, también llamada "Curva propuesta por el departamento de conservación de suelos de los Estados Unidos", consiste en determinar el coeficiente de desarrollo "Kc" del cultivo por medio de tablas elaboradas específicamente por esta institución. Estos coeficientes de desarrollo no se aplican directamente en los valores de "f" sino a los productos de f.Kt, en donde Kt es el coeficiente de temperatura se calcula con la siguiente fórmula:

$$Kt = 0.03144 T + 0.2396$$

Siendo: "T" la temperatura media mensual en grados centígrados.

La modificación al método de Blaney-Criddle propuesta por V. E. Hansen, consiste en determinar los coeficientes de crecimiento o desarrollo del cultivo Kc por medio de una gráfica denominada la curva única de Hansen y luego multiplicar estos valores por los correspondientes valores de "f" para obtener la evapotranspiración mensual.

4.4.3 Método de Hargreaves modificado en 1966:

La fórmula de Hargreaves permite calcular el uso consuntivo mensual en función de la temperatura media, la humedad relativa media al medio día y la duración del día, la cual dependen de la latitud. En 1966 el autor introdujo factores de corrección de la fórmula y una tabla que incluye coeficientes para tener en cuenta el efecto del cultivo.

En unidades métricas y con temperatura en °C, la fórmula es:

$$E_{ti} = 17.37 K_i \cdot d_i \cdot t_i (1.0 - 0.01 H_{ni}), \text{ y}$$
$$N_{hi} = 1.0 + 0.4 H_{Ri} + 0.004 H_{Ri}^2$$

Donde:

- K_i = coeficiente del cultivo;
- d_i = coeficiente mensual de duración del día;
- t_i = temperatura media mensual;
- H_{ni} = humedad relativa media al medio día;
- H_{Ri} = humedad relativa media mensual;
- i = 1, 2, ..., n meses

El coeficiente "d_i" está relacionado con el "p_i" de Blaney-Criddle, por lo que: d_i = 0.12p_i.

Como la fórmula fue desarrollada para condiciones meteorológicas medias, Hargreaves en 1966 propuso las siguientes modificaciones para mejores resultados:

- a. Para el efecto de la velocidad del viento hay que aumentar o disminuir los resultados en un 9% por cada 50 Km/día de aumento con respecto a 100 Km/día, correspondientes a las condiciones de obtención de la fórmula.
- b. Como la fórmula se obtuvo con una insolación del 90%, para situaciones diferentes hay que aplicar las correcciones siguientes:

Insolación (%)	30	40	50	60	70	80	90
Correlación (%)	-34	-28	-23	-20	-16	-9	0

c. Con relación a la altitud, los resultados deben aumentarse en 1% por cada 100 metros de elevación a partir de los 150 m. correspondientes a las condiciones de creación de la fórmula.

4.4.4 Método de Hargreaves modificado en 1983:

En 1983 George H. Hargreaves desarrolló un nuevo método en el cual debe calcularse primero la evapotranspiración potencial la que multiplicada por los coeficientes del cultivo (K_c), nos da la evapotranspiración real, es decir:

$$E_{Tr} = E_{Tp} \times K_c$$

Donde:

E_{Tr} = evapotranspiración real;

E_{Tp} = evapotranspiración potencial;

K_c = coeficiente que depende de la etapa de desarrollo del cultivo.

Hargreaves recomienda para este método utilizar los coeficientes de la FAO

La evapotranspiración potencial (E_{Tp}) se calcula así:

$$E_{Tp} = 0.0075 \times R_s \times T^{\circ F}$$

Donde:

E_{Tp} = evapotranspiración potencial en cm;

$T^{\circ F}$ = temperatura media en $^{\circ}F$;

R_s = parámetro que está en función de la temperatura máxima y mínima absoluta;

$$R_s = 0.165 \times R_a \times T_D^{0.5}$$

Donde:

RS = radiación extraterrestre expresada en mm/día de evapotranspiración de acuerdo a la latitud;

TD = diferencia entre la temperatura máxima y la mínima absoluta, expresadas en °C.

4.4.5 Método de evaporación del tanque tipo "A":

Las medidas de evaporación de una superficie libre de agua, como lo es un tanque evaporímetro, es un proceso similar a la evapotranspiración ya que integra los efectos de los distintos factores meteorológicos que influyen en la misma.

Estudios de correlación en diferentes cultivos han permitido obtener coeficientes para estimar la evapotranspiración en función de la evaporación de una superficie libre de agua, según la ecuación siguiente:

$$ETp = Ev \times C$$

Donde:

ETp = evapotranspiración potencial;

Ev = evaporación del tanque;

C = coeficiente de ajuste, adimensional

El coeficiente "C", está en función de la velocidad del viento, la humedad relativa mensual y del tipo de cobertura vegetal alrededor del tanque.

La evaporación medida en el tanque parece ser hasta el momento el procedimiento más confiable, ya que se integran la mayor parte de los factores meteorológicos que intervienen en la pérdida de agua, hacia la atmósfera.

4.5 Experimentos realizados en Guatemala, para determinar la adaptabilidad de la fórmula de Blaney-Criddle modificada por J.T. Phelan y V.E. Hansen y la de G.H. Hargreaves modificada en 1966 y en 1983, en diferentes cultivos y regiones:

Ruano Rossil (37), en su estudio del efecto de seis frecuencias de riego sobre la evapotranspiración del cultivo del tabaco, en condiciones de la Unidad de Riego de El Progreso, estableció que los valores de evapotranspiración total de todos los tratamientos no fueron estadísticamente diferentes a los estimados por medio del tanque evaporímetro. La evapotranspiración medida en el campo no mostró correlación y regresión lineal estadísticamente significativa, comparada con la evapotranspiración calculada por métodos indirectos; concluyendo que ninguna de las fórmulas empíricas estimó adecuadamente la evapotranspiración del cultivo del tabaco.

Méndez Guzmán (22), trabajando seis frecuencias de riego y su efecto en la evapotranspiración del cultivo de melón, en condiciones del Valle de La Fragua, recomienda usar la fórmula de Blaney-Criddle para calcular la evapotranspiración real en la región si se riega cada 8 a 16 días. Estos resultados pueden aplicarse en el cálculo de requerimientos de riego y definición de calendarios de riego.

Los coeficientes obtenidos para estimar la evapotranspiración en función de la evaporación en tanque tipo "A", pueden utilizarse como datos preliminares.

Andrino Alvarez (2), estudiando el efecto de cinco frecuencias de riego en la evapotranspiración del cultivo del tomate en condiciones de La Fragua, concluyó que los métodos de Blaney-Criddle y tanque evaporímetro con Kc del Servicio de Conservación de Suelos son aplicables para estimar la evapotranspiración para condiciones de humedad, como las observadas en los tratamientos de 12 a 16 días.

Corado Esquivel (5), evaluando el efecto de seis frecuen-

cias de riego en la evapotranspiración del cultivo del melón en La Fragua, encontró que existe correlación entre la tasa de evaporación medida en el campo con la tasa de evapotranspiración calculada por medio de las fórmulas de Hargreaves, Blaney-Criddle y evaporación del tanque tipo "A", existiendo una mejor correlación con la fórmula de Hargreaves y evaporación del tanque tipo "A".

Barillas Klee (3), determinando experimentalmente la evapotranspiración en los cultivos de tomate y melón en el Valle de La Fragua, recomienda usar la fórmula de Blaney-Criddle para calcular la evapotranspiración real en la región; estos resultados pueden aplicarse en el cálculo de riego y definición de calendarios de riego. Los coeficientes obtenidos para estimar la evapotranspiración en función de la evaporación del tanque tipo "A" pueden utilizarse como datos preliminares.

Sánchez Chávez (39), evaluando el efecto de seis frecuencias de riego en la evapotranspiración del cultivo de cebolla para la zona de Bárcena, Villa Nueva, recomienda utilizar la fórmula de Hargreaves modificada, ya que dió resultados iguales de evapotranspiración al regar cada 4 días, siguiendo la tendencia los tratamientos 8, 12 y 16 días, para los cuales se podría desarrollar coeficientes de ajuste.

Tello Samayoa (43), evaluando el efecto de cinco frecuencias de riego en la evapotranspiración en el cultivo del chile pimiento en condiciones del Rancho-Jícara, estableció que la evapotranspiración medida en el campo no mostró correlación con la evapotranspiración calculada por el método de Blaney-Criddle.

Sagastume Garza (38), evaluando el efecto de siete frecuencias de riego en la evapotranspiración del cultivo de cebolla para la zona de Bárcena, Villa Nueva, estableció que el agotamiento de humedad aprovechable aumentó conforme mayor era el intervalo de riego, encontró que la evapotranspiración calculada con la fórmula de Hargreaves 1983 y la medida en los tratamientos regados cada 8, 12, 20 y 24

días, tienen alta correlación por lo que la fórmula de Hargreaves 1983, puede ser ajustada para ser utilizada en el cálculo de la evapotranspiración para dichas frecuencias.

García Aldana (10), evaluando el efecto de cinco frecuencias de riego en la evapotranspiración del cultivo del maíz, para condiciones del Valle de La Fragua, encontró que estadísticamente los valores de evapotranspiración medida en el campo son diferentes a los calculados por los métodos de Blaney-Criddle, Hargreaves 1966 y 1983, y tanque evaporímetro; no adaptándose ninguno de los métodos a la región.

Oliva Cermeño (29), evaluando el efecto de seis frecuencias de riego en la evapotranspiración del cultivo del tomate, para condiciones de El Progreso determinó que existe correlación entre los valores de evapotranspiración medida en el campo con la evapotranspiración estimada por el método de Hargreaves 1983, por lo que este método sí se adapta para estimar la evapotranspiración en la región.

Morales Milián (27), evaluando el efecto de seis frecuencias de riego en la evapotranspiración del cultivo de pepino en La Fragua, estableció que estadísticamente los valores de evapotranspiración medida en el campo son diferentes a los calculados por la fórmula de Blaney-Criddle y la evaporación del tanque tipo "A", no adaptándose dichos métodos para la estimación de la evapotranspiración de la región.

Gil Rodríguez (11), evaluando el efecto de cinco frecuencias de riego en la evapotranspiración del cultivo del melón, en La Fragua, estableció que estadísticamente los valores de evapotranspiración medidos en el campo son diferentes a los estimados por las fórmulas de Blaney-Criddle, Hargreaves modificado en 1966 y tanque evaporímetro, no adaptándose ninguno de ellos para estimar la evapotranspiración del cultivo en la región.

Morán Palma (28), evaluando el efecto de seis frecuencias de riego en la evapotranspiración del cultivo de chile pimiento en El Progreso, determinó que estadísticamente los valores de evapotranspiración medida en el campo son diferentes a los calculados por las diferentes fórmulas, tanque evaporímetro, Blaney-Criddle y Hargreaves 1966 y 1983, no adaptándose ninguno de dichos métodos para la estimación de la evapotranspiración en la región.

Soberanis López (41), evaluando el efecto de riego en la evapotranspiración del cultivo de tomate en el Rancho-Jícaro, determinó que la evapotranspiración en los tratamientos con intervalo de riego de 10 y 12 días, se aproximan a los valores de evapotranspiración calculada por el método de Blaney-Criddle.

Orozco Montenegro (30), evaluando el efecto de seis frecuencias de riego en la evapotranspiración del cultivo de pepino, para la zona de San Jerónimo, Baja Verapaz, concluyó que los valores de evapotranspiración calculada por el método de Blaney-Criddle modificado por Phelan, y los medidos en el campo para la frecuencia de 12 días, estadísticamente son iguales, mientras que existe una alta correlación con el tratamiento de riego cada 8 días; por lo que puede ser ajustada para el cálculo de evapotranspiración en la región.

Cruz Corzo (6), evaluando el efecto de seis frecuencias de riego en la evapotranspiración del cultivo de remolacha, para la zona de Bárcena, Villa Nueva, concluyó que los valores de la evapotranspiración medida en el campo es diferente a los calculados por las fórmulas de Blaney-Criddle modificada por Hansen y Hargreaves; no adaptándose ningún método para la estimación de la evapotranspiración en dicha región y cultivo.

4.6 Constantes de humedad del suelo:

4.6.1 Humedad a capacidad de campo:

Se determina por dos formas: a) se efectúa en el laboratorio, sometiendo a una tensión de 0.3 atmósferas, no es muy confiable, pues la capacidad de campo depende del perfil del suelo y su estructura; b) medida en el campo, se delimita un área de muestreo de 1 m^2 con bordos de 10 cm de altura, levantando otros exteriores a los primeros para facilitar movimiento vertical de agua en la zona de muestreo. Después se humedece el área hasta saturarla, tanto en la zona de muestreo, como en la parte exterior. Si el suelo es arcilloso se puede empezar a muestrear de 24 a 48 horas después, si es arenoso debe empezarse de 12 a 18 horas después. Para evitar la evaporación se debe cubrir el área incluido el borde con nylon y tomar dos o tres muestras por estrato a estudiar cada vez que se muestrea. El dato es más exacto si se muestrea durante unos 4 a 5 días con intervalo de 8 a 12 horas. El contenido de humedad se determina por el método gravimétrico, pesando las muestras húmedas, secándolas al horno a 105-110 grados centígrados por 24 horas y pesándolas ya secas, mediante la fórmula siguiente:

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

Donde:

Ps = porcentaje de humedad de la muestra;

Psh = peso del suelo húmedo;

Pss = peso del suelo seco.

Luego se hace una gráfica, colocando el contenido de humedad en el eje de las ordenadas y el tiempo en las abscisas, con ello es posible determinar la capacidad de campo de cada estrato, cuando la curva se estabiliza.

4.6.2 Punto de marchitez permanente:

La mayoría de investigadores coincide en tomar 15 atmósferas como la tensión a punto de marchitamiento permanente, ya que a esta tensión el crecimiento cesa.

Se puede calcular aproximadamente en función de la capacidad de campo y la textura del suelo. Para suelos arcillosos el valor del PMP es aproximadamente igual a la mitad del valor de capacidad de campo, suelos francos presentan valores que corresponden a la capacidad de campo entre 2.1 y en los suelos arenosos se estima dividiendo la capacidad de campo entre 2.2.

4.7 Método del plástico para determinar la densidad aparente:

Consiste en hacer una calicata, en la cual se hacen gradas en cada estrato de 30 cm. En cada grada se hace un agujero en forma de cubo de 15 x 15 x 15 cm., se saca la muestra y se coloca en una bolsa plástica amarrada con el objeto de que no se escape la humedad, 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 volumen del suelo extraído, posteriormente se determina el peso.

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.

$$D_a = \frac{100 \times P_{sh}}{V_t (100 + P_s)}$$

Donde:

- D_a = densidad aparente en g/cm^3 ;
- P_{sh} = peso del suelo húmedo en Kg;
- V_t = volumen total en litros;
- P_s = porcentaje de humedad (%).

5. METODOLOGIA.

5.1 Ubicación y descripción del área experimental:

La unidad de riego, se encuentra localizada en los municipios de Salamá y San Jerónimo del departamento de Baja Verapaz. Su posición geográfica está comprendida entre las longitudes 90° 00' y 90° 20' oeste del meridiano de Greenwich, y latitudes 15° 00' y 15° 20' norte.

El valle de Salamá, recibe un promedio anual de 762 mm. de precipitación pluvial, no obstante es considerado como árido ya que la distribución de las lluvias es irregular.

Sus variaciones de temperatura no son significativas, oscilando la temperatura promedio entre 20° y 26°C. La zona de vida es clasificada como bosque seco Subtropical.

Los suelos que ocupan la mayor parte de su extensión son: suelos Chicaj, que son arcillosos y muy poco permeables; y suelos Tempisque, que son de textura franca. De acuerdo a su textura, los suelos se presentan con la siguiente distribución porcentual: franco-arcilloso 35.30%, franco arcillo-arenoso 27%, textura liviana 22.70% y no utilizable 15.0%.

Los suelos del valle de Salamá, están drenados en forma natural por el río La Estancia, el cual vierte sus aguas al río Negro.

El valle posee un total de 1,200 hectáreas, ubicadas en la zona central del mismo, y sus límites son: al norte por el río San Jerónimo (río Salamá), al sur por el río La Estancia, al este por la población de San Jerónimo y las cumbres de San Lorenzo, que son estribaciones montañosas de la Sierra de Las Minas, y al oeste por el río La Estancia y la población de Salamá.

La topografía del valle es bastante plana, con pendiente dominante del orden del 5% en sentido Este-Oeste; 10% en dirección Norte-Sur hacia los ríos Salamá y La Estancia. El valle se encuentra a 960 metros sobre el nivel del mar.

El proyecto de riego San Jerónimo-Salamá-Chicaj, fue construído para cubrir un área de 6,000 hectáreas aprovechando los ríos San Jerónimo (Salamá) con un caudal mínimo de estiaje de $0.6 \text{ m}^3/\text{seg}$, y por posibles embalses en áreas cercanas.

El desarrollo del proyecto contempla tres etapas, la primera ya concluída, que cubre el valle central, con 1,200 hectáreas; la segunda para cubrir las necesidades de riego del valle Sur, con 2,400 hectáreas; y la tercera que cubrirá el área de la zona Norte con 2,400 hectáreas.

Para cubrir la primera etapa fue necesario desviar el caudal del río Chilascó ($0.6 \text{ m}^3/\text{seg}$) sobre el río San Isidro, afluente del río Salamá. La calidad del agua es S_1C_1 , o sea, que es agua de buena calidad.

5.2 Análisis y determinaciones previas:

Antes de instalar el experimento, se efectuaron los análisis químicos y físicos del suelo. Para el análisis químico se tomaron varias muestras, que fueron enviadas al laboratorio del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), para poder aplicar posteriormente fertilizantes en base a las necesidades del suelo; los resultados obtenidos se presentan en el cuadro No. 6 del apéndice.

El análisis físico, se efectuó tomando muestras en estratos de 0-30, 30-60 y de 60-90 cm de profundidad, las cuales debidamente identificadas fueron enviadas al laboratorio de la Dirección de Riego y Avenamiento (DIRYA), para determinar textura, capacidad de

campo y punto de marchitez permanente, información que se presenta en el cuadro número 5 del apéndice.

5.3 Manejo del cultivo:

El material utilizado fue la variedad de frijol ICTA-Ostúa, por ser uno de los materiales promisorios que el ICTA está introduciendo en la región.

Las distancias de siembra fueron: 0.5 m entre surcos y 0.1 m entre plantas, dando una densidad de siembra de 200,000 plantas por hectárea.

Para controlar las enfermedades y plagas del cultivo, se programó la aplicación de pesticidas en forma preventiva.

En general, el manejo agronómico se efectuó de acuerdo a las recomendaciones del ICTA para la región.

5.4 Manejo del experimento:

Después de haber preparado el terreno, se efectuó el trazo del experimento construyendo tomas secundarias, para regar las cuatro repeticiones.

El tamaño de la parcela experimental fue considerado tomando en cuenta la recomendación del ICTA para el cultivo del frijol, las dimensiones fueron 5.0 m de largo por 3.0 m de ancho, el esquema se presenta en la figura número 13.

Se usó el método de riego por gravedad en surcos, conduciendo el agua a través de los surcos por medio de sifones de una pulgada de diámetro, previamente calibrados.

Se aplicaron tres riegos generales a todas las unidades experimentales en el período de establecimiento del cultivo, el cual duró

3 semanas. Con el último riego general se inició con las frecuencias de riego planificadas para cada parcela. Durante el período de riegos generales también se registraron datos de humedad.

Para determinar la humedad que posee el suelo se utilizó un barreno helicoidal, procediéndose a sacar seis muestras por parcela, tres a 0-30 cm de profundidad y tres a 30-60 cm. Los muestreos se efectuaron con 24 horas de anticipación al riego y después del riego pasadas 48 horas.

Para calcular la lámina de agua a reponer, fue necesario obtener los siguientes datos:

- Porcentaje de humedad del suelo antes del riego;
- Porcentaje de humedad del suelo a capacidad de campo;
- Densidad aparente del suelo; y
- Profundidad del estrato.

Los porcentajes de humedad fueron determinados por el método gravimétrico descrito en el inciso 4.6.1 de este documento.

La lámina consumida en un período determinado se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$Li = \frac{(P_{sidr} - P_{siar}) \cdot D_{api} \cdot Pr}{100}$$

Donde:

Li = lámina consumida en un período determinado para el estrato "i" en cm;

P_{sidr} = porcentaje de humedad después del riego para el estrato "i";

P_{siar} = porcentaje de humedad antes del riego para el estrato "i";

Dapi = densidad aparente del estrato considerado;
Pr = profundidad radicular del estrato considerado

La fórmula anterior se aplicó a cada uno de los estratos, para luego sumar las láminas de los estratos. Entonces la evapotranspiración para el período se obtuvo de la siguiente ecuación:

$$ET_j = \sum_{i=1}^2 . Li$$

Donde:

ET_j = evapotranspiración en un período determinado.

La evapotranspiración total para el ciclo del cultivo se determinó con la siguiente ecuación:

$$ET_t = \sum_{j=1}^n . ET_j$$

Donde:

ET_t = evapotranspiración total para el ciclo del cultivo.

n = períodos considerados.

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, fue necesario efectuar un ajuste proporcional relacionando mediante una regla de tres simple, el período de consumo conocido con los tres días comprendidos entre muestreos.

Para determinar la lámina a aplicar en cada riego se usó la siguiente relación:

$$Lai = \frac{(P_{scci} - P_{sari})}{100} . Dapi . Pr$$

Donde:

Lai = lámina a aplicar en cada riego para el estrato "i",
en cm;

Pscci = porcentaje de humedad a capacidad de campo para el
estrato "i";

Dapi = densidad aparente del estrato "i";

Pr = profundidad del estrato;

Psari = porcentaje de humedad del suelo 24 horas antes del
riego. Debido a que la muestra de suelo se toma un
día antes de riego, a la lámina a aplicar en cada
riego calculada mediante la fórmula anterior se le
suma el consumo de agua de estas 24 horas, obtenién-
dose proporcionalmente el consumo del período consi-
derado.

Por lo que la lámina de auxilio total (L_j) es:

$$L_j = \sum_{i=1}^2 . Lai$$

Conocido el caudal a usar en cada parcela, por medio de un afo-
ro, se procedió a calcular el tiempo de riego por parcela. Se em-
pleó, para ello, la ecuación de Kostiaikov-Lewis para conocer la ve-
locidad de infiltración:

$$I = K . t^n$$

Donde:

I = velocidad de infiltración, en cm/min;

K = parámetro que representa la cantidad de infiltración
durante el intervalo inicial;

t = tiempo en minutos;

n = parámetro que indica la forma en que la velocidad de
infiltración, se reduce con el tiempo, $-1.0 < n < 0$.

Para obtener los parámetros K y n, se efectuaron 4 pruebas de infiltración en diferentes lugares del terreno, usando el método del infiltrómetro de doble cilindro. Partiendo del valor de la velocidad de infiltración se obtuvo la fórmula para el cálculo del tiempo de riego en minutos.

$$T = \frac{60 \text{ Lám} (n + 1)}{K} \frac{1}{n+1}$$

Donde:

T = tiempo necesario en minutos que debe permanecer el agua sobre el terreno;

Lám = lámina de riego a aplicar en cm;

K y n = valores obtenidos en la prueba de infiltración

$$n = -0.444$$

$$K = 11.28$$

Para la aplicación de los diferentes riegos fue necesario hacer tomas de desagüe al final de los surcos, debido a la pendiente del terreno.

Los datos de evapotranspiración fueron obtenidos por el método de campo descrito anteriormente, y los datos de evaporación del tanque tipo "A", que son registrados en la estación meteorológica que se encuentra ubicada en el área de estudio.

La relación evapotranspiración/evaporación, se calculó semanalmente para las etapas fenológicas de desarrollo vegetativo, floración, fructificación (en estado de ejote y de grano seco) y cosecha, para los tratamientos de mayor rendimiento. Los resultados obtenidos en el cálculo de la relación evapotranspiración/evaporación, fueron los coeficientes "C" para el cultivo del frijol en el área en estudio.

Además se calculó la evapotranspiración del cultivo por medio de la fórmula Blaney-Criddle modificada por J.T. Phelan y V.E. Hansen y la de H.G. Hargreaves modificada en 1966 y en 1983.

5.5 Diseño estadístico, características del área experimental y variables evaluadas:

Se utilizó el diseño experimental de bloques al azar, considerando la gradiente de humedad. Se evaluaron 6 tratamientos con 4 repeticiones, siendo los tratamientos de riego 8, 12, 16, 20, 24 y 28 días, que en este documento se identifican como F-8, F-12, F-16, F-20, F-24 y F-28.

El área experimental tuvo las siguientes características considerando las recomendaciones del ICTA:

Área total del ensayo: $1,344 \text{ m}^2$;
Área útil del ensayo: 340 m^2 ;
Área de cada parcela experimental: 15 m^2 ;
Área útil de cada parcela experimental: 8.0 m^2 ;
Número de parcelas: 24;
Distancia entre parcelas: 2 m.;
Distancia entre bloques: 5 m.;
Número de surcos: 6;
Densidad de siembra por parcela neta: 300 plantas

El modelo estadístico para el diseño utilizado es:

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

Donde:

Y_{ij} = variable respuesta de la i, j -ésima parcela experimental;

M = efecto de la media general;

T_i = efecto del i -ésimo tratamiento;

- B_j = efecto del j -ésimo bloque;
 E_{ij} = error experimental asociado a la i , j -ésima parcela experimental;
 i = 8, 12, 16, 20, 24 y 28;
 j = 1, 2, 3 y 4.

Las variables respuesta evaluadas fueron las siguientes:

- Rendimiento en Kg/ha;
- Número de plantas vivas por parcela útil, al final del experimento.

5.6 Método 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 y la de Hargreaves, equivalen a la de los valores de la evapotranspiración medida en el campo, se efectuó un análisis de correlación para determinar qué porcentaje de valores de evapotranspiración calculados (variable independiente) es explicado por el modelo de regresión lineal simple ($Y = b_0 + b_1x$), 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 interpreta que el modelo de regresión lineal simple no explica satisfactoriamente la relación entre los medidos y los calculados, lo que indica que la fórmula de Blaney-Criddle y la de Hargreaves y la evaporación del tanque tipo "A" no se adaptan 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, se procede a efectuar dos pruebas de hipótesis, las que determinan si la pendiente de la recta es igual a uno y si el intercepto de la recta es igual a cero. De ser así esto indica que los valores de evapotranspiración calculados son equivalentes a los medidos directamente en el campo, por lo que las fórmulas de Blaney-Criddle, Hargreaves y la evaporación del tanque tipo "A" se adaptan a la región. En el caso de rechazar las hipótesis planteadas nos indica 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 realizó una comparación gráfica ploteando los valores de tasa de evapotranspiración semanal y la evapotranspiración acumulada, de cada uno de los tratamientos y los valores calculados con las fórmulas de Blaney-Criddle, Hargreaves y la evaporación del tanque tipo "A", para observar la tendencia que siguió cada una de las curvas y determinar si los valores medidos son equivalentes a los valores calculados.

6. RESULTADOS Y DISCUSION.

A continuación se presentan y discuten los resultados del estudio, dividiéndose el presente capítulo en cuatro partes: la primera, comprende la presentación de los resultados, así como el análisis de las variables respuesta para evaluar los diferentes tratamientos; la segunda, contempla el análisis del uso del agua por las plantas; en la tercera parte, se comparan los resultados de evapotranspiración obtenida en los tratamientos, calculados por las diferentes fórmulas empíricas; y por último, en la cuarta parte, se efectúa el cálculo de los valores del coeficiente "c" obtenido de la relación evapotranspiración medida en el campo con respecto a la evaporación del tanque tipo "A".

6.1 Resultados y análisis de las variables respuesta:

Las variables respuesta evaluadas fueron: rendimiento de grano en kilogramos por hectárea, y el número de plantas vivas por parcela útil al final del experimento.

En el cuadro 2, se resumen los resultados promedio obtenidos para cada una de las variables respuesta en los diferentes tratamientos.

Cuadro 2. Rendimiento y número de plantas vivas por parcela útil al final del experimento.

TRATAMIENTO	RENDIMIENTO Kg/ha.	NUMERO DE PLANTAS
F-8	564	201
F-12	443	191
F-16	347	192
F-20	189	163
F-24	182	156
F-28	183	152

6.1.1 Rendimiento:

En el cuadro 2 se puede observar que a medida que se incrementa el intervalo de riego en el cultivo, la producción disminuye significativamente, los resultados organizados por tratamiento y repetición así como el análisis de varianza se presentan en los cuadros 8 y 9 del apéndice.

El análisis de varianza para el rendimiento nos indica que existe diferencia altamente significativa para los tratamientos en estudio, razón por la cual se hizo necesario efectuar la prueba de Tukey, cuadro 10 del apéndice, en el cual se concluye que los tratamientos de mayor rendimiento fueron los regados cada 8 y 12 días, observándose que no existe diferencias significativas entre ellos, seguidó por el tratamiento F-16 que posee valores intermedios; mientras que los tratamientos F-20, F-24 y F-28 se comportaron estadísticamente iguales, reportando los menores rendimientos.

En general, el rendimiento de la variedad ICTA-Ostúa fue bajo comparado con otras variedades que se usan actualmente en la región estudiada, presentó una madurez fisiológica desuniforme, dificultando su cosecha. Las frecuencias de riego más largas, F-20, F-24 y F-28, aceleraron el proceso de floración, pero por efecto de deficiencia hídrica, la abortación de flores fue significativa.

Martínez (19), en su estudio influencia de la lámina de agua aplicada y frecuencia de riego sobre el rendimiento del cultivo del frijol en la unidad de riego de San Jerónimo, recomienda que se riegue con frecuencia de 12 días, al igual que el resultado obtenido en este estudio.

6.1.2 Número de plantas vivas por parcela útil al final del ciclo:

Los resultados organizados de número de plantas vivas al fi-

nal del ciclo del cultivo, se presentan en el cuadro 11 del apéndice, y el análisis de varianza se muestra en el cuadro 12, el cual nos indica que no existe diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos.

6.2 Uso del agua por el cultivo:

En esta sección se hace referencia a la lámina de agua consumida y el agotamiento de la humedad aprovechable por cada uno de los tratamientos.

6.2.1 Número de riegos y láminas consumidas:

En el cuadro 3, se muestra el resumen del consumo total de agua de los tratamientos y el número de riegos aplicados.

Cuadro 3. Láminas totales de agua consumida por el cultivo y número de riegos para cada uno de los tratamientos.

TRATAMIENTO	No. DE RIEGOS	LAMINA CONSUMIDA TOTAL cm.
F-8	9	28.00
F-12	7	22.83
F-16	6	21.78
F-20	5	19.17
F-24	5	18.11
F-28	4	16.50

En los primeros 23 días de desarrollo del cultivo se aplicaron tres riegos a todas las parcelas con intervalo de ocho días, para lograr el establecimiento del cultivo. En el cuadro 3 se observa que a medida que el intervalo de riego se a larga, el consumo de agua disminuye, debido a que las plan-

tas mientras disponen de más agua, su consumo es mayor.

En los cuadros del 13 al 19, localizados en el apéndice, se encuentran los cálculos de control de humedad antes y después del riego y las láminas de agua consumidas por los diferentes tratamientos.

6.2.2 Agotamiento de la humedad aprovechable del suelo:

Durante el ciclo del cultivo se llevó un control de la humedad del suelo para los estratos de 0-30 y 30-60 cm para los diferentes tratamientos utilizados en este estudio, como se observa en las figuras del 1 al 6 del apéndice. En la etapa de establecimiento del cultivo que comprendió 23 días, los riegos se aplicaron de igual forma a todos los tratamientos, cada ocho días, el agotamiento medio de humedad durante este período fue aproximadamente de 17.0% para el estrato de 0-30 cm y de 14.0% para el estrato de 30-60 cm. En las gráficas mencionadas, se observa que ninguno de los tratamientos llegó a punto de marchitez permanente, aunque los intervalos de riego largos como F-20, F-24 y F-28, fueron sometidos a altas tensiones de agotamiento de agua en el suelo. En general se puede decir que el mayor agotamiento de humedad se llevó a cabo en el período de floración, 30-40 días; período de fructificación, 40-70 días; y cosecha, 91 días.

La figura 1, presenta el comportamiento del tratamiento F-8, como se observa, el agotamiento de la humedad aprovechable promedio fue mayor en la etapa de floración con 42% para el estrato de 0-30 cm y 30% para el estrato de 30-60 cm, en la cosecha con 45% para el estrato de 0-30 cm y 35% para el estrato 30-60 cm. En este tratamiento nunca se agotó la humedad aprovechable totalmente, razón por la que se obtuvo un mayor rendimiento.

La figura 2 analiza el comportamiento del tratamiento F-12, se observa que en el inicio del período de floración el cultivo consumió mayor cantidad de humedad aprovechable, llegando a un 75% para el estrato de 0-30 cm y 60% en el estrato de 30-60 cm; mientras que en el período final de floración, período de fructificación y cosecha, el consumo fue casi uniforme con un 51% para el estrato de 0-30 cm y con 23% para el estrato de 30-60 cm. Este tratamiento reportó un buen rendimiento.

La figura 3 sintetiza el comportamiento del tratamiento F-16, en donde se observa que el agotamiento de la humedad aprovechable se efectuó durante los períodos de floración y fructificación con un 42% para el estrato de 0-30 cm, 27% para el estrato de 30-60 cm, llegando a un 55% en la cosecha; con respecto a la producción de grano se obtuvo un rendimiento intermedio.

La figura 4 involucra el comportamiento del tratamiento F-20, donde se observa que el agotamiento de la humedad aprovechable fue mayor en las etapas de floración y fructificación con un 45% para el estrato de 0-30 cm, 27% para el estrato de 30-60 cm, 43% para el estrato de 0-30 cm y 68% para el estrato 30-60 en la cosecha. El rendimiento se vió afectado por falta de humedad.

La figura 5 resume el comportamiento del tratamiento F-24, como se observa, en dicho tratamiento se obtuvo un mayor agotamiento durante los períodos de floración y fructificación con un 54% para el estrato de 0-30 cm y 33% para el estrato de 30-60 cm. El rendimiento fue bastante bajo en relación a los otros tratamientos, debido al agotamiento de la humedad aprovechable al que fue sometido el cultivo.

La figura 6 explica el comportamiento seguido por el trata-

tamiento F-28, en donde se puede observar que el agotamiento de la humedad aprovechable más fuerte se llevó a cabo en los períodos de floración, fructificación y cosecha, llegando a valores promedios del 97% para el estrato de 0-30 cm y del 100% para el estrato de 30-60 cm, motivando una reducción drástica en el rendimiento.

6.3 Comparación de la evapotranspiración medida con las fórmulas calculadas de Blaney-Criddle modificada por Phelan y Hansen, y Hargreaves modificada en 1966 y 1983:

En los cuadros del 20 al 22 del apéndice, se presentan los cálculos de evapotranspiración semanal efectuados por los métodos de Blaney-Criddle, modificada por J.T. Phelan y V.E. Hansen; y Hargreaves modificada en 1966 y 1983.

Para verificar la adaptabilidad de las fórmulas en la estimación de la evapotranspiración, se realizó un análisis de correlación para determinar qué porcentaje de la variable independiente, la cual representa los valores de evapotranspiración calculados en base a las fórmulas experimentales, se explica por el modelo de regresión lineal simple, encontrándose que todos los coeficientes de determinación " r^2 " son menores al tabulado para un nivel de significancia del 1% y $n-2$ grados de libertad. (Ver cuadro 23 del apéndice).

Estadísticamente no existe relación entre los datos medidos en el campo y los calculados por los métodos indirectos, por lo tanto se establece que los modelos en estudio y el tanque evaporímetro no determinan adecuadamente la evapotranspiración del cultivo en la región estudiada.

En las figuras 7 y 8 se puede observar que tanto el tratamiento F-8 como F-12 gráficamente tuvieron cierta semejanza en cuanto al comportamiento de la curva de evapotranspiración por el método

de Hargreaves 1983, aunque el análisis estadístico reportó diferencia significativa.

En las figuras de la 9 a la 12 del apéndice, se observa la comparación gráfica de los valores de evapotranspiración semanal acumulada de los tratamientos F-16, F-20, F-24 y F-28 calculados mediante las fórmulas de Blaney-Criddle modificada por Phelan y por Hansen, Hargreaves 1966 y 1983, y evaporación del tanque tipo "A", donde notamos que ninguno de los datos de campo tiene similitud con los datos calculados con las fórmulas.

6.4 Cálculo del coeficiente "C" de la relación evapotranspiración versus evaporación:

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 evapotranspiración son diferentes cuantitativamente a los medidos en parcelas experimentales (Et), pudiéndose ajustar dichos valores por medio de un factor proveniente de la relación Et/Ev.

Se calcularon valores de "C", cuadro 4, para las etapas fenológicas del cultivo tomando el promedio de los valores de "C" del cuadro 24 correspondientes a los tratamientos regados cada 8 y 12 días, respectivamente, por ser éstos los que reportaron mayor rendimiento.

Cuadro 4. Relación evapotranspiración/evaporación para las diferentes etapas fenológicas del cultivo del frijol.

ETAPA FENOLOGICA DEL CULTIVO	DURACION DIAS	RELACION Et/Ev PROMEDIO
Desarrollo vegetativo (30 días)	21-1-87 al 20-2-87	0.58
Floración (25 días)	21-2-87 al 17-3-87	0.64
Fructificación (14 días)	18-2-87 al 31-3-87	0.63

Los coeficientes "C" estimados en el cuadro anterior se pueden usar para estimar la evapotranspiración a través de los datos de evaporación haciendo una relación con la evapotranspiración medida en el campo y la estimada en el tanque de evaporación tipo "A".

7. CONCLUSIONES.

- 7.1 Los tratamientos regados cada 8 y 12 días rindieron las mayores producciones de grano, en kilogramos por hectárea.
- 7.2 La variable respuesta número de plantas vivas al final del experimento, no se vió afectada por las frecuencias de riego empleadas en el estudio.
- 7.3 La evapotranspiración total del cultivo tiende a aumentar conforme el intervalo de riego se hace más corto, teniendo valores de 28.00, 22.83, 21.78, 19.17, 18.11 y 16.50 cm para los intervalos de riego de 8, 12, 16, 20, 24 y 28 días, respectivamente.
- 7.4 Las etapas fenológicas del cultivo de mayor agotamiento de humedad aprovechable del suelo se centraron en la floración y fructificación, sin llegar nunca al porcentaje de humedad del suelo correspondiente al punto de marchitez permanente.
- 7.5 Los valores de evapotranspiración medida en el campo son estadísticamente diferentes a los estimados por medio de la fórmula de Blaney-Criddle modificada por J.T. Phelan y V.E. Hansen, así como la de Hargreaves modificada en 1966 y en 1983, no adaptándose ninguna de estas fórmulas para estimar la evapotranspiración del cultivo del frijol en la región considerada.
- 7.6 La relación de evapotranspiración/evaporación para la etapa de desarrollo vegetativo fue de 0.58, para la floración de 0.64 y para la fructificación de 0.63.

8. RECOMENDACIONES.

- 8.1 Considerando que en el cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris L.) existe muy poca investigación con respecto a la frecuencia de aplicación de riego, se recomienda se continúe con esta misma línea de investigación en la misma región, época y cultivo, con el objeto de confirmar los resultados obtenidos en el presente estudio.

- 8.2 De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio, se recomienda utilizar la frecuencia de 12 días para aplicación del riego en el cultivo del frijol en la zona bajo estudio.

- 8.3 Los coeficientes obtenidos para estimar la evapotranspiración del tanque evaporímetro tipo "A", pueden utilizarse como datos preliminares. Se recomienda seguirlos afinando, ya que constituye un método sencillo, práctico y aplicable para calendarizar el riego.

9. BIBLIOGRAFIA.

- 9.1 AGUILERA C., M. 1979. Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera. Tesis Ing. Agr. México, Universidad de Chapingo. 321 p.
- 9.2 ANDRINO A., 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. 99 p.
- 9.3 BARILLAS K., E. 1983. Determinación experimental de 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.
- 9.4 CARVALHO, J.B. et al. 1970. Efeito dos niveis de agua no solo sobre a producao do feijoeiro (Phaseolus vulgaris). Seiva (Bra.), 30(71):7-13.
- 9.5 CORADO E., M.R. 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 de Guatemala, Facultad de Agronomía. 63 p.
- 9.6 CRUZ CORZO, J.F. 1987. Efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración en remolacha (Beta vulgaris var. crasa) para la zona de Bárcena, Villa Nueva. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 58 p.
- 9.7 DOOREMBOS, J.; KASSAN, A.N. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma, FAO. 212 p.
- 9.8 DUBETZ, S.; MAHALLE, P.S. 1969. Effect of soil water stress on bush beans (Phaseolus vulgaris L.) at three stages of growth. Journal of the American Society for Horticultural Science 94 (5):479-481.
- 9.9 FORSYTE, E.M.; LEGARDA, B.L. 1978. Soil water and red bean production, mean maximum soil moisture suction. Turrialba (C.R.) 28(1):228-30.
- 9.10 GARCIA A., M.R. 1987. Efecto de cinco frecuencias de riego sobre el rendimiento y la evapotranspiración del maíz (Zea mays L.) en el Valle de La Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 58 p.

- 9.11 GIL R., M. 1987. Efecto de cinco frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración del melón (Cucumis melo L.) tipo Honey Dew, variedad Mayan Sweet, en el Valle de La Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 64 p.
- 9.12 GUATEMALA. INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS. 1984. Icta-quetzal, Icta-tamazulapa, variedades de frijol resistentes a mosaico dorado. Guatemala. 6 p.
- 9.13 _____. 1984. Cultivo del frijol. Guatemala. 6 p.
- 9.14 GUDIEL, V.M. 1980. Manual agrícola Superv. 5 ed. Guatemala, Superb. 291 p.
- 9.15 GRASSI, C.J. 1975. Estimación de los usos consuntivos de agua y requerimientos de riego con fines de formulación y diseño de proyectos, criterios y procedimientos. Mérida, Venezuela, CIDIAT, Texto no. RD-8. 88 p.
- 9.16 ISRAELSEN, O.W.; HANSEN, V.E. 1979. Principios y aplicaciones del riego. Trad. por Alberto García Palacios. Barcelona, España, Reverté. 396 p.
- 9.17 KRAMER, J.P. 1974. Relaciones hídricas de suelos y plantas; una síntesis moderna. México, Edutex. 276 p.
- 9.18 MACK, H.J.; VARSEVELD, G.H. 1982. Response of bush snap beans (Phaseolus vulgaris L.) to irrigation and plant density. Journal of the American Society for Horticultural Science 107 (2):286-90.
- 9.19 MARTINEZ G., C.L. 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. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 66 p.
- 9.20 MASAYA S., P.N. 1979. El cultivo del frijol en el suroriente de Guatemala. Guatemala, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas. 12 p.
- 9.21 MAURER, A.R. et al. 1969. Effect of five soil water regimen on growth and composition of snap beans. Canadian Journal of Plant Science 49(3):271-8.
- 9.22 MENDEZ G., 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 de Guatemala, Facultad de Agronomía. 92 p.

- 9.23 MENDEZ G., 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 de Guatemala, Facultad de Agronomía. 65 p.
- 9.24 MENDEZ S., B.D. 1984. Tecnología adecuada de riego por surcos para el cultivo del tomate (Lycopersicum esculentum) en Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 39 p.
- 9.25 MILLAR, A.A.; GARDNER, W.E. 1972. Effect of the soil and plant water potentials on the dry matter production of snap beans. Agronomy Journal 64 (5):559-62.
- 9.26 MILLER M., L.A. 1971. Estudio de riego-fertilidad con carota. Mérida, Venezuela, CIDIAT. 70 p.
- 9.27 MORALES M., L.E. 1986. Efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración del pepino (Cucumis melo L.) en La Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.
- 9.28 MORAN PALMA, L.F. 1987. Efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración en el cultivo del chile pimiento (Capsicum annum L.) en la unidad de riego El Progreso. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 104 p.
- 9.29 OLIVA C., E. 1986. Efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración del tomate (Lycopersicum esculentum) en la unidad de riego El Progreso. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 95 p.
- 9.30 OROZCO M., W.J. 1987. Efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración del pepino (Cucumis sativus L.) en el centro de producción San Jerónimo, Baja Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 74 p.
- 9.31 OROZCO, S.H. 1979. Frijol de suelo en monocultivo para Chimalteango. Guatemala, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas. 17 p.
- 9.32 QUAN B., R. 1961. Consideraciones teórico-prácticas para determinar las características de los surcos usados en riego. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 51 p.

- 9.33 RAGGI, L.A. et al. 1972. Efeito do turno de rega em tres fases do ciclo do feijoeiro. Seiva (Bra.) 32(76):34-43.
- 9.34 RELACIONES ENTRE suelo-planta-agua. 1972. Trad. por Emilio Avila de la Torre. México, Diana. 99 p.
- 9.35 RESENDE, M. et al. 1981. Frecuencia de irrigacao, desenvolvimiento e producao do feijao kidney. Pesquisa Agropecuaria Brasileira (Bra.) 16(3):363-70.
- 9.36 ROBINS, J.S.; HOME, O.W. 1968. Riego de frijoles en hiestos. México, Centro Regional de Ayuda Técnica. p. 1-6.
- 9.37 RUANO R., J.M. 1985. Efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración del cultivo del tabaco (Nicotina tabacum L.) en la unidad de riego El Progreso. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 119 p.
- 9.38 SAGASTUME G., M.B. 1986. Efecto de siete frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración en cebolla (Allium cepa L.) para la zona de Bárcena, Villa Nueva. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 52 p.
- 9.39 SANCHEZ CH., J.F. 1984. Efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración en cebolla (Allium cepa L.) para la zona de Bárcena, Villa Nueva. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 66 p.
- 9.40 SILVEIRA, P.M. da. et al. 1984. Láminas de agua e turnos de rega na cultura do feijoeiro de inverno. Pesquisa Agropecuaria Brasileira (Bra.) 19(2):219-223.
- 9.41 SOBERANIS L., J.L. 1983. Efecto de la frecuencia de riego en los rendimientos y la medición de la evapotranspiración en tomate (Lycopersicum esculentum) en la unidad de riego El Rancho-Jícaro. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 64 p.
- 9.42 STEINMETZ, S. 1984. Evapotranspiracao máxima no cultivo do feijao de inverno. Goiania. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijao. Circular Técnica no. 47. 4 p.
- 9.43 STONE, L.F.; ALVES, J.A. 1986. Irrigacao do feijoeiro. Goiania, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria, Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijao. Circular Técnica no. 20. 31 p.
- 9.44 TELLO S., C.A. 1983. Efecto de cinco frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración del chile pimiento (Capsicum annum L.) en la unidad de riego Rancho-Jícaro. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 70 p.

- 9.45 TOLEDO, M. et al. 1979. Efeito do deficit de agua em alguns periodos do ciclo de crescimento sobre o rendimento do feijoeiro comum. Pesquisa Agropecuaria Brasileira (Bra.) 20(3):120-124.
- 9.46 VANEGAS, J.J. 1974. Riego y fertilidad en carota (Phaseolus vulgaris L.) sistema de riego Fuanare. Venezuela, Dirección General de Recursos Hidráulicos. 37 p.
- 9.47 WHITERS, D.W.; VIPOND, S. 1979. El riego, diseño y práctica. México, Diana. p. 15-16.



10. APENDICE

Cuadro 5. Propiedades físicas del suelo en donde se realizó el experimento.

MUES TRA	PROF. cm	TEXTURA	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	TENSION EN		% DE MATERIA ORGANICA	D.A.	pH	CLAVE COLOR	SECO	HUME- DO
						1/3	15						
1	0-30	Franco	42.38	35.07	22.55	22.02	11.29	0.929	1.36	5.75	10YR	3/8	4/4
	30-60	Franco	45.28	31.27	23.45	21.53	10.95		1.42	5.98	10YR	5/8	4/6
	60-90	Franco	34.47	38.67	26.86	28.79	13.77		1.42	6.33	10YR	7/3	4/3
2	0-30	F. Arc.	31.63	32.61	35.76	32.80	18.06	1.362	1.30	5.96	10YR	6/4	4/3
	30-60	Franco	46.61	27.87	25.53	23.08	12.12		1.35	6.42	10YR	6/3	4/3
	60-90	F. Aren.	52.68	31.69	15.63	15.06	7.09		1.34	6.36	10YR	5/8	5/6

Cuadro 6. Análisis químico del suelo en donde se realizó el experimento.

MUES TRA	PROF. cm	pH	Microgr/ml		Meq/100 ml	
			P	K	Ca	Mg
1	0-30	6.5	32.08	85	7.86	2.83
	30-60	6.9	10.00	33	10.35	4.44
	60-90	7.0	13.33	28	9.84	4.77
2	0-30	6.7	13.33	50	6.12	2.28
	30-60	6.8	11.67	45	6.30	2.83
	60-90	7.0	24.00	43	4.98	2.16

Cuadro 7. Resumen de los cationes intercambiables en miliequivalentes por 100 gr. de suelo seco.

MUESTRA	PROFUNDIDAD cm	CAPACIDAD TOTAL DE INTERCAMBIO	Ca	Mg	Na	K	H	SATURA- CION DE BASES %	SUMA DE CATIONES
1	0-30	14.01	6.48	3.53	0.21	0.16	3.63	74.09	10.38
	30-60	13.63	6.44	3.39	0.27	0.16	3.37	75.28	10.26
	60-90	17.71	10.81	5.46	0.26	0.12	1.06	94.01	16.65
2	0-30	23.12	11.99	5.30	0.34	0.34	5.15	77.72	17.97
	30-60	17.05	10.22	4.47	0.33	0.15	1.88	88.97	15.17
	60-90	10.85	4.21	2.38	0.33	0.13	3.80	64.98	7.05

Cuadro 8. Resultados organizados de rendimiento de grano en kilogramos por hectárea.

TRATAMIENTOS	REPETICIONES				TOTAL	PROMEDIO
	I	II	III	IV		
F-08	564	546	432	698	2252	564
F-12	377	502	442	448	1768	443
F-16	474	396	281	236	1384	346
F-20	261	142	139	212	752	188
F-24	214	152	185	176	727	181
F-28	167	183	211	171	732	183
TOTAL:	2057	1922	1690	1941	7615	317

Cuadro 9. Análisis de varianza para el rendimiento en grano en kilogramos por hectárea.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.t
Bloque	3	13300	433.33		
Tratamientos	5	521300	104260.00	19.84	2.90**
Error	15	78800	5253.33		
TOTAL:	23	613500			

Coefficiente de variación: 22.28

Cuadro 10. Prueba de Tukey para el rendimiento en grano de frijol en kilogramos por hectárea.

TRATAMIENTOS	MEDIAS
F-8	564 a
F-12	443 a
F-16	347 b
F-20	189 c
F-24	183 c
F-28	182 c

Cuadro 11. Número de plantas vivas al final del ciclo del cultivo por parcela organizadas por tratamiento y repeticiones.

TRATAMIENTOS	R E P E T I C I O N E S				TOTAL	PROMEDIO
	I	II	III	IV		
F-8	15.16	12.55	15.87	13.42	57	14.25
F-12	14.38	14.28	14.07	12.45	55.18	13.79
F-16	13.82	13.63	12.68	15.16	55.29	13.82
F-20	14.17	14.00	10.86	11.75	50.78	12.69
F-24	12.76	12.48	11.74	12.88	49.86	12.46
F-28	10.86	12.48	11.09	14.59	49.09	12.25
TOTAL:	81.15	79.42	76.31	80.25	316.49	13.21

NOTA: A los resultados originales de rendimiento en número de plantas al final del experimento por parcela, se les sacó raíz cuadrada para convertirlo de variables discretas a continuas.

Cuadro 12. Análisis de varianza para el número de plantas vivas al final del ciclo del cultivo por parcela.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.t
Bloque	3	2.669	0.90	0.426	
Tratamientos	5	14.125	2.825	1.337	2.90 (N.S.)
Error	15	31.697	2.113		
TOTAL:	23	48.522			

Coefficiente de variación: 11.00

Cuadro 13. Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para todos los tratamientos durante los riegos generales.

ESTRATO cm	PORCENTAJE DE HUMEDAD					CONSUMO cm	AJUSTE cm	LAMINA PARCIAL	TOTAL
	DR		AR		DIFER. %				
	FECHA	%	FECHA	%					
0-30	23-1-87	22.51	27-1-87	21.33	1.18	0.52	0.39	0.91	
30-60		18.34		17.75	0.59	0.36	0.27	0.63	1.54
0-30	30-2-87	21.50	4-2-87	21.00	0.50	0.22	0.13	0.35	
30-60		18.00		16.96	1.04	0.64	0.38	1.02	1.37
0-30	7-2-87	22.16	12-2-87	20.52	1.64	0.72	0.43	1.15	
30-60		17.82		17.17	0.65	0.39	0.23	0.62	1.77
LAMINA TOTAL:									4.68

DR = Después de riego

AR = Antes del riego

Cuadro 14. Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-8.

ESTRATO cm	PORCENTAJE DE HUMEDAD				DIFEREN CIA %	CONSU MO cm	AJUS TE cm	LAMINA PAR CIAL	TOTAL
	DR		AR						
	FECHA	%	FECHA	%					
0-30	15-2-87	23.25	20-2-87	19.97	3.28	1.44	0.86	2.3	
30-60		17.92		17.70	2.22	1.36	0.81	2.17	4.47
0-30	23-2-87	20.99	28-2-87	13.50	2.49	1.09	0.66	1.75	
30-60		17.74		15.66	2.08	1.28	0.76	2.05	3.80
0-30	3-3-87	18.77	8-3-87	15.71	3.06	1.34	0.80	2.14	
30-60		15.76		14.45	1.31	0.80	0.48	1.28	3.42
0-30	11-3-87	18.62	16-3-87	16.38	2.24	0.98	0.59	1.57	
30-60		14.69		13.20	1.49	0.91	0.54	1.45	3.02
0-30	19-3-87	16.93	24-3-87	14.56	2.37	1.04	0.62	1.66	
30-60		14.24		13.26	0.98	0.60	0.36	0.96	2.62
0-30	27-3-87	16.50	1-4-87*	13.90	2.60	1.14	0.68	1.82	
30-60		13.86		13.63	0.23	0.14	0.08	0.22	2.04
0-30	4-4-87	17.53	9-4-87**	16.52	1.01	0.44	0.17	0.61	
30-60		15.02		14.48	0.54	0.33	0.13	0.46	1.08
0-30	9-4-87	16.52	17-4-87**	14.78	1.74	0.76			
30-60		14.48		13.43	1.05	0.64			1.40
0-30	17-4-87	14.78	21-4-87**	12.85	1.93	0.84			
30-60		13.43		12.41	1.02	0.64			1.48
LAMINA PARCIAL									23.32
LAMINA DE RIEGOS GENERALES									4.68
LAMINA TOTAL:									28.00

* Muestreo para aplicar el último riego

** Muestreos después del último riego.

Cuadro 15. Control de humedad antes y después de riego y cálculo de lámina consumida para el tratamiento F-12.

ESTRATO cm	PORCENTAJE DE HUMEDAD				DIFEREN CIA %	CONSU MO cm	AJUS TE cm	LAMINA PAR CIAL	TOTAL
	DR		AR						
	FECHA	%	FECHA	%					
0-30	15-2-87	23.25	24-2-87	16.94	6.31	2.77	0.92	3.69	
30-60		17.95		16.01	1.94	1.19	0.39	1.58	5.27
0-30	27-2-87	17.45	8-3-87	14.26	3.19	1.40	0.46	1.86	
30-60		17.20		15.32	1.88	1.15	0.38	1.53	3.40
0-30	11-3-87	18.81	20-3-87	13.44	5.37	2.36	0.78	3.14	
30-60		15.41		13.66	1.75	1.08	0.36	1.44	4.58
0-30	23-3-87	17.13	1-4-87*	13.20	3.93	1.72	0.57	2.29	
30-60		13.90		13.01	0.89	0.54	0.18	0.74	3.01
0-30	4-4-87	18.75	17-4-87**	16.35	2.40	1.05	0.16	1.21	
30-60		13.55		13.0	0.55	0.34	0.05	0.39	1.60
0-30	17-4-87	16.35	21-4-87**	15.90	0.45	0.19			
30-60		13.0		12.60	0.40	0.25			0.44
LAMINA PARCIAL								18.30	
RIEGOS GENERALES								4.68	
TOTAL:								22.97	

* Muestreo para aplicar el último riego

** Muestreo después del último riego.

Cuadro 16. Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-16.

ESTRATOC cm	PORCENTAJE DE HUMEDAD				DIFEREN CIA %	CONSU MO cm	AJUS TE cm	LAMINA PAR- CIAL	TOTAL
	DR		AR						
	FECHA	%	FECHA	%					
0-30	15-2-87	23.25	21-2-87**	19.83	3.42	1.50	0.50	2.00	
30-60		17.92		17.13	0.79	0.48	0.16	0.64	2.64
0-30	21-2-87	19.83	28-2-87	14.39	5.44	2.39	0.34	2.73	
30-60		16.13		14.55	1.58	0.97	0.14	1.11	3.84
0-30	3-3-87	19.58	9-3-87**	15.38	4.20	1.84	0.61	2.45	
30-60		15.03		14.77	0.26	0.16	0.05	0.21	2.66
0-30	9-3-87	15.38	16-3-87	15.09	0.29	0.13	0.02	0.15	
30-60		14.77		13.05	1.72	1.06	0.15	1.21	1.36
0-30	19-3-87	16.66	25-3-87**	15.47	1.19	0.52	0.17	0.69	
30-60		14.85		14.75	0.1	0.06	0.02	0.08	0.77
0-30	25-3-87	15.47	1-4-87*	14.25	1.22	0.54	0.08	0.62	
30-60		14.75		13.79	0.96	0.59	0.08	0.67	1.29
0-30	4-4-87	18.52	10-4-87**	16.81	1.71	0.75	0.25	1.00	
30-60		14.94		13.79	1.15	0.70	0.23	0.93	1.93
0-30	10-4-87	16.	17-4-87**	13.82	2.99	1.31			
30-60		13.79		13.73	0.06	0.04			1.35
0-30	17-4-87	13.82	21-4-87**	13.21	0.61	0.27			
30-60		13.73		12.39	1.34	0.82			1.09
LAMINA PARCIAL									16.93
LAMINA RIEGOS GENERALES									4.68
LAMINA TOTAL									21.61

* Muestreo para aplicar el último riego
 ** Muestreos intermedios
 *** Muestreos después del último riego.

Cuadro 17. Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-20

ESTRATO cm	PORCENTAJE DE HUMEDAD				DIFEREN CIA %	CONSU MO cm	AJUS TE cm	LAMINA PAR CIAL	TOTAL
	DR		AR						
	FECHA	%	FECHA	%					
0-30	15-2-87	23.25	23-2-87**	18.15	5.1	2.24	0.56	2.80	
30-60		17.92		15.67	2.25	1.38	0.34	1.72	4.52
0-30	23-2-87	18.15	4-3-87	15.67	2.48	1.08	0.12	1.20	
30-60		15.67		13.87	1.80	1.11	0.12	1.23	2.43
0-30	7-3-87	16.57	15-3-87**	15.69	0.88	0.39	0.09	0.48	
30-60		14.16		14.09	0.07	0.04	0.01	0.05	0.53
0-30	15-3-87	15.69	24-3-87*	12.74	2.95	1.29	0.14	1.43	
30-60		14.09		13.66	0.43	0.26	0.03	0.28	1.72
0-30	27-3-87	14.91	4-4-87***	13.28	1.63	0.72	0.18	0.89	
30-60		14.04		13.15	0.89	0.55	0.14	0.69	1.58
0-30	4-4-87	13.28	17-4-87***	12.4	0.88	0.39			
30-60		13.15		9.38	3.77	2.31			2.70
0-30	17-4-87	12.40	21-4-87***	10.62	1.78	0.78			
30-60		9.38		8.98	0.89	0.55			1.32
LAMINA PARCIAL									14.80
LAMINA DE RIEGOS GENERALES									4.68
LAMINA TOTAL									19.48

* Muestreo para aplicar el último riego.
 ** Muestréos intermedios
 *** Muestréos después del último riego.

Cuadro 18. Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-24

ESTRATO cm	PORCENTAJE DE HUMEDAD				DIFEREN CIA %	CONSU MO cm	AJUS TE cm	LAMINA PAR CIAL	TOTAL
	DR		AR						
	FECHA	%	FECHA	%					
0-30	15-2-87	23.25	25-2-87**	16.74	6.51	2.86	0.57	3.43	
30-60		17.92		15.98	1.14	1.19	0.23	1.43	4.86
0-30	25-2-87	16.74	8-3-87	13.97	2.77	1.22	0.11	1.33	
30-60		15.98		13.22	2.76	1.69	0.15	1.84	3.17
0-30	11-3-87	15.07	21-3-87**	11.63	3.44	1.51	0.30	1.81	
30-60		13.45		12.96	0.49	0.30	0.09	0.39	2.17
0-30	21-3-87	11.63	1-4-87*	11.03	0.60	0.26	0.02	0.28	
30-60		12.96		11.89	1.07	0.65	0.06	0.71	0.99
0-30	4-4-87	18.54	17-4-87***	16.41	2.13	0.94	0.14	1.08	
30-60		14.67		13.84	0.83	0.51	0.08	0.59	1.63
0-30	17-4-87	16.41	21-4-87***	15.3	1.11	0.48			
30-60		13.84		13.17	0.70	0.41			0.89
LAMINA PARCIAL									13.41
LAMINA DE RIEGOS GENERALES									4.68
LAMINA TOTAL:									18.09

* Muestreo para aplicar el último riego

** Muestreo intermedio

*** Muestreo después del último riego.

Cuadro 19. Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-28.

ESTRATO cm	PORCENTAJE DE HUMEDAD				DIFEREN CIA %	CONSU MO cm	AJUS TE cm	LAMINA PAR CIAL	TOTAL
	DR		AR						
	FECHA	%	FECHA	%					
0-30	15-2-87	23.25	27-2-87**	19.70	3.55	1.56	0.26	1.82	3.72
30-60		17.92		15.26	2.66	1.63	0.27	1.90	
0-30	27-2-87	19.70	12-3-87*	17.30	2.40	1.05	0.08	1.13	2.18
30-60		15.26		13.66	1.60	0.98	0.07	1.05	
0-30	15-3-87	18.59	20-3-87***	17.90	0.69	0.30	0.12	0.42	1.48
30-60		17.23		13.00	1.23	0.76	0.30	1.06	
0-30	20-3-87	17.90	27-3-87***	16.41	1.49	0.65			2.19
30-60		13.00		10.50	2.50	1.54			
0-30	27-3-87	16.41	3-4-87***	14.35	2.06	0.90			1.20
30-60		10.50		10.00	0.50	0.30			
0-30	3-4-87	14.35	10-4-87***	13.76	0.59	0.26			0.45
30-60		10.00		9.69	0.31	0.19			
0-30	10-4-87	13.76	17-4-87***	13.62	0.41	0.06			0.48
30-60		9.69		9.00	0.69	0.42			
0-30	17-4-87	13.62	21-4-87***	13.45	0.17	0.07			0.16
30-60		9.00		8.85	0.15	0.09			
LAMINA PARCIAL									11.86
LAMINA DE RIEGOS GENERALES									4.68
LAMINA TOTAL:									16.54

- * Muestreo para aplicar el último riego.
- ** Muestreo intermedio
- *** Muestreo después del último riego.

Cuadro 20. Cálculo de la evapotranspiración semanal y total por el método de Blaney-Criddle.

FECHA	(1)	TEMPERATURA °C	(2)	(3)		Kt	Kc Phelan	Et fxKtxKc	Et' cms	Kc Hansen	Et	Et'	
	SEMANA		P ² % LUZ	T+17.8 21.8	f lx2x3								
21-1-87 a	1	20.65	1.68	1.76	2.96	0.88	0.53	1.38	1.08	0.55	1.43	1.07	
27-1-87													
28-1-87 a	2	20.68	1.74	1.76	3.06	0.88	0.62	1.67	1.30	0.63	1.69	1.26	
3-2-87													
4-2-87 a	3	20.71	1.82	1.77	3.22	0.88	0.72	2.04	1.59	0.75	2.12	1.59	
10-2-87													
11-2-87 a	4	22.35	1.82	1.84	3.35	0.94	0.84	2.64	2.06	0.85	3.15	2.36	
17-2-87													
18-2-87 a	5	24.27	1.82	1.92	3.49	0.99	0.96	3.32	2.59	1.01	3.49	2.61	
24-2-87													
25-2-87 a	6	24.81	1.85	1.95	3.60	1.01	1.07	3.89	3.03	1.14	4.14	3.09	
3-3-87													
4-3-87 a	7	23.28	1.89	1.88	3.55	0.96	1.12	3.82	2.98	1.13	3.85	2.88	
10-3-87													
11-3-87 a	8	25.06	1.89	1.96	3.70	1.02	1.11	4.19	3.27	1.13	4.26	3.19	
17-3-87													
18-3-87 a	9	29.9	1.89	2.18	4.12	1.15	1.05	4.97	3.87	1.15	5.44	4.07	
24-3-87													
25-3-87 a	10	31.27	1.89	2.25	4.25	1.21	0.98	5.04	3.93	1.02	5.24	3.92	
31-3-87													
1-4-87 a	11	25.61	1.96	1.99	3.90	1.04	0.86	3.44	2.72	0.85	3.45	2.58	
7-4-87													
8-4-87 a	12	27.92	1.96	2.09	4.10	1.11	0.74	3.37	2.63	0.73	3.22	2.41	
14-4-87													
15-4-87 a	13	27.10	1.96	2.06	4.04	1.08	0.68	2.96	2.31	0.64	2.79	2.08	
21-4-87													
47.34						42.78			33.36		44.27		33.11

Factor de ajuste S.C.S. $Et = K_g \times F = 0.7 \times 47.34 = 33.14$; $K' = Et/F = 42.78/47.34 = 0.9$; $FA = 0.7/0.9 = 0.78$; $Et' = Et \times FA$

Factor de ajuste C.U.H. $K' = 44.27/47.34 = 0.93$; $FA = 0.7/0.93 = 0.75$; $Et' = FA \times Et$.

Cuadro 21. Cálculo de la evapotranspiración semanal y total por el método de Hargreaves 1966.

FECHA	(1) SEMANA	(2) TEMPERATURA °C	(3) d	Hn	(4)	(5)	(mm.) Et 1x2x3x4x5	VIENTO (+) %	INSOLA	ALTI	Et CO
					17.37 x (1-0.01Hn)	Kc FAO			CION (-) %	TUD (+) %	RREGI DA mm.
21-1-87 a	1	20.65	0.202	44.80	9.58	0.14	5.59	5.65	24.28	8.5	5.02
27-1-87											
28-1-87 a	1	20.68	0.209	48.6	8.93	0.40	15.43	7.92	24.45	8.5	14.19
3-2-87											
4-2-87 a	1	20.17	0.218	48.6	8.93	0.62	24.34	7.40	20.75	8.5	23.16
10-2-87											
11-2-87 a	1	22.35	0.218	47.64	9.09	0.78	34.54	5.86	9.11	8.5	36.36
17-2-87											
18-2-87 a	1	24.27	0.218	50.5	8.59	0.91	41.36	6.91	10.81	8.5	43.29
24-2-87											
25-2-87 a	1	24.81	0.222	44.8	9.58	0.98	51.71	7.92	6.79	8.5	56.68
3-3-87											
4-3-87 a	1	23.28	0.227	55.51	7.73	1.0	40.85	4.93	9.20	8.5	44.35
10-3-87											
11-3-87 a	1	25.06	0.227	50.53	8.59	0.99	48.38	6.07	27.09	8.5	42.32
17-3-87											
18-3-87 a	1	29.90	0.227	41.17	10.22	0.96	66.54	7.71	22.68	8.5	62.24
24-3-87											
25-3-87 a	1	31.27	0.227	42.07	10.06	0.87	62.12	7.09	10.49	8.5	65.29
3-3-87											
1-4-87 a	1	25.61	0.235	53.5	8.08	0.68	33.07	10.90	28.14	8.5	30.18
7-4-87											
8-4-87 a	1	27.92	0.235	53.5	8.08	0.50	26.51	6.78	20.83	8.5	25.33
14-4-87											
15-4-87 a	1	27.1	0.235	53.5	8.08	0.22	11.32	7.82	22.26	8.5	10.64
21-4-87											
											459.04

Cuadro 22. Cálculo de evapotranspiración semanal y total por el método de Hargreaves 1983.

FECHA	SEMANA	TEMPERA- TURA °C SEMANTAL MED. MAX.	TEMPERA- TURA °C SEMANTAL MED. MIN.	TEMPERA- TURA MEDIA °C	TD ^{0.5} °C	Ra mm/SEMANTAL	Rs mm/SEMANTAL	\bar{X} F°	Etp mm/SEMA- NAL	Kc	Etc mm/SEMA- NAL
21-1-87 a	1	26.10	11.40	20.65	3.83	85.40	53.97	69.17	27.99	0.3	8.39
27-1-87											
28-1-87 a	1	27.30	9.60	20.68	4.21	89.15	61.93	69.22	32.15	0.4	12.86
3-2-87											
4-2-87 a	1	27.30	12.60	20.71	3.83	94.15	59.49	69.28	30.91	0.4	12.36
10-2-87											
11-2-87 a	1	29.30	12.10	22.35	2.68	94.15	41.63	72.23	22.55	0.7	15.78
17-2-87											
18-2-87 a	1	26.50	15.20	24.27	3.36	94.15	52.20	75.69	29.63	0.8	23.70
24-2-87											
25-2-87 a	1	32.30	14.90	24.81	4.17	89.15	61.34	76.66	32.26	1.05	33.87
3-3-87											
4-3-87 a	1	27.70	13.10	23.28	3.82	103.60	65.30	73.90	36.19	1.20	36.91
10-3-87											
11-3-87 a	1	29.20	14.40	25.06	3.85	103.60	65.81	77.00	38.00	0.65	24.70
17-3-87											
18-3-87 a	1	34.50	18.00	29.90	4.06	103.60	69.40	85.82	44.67	0.75	33.50
24-3-87											
25-3-87 a	1	33.70	19.50	31.27	3.77	103.60	64.44	88.29	42.67	0.25	10.67
31-3-87											
1-4-87 a	1	29.80	15.60	25.61	3.77	109.55	68.14	78.10	39.91	0.30	11.97
7-4-87											
8-4-87 a	1	31.80	17.40	27.92	3.79	109.55	68.51	82.26	42.27	0.7	29.60
14-4-87											
15-4-87 a	1	31.01	16.74	27.10	3.77	109.55	68.14	80.78	41.28	0.8	33.0
21-4-87											
										287.41	

Cuadro 23. Coeficiente de determinación " r^2 " del modelo lineal de los seis tratamientos Vrs. fórmulas.

FORMULA	TRATAMIENTOS					
	F-8	F-12	F-16	F-20	F-24	F-28
Blaney - Criddle (Kc) S.C.S.	0.098	0.077	0.018	0.087	0.104	0.010
Blaney - Criddle (Kc) C.U.H.	0.151	0.134	0.013	0.044	0.056	0.056
Tanque Evaporímetro tipo "A" (Kc)	0.004	0.017	0.115	0.030	0.34	0.069
Hargreaves 1966 (Kc)	0.276	0.288	0.005	0.005	0.00	0.210
Hargreaves 1983 (Kc)	0.201	0.013	0.052	0.041	0.00	0.046

" r^2 " tabulado a un nivel de significancia del 1% y 11 grados de libertad
= 0.47

Cuadro 24. Relación entre Evapotranspiración semanal de los tratamientos y la evaporación del tanque tipo "A".

SEMA- NA	EVAPORA- CION cm	T R A T A M I E N T O S					
		F-8 Et/Ev	F-12 Et/Ev	F-16 Et/Ev	F-20 Et/Ev	F-24 Et/Ev	F-28 Et/Ev
1	3.02	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
2	3.06	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
3	3.3	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
4	3.41	0.95	0.97	0.61	1.25	0.73	0.61
5	3.63	1.23	1.11	0.80	1.10	0.79	0.63
6	3.63	1.12	0.54	0.80	0.15	0.51	0.43
7	3.75	0.77	0.59	0.53	0.29	0.43	0.34
8	4.10	0.76	0.65	0.27	0.18	0.26	0.48
9	4.45	1.31	0.45	0.15	0.27	0.18	0.78
10	4.45	0.4	0.39	0.68	0.25	0.13	0.35
11	4.21	0.28	0.21	1.34	0.31	0.18	0.12
12	4.22	0.28	0.17	0.64	0.34	0.18	0.11
13	4.12	0.44	0.16	0.40	0.35	0.24	0.12

Cuadro 25. Evapotranspiración semanal y total (cm) de los diferentes tratamientos y fórmulas.

SEMA- NA	T R A T A M I E N T O S						BLANEY- CRIDDLE	BLANEY- CRIDDLE	TANQUE EVAPO- RIMETRO	HARGREA VES	HARGREA VES
	F-8	F-12	F-16	F-20	F-24	F-28	SCS	CUH		1966	1983
1	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.08	1.07	3.02	0.51	0.84
2	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.30	1.26	3.06	1.42	1.29
3	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.59	1.59	3.30	2.32	1.24
4	3.23	2.64	2.09	2.70	2.51	1.77	2.06	2.36	3.41	3.64	1.58
5	3.59	3.07	2.91	2.75	2.89	1.86	2.59	2.61	3.63	4.23	2.37
6	3.19	1.98	2.92	1.70	1.85	1.30	3.03	3.09	3.63	5.67	3.39
7	2.90	2.20	2.00	0.56	1.63	1.09	2.98	2.88	3.75	4.44	3.69
8	2.59	2.67	1.12	0.73	1.09	1.37	3.27	3.19	4.10	4.23	2.47
9	2.29	2.02	0.67	1.20	0.80	1.98	3.87	4.07	4.45	6.22	3.35
10	1.78	1.76	1.13	1.11	0.58	1.48	3.93	3.92	4.45	6.53	1.07
11	1.18	0.88	1.60	1.30	0.75	0.66	2.72	2.58	4.21	3.02	1.19
12	1.20	0.73	1.44	1.45	0.78	0.47	2.63	2.41	4.22	2.53	2.96
13	1.82	0.65	1.67	1.44	1.00	0.29	2.31	2.08	4.12	1.06	3.30
	28.00	22.83	21.78	19.17	18.11	16.50	33.36	33.11	49.35	45.82	28.74

Cuadro 26. Valores y evapotranspiración semanal acumulada (cm.) de los diferentes tratamientos y fórmulas.

SEMA NA	T R A T A M I E N T O S						BLANEY- CRIDDLE SCS	BLANEY- CRIDDLE CUH	TANQUE EVAPORI- METRO	HARGREA- VES 1966	HARGREA- VES 1983
	F-8	F-12	F-16	F-20	F-24	F-28					
1	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.08	1.07	3.02	0.51	0.84
2	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.38	2.33	6.08	1.93	2.13
3	4.23	4.23	4.23	4.23	4.23	4.23	3.97	3.92	9.38	4.25	3.77
4	7.46	6.87	6.32	6.93	6.74	6.00	6.03	6.28	12.79	7.89	4.95
5	11.05	9.94	9.23	9.68	9.63	7.86	8.62	8.89	16.42	12.12	7.32
6	14.24	11.92	12.15	11.38	11.48	9.16	11.65	11.98	20.05	17.79	10.71
7	17.14	14.12	14.15	11.94	13.11	10.25	14.63	14.86	23.80	22.23	14.40
8	19.53	16.79	15.27	12.67	14.20	11.62	17.90	18.05	27.90	26.46	16.87
9	22.02	18.81	15.94	13.87	15.00	13.60	21.77	22.12	32.35	32.68	20.22
10	23.80	20.57	17.07	14.98	15.08	15.70	26.04	36.80	39.80	39.21	21.29
11	24.98	21.45	18.67	16.28	16.33	15.74	28.42	28.62	41.01	42.23	22.48
12	26.18	22.18	20.11	17.73	17.11	16.21	31.05	31.03	45.23	44.76	25.44
13	28.00	22.83	21.78	19.17	18.11	16.50	33.36	33.11	49.35	45.82	28.74

FIGURA I
 PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE
 TRATAMIENTO F-8

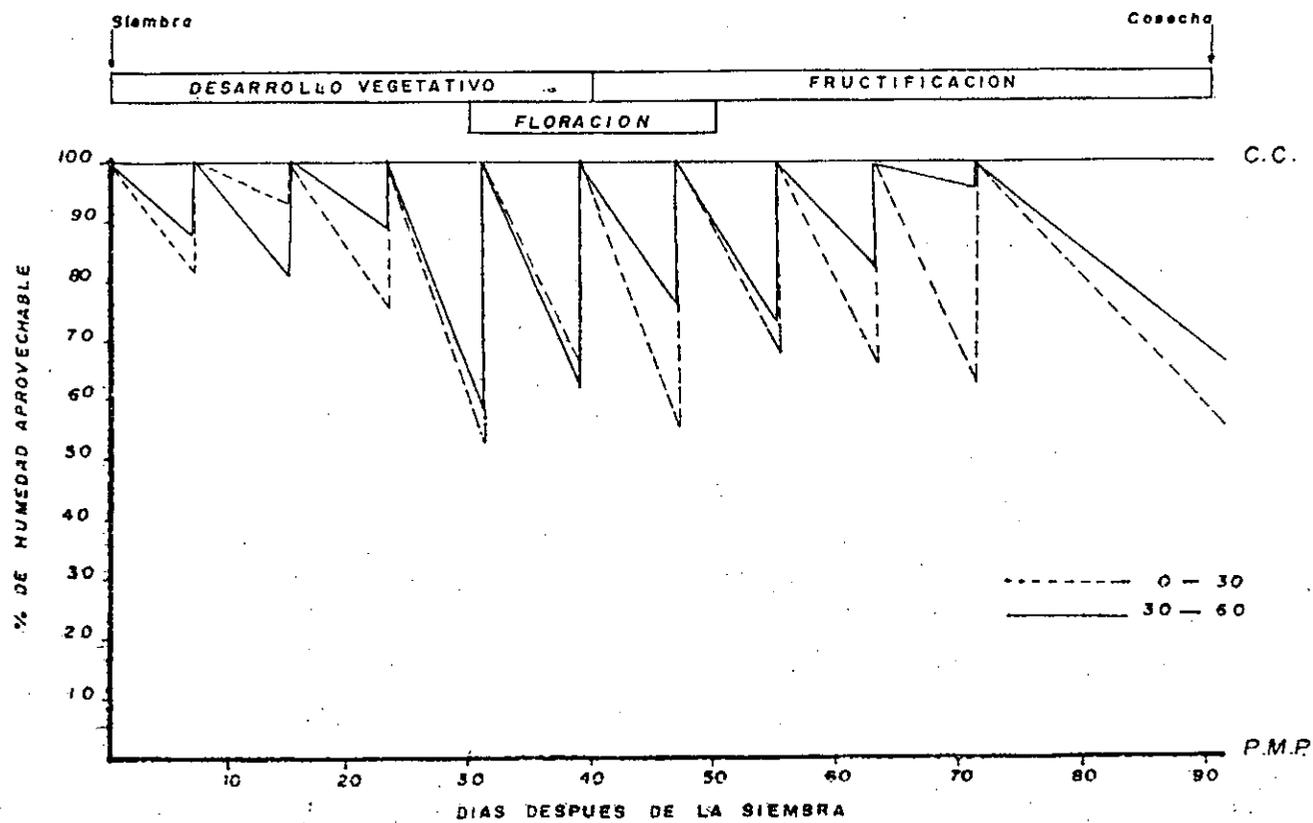


FIGURA 2

PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE
TRATAMIENTO F-12

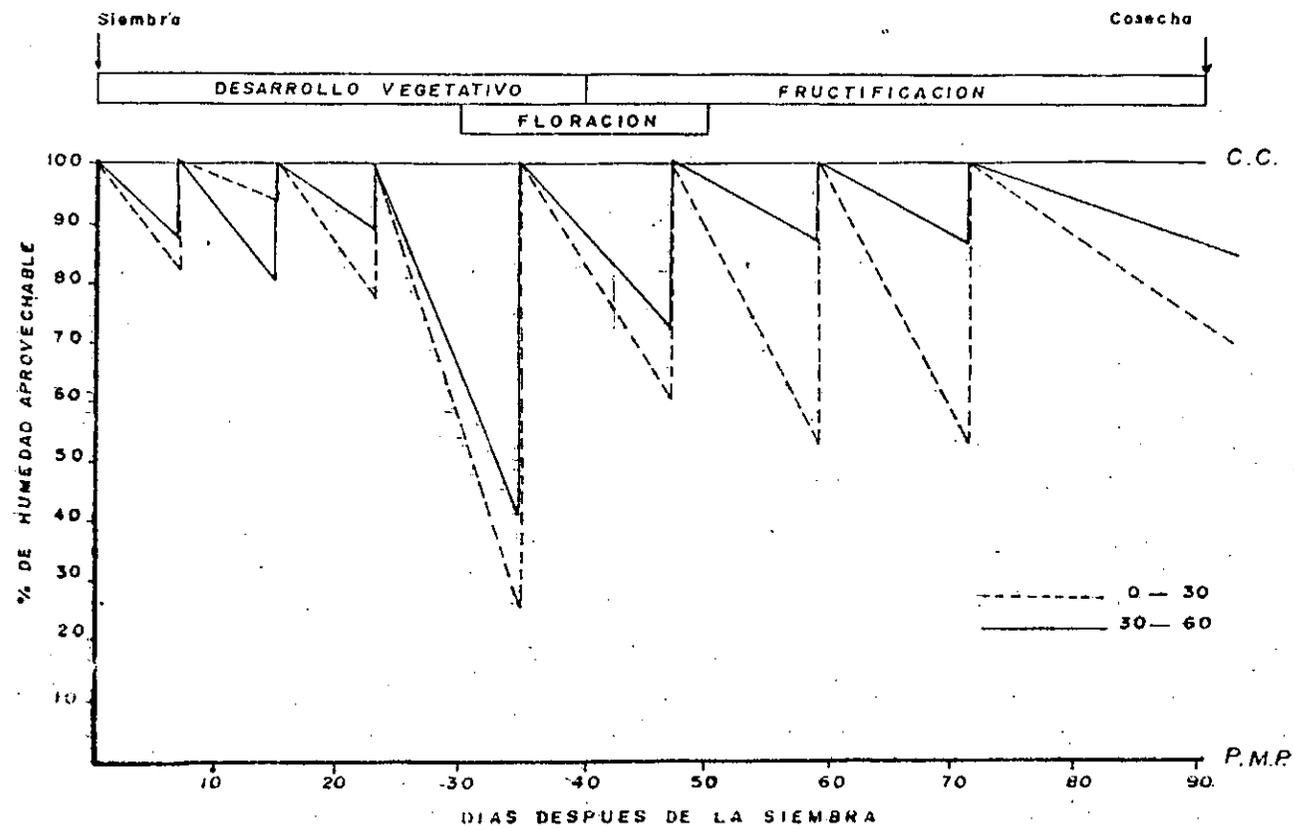


FIGURA 3

PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE
TRATAMIENTO F-16

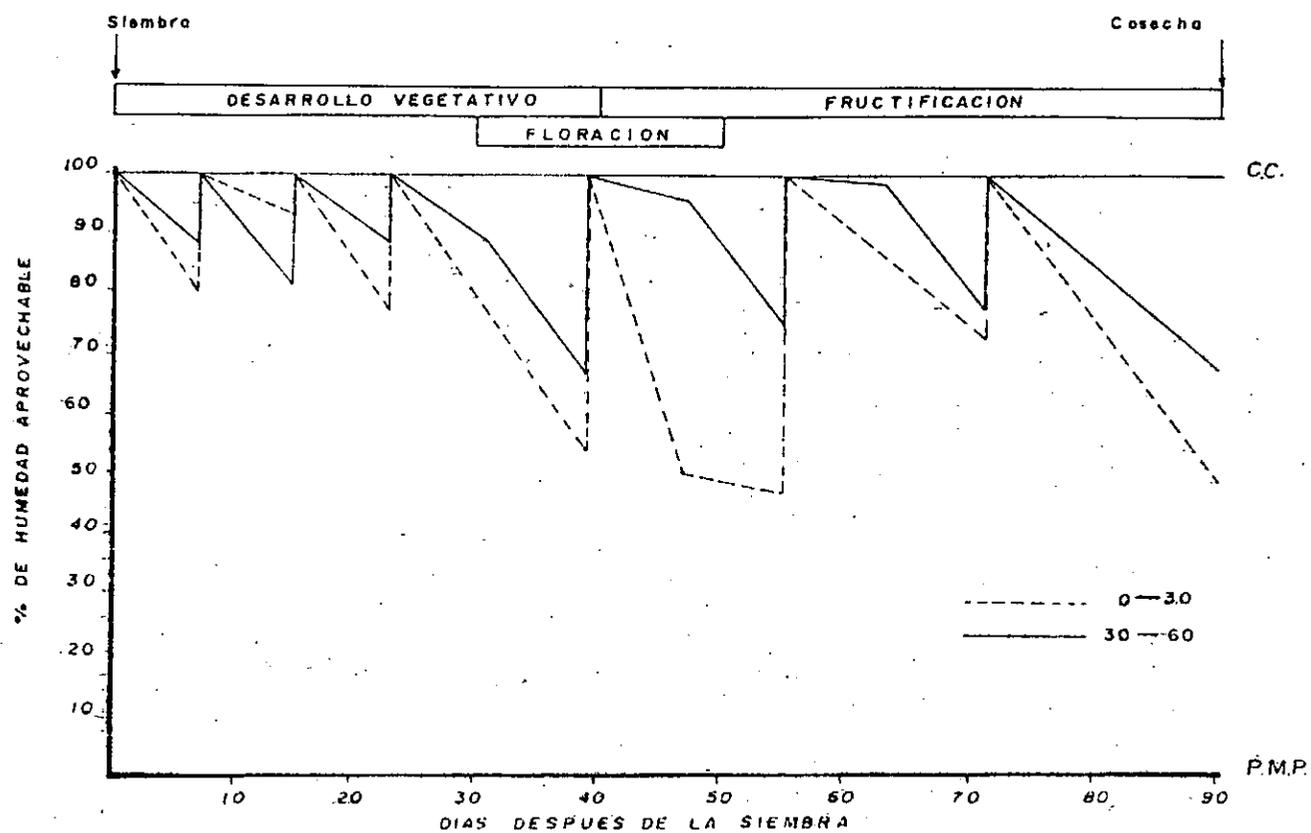


FIGURA 4
 PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE
 TRATAMIENTO F-20

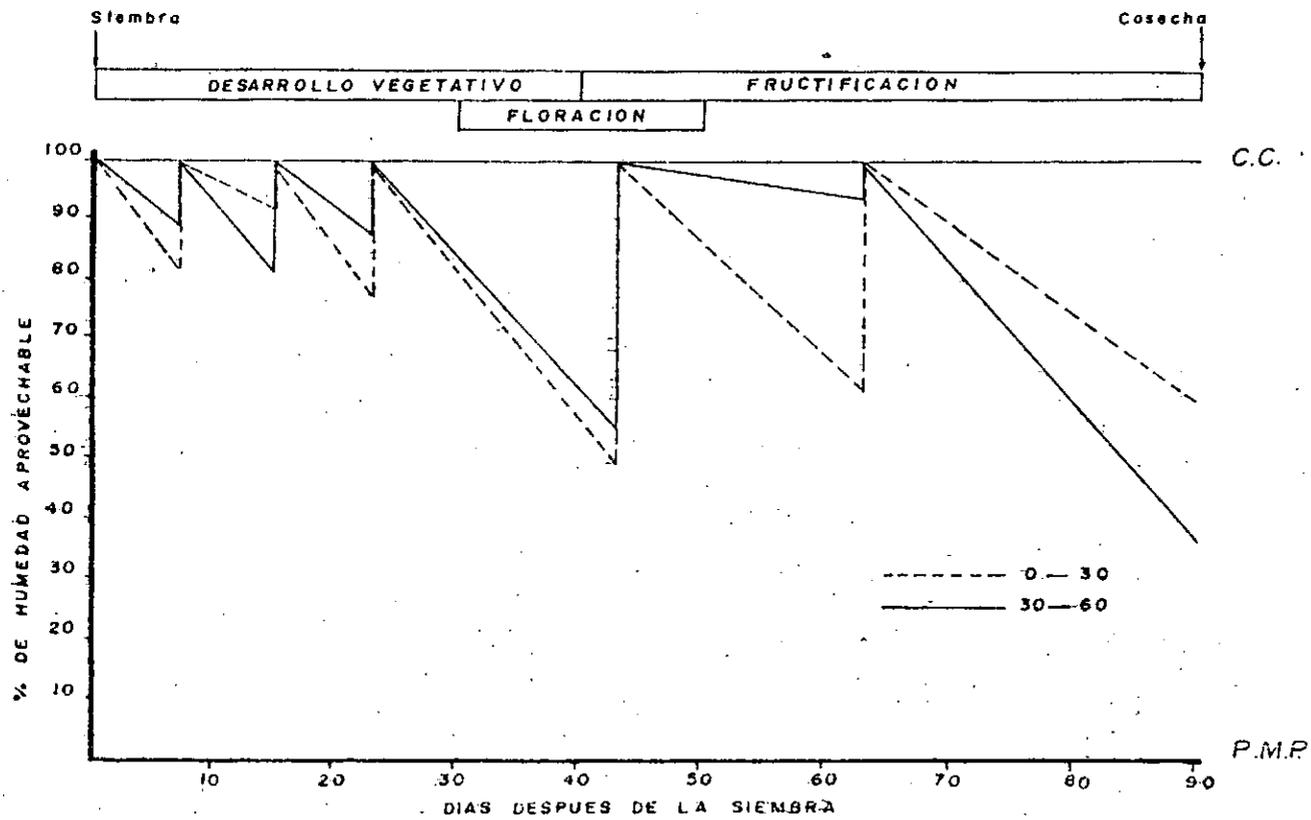


FIGURA 5

PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE
TRATAMIENTO F-24

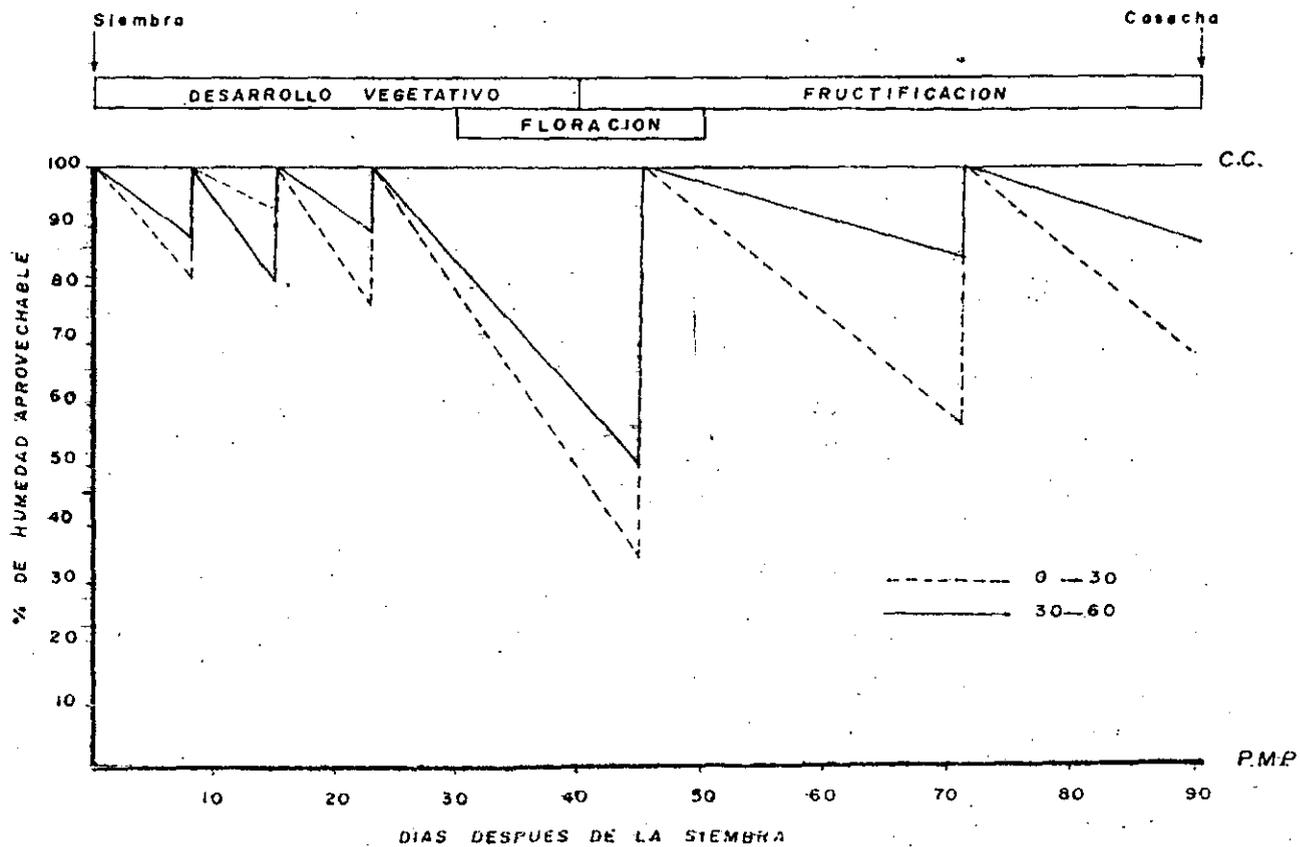


FIGURA 6

PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE
TRATAMIENTO F-28

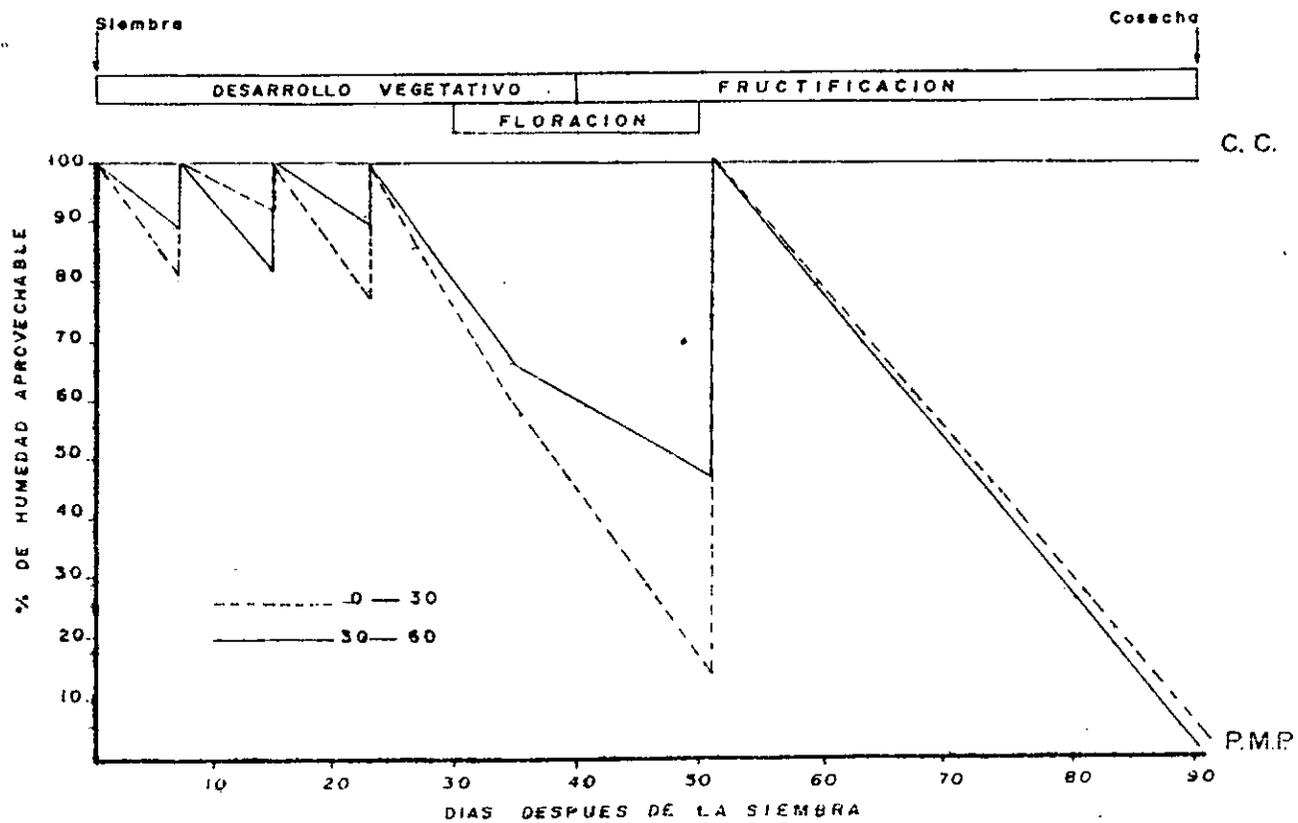


FIGURA 7 EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL ACUMULADA DEL TRATAMIENTO F-8 Y LAS FORMULAS CALCULADAS.

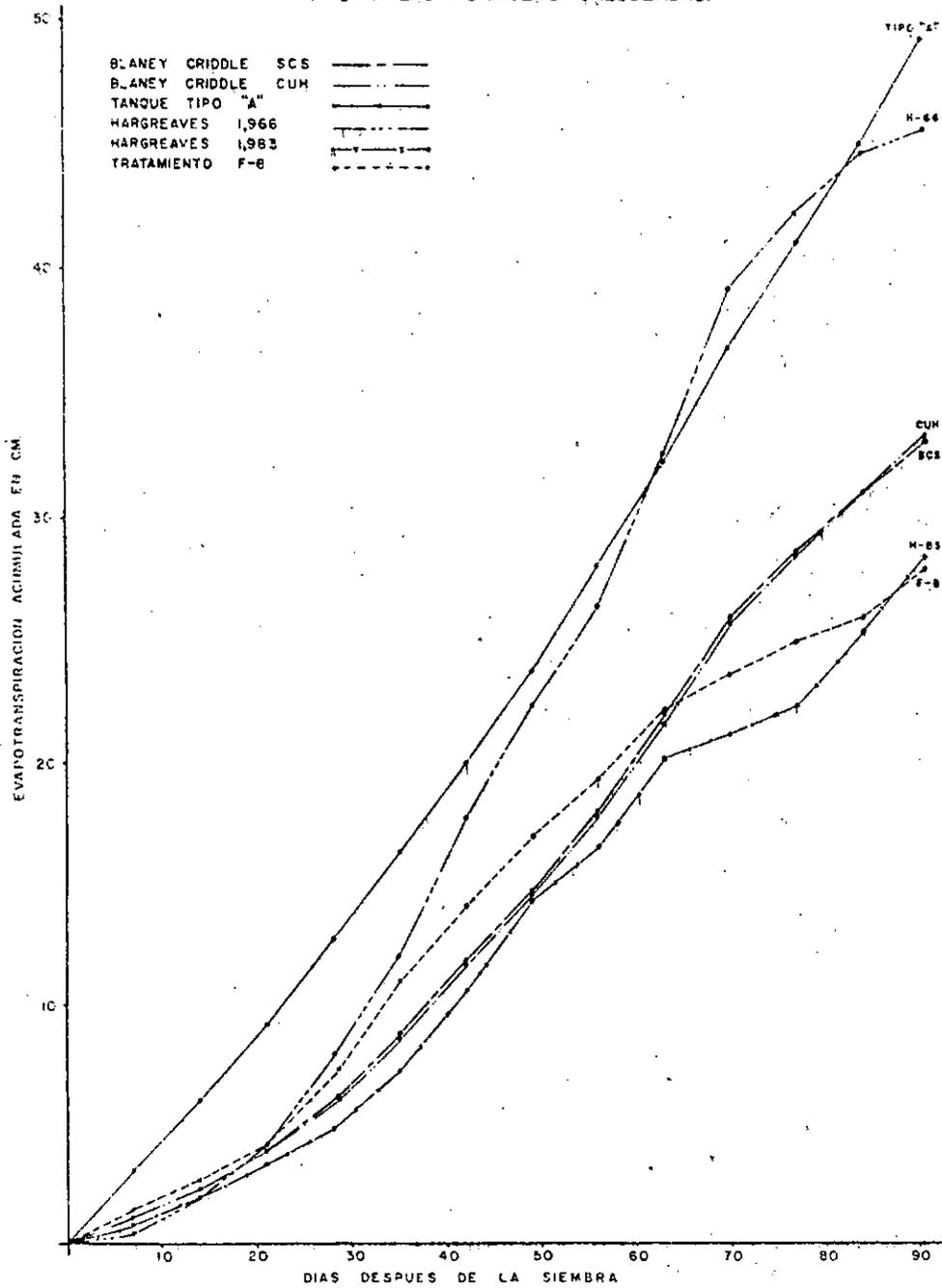


FIGURA 6 EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL ACUMULADA DEL TRATAMIENTO F-12 Y LAS FORMULAS CALCULADAS.

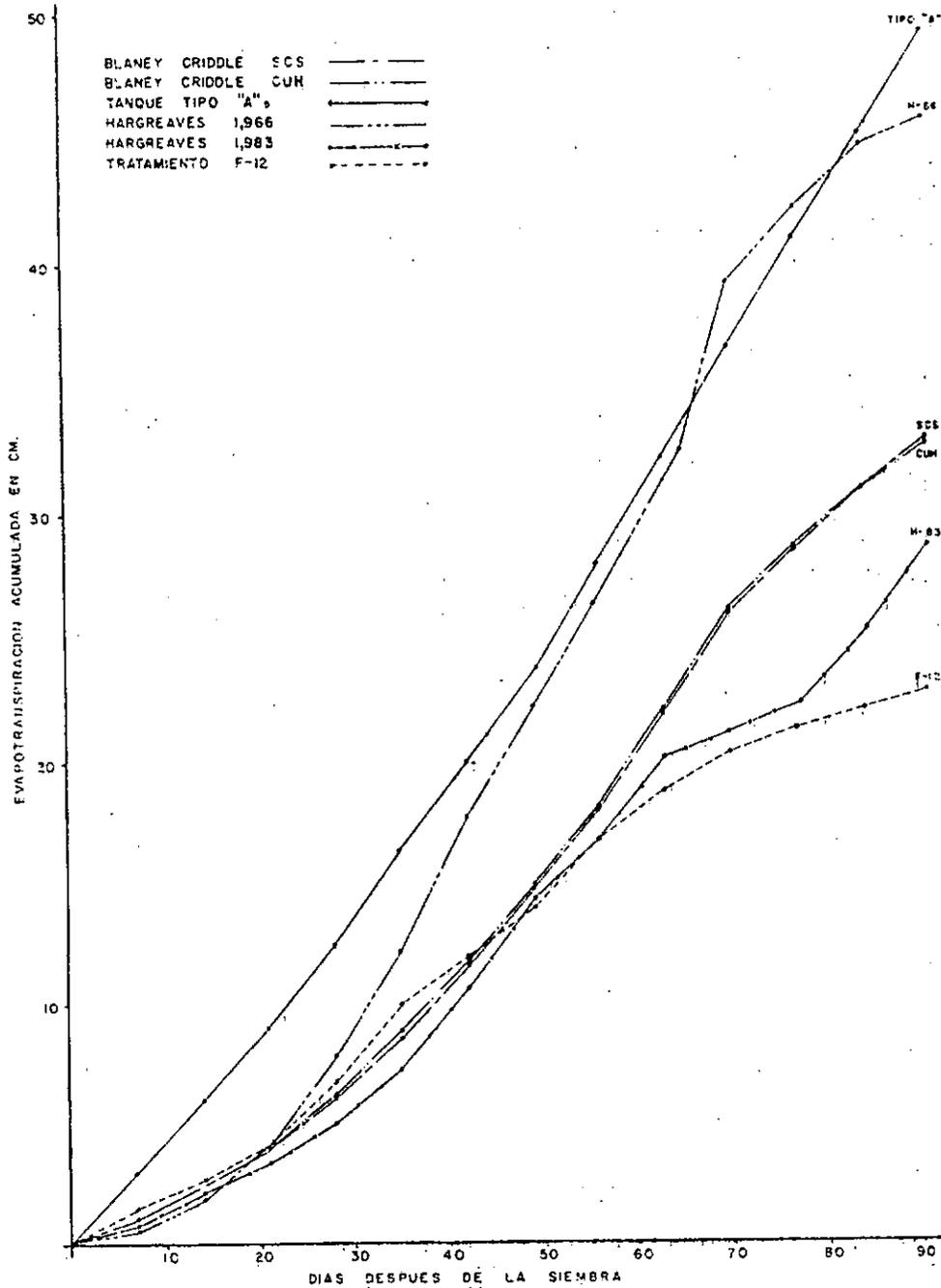


FIGURA 5 EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL ACUMULADA DEL TRATAMIENTO F-16 Y LAS FORMULAS CALCULADAS.

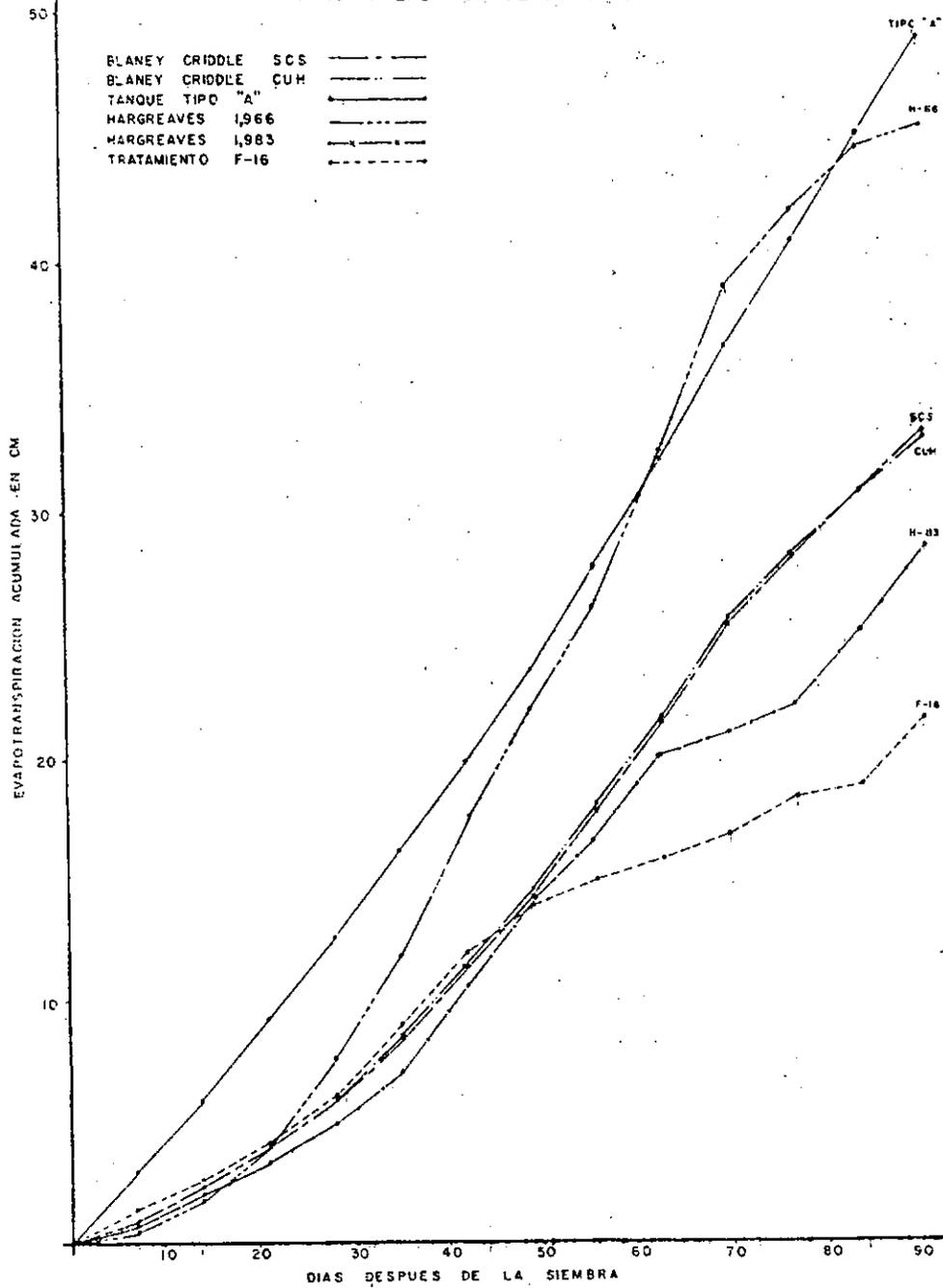


FIGURA 10

EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL ACUMULADA DEL TRATAMIENTO F-20 Y LAS FORMULAS CALCULADAS.

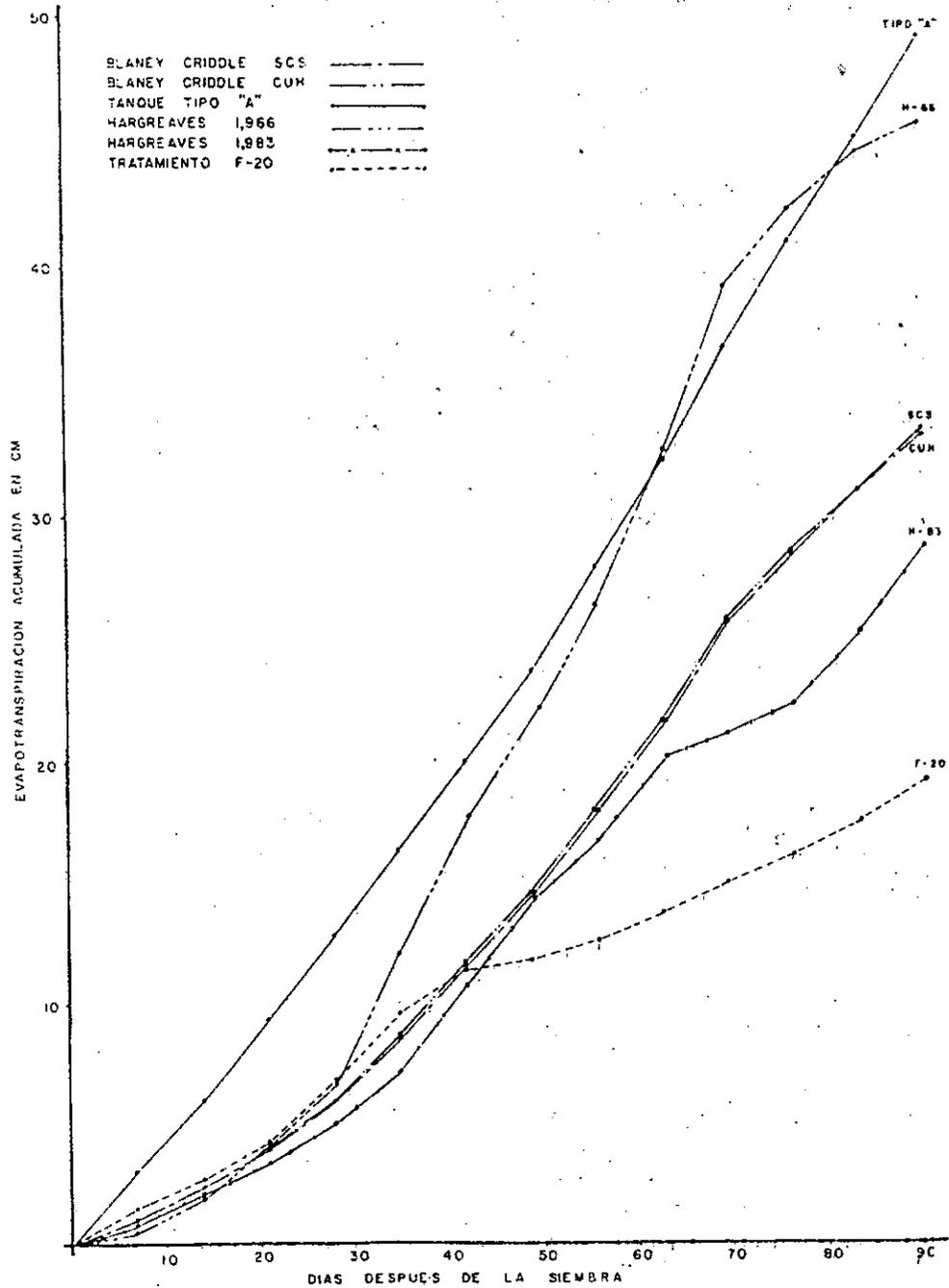


FIGURA 1.

EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL ACUMULADA DEL TRATAMIENTO F-24 Y LAS FORMULAS CALCULADAS

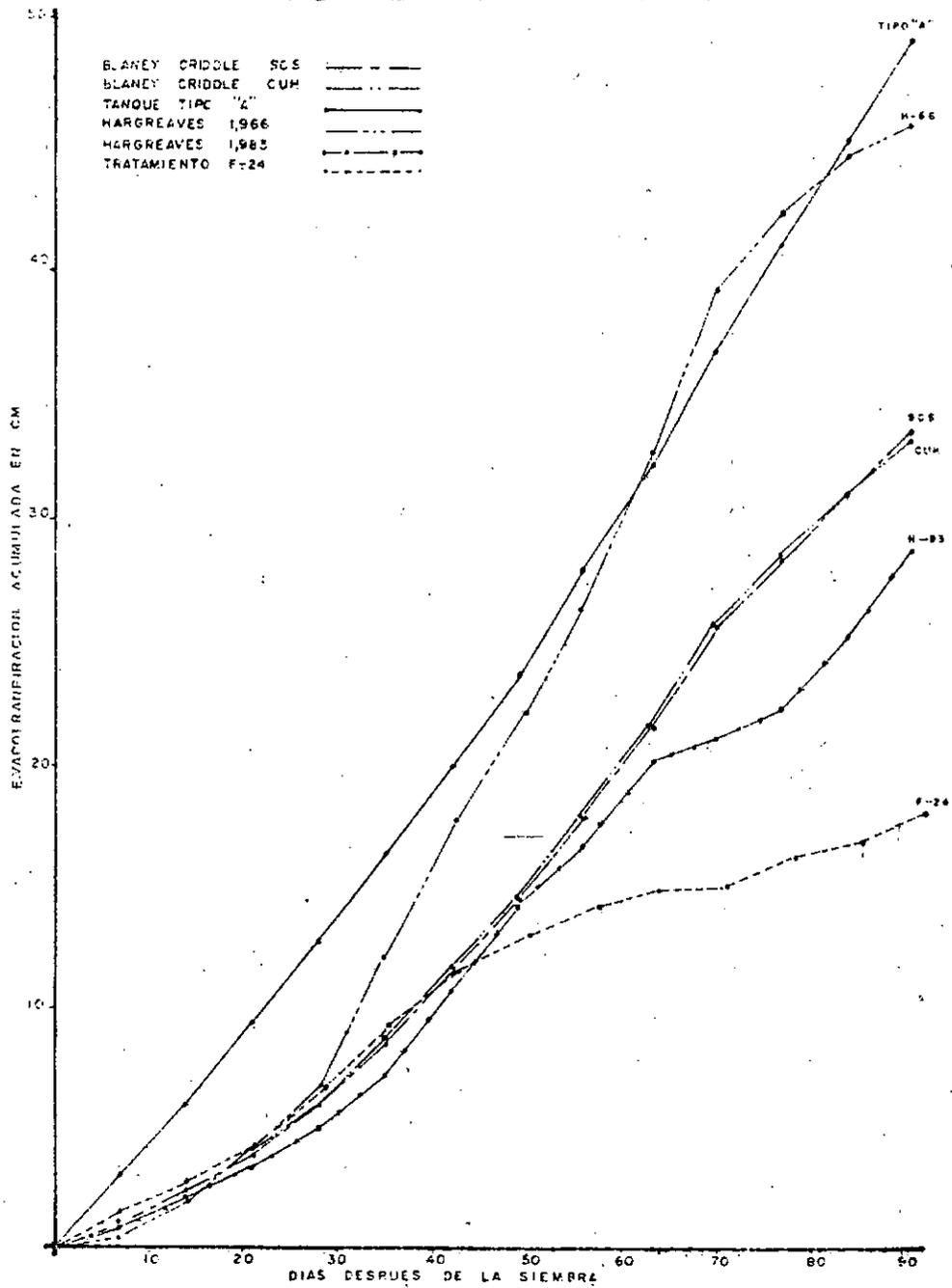
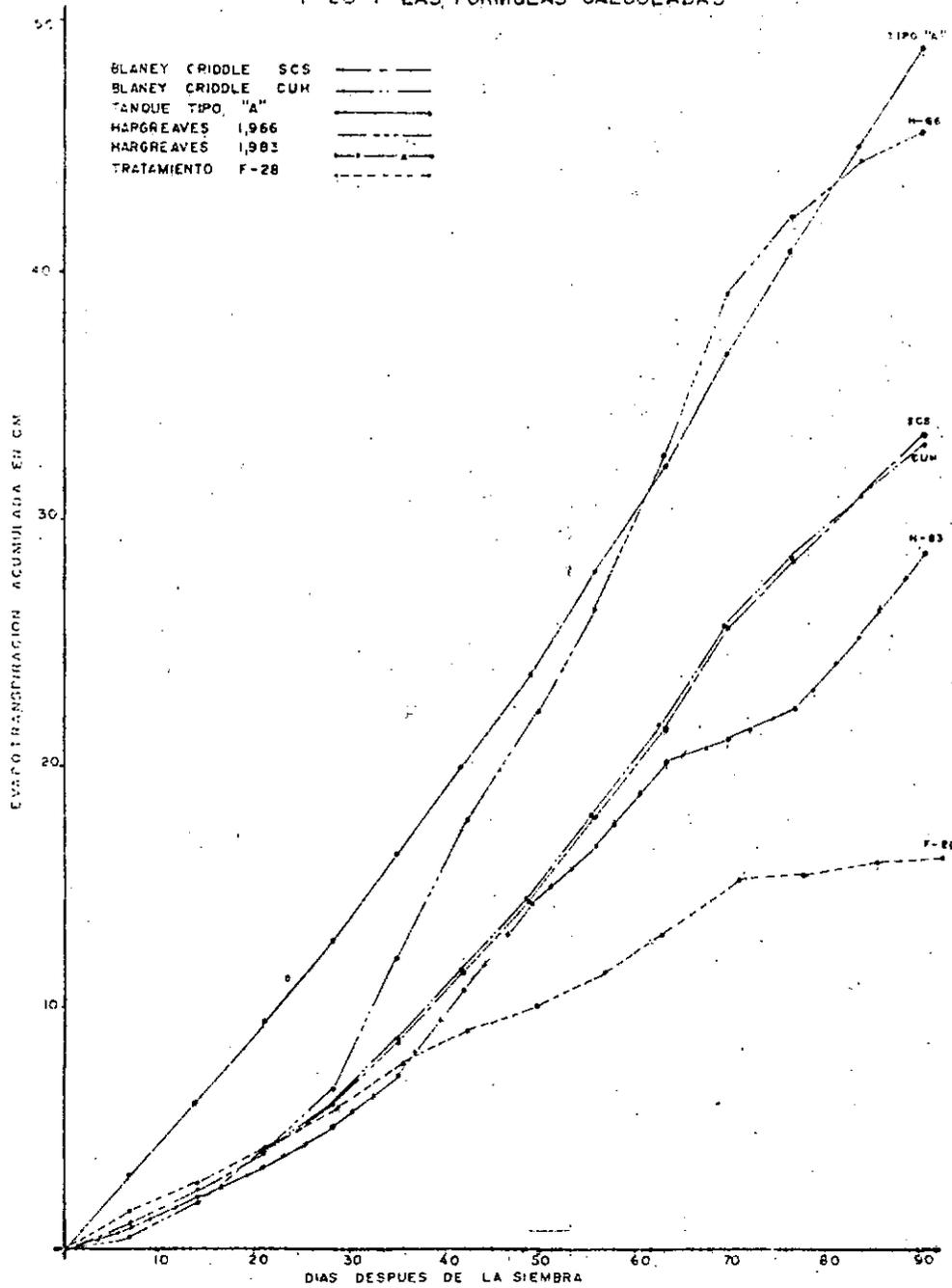


FIGURA 12

EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL ACUMULADA DEL TRATAMIENTO F-28 Y LAS FORMULAS CALCULADAS



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

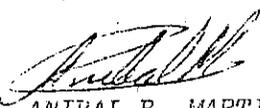
Apartado Postal No. 1345

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia
Asunto

"IMPRIMASE"




ING. AGR. ANIBAL B. MARTINEZ M.
DECANO