

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

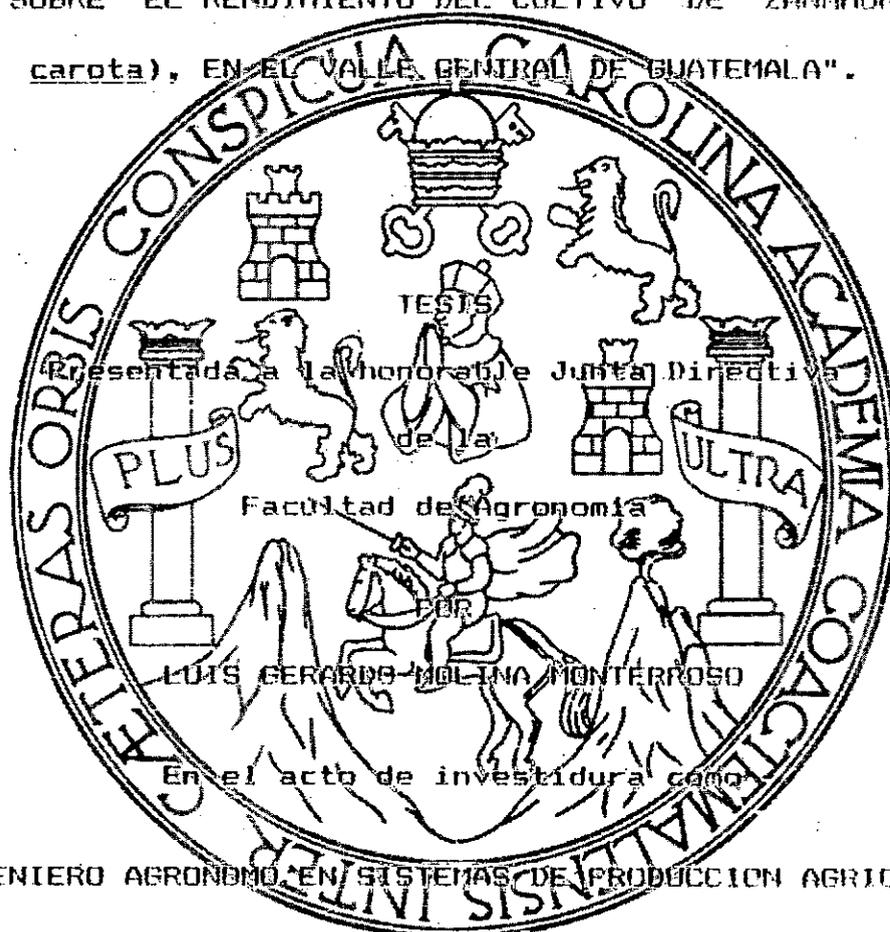
FACULTAD DE AGRONOMIA

BIBLIOTECA CENTRAL-USAC

DEPOSITO LEGAL

PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO

"MEDICION DE LA EVAPOTRANSPIRACION Y EVALUACION DE CINCO FRECUENCIAS DE RIEGO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ZANAHORIA (Daucus carota), EN EL VALLE CENTRAL DE GUATEMALA".

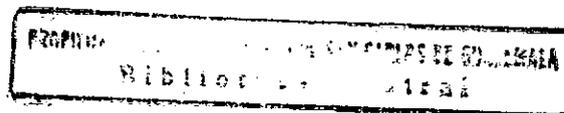


INGENIERO AGRONOMO EN SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA

En el grado académico de

LICENCIADO

GUATEMALA, 1990



D.L.
01
T(1233)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. Juan Alfonso Fuentes Soria

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	:	Ing. Agr. Anibal B. Martinez
VOCAL I	:	Ing. Agr. Maynor Estrada
VOCAL II	:	Ing. Agr. Efrain Medina
VOCAL III	:	Ing. Agr. Wotzbell Méndez
VOCAL IV	:	P.A. Alfredo Itzep M.
VOCAL V	:	P.A. Marco T. Santos
SECRETARIO	:	Ing. Agr. Rolando Lara Alecio

Guatemala, 25 de septiembre de 1990

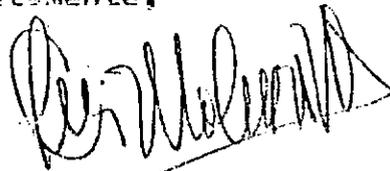
HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con lo establecido en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de tesis titulado:

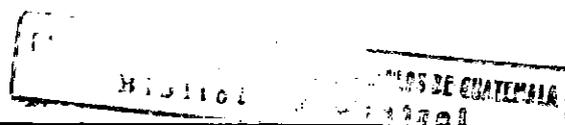
"MEDICION DE LA EVAPOTRANSPIRACION Y EVALUACION DE CINCO FRECUENCIAS DE RIEGO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ZANAHORIA (Daucus carota) EN EL VALLE CENTRAL DE GUATEMALA".

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

Atentamente,



Luis Gerardo Melina Monterroso



ACTO QUE DEDICO

A DIOS: Porque jamás te has olvidado de mi.

A MIS PADRES: Sonia Monterroso de Aldana
Max Molina Echeverría

A MI ABUELITA: Laura Monterroso Vásquez

A MIS TIOS: Osmar Anibal Monterroso
María Isabel de Monterroso

A MIS HERMANOS: Julio, Ricardo y Laura

A MIS PRIMOS: José Anibal y Juan Luis

A LA FAMILIA RIOS GONZALEZ

A MIS AMIGOS

AGRADECIMIENTOS

- AL Ing. Agr. M. Sc. Jorge Sandoval, por su valiosa asesoría y colaboración para la realización del presente trabajo.
- A Mi tío Osmar Aníbal Monterroso y a mi abuelita Laura Monterroso, por su incondicional apoyo y ayuda brindada durante toda mi vida
- A Martha Aracely González, por su invaluable ayuda, y comprensión
- A Las familias Alvarez Carranza y González Riquero, por su cariño y colaboración en el desarrollo de esta tesis.
- A Las familias González Alvarez, Ortiz Alvarez y Martínez Alvarez, por su cariño y constante apoyo.
- A Mi amigo Raúl Macz, por su valiosa colaboración en el desarrollo de este trabajo.
- A Todas aquellas personas que de una u otra forma hicieron posible la realización de esta tesis.

C O N T E N I D O

INDICE DE CUADROS.....	iv
INDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xii
I. INTRODUCCION.....	1
II. HIPOTESIS.....	3
III. OBJETIVOS.....	4
1. Objetivo general.....	4
2. Objetivos específicos.....	4
IV. REVISION DE LITERATURA.....	5
1. Características generales del cultivo.....	5
2. Factores que afectan los requerimientos de agua de los cultivos.....	6
3. Efecto del contenido de humedad del suelo sobre los cultivos.....	8
4. Frecuencia y programación del riego.....	10
5. Constantes de humedad del suelo.....	11
5.1 Capacidad de campo.....	11
5.2 Punto de marchitez permanente.....	12
6. Densidad aparente.....	13
7. Evapotranspiración.....	13
8. Métodos para determinar la evapotranspiración.....	16
8.1 Método de parcelas experimentales.....	17
8.2 Método de Blaney-Criddle modificado por FAO.....	18
8.3 Método de Penman modificado por FAO.....	19
8.4 Elección del coeficiente de cultivo (Kc).....	20
8.5 Método de evaporación del tanque tipo "A".....	22

9. Estudios de evapotranspiración y riego en zanahoria.....	23
V. METODOLOGIA.....	26
1. Descripción y localización del sitio experimental.....	26
2. Análisis de suelo y determinaciones previas.....	26
3. Manejo del cultivo.....	28
4. Manejo del experimento.....	29
4.1 Trazo del experimento.....	29
4.2 Método de riego.....	30
4.3 Lámina de agua a reponer en cada riego.....	30
4.4 Lámina de agua consumida.....	31
4.5 Riegos generales.....	32
4.6 Método y momento de muestreo.....	32
4.7 Diseño experimental.....	32
4.8 Parcela experimental.....	33
4.9 Variables respuesta.....	34
4.10 Metodología de análisis de resultados.....	34
VI. RESULTADOS Y DISCUSION.....	37
1. Variables respuesta.....	37
1.1 Rendimiento de raíz (sin follaje).....	38
1.2 Rendimiento de plantas de zanahoria completas (raíz y follaje).....	39
1.3 Diámetro de raíz.....	40
1.4 Largo de raíz.....	40
1.5 Largo de follaje.....	41

1.6 Número de plantas vivas por parcela útil al final del ciclo.....	42
2. Uso de agua por el cultivo.....	42
2.1 Número de riegos y láminas consumidas.....	42
2.2 Agotamiento de la humedad aprovechable del suelo.....	44
3. Comparación de la evapotranspiración medida con la calculada por las fórmulas de Penman y Blaney-Criddle, ambas modificadas por FAO.....	46
4. Cálculo del coeficiente "C" de la relación evapotranspiración/evaporación.....	48
VII. CONCLUSIONES.....	50
VIII. RECOMENDACIONES.....	53
IX. BIBLIOGRAFIA.....	54
X. APENDICE.....	57

INDICE DE CUADROS

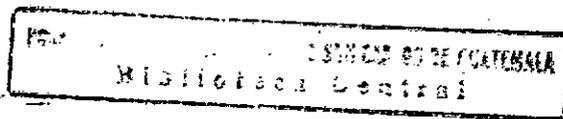
CUADRO	Página
1	Resultados promedio de las variables medidas en el experimento de zanahoria (Morales, 1989).....24
2	Número de riegos y láminas consumidas (Morales, 1989):.....24
3	Coeficiente "C" de la relación Et/Ev del tanque de evaporación para zanahoria (Morales, 1989):.....25
4	Resultado del análisis químico del suelo para el estrato 0-50 cm.....27
5	Propiedades físicas del suelo para el estrato 0-50 cm.....28
6	Resultados promedio de las variables medidas en el experimento de zanahoria.....38
7	Número de riegos y láminas consumidas.....43
8	Coeficiente "C" de la relación Et/Ev del tanque de evaporación para zanahoria.....49
9	Rendimiento de raíces (sin follaje) en toneladas métricas por hectárea, para cada tratamiento y repetición.....58
10	Análisis de varianza para el rendimiento de raíces en toneladas métricas por hectárea.....59
11	Prueba de Tukey para rendimiento de raíces en toneladas métricas por hectárea.....59

12	Rendimiento de plantas completas de zanahoria en toneladas métricas por hectárea para cada tratamiento y repetición.....	60
13	Análisis de varianza para el rendimiento de plantas completas de zanahoria (raíz y follaje) en toneladas métricas por hectárea.....	61
14	Prueba de Tukey para el rendimiento de plantas completas de zanahoria en toneladas métricas por hectárea.....	61
15	Diámetro de raíz en centímetros para cada tratamiento y repetición.....	62
16	Análisis de varianza para el diámetro de raíz en centímetros.....	63
17	Prueba de Tukey para el diámetro de raíz en centímetros.....	63
18	Largo de raíz en centímetros para cada tratamiento y repetición.....	64
19	Análisis de varianza para el largo de raíz en centímetros.....	65
20	Largo de follaje en centímetros para cada tratamiento y repetición.....	66
21	Análisis de varianza para el largo de follaje en centímetros.....	67
22	Prueba de Tukey para largo de follaje en centímetros.....	67

23	Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para todos los tratamientos durante los riegos generales.....	68
24	Control de la humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-8.....	69
25	Control de la humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-12.....	70
26	Control de la humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-16.....	71
27	Control de la humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-20.....	72
28	Control de la humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-24.....	73
29	Número de riegos y láminas de agua aplicados para los cinco tratamientos, incluyendo el periodo de establecimiento (cm).....	74
30	Cálculo de la evapotranspiración semanal y total por la fórmula de Penman modificado por FAO.....	75
31	Cálculo de la evapotranspiración semanal y total por la fórmula de Blaney-Criddle modificado por FAO.....	80

32	Valores de tasa de evapotranspiración semanal y total en milímetros para los diferentes tratamientos, Penman y Blaney-Criddle modificados por FAO y evaporación de tanque.....82
33	Coefficientes de determinación " r^2 " de la evapotranspiración semanal de los tratamientos contra fórmulas de Penman y Blaney-Criddle modificados por FAO.....83
34	Relación entre evapotranspiración semanal de los tratamientos y evaporación semanal del tanque evaporímetro (Et/Ev).....84
35	Presión saturante del vapor e_a , en mbar, en función de la temperatura media del aire t , en grados centígrados.....85
36	Presión del vapor e_d , en mbar, calculada a partir de la temperatura en el punto de rocío.....85
37	Factores para corregir la velocidad del viento en alturas superiores o inferiores a 2 metros.....86
38	Valores de la función del viento $f(u) = 0.27 (1 + U^2)$ para una velocidad dada a una altura de 2 metros, en km/día.....87
39	Valores del factor de ponderación $(1 - W)$ para los efectos del viento y la humedad sobre la E_{to} a diferentes altitudes y temperaturas.....88

40	Valores del factor de ponderación W para los efectos de la radiación sobre la E_{to} a diferentes temperaturas y altitudes.....	88
41	Radiación extraterrestre, R_a , expresada en equivalente de evaporación en mm/día.....	89
42	Duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación, N , en diferentes meses y latitudes.....	90
43	Factor de conversión de la radiación extraterrestre en radiación solar neta, R_{ns} , para una reflexión dada de 25% y diferentes relaciones entre las horas reales de insolación y las máximas posibles $(1 - \alpha)(0.25 + 0.5n/N)$	91
44	Corrección para la temperatura $f(t)$ con respecto a la radiación de ondas largas R_{nl}	91
45	Corrección para la presión del vapor $f(e_d)$ con respecto a la radiación de ondas largas R_{nl}	91
46	Corrección para la relación entre las horas reales de fuerte insolación y las máximas posibles (n/N) con respecto a la radiación de ondas largas R_{nl}	91
47	Factor de corrección c en la ecuación de Penman.....	92
48	Porcentaje diario medio (p) de horas diurnas anuales a diferentes latitudes.....	93



49	Valores del factor f de Blaney-Criddle para diferentes temperaturas y porcentaje diario de horas diurnas anuales.....	94
50	Coefficientes de cultivo K_c correspondientes a cultivos extensivos y de hortalizas en diferentes fases de su crecimiento y según las condiciones climáticas predominantes.....	95

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	Página
1	Porcentaje de humedad aprovechable y porcentaje de humedad del suelo en base a peso seco para el tratamiento F-8.....96
2	Porcentaje de humedad aprovechable y porcentaje de humedad del suelo en base a peso seco para el tratamiento F-12.....97
3	Porcentaje de humedad aprovechable y porcentaje de humedad del suelo en base a peso seco para el tratamiento F-16.....98
4	Porcentaje de humedad aprovechable y porcentaje de humedad del suelo en base a peso seco para el tratamiento F-20.....99
5	Porcentaje de humedad aprovechable y porcentaje de humedad del suelo en base a peso seco para el tratamiento F-24.....100
6	Curva de coeficiente del cultivo (Kc), para Penman (en caso de zanahoria).....101
7	Curva de coeficiente del cultivo (Kc), para Blaney-Criddle (en caso de zanahoria).....102
8	Evapotranspiración acumulada de los diferentes tratamientos, Penman y Blaney-Criddle modificados por FAO y evaporación de tanque.....103

9	Predicción de la Eto a partir del factor f de Blaney-Criddle, para diferentes condiciones de humedad relativa mínima, horas de insolación diarias y vientos diurnos.....	104
10	Kc medio de la fase inicial en función del nivel medio de la Eto (durante la fase inicial) y la frecuencia de riego o de unas lluvias apreciables.....	105
11	Plano general del experimento.....	106

MEDICION DE LA EVAPOTRANSPIRACION Y EVALUACION DE CINCO FRECUENCIAS DE RIEGO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ZANAHORIA (Daucus carota), EN EL VALLE CENTRAL DE GUATEMALA.

MEDITION OF EVAPOTRANSPIRATION AND EVALUATION OF FIVE IRRIGATION FREQUENCIES IN THE YIELD OF CARROT (Daucus carota), IN THE CENTRAL VALLEY OF GUATEMALA.

RESUMEN

El presente estudio es el segundo que se realiza en este mismo cultivo y área, lográndose comparar y verificar los resultados del primero, realizado en 1989 bajo el mismo título, por Morales (18). Se llevó a cabo en los campos experimentales de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, del 9 de febrero al 10 de mayo de 1990; se emplearon intervalos de riego de 8, 12, 16, 20 y 24 días, arreglados bajo un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones y un total de 20 unidades experimentales, con las que se determinó el consumo de agua en forma directa y se comparó con los estimados por las fórmulas de Penman y Blaney-Criddle modificados por FAO.

El efecto de las diferentes frecuencias de riego se midió a través de las variables respuesta: Rendimiento de raíces (sin follaje), en toneladas métricas por hectárea, de igual manera el rendimiento de plantas completas, diámetro y longitud de raíz, longitud de follaje y número de plantas vivas por parcela útil al final del experimento.

Evaluando los diferentes tratamientos se determinó, que en los regados cada 8 y 12 días, se obtuvieron los mayores rendimientos tanto de raíces, como de plantas completas, así como mayor diámetro y longitud de follaje.

Al medir la evapotranspiración, se estableció que la cantidad de agua consumida tiende a disminuir conforme se alarga el intervalo de riego, alcanzando valores de 244.47 mm para la frecuencia de 8 días hasta 150.41 mm para la frecuencia de 24 días.

Comparando estadísticamente los valores de evapotranspiración medida y calculada, se determinó que los valores de evapotranspiración medida, son diferentes a los valores de Et calculada con las fórmulas de Penman y Blaney-Criddle, modificados por FAO.

I. INTRODUCCION

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

El incremento de la producción en los diferentes cultivos requiere de la aplicación de una tecnología adecuada, especialmente en lo que se refiere al empleo de variedades mejoradas, control de enfermedades, plagas y malezas, fertilización y aporte adecuado de humedad mediante el riego.

En Guatemala, las investigaciones sobre el uso del agua son bastante recientes, es hasta 1983, cuando el Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA) de la Facultad de Agronomía, impulsa este tipo de estudios con el objeto de dar un mejor manejo al recurso agua en los distritos de riego, mejorando la eficiencia de los mismos y aumentando así el número de agricultores que viven dentro del área diseñada.

En Guatemala, como en cualquier otro país, los resultados de una investigación de este tipo no pueden ser conclusiones determinantes; es por eso que surge la necesidad de repetir los experimentos en los mismos cultivos y localidades, para verificar y dar

consistencia a los resultados y conclusiones que se hayan obtenido. Actualmente, se cuenta con estudios en los cultivos de melón, tomate, maíz, chile pimiento, tabaco y zanahoria.

La presente investigación, desarrollada en el Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA), localizado en la Ciudad Universitaria, constituye una repetición de la realizada por Morales (18) en el cultivo de zanahoria, en febrero de 1987, derivado del impulso que se le está dando a los programas de mini-riego en el valle de Guatemala y altiplano central por parte del Gobierno, siendo la zanahoria un cultivo que se adapta muy bien a los objetivos de rentabilidad de dichos programas.

Se tomó como variable de estudio la frecuencia de riego, con tratamientos cada 8, 12, 16, 20 y 24 días. La evapotranspiración se midió directamente utilizando parcelas experimentales, y luego se comparó con la evapotranspiración calculada por métodos indirectos, para poder comprobar la adaptabilidad de las fórmulas que se basan en datos climáticos.

II. HIPOTESIS

1. Los rendimientos a obtener en el cultivo de zanahoria (DAUCUS carota) serán diferentes para cada frecuencia de riego a evaluar.
2. El valor de la evapotranspiración, o consumo de agua por el cultivo, será diferente en cada uno de los tratamientos.
3. La evapotranspiración medida en el campo durante todo el ciclo del cultivo para cada una de las frecuencias de riego, será diferente del valor de la evapotranspiración estimada con las fórmulas de Blaney-Criddle y Penman modificados por FAO.

III. OBJETIVOS

1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la evapotranspiración y evaluar el efecto de cinco frecuencias de riego sobre el rendimiento del cultivo de zanahoria, para la época y condiciones del valle central de Guatemala.

2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 2.1 Determinar la frecuencia de riego más recomendable para el cultivo y condiciones del área.
- 2.2 Determinar la evapotranspiración total en el ciclo del cultivo para los diferentes tratamientos.
- 2.3 Establecer el grado de agotamiento de la humedad aprovechable del suelo.
- 2.4 Establecer la relación evapotranspiración/evaporación para las diferentes etapas de desarrollo del cultivo en los tratamientos con mayores rendimientos.
- 2.5 Determinar la adaptabilidad de las fórmulas de Blaney-Criddle y Penman modificados por FAO (1977) para el área, en la estimación de la evapotranspiración.

IV. REVISION DE LITERATURA

1. CARACTERISTICAS GENERALES DEL CULTIVO

La zanahoria es la más importante del grupo de hortalizas de raíz, que incluye la remolacha, el nabo y el rábano. Es una planta bianual perteneciente a la familia Umbelliferae, el Asia es el centro de origen de esta planta y su cultivo data de tiempos antiguos.

Son plantas con tallos grandes, acanalados y ramificados, hojas muy divididas, flores blancas o rosadas en forma de umbela y se le cultiva para aprovechamiento de su raíz que es comestible, siendo fuente importante de vitamina A, tiamina, niacina y potasio.

(3)

Este cultivo es de gran importancia en Guatemala pues existen muy buenas condiciones de clima y suelo y este producto presenta excelentes posibilidades de mercado nacional e internacional. (6)

La zanahoria se adapta bien a climas cálidos, templados y fríos, a alturas comprendidas entre los 610 a 2743 msnm, con temperaturas comprendidas entre los 15 y 21 grados centígrados.

En lo que se refiere al suelo, para un buen desarrollo radicular prefiere suelos profundos y sueltos que puedan ararse hasta unos 30 centímetros, con buen contenido de materia orgánica y un pH de 5.5 a 7.

En lo que respecta a fertilización, para obtener una cosecha de 15000 docenas, equivalente a 9979 kg/ha, el cultivo extrae del suelo las siguientes cantidades de nutrientes puros: a) 80 kg de nitrógeno, b) 36 kg de fósforo, c) 136 kg de potasio y de acuerdo con un análisis previo de fertilidad del suelo, se pueden utilizar fórmulas compuestas, nitrogenadas y foliares. (11)

2. FACTORES QUE AFECTAN LOS REQUERIMIENTOS DE AGUA DE LOS CULTIVOS

Los requerimientos de agua de los cultivos en general son muy variables. Roe (20), indica que el requerimiento de agua varía grandemente tanto entre diferentes tipos de plantas como entre las de un mismo tipo, también dentro de estas necesidades influyen condiciones naturales como el clima, la cantidad de distribución de lluvia y la clase de suelo y subsuelo.

Las necesidades de agua dependen de la evapotranspiración (13), por eso el procedimiento para calcular la cantidad de agua requerida por los cultivos es medir la evapotranspiración potencial y más exactamente la real. (27)

Se sabe que los factores climáticos juegan el papel principal en cuanto a las pérdidas de agua por evapotranspiración. (13) En términos generales, los factores del clima que afectan las necesidades de agua de los cultivos son: radiación, horas de brillo solar, temperatura del aire, precipitación, humedad relativa, velocidad del viento y período libre de heladas. (10)

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

Hide (1954), mencionado por la Secretaría de Recursos Hidráulicos de México (14), encontró que a bajas tensiones de humedad en el suelo, la evaporación está regulada por las condiciones de la atmósfera, pero que a medida que el suelo se seca, la evaporación depende de factores del suelo, tales como: humedad relativa del aire del suelo, el coeficiente de difusión, la conductividad capilar y el gradiente hidráulico cerca de la superficie del suelo.

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

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

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

Los factores de la planta, también afectan la evapotranspiración, en forma general pueden mencionarse: la profundidad de raíces y su capacidad de absorción de agua, la superficie foliar, así como su capacidad para soportar períodos de sequía o excesos de humedad y su estado de desarrollo. (15)

3. EFECTO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO SOBRE LOS CULTIVOS

Existen muchas áreas en las que las lluvias son insuficientes, por lo que es necesario recurrir a la técnica del riego para la producción de cosechas, así para calcular la cantidad de agua que artificialmente debe de ponerse a disposición de la planta, es preciso estudiar sus necesidades y las características agroclimáticas del medio en que vive, ya que ejercen una influencia decisiva sobre los requerimientos de humedad. (16)

Las raíces de las plantas que crecen en los suelos húmedos, extraen más humedad que cuando las mismas especies se cultivan en terrenos más secos. Cuando el suelo está húmedo la mayor parte de la humedad necesaria para la planta es proporcionada por la parte del terreno cercano a la superficie lo que se debe a que las raíces suelen crecer en esta zona. Por el contrario a medida que el contenido de humedad disminuye, se consumen volúmenes de agua mayores de capas más profundas. (14)

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

El límite superior de producción de un cultivo viene determinado por las condiciones climáticas y por el potencial genético del mismo. Hasta qué punto puede alcanzarse, depende siempre de la precisión con que los aspectos técnicos del suministro de agua estén en consonancia con las necesidades biológicas de agua en la producción del cultivo. Por ello la utilización eficiente del agua en la producción, sólo puede lograrse cuando la planificación, el proyecto y la operación de suministro de agua y del sistema de distribución este orientados a atender en cantidad y tiempo incluyendo los periodos de escasez, las necesidades de un cultivo para un crecimiento óptimo y de altos rendimientos. (8)

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

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

agua en este periodo, ocasiona el agrietamiento y formación irregular de los frutos. (8)

Se indica que en términos generales las hortalizas anuales cultivadas por sus frutos; son bastante sensibles a la dotación de agua y aún más cuando los frutos comienzan a desarrollarse. Existen pruebas que indican que en algunos de estos cultivos el crecimiento ha sido reducido en forma significativa. (24)

4. FRECUENCIA Y PROGRAMACION DEL RIEGO

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

La textura del suelo influye directamente en la frecuencia y lámina de agua por cada aplicación, los suelos arenosos requieren mayor frecuencia de riego, en cambio los suelos limosos tienen la capacidad de almacenar mayor cantidad de agua por lo tanto requieren de menor frecuencia pero mayor cantidad de aplicación. (14)

Aunque la aplicación de agua sea en forma adecuada, un riego demasiado frecuente reduce la eficiencia de aplicación al aumentarse algunas pérdidas por conducción y distribución. Cuando el riego es

tardío, especialmente cuando la planta es muy sensible a la tensión de humedad del suelo, puede tener efectos negativos muy significativos sobre los rendimientos, aunque el volumen total de agua aplicado durante todo el ciclo vegetativo sea aproximadamente el mismo. (24)

5. CONSTANTES DE HUMEDAD DEL SUELO

5.1 Capacidad de campo.

La capacidad de campo puede determinarse mediante dos formas: la primera se realiza en el laboratorio, sometiendo muestras de suelo a una tensión de 0.3 atmósferas, se considera que estas estimaciones no son indicadores muy confiables, pues la capacidad de campo depende del perfil del suelo y su estructura. La segunda forma es medirla en el campo, para lo cual Withers y Vipond (27) y el Servicio de Conservación de Suelos proponen el siguiente método: delimitar un área de muestreo de un metro cuadrado con bordos de diez centímetros de alto y levantar otros bordos exteriores a los primeros, para facilitar el movimiento vertical del agua en la zona de muestreo. Después hay que humedecer el área hasta saturarla, tanto en la zona de muestreo como en la parte exterior. Si el suelo es arcilloso se puede empezar a muestrear entre 24 y 40 horas después, si es arenoso debe empezarse 12 a 18 horas después. Para evitar la evaporación se debe cubrir el área, incluido el bordé exterior con nylon y tomar dos o tres muestras por estrato a estudiar, cada vez que se muestree.

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 y pesándolas ya secas, mediante la fórmula siguiente:

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

donde: Ps = Porcentaje de humedad de la muestra

Psh = Peso del suelo húmedo

Pss = Peso del suelo seco

Posteriormente se hace una gráfica en la cual se coloca el contenido de humedad en las ordenadas y el tiempo en las abscisas, con ella es posible determinar el porcentaje de humedad que corresponde a la capacidad de campo de cada estrato, en el momento que la curva se estabiliza.

5.2 Punto de marchitez permanente.

Existe divergencia en cuanto al rango de tensión al cual se produce, pero todos coinciden en tomar 15 atmósferas como la tensión a punto de marchitamiento permanente ya que a esta tensión el crecimiento cesa.

El punto de marchitez permanente se puede calcular aproximadamente en función de la capacidad de campo y la textura del suelo: para suelos pesados o arcillosos el valor del punto de marchitez permanente es aproximadamente igual a la mitad del valor de la capacidad de campo, suelos medios presentan valores que corresponden a la capacidad de campo entre 2.1 y en los suelos ligeros o arenosos se estima dividiendo la capacidad de campo entre 2.2. (25)

6. DENSIDAD APARENTE

La determinación de la densidad aparente se puede efectuar en el campo por el método del plástico, el cual consiste en hacer una calicata en la que se hacen gradas en cada estrato de 30 centímetros; en cada grada se hace un agujero en forma de cubo de 15x15x15 cms, se saca la tierra de su interior y es colocada dentro de una bolsa plástica que se amarra con el objeto de que no se escape humedad del interior, posteriormente se coloca un plástico dentro del cubo al que se le agrega agua hasta llegar al nivel del suelo, la cantidad de agua agregada corresponde al volumen del suelo extraído del cubo. (1) La densidad aparente se calcula con la fórmula siguiente:

$$Da = 100 * Psh/Vt * (100 + Ps)$$

Donde: Da = densidad aparente, en gramos por cc

Psh = peso de suelo húmedo, en kg

Vt = volumen total, en litros

Ps = porcentaje de humedad del suelo

7. EVAPOTRANSPIRACION

Según Israelsen-Hansen (14), la evapotranspiración es la suma de la evaporación y transpiración.

Fenman, citado por Grassi (10), define a la Etp como el consumo de agua por un cultivo en activo crecimiento, que cubre totalmente la superficie del suelo sin ninguna deficiencia de humedad durante su desarrollo.

Israelsen-Hansen (14), señalan que el volumen de agua evaporotranspirado por las plantas depende del agua que tiene a su disposición, de la temperatura y humedad del aire, del régimen de vientos, de la intensidad luminosa, del estado del desarrollo de la planta, de su follaje y de la naturaleza de sus hojas.

Resultados obtenidos por Zea Morales (28), Soberanis (23), Ruano (21), Andrino (2), Méndez (17) y Corado (4), indican que la evaporotranspiración se ve afectada por distintas frecuencias de riego de la manera siguiente: Cuando la humedad presente en el suelo es mayor, la Et también es mayor, y cuando el intervalo de riego es más largo, la lámina evaporotranspirada es menor.

Se suele estimar que el clima es uno de los factores más importantes que determinan el volumen de las pérdidas de agua por evaporotranspiración de los cultivos. Prescindiendo de los factores climáticos, la evaporotranspiración correspondiente a un cultivo dado queda también determinada por el propio cultivo, al igual que sus características de crecimiento. El medio local, las condiciones de los suelos y su humedad, los fertilizantes, las infestaciones, enfermedades e insectos, las prácticas agrícolas y de riego y otros factores pueden influir también en las tasas de crecimiento y en la evaporotranspiración consiguiente. (9)

Se utilizan diversos métodos para predecir la evaporotranspiración a partir de variables climáticas, debido a la dificultad de obtener mediciones directas y exactas en condiciones reales. El método seguido consiste en relacionar la magnitud y la variación de

la evapotranspiración con uno o más factores climáticos (horas luz, temperatura, humedad, viento, insolación). Para ello, se utilizan datos medidos de evapotranspiración de una cubierta de gramíneas, suponiendo que la evapotranspiración de estas es provocada en gran medida por las condiciones climáticas. Se introdujo un valor de referencia (E_{to}) que se define como "la tasa de evapotranspiración de una superficie extensa de gramíneas verdes de 8 a 15 centímetros de altura, uniforme, de crecimiento activo, que asombren totalmente el suelo y que no escaseen de agua". La E_{to} se expresa en mm diarios y representa el valor medio de ese período. (7)

Para determinar la evapotranspiración del cultivo ($E_{t \text{ cultivo}}$) en cualquiera de sus fases de desarrollo y condiciones climáticas predominantes viene dada por los coeficientes de cultivo, K_c . K_c es la relación entre E_{to} y la E_t (cultivo) utilizando datos correspondientes a distintos puntos y climas. (9)

La E_t (cultivo) determinada de este modo se refiere a la evapotranspiración de un cultivo exento de enfermedades que crece en un campo extenso (una o más hectáreas) en condiciones óptimas de suelos, incluida una fertilidad y agua suficientes en el que se llega al potencial de plena producción de ese cultivo con arreglo al medio vegetativo dado. Las condiciones locales y prácticas agrícolas e inclusive los tipos de plantas y la selección de variedades puede repercutir de un modo considerable en la E_t (cultivo) y exigir, por consiguiente, ciertas correcciones. (9)

8. METODOS PARA DETERMINAR LA EVAPOTRANSPIRACION

Para determinar la evapotranspiración existen básicamente dos clases de métodos, atendiendo a la forma de obtención de datos: los métodos directos que son aquellos que proporcionan una lectura de humedad del suelo en forma directa en el terreno. Israelsen y Hansen (14), mencionan dentro de los métodos directos los siguientes: experimentos en tanques y lisímetros, parcelas experimentales, estudios sobre humedad del suelo, métodos de integración y métodos de entradas y salidas de agua para grandes extensiones.

Los métodos indirectos son procedimientos o fórmulas basadas en datos climáticos por medio de los cuales se puede calcular la evapotranspiración de cualquier cultivo, haciendo uso además de tablas con valores para las constantes o coeficientes usados, entre las fórmulas más usadas están: Blaney-Criddle, Hargreaves, Evaporación del tanque tipo "A", Thornthwaite, Penman, Lowry Johnson, Radiación, Grassi Christiansen.

A menudo es preciso aplicar estas fórmulas en condiciones climáticas y agronómicas muy distintas de aquellas para las que fueron inicialmente concebidas. Resulta pues muy importante someter a prueba la exactitud de las fórmulas, antes de utilizarlas en un nuevo conjunto de condiciones. No solamente el grado de exactitud necesario para predecir la Et sino también la elección de la fórmula están condicionadas por las variables climáticas, que es preciso haber medido con exactitud a lo largo de cierto número de años. (8)

8.1 Método de parcelas experimentales

El método consiste en establecer parcelas en los terrenos y llevar un control de humedad en el suelo mediante muestreos con barreno a diferentes profundidades y en puntos diferentes dentro de cada parcela. La determinación del contenido de humedad se establece por el método gravimétrico. Muestreando antes y después de cada riego, a distintas profundidades para conocer las variaciones de humedad dentro del perfil del suelo. (14)

Las muestras de suelo obtenidas pesarán aproximadamente 100 a 125 gramos y serán secadas al horno a una temperatura de 105 a 110 grados centígrados por 24 horas, transcurrido ese tiempo se pesarán nuevamente, con ello se obtiene cierta pérdida de peso, la cual dividida por el peso del suelo seco y multiplicada por 100, nos proporciona el porcentaje de humedad del suelo referido al peso del suelo seco. (14)

Se requiere tomar muestras en varios lugares representativos de la zona considerada, para obtener mayor precisión. Es recomendable muestrear en tres lugares diferentes y luego promediarlos, tomando muestras en el tercio medio del estrato considerado. (7)

Según Grassi (10), hay dos variantes para determinar los tratamientos a aplicar a un complejo cultivo-suelo y son:

- Frecuencia fijada por el umbral de riego electo para cada tratamiento en donde la lámina de reposición es constante.

- Intervalo de riego en número preestablecido de días constante 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 pre-establecido. En cambio cuando la lámina es variable, solo es necesario conocer la humedad antes del riego a fin de calcular la lámina a reponer.

8.2 Método de Blaney-Criddle modificado por FAO

Con el objeto de definir mejor los efectos del clima sobre las necesidades de agua del cultivo, sin dejar por ello de aplicar el factor original de uso consuntivo f (temperatura y horas diurnas), en esta modificación se ha calculado este factor en relación con un gran número de ubicaciones y climas distintos. Además de la temperatura en esos puntos, se disponía de datos sobre la humedad, la insolación y el viento, así como sobre la evapotranspiración de las gramíneas in situ. Se establecieron unas relaciones entre el factor f de Blaney-Criddle y la evapotranspiración del cultivo de referencia (gramíneas). Eto, teniendo en cuenta los niveles generales de humedad, insolación y viento. Se indican los resultados en la figura 7 del apéndice.

Tras haber calculado el factor f en un punto dado utilizando datos sobre la duración de las horas de luz y la temperatura, se puede determinar gráficamente el valor de la Eto a partir de la figura 7 del apéndice. Como hay que tomar en consideración los niveles generales de humedad, viento e insolación, ha de ser

posible llegar a una predicción mejorada de los efectos del clima sobre la evapotranspiración.

El factor f de Blaney-Criddle en mm se expresa como sigue:

$$f = p (0.46t + 8.13)$$

Donde: t = es el promedio de las temperaturas máxima y mínima diarias en C en el mes considerado.

p = porcentaje diario medio de horas diurnas anuales, calculadas a partir del cuadro 46 del apéndice.

Después de determinar la E_{to} a partir de la figura 9, se puede predecir la E_t (cultivo) utilizando el coeficiente adecuado K_c , figura 7 del apéndice, o sea:

$$E_t (\text{cultivo}) = K_c \cdot E_{to}$$

Un ejemplo en el apéndice indica los cálculos simples para obtener el valor diario medio de f en mm para ese mes (o semana). El mismo corresponde a la primera semana del cultivo descrito en este trabajo.

8.3 Método de Penman modificado por FAO

Doorenbos J. y Pruitt W. (9), sugieren un método de Penman ligeramente modificado a la ecuación original (1948), para predecir los efectos del clima sobre las necesidades de agua de los cultivos. Las fórmulas expuestas y el procedimiento aplicable permiten predecir los efectos del clima sobre la evapotranspiración del cultivo de referencia, E_{to} . Se obtiene la evapotranspiración del cultivo, E_t (cultivo), mediante la

siguiente fórmula:

$$Et \text{ (cultivo)} = Kc \cdot Eto$$

Se presenta un método en dos partes, que consiste en calcular primero la Eto , y en escoger tras ello el coeficiente adecuado de cultivo Kc para predecir la Et (cultivo).

La fórmula de la ecuación utilizada en este método es la siguiente:

$$Eto = [W \cdot Rn + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (ea - ed)]$$

Donde: Eto = Evapotranspiración del cultivo de referencia en mm/día.

W = Factor de ponderación relacionado con la temperatura.

Rn = Radiación neta en equivalente de evaporación en mm/día.

$f(u)$ = Función relacionada con el viento ($ea - ed$) es la diferencia entre la presión saturante del vapor a la temperatura media del aire y la presión real del vapor medio del aire, ambas en milibares.

En el apéndice se presenta un ejemplo con notas de cálculo que corresponde a la primera semana de medición en el presente estudio.

8.4 Elección de coeficiente de cultivo (Kc)

El período vegetativo se divide en cuatro fases. En el cuadro 51 del apéndice se presentan los coeficientes Kc correspondientes a distintas condiciones climáticas.

Las cuatro fases de desarrollo del cultivo son las siguientes:

1. Fase inicial:

Germinación y crecimiento inicial, cuando la superficie del suelo está cubierta apenas o nada por el cultivo.

2. Fase de desarrollo del cultivo:

Desde final de la fase inicial hasta que se llega a una cubierta sombreada efectiva.

3. Fase de mediados del período:

Desde que se obtiene la cubierta sombreada efectiva hasta el momento de iniciarse la maduración.

4. Fase de finales del período:

Desde el final de la fase anterior hasta la recolección.

En las figuras 6 y 7 del apéndice, se indican las operaciones necesarias para obtener los valores de K_c correspondientes a las distintas fases que, para simplificar se presentan como líneas rectas.

Para la fase inicial: se predice la frecuencia de riego y/o las lluvias; para unos valores de la E_{to} previamente determinados, se obtiene K_c a partir de la figura 10 y se indica gráficamente el valor correspondiente, como puede verse en las figuras 6 y 7 del apéndice.

8.75 Método de evaporación del tanque tipo "A".

Aguilera y Martínez (1), manifiestan que frecuentemente se encuentra una estrecha proporcionalidad entre la evaporación medida por ejemplo, en un evaporímetro estándar y la evapotranspiración de un cultivo bien provisto de agua. Esto se debe a que los fenómenos de evaporación y evapotranspiración son originados por los mismos efectos.

Según Grassi (10), los estudios de correlación hechos en diferentes cultivos y períodos del ciclo vegetativo permiten obtener coeficientes para estimar la evapotranspiración en función de la evaporación de una superficie libre de agua. Estos coeficientes sirven para ajustar la fórmula que se usa en la estimación potencial de la evapotranspiración.

Dicha fórmula es:

$$Etp = Ev \cdot C$$

Donde: Etp = Evapotranspiración potencial

Ev = Evaporación de tanque

C = Coeficiente de ajuste adimensional.

Fruitt (9), indica que la variación del coeficiente "C" depende de factores como el tamaño, color y estado de conservación del mismo, así como la turbiedad y profundidad del agua, encontró que la variación del coeficiente "C", en la relación E_t/E_v oscila entre 0.75 y 1.25.

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

Según Grassi (1975), 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. (10)

Se ha utilizado tanques con diferentes características en cuanto a tamaño, color, ubicación y nivel con respecto al terreno.

Para el presente trabajo se utilizó un tanque evaporímetro Rossbach modelo FV-122-R, cuyas características principales son: Diámetro de 1.22 m., altura real utilizable de 0.25 m.; con una capa de insolación de 0.04 m., que tiene la función de aislante con respecto al lugar donde repose; de color antirefractorio de radiación solar y temperatura; compuesto de un material de fibra especial de polyester que evita los cambios bruscos de temperatura, haciendo que el agua permanezca sin variar con respecto a la ambiental.

9. ESTUDIOS DE EVAPOTRANSPIRACION Y RIEGO EN ZANAHORIA

Morales (18), reporta los siguientes resultados de la evaluación de cinco frecuencias de riego en el valle central de Guatemala:

CUADRO 1. RESULTADOS PROMEDIO DE LAS VARIABLES MEDIDAS EN EL
EXPERIMENTO DE ZANAHORIA. (MORALES, 1987)

FREC RIEGO (días)	REND DE RAIZ (TM/ha)	REND DE PLANTAS (TM/ha)	DIAMETRO DE RAIZ (cm)	LARGO DE RAIZ (cm)	LARGO DE FOLLAJE (cm)
8	24.35	46.13	4.35	11.85	53.97
12	21.31	38.80	4.07	11.74	50.83
16	17.42	33.17	3.55	11.25	46.13
20	15.64	29.43	2.96	10.16	42.08
24	10.29	18.21	2.53	9.41	32.44

CUADRO 2. NUMERO DE RIEGOS Y LAMINAS CONSUMIDAS. (MORALES, 1987)

TRATAMIENTO	NUMERO DE RIEGOS*	LAMINA CONSUMIDA TOTAL (mm)**
F-8	8	355.7
F-12	5	178.9
F-16	4	161.4
F-20	3	121.9
F-24	2	117.9

* No incluye los 3 riegos generales aplicados durante la etapa de establecimiento (los primeros 21 días después de la siembra).

** Si incluye la lámina consumida en la etapa de establecimiento.

CUADRO 3. COEFICIENTE "C" DE LA RELACION ET/EV DE TANQUE DE
EVAPORACION PARA ZANAHORIA. † (MORALES, 1989)

ETAPA DE DESARROLLO DEL CULTIVO	COEFICIENTE C = ET/EV
Inicial (1-21 días)	0.21
Desarrollo (22-49 días)	0.51
Media (50-77 días)	0.97
Final (78-90 días)	0.68

† Promedio de "C" calculado para F-8 y F-12.

V. METODOLOGIA

1. Descripción y localización del sitio experimental.

El presente estudio se realizó en el Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA), situado en la parte sur de la Ciudad Universitaria, ubicado geográficamente en las coordenadas 14°35' 11" LN y 90°31' 18" LO, con una elevación de 1502 msnm.

El área experimental está dentro de los suelos de la serie Guatemala, con textura y consistencia franco arcillosa friable, formado de cenizas volcánicas, con horizonte de 30 a 50 cm, el drenaje a través del suelo es lento y la capacidad de abastecimiento de humedad es muy alta. Su topografía es regular, con pendientes que varían de 0 a 2%, por lo que la susceptibilidad a la erosión es mínima, posee un pH de 6 a 7. (22)

Según De La Cruz (5), el CEDA se encuentra en la faja termométrica altitudinal subtropical húmeda y, según Holdridge (12), en un bosque montano bajo tropical.

Se reporta con información de los últimos cuarenta y dos años, una precipitación media anual de 1247 mm, temperatura media de 18°C, humedad relativa media de 79% y velocidad media del viento de 15.4 km/hora. (26)

2. Análisis de suelo y determinaciones previas.

Previo a la implementación del experimento, se efectuaron análisis químicos y físicos del suelo. Para el análisis químico se

tomaron varias submuestras para luego formar una muestra compuesta del área experimental, la cual se envió al laboratorio de suelos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola para poder obtener las recomendaciones en cuanto a fertilización del cultivo. Las diferentes submuestras se tomaron a profundidad de la capa arable del terreno en un número que dependió de la homogeneidad del mismo, los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 4.

CUADRO 4. RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO DEL SUELO

pH	<u>Microgramos/ml</u>		<u>Meg/100 ml de suelo</u>	
	P	K	Ca	Mg
6.0	13.21	135	12.12	2.59

Para el análisis físico se tomaron también varias submuestras en el área experimental de cada uno de los estratos a trabajar, se homogenizaron y se enviaron al laboratorio de suelos de la Dirección de Riego y Avenamiento (DIRYA), para la determinación de textura, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente. En cuanto a capacidad de campo y densidad aparente, se efectuaron determinaciones a nivel de campo, utilizando el método propuesto por Withers y Vipond (27), descrito en el numeral 5.1 del capítulo de revisión de literatura, y el método descrito en el numeral 6 del mismo capítulo, cuyos resultados fueron diferentes a los del laboratorio, tomándose finalmente el promedio de los valores que se dieron, por considerarse más confiables de acuerdo a los fines del

experimento. Los resultados de capacidad de campo y densidad aparente determinados en el campo, de textura determinada en el laboratorio, punto de marchitez permanente y capacidad de campo también determinados en laboratorio, se muestran en el cuadro 5.

CUADRO 5. PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO

	TEXTURA	PMP%	CC%	Da (gr/cc)
LABORATORIO	Arcillosa	18.98	31.25	1.15
CAMPO	---	---	32.01	1.03

3. Manejo del cultivo

El cultivo se manejó de acuerdo a las recomendaciones del ICITA en cuanto a preparación del terreno, método y distancias de siembra, control de plagas y enfermedades, control de malezas y fertilización.

Se sembró la variedad Chantenay Red Cored 780-01, una de las variedades de mayor aceptación, la raíz es alargada en forma cónica, de color naranja, excelente calidad y sabor. Se cosecha a los 90 días después de la siembra. (11)

Para preparar el terreno se dió una pasada de arado a una profundidad de 0.30 m, seguido de un control preventivo de plagas del suelo con insecticida Volatón 56 en una dosis de 35 kg/ha, posteriormente dos pasadas de rastra en forma cruzada para dejar

bien mullido el suelo e incorporar el insecticida, luego el surqueado a una distancia de 0.60 m, sembrando al chorrillo en hileras dobles a 1 centímetro de profundidad, tapando la semilla con una capa delgada de arena para facilitar su germinación.

A los 4 días de haber germinado las plantas, se realizó un control preventivo de enfermedades con fungicida PCNB, aplicado con bomba de mochila, sin boquilla, al pie de las plantas en una dosis de 7 kg/ha, repitiendo la aplicación 4 días después.

A los 17 días después de la germinación se efectuó un raleo, dejando 1 planta cada 6-8 cm. La fertilización se realizó a los 15 días de nacidas las plantas con fórmula compuesta 15-15-15, en dosis de 4 kg/ha. A los 32 días, 2 kg/ha de urea 46% y aplicaciones de fertilizante foliar a los 32 y 42 días, en la dosis recomendada.

El control de malezas se hizo en forma manual cada 15 días después de la siembra, debido a la severidad en el ataque de coyolillo (*Cyperus* sp.), y se efectuó una única aplicación de insecticida Deltametrina (FOLIDOL) en la dosis recomendada, junto con la última aspersión de fertilizante foliar.

4. Manejo del experimento.

4.1 Trazo del experimento.

Después de realizar el surqueado, se procedió al trazo del experimento en el campo, el cual se hizo utilizando cinta métrica, pita y estacas, dándole las dimensiones de 1.5 m entre parcelas y 2.0 m entre bloques, trazando un total de 20 parcelas

de 3 x 6 metros. En la figura 11 del apéndice, puede observarse el plano general del experimento y la distribución de parcelas.

4.2 Método de riego.

Se utilizó el método de riego por gravedad en surcos, conduciendo el agua de las tomas a los mismos por medio de sifones, los cuales permiten estimar el volumen de agua aplicado en cada surco.

Conociendo el caudal de salida del sifón, el cual es obtenido por medio de aforo, se procedió a calcular el caudal necesario para la parcela, luego se calculó el tiempo de salida del agua en el sifón para dar el volumen requerido y, se divide dentro de el número de surcos total de la parcela para obtener el tiempo que deben permanecer los sifones en los surcos, y distribuir el agua uniformemente dentro de la misma.

La fórmula es la siguiente:

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

Donde: Tr = tiempo de riego (minutos)

Vol = volumen de agua requerido (metros cúbicos)

Q = caudal del sifón (metros cúbicos por segundo)

N = número de surcos por parcela

60 = constante que transforma segundos a minutos

4.3 Lámina de agua a reponer en cada riego.

Para poder calcular la lámina de agua a reponer es necesario

contar inicialmente con los datos siguientes:

- El porcentaje de humedad obtenido antes del riego (HAR)
- El porcentaje de humedad a capacidad de campo (HCC)
- La densidad aparente (Da)
- La profundidad del estrato en centímetros (Pe)

Y sustituirlos en la fórmula siguiente:

$$Lr = ((HCC - HAR)/100) * Da * Pe$$

Con la cual se obtiene la lámina a reponer en cada riego, a cada parcela y para cada estrato. Para obtener la lámina total a reponer es necesario sumar las láminas para cada estrato.

4.4 Lámina de agua consumida

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

$$Lc = (HDR - HAR) * Da * Pe/100$$

Donde: Lc = Lámina consumida (cm)

HDR = Porcentaje de humedad después del riego

Como entre los muestreos antes y después de un mismo riego existe un periodo de tres días en los cuales no se conoce el consumo, es necesario efectuar un ajuste proporcional relacionando mediante una regla de tres simple, el periodo de consumo conocido con los tres días comprendidos entre muestreos.

4.5 Riegos generales.

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

4.6 Método y momento de muestreo.

Para el muestreo se empleó un barreno helicoidal, sacando cuatro muestras por parcela, dos para cada uno de los estratos de 0 a 25 y 25 a 50 cm. Previo a establecer este número de muestras, se determinó su coeficiente de variación que es de 7.45. En caso de que el coeficiente de variación hubiera resultado elevado (mayor de 20), se habrían sacado seis muestras por parcela, tres para cada estrato.

Los puntos de muestreo se tomaron al azar, pero se trató de cubrir toda el área de la parcela, estos muestreos se hicieron antes y después de cada riego; antes del riego se muestreó con una anticipación de 24 horas y después del riego se muestreó a las 48 horas, debido a que es cuando el suelo teóricamente alcanza el porcentaje de humedad de capacidad de campo, y en un tiempo menor es casi imposible muestrear este tipo de suelo por la dificultad de caminar en la parcela.

4.7 Diseño experimental.

Reyes (19), indica que se puede utilizar el diseño experimental de bloques al azar cuando se tenga un solo gradiente, como

en nuestro caso lo constituyó la textura del terreno, que resultó diferente en las cabeceras y en la parte media, además de que la variación entre los tratamientos dentro de las repeticiones se reduce, razones por las que se utilizó este diseño.

Se evaluaron 5 tratamientos con 4 repeticiones, los tratamientos se distribuyeron como frecuencias de riego, dándole la siguiente identificación: F-8, donde F es la frecuencia y el número indica el intervalo de riego en días, quedando así: F-8, F-12, F-16, F-20 y F-24.

El modelo estadístico es el siguiente:

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

Donde: Y_{ij} = Variable respuesta en la i-j-ésima unidad experimental

U = Efecto de la media general

B_j = Efecto del j-ésimo bloque

T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento

E_{ij} = Error experimental asociado a la i-j-ésima unidad experimental. (20)

4.9 Parcela experimental.

Area total del experimento.....	986m ²
Area neta del experimento.....	360m ²
Area por unidad experimental.....	18m ²
Area útil por unidad experimental.....	10.8m ²
Número de parcelas.....	20
Número de surcos por unidad experimental.....	5

Número de surcos por parcela útil.....	3
Densidad de plantas por parcela neta.....	750
Densidad de plantas por parcela útil.....	450

4.9 Variables respuesta.

Las variables respuesta que se utilizaron para evaluar el efecto de los tratamientos, fueron tomados únicamente en el área que comprendía la parcela útil, y estas fueron:

- Rendimiento en kg/ha de plantas completas
- Rendimiento en kg/ha de raíces
- Número de plantas vivas por parcela útil
- Diámetro de la raíz (en la parte superior)
- Longitud de la raíz
- Longitud del follaje

4.10 Metodología de análisis de resultados.

Los resultados fueron analizados por medio de un análisis de varianza y prueba de Tukey al 5% de significancia para las variables respuesta. Se efectuó también, para cada parte de los resultados obtenidos de la presente investigación, un análisis comparativo a los obtenidos por Morales (1987).

Para verificar si los valores de tasa de evapotranspiración semanal calculada con las fórmulas, equivalen a los valores de evapotranspiración medida en el campo, se efectuó un análisis de correlación para determinar qué porcentaje de la variable independiente (valores de evapotranspiración calculados), es explicado por el modelo de regresión lineal simple $Y = B_0 + b_1X$,

considerándose para este análisis un nivel de significancia del 0.1% para mayor confiabilidad de los resultados.

De obtener coeficientes de determinación " r^2 " menores a los tabulados para un nivel de significancia de 0.1% y $n-2$ grados de libertad, se concluye que el modelo de regresión lineal simple no explica satisfactoriamente la relación entre los datos medidos y los calculados, lo que indica que las fórmulas de Blaney-Criddle y Penman, modificados por FAO, no son adaptables a la región. Si los coeficientes de determinación " r^2 " calculados fueran mayores a los tabulados para el nivel de significancia, y los grados de libertad mencionados, deberán efectuarse dos pruebas de hipótesis para determinar que la pendiente de la recta es igual a uno y que el intercepto es igual a cero, de ser así, esto indica que los valores de evapotranspiración calculados son equivalentes a los medidos directamente, por lo que las fórmulas de Blaney-Criddle y Penman, modificadas por FAO, si se adaptan a la región. En el caso de rechazar las hipótesis planteadas, nos indicará que los datos calculados no son equivalentes a los medidos en el campo, pero que podrían ajustarse por tener un coeficiente de determinación " r^2 " alto.

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

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

Además del análisis estadístico anterior, también se realizó una comparación gráfica ploteando los valores de tasa de evapotranspiración semanal y la evapotranspiración acumulada, de cada uno de los tratamientos y los valores calculados con la fórmula de Blaney-Criddle modificada por FAO, Penman modificada por FAO y Tanque Evaporímetro, para poder observar la tendencia que sigue cada una de las curvas y determinar si los valores medidos son equivalentes a los valores calculados.

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

La presentación de los resultados obtenidos se divide en cuatro partes: La primera se refiere a los resultados y análisis de las variables respuesta que se utilizaron para evaluar el efecto de los diferentes tratamientos. La segunda comprende el análisis del uso de agua por las plantas. En la tercera se utiliza una comparación de los resultados de evapotranspiración medida en los tratamientos, con los calculados por las fórmulas de Penman y Blaney-Criddle modificados por FAO. Y en la última se efectúa un cálculo de los valores del coeficiente "C", obtenidos de la relación evapotranspiración medida en el campo con la evaporación de agua en el tanque evaporímetro.

Cada una de las partes se compara en su análisis con los resultados obtenidos por Morales (1987) en el mismo cultivo y región.

1. VARIABLES RESPUESTA

Las variables respuesta evaluadas fueron: Rendimiento de raíz (sin follaje), rendimiento de plantas completas de zanahoria, diámetro de raíz, largo de raíz, largo de follaje y número de plantas vivas por parcela útil al final del ciclo.

En el cuadro 6 se detallan los resultados promedio obtenidos en los diferentes tratamientos para cada una de las variables respuesta.

CUADRO 6. RESULTADOS PROMEDIO DE LAS VARIABLES MEDIDAS EN EL EXPERIMENTO DE ZANAHORIA.

FREC RIEGO (días)	REND DE RAIZ (TM/ha)	REND DE PLANTAS (TM/ha)	DIAMETRO DE RAIZ (cm)	LARGO DE RAIZ (cm)	LARGO DE FOLLAJE (cm)
8	30.90	56.95	4.16	12.00	55.78
12	26.18	46.77	3.87	11.70	48.26
16	19.96	39.02	3.41	10.72	48.66
20	21.72	40.36	3.47	10.76	46.09
24	19.81	33.10	3.30	10.28	41.30

Puede observarse en la variable respuesta largo de follaje, una ligera superioridad del tratamiento F-16 sobre el tratamiento F-12. Este mismo comportamiento se observa para las demás variables en el tratamiento F-20 sobre el tratamiento F-16; pero de manera general se puede apreciar que para todos los tratamientos, el rendimiento, diámetro y largo de raíz y largo de follaje, disminuyen a medida que se alarga el intervalo de riego.

Igual tendencia muestran los resultados obtenidos por Morales (1989), como puede apreciarse en el cuadro 1 del capítulo de revisión de literatura.

1.1 Rendimiento de raíz (sin follaje)

Los resultados de rendimiento en peso de raíces para cada tratamiento y repetición, se pueden observar en el cuadro 9 del apéndice. El análisis de varianza que se presenta en el cuadro

10 del apéndice, muestra que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos, por lo que se efectuó una prueba de Tukey cuyo resultado se presenta en el cuadro 11 del apéndice; encontrándose que, estadísticamente, para los tratamientos F-8 y F-12 no existe diferencia significativa, poseyendo los más altos rendimientos. Mientras que el tratamiento F-24 presentó el menor rendimiento.

Lo descrito en el párrafo anterior verifica el mismo resultado que obtuvo Morales (1989) para esta variable respuesta.

1.2 Rendimiento de plantas de zanahoria completas (raíz y follaje)

En el cuadro 12 del apéndice se muestran los resultados de rendimiento de plantas completas en toneladas métricas por hectárea, para cada tratamiento y repetición, donde se puede apreciar que los mayores rendimientos se dieron en los tratamientos con intervalo de riego corto (F-8 y F-12).

En el análisis de varianza presentado en el cuadro 13 del apéndice, se observa que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos. La prueba de Tukey del cuadro 14 del apéndice, nos indica que los tratamientos F-8 y F-12 no presentan diferencia estadísticamente significativa, y además rindieron las mayores producciones, mientras que el tratamiento F-24 nos muestra el menor rendimiento.

El resultado de esta variable respuesta es igual al obtenido por Morales (1989).

1.3 Diámetro de raíz

En el cuadro 15 del apéndice pueden observarse los resultados obtenidos de la variable respuesta diámetro de raíz, en centímetros, para cada tratamiento y repetición; donde puede apreciarse que el mayor diámetro se encuentra en los tratamientos con intervalo de riego corto (F-8 y F-12).

En el cuadro 16 del apéndice, análisis de varianza, se observa que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos. De la prueba de Tukey que aparece en el cuadro 17 del apéndice, se interpreta que el mayor diámetro lo presentan los tratamientos F-8 y F-12 que son estadísticamente iguales, siguiéndoles los tratamientos F-16, F-20 y F-24 que tampoco presentan diferencias significativas entre sí.

Los resultados de Morales (1989) nos indican que el mayor diámetro se obtuvo en los tratamientos F-8 y F-12 que son estadísticamente iguales y que el menor diámetro lo presentó el tratamiento F-24.

1.4 Largo de raíz

Los resultados obtenidos de la variable respuesta largo de raíz en centímetros, para cada tratamiento y repetición, pueden observarse en el cuadro 18 del apéndice, el cual nos muestra que las mayores longitudes se dieron en los tratamientos con interva-

lo de riego corto (F-8 y F-12).

A pesar de lo expuesto en el párrafo anterior, el análisis de varianza del cuadro 19 del apéndice, nos muestra que estadísticamente no existen diferencias significativas entre los tratamientos.

Los resultados obtenidos por Morales (1989) nos indican que, en el análisis de varianza para esta variable respuesta, existe significancia estadística al 5% no así al 1%. La prueba de Tukey indicó que no existe diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos F-8, F-12 y F-16 que presentaron las mayores longitudes, mientras que el tratamiento F-24 el menor largo de raíz.

1.5 Largo de follaje

En el cuadro 20 del apéndice se presentan los resultados obtenidos para la variable respuesta largo de follaje, en centímetros, para cada tratamiento y repetición. Se observa que el follaje más largo correspondió al tratamiento con menor intervalo de riego (F-8).

Del análisis de varianza que se presenta en el cuadro 21 del apéndice, podemos interpretar que estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos. La prueba de Tukey del cuadro 22 del apéndice, nos indica que el tratamiento F-8 presentó la mayor longitud de follaje, siguiéndole los tratamientos F-12, F-16 y F-20 que estadísticamente son iguales, y por último, el tratamiento F-24 que presentó la menor longitud.

Morales (18), en 1989, obtuvo que los tratamientos F-8 y F-12 no presentan diferencia estadísticamente significativa, presentando los follajes más largos, mientras que en el tratamiento F-24 se observa el menor largo de follaje.

1.6 Número de plantas vivas por parcela útil al final del ciclo

El número de plantas vivas por parcela útil al final del ciclo fue de 450 para todas las unidades experimentales. Se observa que aún en los tratamientos con intervalos de riego largo no existió mortalidad de plantas, concluyéndose que la zanahoria posee resistencia a la sequía.

Igual resultado fue obtenido por Morales (1989) para esta variable respuesta.

2. USO DE AGUA POR EL CULTIVO

2.1 Número de riegos y láminas consumidas

En el cuadro 7 puede observarse el resumen del consumo total de agua, así como el número de riegos aplicados para cada

tratamiento. En todos los casos puede observarse una reducción en la lámina total aplicada conforme se alarga el intervalo de riego. Esto nos indica que las plantas de zanahoria, al disponer de más agua, tenderán a consumir mayor cantidad.

En los cuadros del 23 al 28 del apéndice se calcularon las láminas de agua consumidas para los diferentes tratamientos, y en el cuadro 29 se presenta el número de riegos y lámina de agua aplicados en cada riego, para cada uno de los tratamientos.

CUADRO 7. NUMERO DE RIEGOS Y LAMINAS CONSUMIDAS.

TRATAMIENTO	NUMERO DE RIEGOS*	LAMINA CONSUMIDA (mm)**
F-8	7	235.7
F-12	4	167.4
F-16	3	156.9
F-20	2	137.4
F-24	2	130.2

* No incluye los 5 riegos generales aplicados durante la etapa de establecimiento (los primeros 33 días después de la siembra).

** Si incluye la lámina consumida en la etapa de establecimiento.

El análisis realizado por Morales (1989) nos indica que existe igualdad entre las dos investigaciones en cuanto al comportamiento del consumo de agua por el cultivo, según se puede apreciar en el cuadro 2 del capítulo de revisión de literatura.

2.2 Agotamiento de la humedad aprovechable del suelo

Durante todo el ciclo del cultivo se llevó un control de la humedad del suelo para cada tratamiento, en los estratos de 0-25 y 25-50 centímetros. De la figura 1 a la 5 del apéndice se graficó el porcentaje de humedad del suelo en base a peso seco, contra el tiempo.

Los primeros 33 días corresponden a la etapa de establecimiento, en la cual se trató de mantener el suelo cerca de la humedad correspondiente a capacidad de campo, regando cada 5 días, por lo tanto en las figuras esta etapa se grafica con una línea recta que coincide con la capacidad de campo.

La figura 1 del apéndice corresponde al tratamiento regado cada 8 días. Se puede observar que hasta los 50 días, el agotamiento de la humedad aprovechable fue de 50% para el estrato 0-25, y de 20% para el estrato 25-50, en promedio; y con un valor de 46% y 15% respectivamente, hasta el final del ciclo, observándose bastante uniformidad en el agotamiento de la humedad aprovechable.

La figura 2 del apéndice corresponde al tratamiento regado cada 12 días. En la cual se observa que hasta los 50 días, el estrato 0-25 promedia 61% de agotamiento de la humedad, y el estrato 25-50 promedia 35%. El consumo decrece a los 75 días, con valores promedio de 56% y 24%, respectivamente. Durante la etapa final del cultivo, el agotamiento de la humedad aprovechable es de 50% para el estrato 0-25, y 26% para el

estrato 25-50.

La figura 3 del apéndice explica el comportamiento del tratamiento regado cada 16 días, puede observarse que hasta los 50 días, el estrato 0-25 promedia 69% de agotamiento de la humedad aprovechable, y el estrato 25-50 promedia 32%. A partir del día 70, hasta el final, la humedad aprovechable se incrementa para el estrato 0-25 a 76%, y para el estrato 25-50 a 40%.

La figura 4 del apéndice corresponde al tratamiento regado cada 20 días, observándose que el cultivo fue sometido a una alta tensión, sin embargo no llegó a punto de marchitez permanente. Manifestó un comportamiento homogéneo a partir de la etapa de desarrollo, denotando un aprovechamiento de 81% en promedio, para el estrato 0-25, y de 39% para el estrato 25-50.

La figura 5 del apéndice presenta el comportamiento del tratamiento regado cada 24 días, observándose, al igual que en el tratamiento anterior, un aprovechamiento bastante homogéneo a partir de la etapa de desarrollo, promediando 70% de humedad aprovechada para el estrato 0-25, y 42% para el estrato 25-50.

Existe similitud en todo lo anteriormente expuesto y los resultados obtenidos por Morales (1989), en lo referente al agotamiento de la humedad aprovechable del suelo, además de que en ninguna de las dos investigaciones, el agotamiento de la humedad alcanzó el nivel de punto de marchitez permanente.

3. COMPARACION DE LA EVAPOTRANSPIRACION MEDIDA CON LA CALCULADA POR LAS FORMULAS DE PENMAN Y BLANEY-CRIDDLE AMBAS MODIFICADAS POR FAO

En los cuadros 30 y 31 del apéndice se presentan los cálculos de la evapotranspiración semanal, por las fórmulas de Penman y Blaney-Criddle modificados por FAO. Las figuras 6 y 7 del apéndice muestran las curvas de coeficiente de cultivo (K_c) de zanahoria.

En el cuadro 32 se resumen los resultados de la tasa de evapotranspiración semanal, medida en los cinco tratamientos, la calculada con las fórmulas de Penman y Blaney-Criddle, y la tasa de evaporación medida en el tanque evaporímetro Rossbach, modelo FV-122-R.

Como fué planteado en el capítulo de metodología, para verificar la adaptabilidad de las fórmulas de Penman y Blaney-Criddle modificadas por FAO, en la estimación de la evapotranspiración del cultivo de zanahoria, se efectuó un análisis de correlación lineal simple entre los datos calculados con las fórmulas (variable independiente), y los medidos en cada tratamiento (variable dependiente).

Mediante este análisis se determinó el grado de relación entre datos de fórmulas, y medidos, que es explicado por el modelo de regresión lineal simple; encontrándose que dicho modelo no explica satisfactoriamente la relación entre los datos medidos en el campo, y los calculados por las fórmulas. De acuerdo a los coeficientes de determinación " r^2 ", el modelo de regresión lineal simple explica en un 38%, la relación entre la E_t calculada por la fórmula de

Penman, y la Et medida en el tratamiento F-8; y en un 51%, la calculada por la fórmula de Blaney-Criddle, y la medida en el tratamiento F-8, siendo los coeficientes más altos de todas las relaciones dadas (cuadro 33 del apéndice).

Con el análisis anterior se demuestra, que la tasa de evapotranspiración semanal calculada con las fórmulas de Penman y Blaney-Criddle, y la medida en el campo, son diferentes. Como puede observarse en el cuadro 32 del apéndice, la evapotranspiración total calculada con las fórmulas, muestran un valor aproximado a la evaporación total medida en el tanque evaporímetro, no siendo así para los cinco tratamientos, donde se encuentran valores, dos y hasta tres veces menores.

La figura 8 del apéndice, que nos muestra el comportamiento de la evapotranspiración acumulada para todos los tratamientos, los calculados por las fórmulas de Penman y Blaney-Criddle modificados por FAO, y la evaporación del tanque evaporímetro, nos permite reafirmar la poca semejanza de todos los tratamientos con los calculados por medio de fórmulas.

Se confirman los resultados obtenidos por Morales (1989), puesto que tampoco se encontró relación entre los valores medidos en el campo, y los calculados con las fórmulas de Penman y Blaney-Criddle modificados por FAO, sin contar que no hubo semejanza en el comportamiento de la evapotranspiración acumulada, medida y calculada.

4. CALCULO DEL COEFICIENTE "C" DE LA RELACION EVAPOTRANSPIRACION/EVAPORACION

La evaporación del tanque es afectada por los mismos factores que influyen sobre la evapotranspiración, exceptuando la planta, por la cual, los valores de evaporación normalmente son diferentes cuantitativamente, a los valores de evapotranspiración medidos en el campo. Dichos valores pueden ajustarse por medio de coeficientes provenientes de la relación evapotranspiración/evaporación del tanque (coeficiente "C").

El cuadro 34 del apéndice, muestra los coeficientes "C" semanales para cada tratamiento durante el ciclo de cultivo, obtenidos de la relación mencionada, observándose que los valores aumentan conforme transcurre el ciclo del cultivo.

Usando el promedio de valores de "C", para los tratamientos de mejores rendimientos; F-8 y F-12, se elaboró el cuadro 8, que detalla la relación E_t/E_v , para las diferentes etapas fenológicas del cultivo.

Una tendencia similar en los coeficientes encontró Morales (18), según se puede observar en el cuadro 5 del capítulo de revisión de literatura, por lo que pueden utilizarse los valores promedio de las dos investigaciones, para el cálculo de la E_t con el método del tanque evaporímetro.

CUADRO 8. COEFICIENTE "C" DE LA RELACION E_t/E_v DE TANQUE DE
EVAPORACION PARA ZANAHORIA.*

ETAPA DE DESARROLLO DEL CULTIVO	COEFICIENTE C = E_t/E_v
Inicial (1-21 días)	0.37
Desarrollo (22-49 días)	0.37
Media (50-77 días)	0.54
Final (78-90 días)	0.63

* Promedio de "C" calculado para F-8 y F-12.

VII. CONCLUSIONES

1. La aplicación de riego a diferentes intervalos si tiene influencia sobre las variables, rendimiento de raíces y plantas completas, diámetro de raíz y longitud de follaje.
2. Los mayores rendimientos de raíz se obtuvieron con frecuencias de 8 y 12 días, siendo de 30.90 y 26.18 TM/ha respectivamente, determinándose que estas frecuencias son estadísticamente iguales, mientras que los otros tratamientos presentaron rendimientos menores, siendo de 19.96, 21.72 y 19.81 TM/ha para F-16, F-20 y F-24, respectivamente.
3. El desarrollo del follaje en peso se ve afectado por las frecuencias de riego evaluadas; presentando en las frecuencias de 8 y 12 días el mayor desarrollo. En cuanto a la longitud del follaje, el mayor valor se obtuvo en la frecuencia de 8 días, siendo de 55.78 cm, mientras que los demás tratamientos presentaron longitudes de 48.26, 48.66, 46.09 y 41.30 cm, para F-12, F-16, F-20 y F-24, respectivamente.
4. Estadísticamente, no existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados en lo que se refiere a longitud de raíz, es decir, que no hubo influencia de los tratamientos sobre esta variable, siendo las longitudes resultantes promedio de 12.00, 11.70, 10.72, 10.76 y 10.28 cm, para los tratamientos F-8, F-12, F-16, F-20 y F-24, respectivamente.

5. La aplicación de riego a diferentes intervalos no tuvo influencia sobre la variable número de plantas vivas al final del ciclo del cultivo.
6. Las diferentes frecuencias de riego utilizadas, si influyen en las tasas de evapotranspiración, los tratamientos regados con intervalos de riego corto consumieron más agua que los regados con intervalos mayores, obteniéndose láminas consumidas totales de 244.47, 192.06, 179.96, 194.66 y 150.41 milímetros, para intervalos de riego de 8, 12, 16, 20 y 24 días, respectivamente.
7. En ningún tratamiento, el agotamiento de la humedad aprovechable del suelo alcanzó valores de Punto de Marchitez Permanente (100%), siendo de 86% el valor máximo en el estrato 0-25 cm, reportado en el tratamiento F-20; y de 55%, 60%, 80% y 74%, para los tratamientos F-8, F-12, F-16 y F-24, respectivamente. En el estrato 25-50 cm, el máximo valor de agotamiento de la humedad lo presentó el tratamiento F-24, con un valor de 48%; mientras que los restantes tratamientos presentaron valores de 30%, 37%, 42% y 45% para F-8, F-12, F-16 y F-20, respectivamente.
8. Los valores de evapotranspiración total medida en el campo para todos los tratamientos regados, 244.47, 192.06, 179.96, 194.66 y 150.41 mm, para F-8, F-12, F-16, F-20 y F-24, respectivamente, son estadísticamente diferentes a los valores de evapotranspiración calculada con las fórmulas de Penman y Blaney-Criddle modificados por FAO, 480.13 y 426.44 mm, respectivamente.

9. Los coeficientes ("C") promedio, obtenidos de la relación E_t/E_v del tanque para los tratamientos regados cada 8 y 12 días fueron de 0.37 para las etapas inicial y de desarrollo, 0.54 para mediados del periodo y 0.66 para finales del periodo.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda regar cada 12 días para obtener mayor rendimiento, debido a que esta frecuencia junto a la de 8 días con la cual son estadísticamente iguales, rindieron una mayor producción en comparación con las otras.
2. Se recomienda realizar otras investigaciones de este tipo, utilizando métodos diferentes al gravimétrico para estimar la evapotranspiración, como la sonda de neutrones o el método del tanque de evaporación tipo "A", para determinar la adaptabilidad de las fórmulas de Penman y Blaney-Criddle modificados por FAO, en la estimación de la evapotranspiración, para diferentes áreas y cultivos.
3. Para estimar la evapotranspiración del cultivo en función de la evaporación del tanque evaporímetro tipo "A" se recomienda utilizar los coeficientes "C" promedio entre los valores de 0.21-0.39 para la etapa inicial, 0.39-0.51 para la etapa de desarrollo del cultivo, 0.54-0.97 para mediados del periodo y 0.63-0.66 para la etapa final.

IX. BIBLIOGRAFIA

1. ABUILERA, M.; MARTINEZ, R. 1980. Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera. 2a. ed. México, Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Enseñanza e Investigación y Servicio de Irrigación. 341 p.
2. ANDRINO ALVAREZ, F. 1985. Efecto en los rendimientos de tomate (*Lycopersicon 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.
3. CASSERES, E. 1971. Producción de hortalizas. México, Herrero. 229 p.
4. CORADO, 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.
5. CRUZ, J. R. DE LA. 1982. Clasificación de zona de vida de Guatemala, basada en el sistema Holdrige. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
6. CHINCHILLA, V. 1976. Sanidad vegetal. Guatemala, Ministerio de Agricultura. 12 p.
7. DETERMINACION DEL uso consuntivo por el método gravimétrico; aplicación del método racional para el cálculo del uso consuntivo. 1979. Guatemala, Dirección General de Servicios Agrícolas. Apunte Técnico no. 12. 16 p.
8. DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. FAO. Serie Riego y Drenaje no. 33. 212 p.
9. _____; FRUITT, W. 1976. Las necesidades de agua de los cultivos. FAO. Serie Riego y Drenaje, no. 24. 187 p.
10. 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.
11. GUDIEL, V. M. 1980. Manual agrícola Superb. 5a. ed. Guatemala, Superb. 291 p.
12. HOLDRIGE, L. R. 1979. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA. Material Educativo no. 34. p. 1-107.

13. INFLUENCIA DE los factores del clima sobre las necesidades de agua de los cultivos. 1969. México, Secretaría de Recursos Hidráulicos, Dirección General de Distritos de Riego. Memorandum Técnico no. 267. 31 p.
14. ISRAELSEN, O. W.; HANSEN, V. E. 1979. Principios y aplicaciones de riego. Traducido por Alberto García Falacios. Barcelona, España, Reverté. 276 p.
15. KRAMER, J. P. 1974. Relaciones hídricas de suelos y plantas; una síntesis moderna. México, Edutex. 392 p.
16. MELA MELA, P. 1963. Cultivos de regadío. Zaragoza, España, Editorial Agrociencia. v. 1, 350 p.
17. MENDEZ, 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.
18. MORALES, H. A. 1989. Efecto de cinco frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración de zanahoria (Daucus carota) en el valle central de Guatemala. Seminario II de tesis. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 109 p.
19. REYES CASTAÑEDA, P. 1982. Diseño de experimentos aplicados. 2a. ed. México, Trillas. 344 p.
20. ROE, H. B. 1950. Moisture requirements in agriculture, farm irrigation. Estados Unidos, Mac-Graw Hill. 179 p.
21. RUANO, J. M. 1985. Efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración del cultivo de tabaco (Nicotiana tabacum L.) en la unidad de riego El Progreso. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 119 p.
22. SIMMONS, C. S.; TARAND, J. M.; PINTO, J. H. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra. 1000 p.
23. SOBERANIS, J. L. 1983. Efecto de las frecuencias de riego en los rendimientos y medición de la evapotranspiración en tomate (Lycopersicum esculentum) en la unidad de riego El Rancho-Jicaro. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 70 p.

24. TELLO SAMAYOA, C. A. 1983. Efecto de cinco frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración del chile pimiento (Capsicum annum) en la unidad de riego El Rancho-Jicaro. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 70 p.
25. TORRES RUIZ, E. 1983. Agrometeorología. México, Diana. 150 p.
26. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA. FACULTAD DE AGRONOMIA. 1990. Carta informativa del CEDA. (Gua.)/no.1:1.
27. WITHERS, D. W.; VIFOND, S. 1979. El riego, diseño y práctica. Traducido por Agustín Contin. México, Diana. p. 41-127.
28. ZEA MORALES, J. L. 1984. Efecto de cinco frecuencias de riego sobre el rendimiento y la evapotranspiración en el cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum) en un suelo de la serie Chicaj del Valle de La Fragua. Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 78 p.

vo. Co.

P. Valle



X. AFENDICE

Cuadro 9. Fertilimiento de raíces (sin follaje) de zanahoria en toneladas métricas por hectárea para cada tratamiento y repetición.

	I	II	III	IV	TOTAL	\bar{X}
F-8	21.69	27.88	40.49	33.54	123.60	30.90
F-12	19.90	18.55	31.71	34.56	104.72	26.18
F-16	16.63	20.03	19.43	23.76	79.85	19.96
F-20	16.76	17.68	22.73	29.71	86.88	21.72
F-24	10.33	15.69	23.90	29.33	79.25	19.81
TOTALES	85.31	99.83	138.26	150.90	474.30	

Cuadro.10. Análisis de varianza para el rendimiento de raíz en toneladas métricas por hectárea.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	SIGNIFICANCIA
BLOQUE	3	578.069300	192.690	14.536	0.0005
TRATAMIENTO	4	353.966800	90.992	6.864	0.0044
ERROR	12	159.073200	13.256		
TOTAL	19	1101.109000			

Coefficiente de variacion: 15.3527%

Cuadro 11. Prueba de Tukey para rendimiento de raíz en toneladas métricas por hectárea.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	INTERPRETACIONES*
F-8	30.900	A
F-12	26.180	AB
F-20	21.720	BC
F-16	19.960	CD
F-24	19.810	CDE

* Tratamientos con igual letra son estadísticamente iguales.

Cuadro 12. Rendimiento de plantas completas de zanahoria en toneladas métricas por hectárea para cada tratamiento y repetición.

	I	II	III	IV	TOTAL	\bar{X}
F-8	37.54	52.24	75.43	62.60	227.81	56.95
F-12	36.62	34.17	54.73	61.56	187.08	46.77
F-16	35.11	37.01	39.56	44.38	156.06	39.02
F-20	31.01	31.31	42.01	57.10	161.43	40.36
F-24	19.18	26.66	39.32	47.25	132.41	33.10
TOTALES	159.46	181.39	251.05	272.89	864.79	

Cuadro 13. Análisis de varianza para el rendimiento de plantas completas de zanahoria en toneladas métricas por hectárea.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	SIGNIFICANCIA
BLOQUE	3	1771.891000	590.630	13.652	0.0006
TRATAMIENTO	4	1317.684000	329.421	7.615	0.0031
ERROR	12	519.144600	43.262		
TOTAL	19	3608.719000			

Coefficiente de variación: 15.2115%

Cuadro 14. Prueba de Tukey para el rendimiento de plantas completas de zanahoria en toneladas métricas por hectárea.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	INTERPRETACIONES*
F-8	56.950	A
F-12	46.770	AB
F-20	40.360	BC
F-16	39.020	BCD
F-24	33.100	CDE

* Tratamientos con igual letra son estadísticamente iguales.

Cuadro 15. Diámetro de raíz en centímetros para cada tratamiento y repetición.

	I	II	III	IV	TOTAL	\bar{x}
F-3	4.21	3.95	4.15	4.32	16.63	4.16
F-12	3.70	3.54	4.09	4.14	15.47	3.87
F-15	3.09	3.61	3.20	3.74	13.64	3.41
F-20	3.19	3.29	3.62	3.79	13.89	3.47
F-24	2.44	3.10	3.63	4.01	13.18	3.30
TOTALES	16.63	17.49	18.69	20.00	72.81	

Cuadro 16. Análisis de varianza para el diámetro de raíz en centímetros.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SÚMA DE CUADRADOS	CUADRO MEDIO	F CALCULADA	SIGNIFICANCIA
BLOQUE	3	1.289826	0.430	5.346	0.0143
TRATAMIENTO	4	2.078156	0.520	6.460	0.0055
ERROR	12	0.965149	0.080		
TOTAL	19	4.333130			

Coefficiente de variación: 7.7901%

Cuadro 17. Prueba de Tukey para el diámetro de raíz en centímetros.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	INTERPRETACIONES*
F-8	4.160	A
F-12	3.870	AB
F-20	3.470	BC
F-16	3.410	BCD
F-24	3.330	BCDE

* Tratamientos con igual letra son estadísticamente iguales.

Cuadro 18. Largo de raíz en centímetros para cada tratamiento y repetición.

	I	II	III	IV	TOTAL	\bar{X}
F-8	11.30	12.13	12.93	11.67	48.03	12.00
F-12	11.10	10.67	12.63	12.40	46.80	11.70
F-16	9.90	10.20	10.37	12.43	42.90	10.72
F-20	10.17	10.77	10.37	11.73	43.04	10.76
F-24	7.90	9.80	11.46	11.97	41.13	10.28
TOTALES	50.37	53.57	57.76	60.20	221.90	

Cuadro 19. Análisis de varianza para el largo de raíz en centímetros.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	SIGNIFICANCIA
BLOQUE	3	11.447750	3.816	5.463	0.0134
TRATAMIENTO	4	8.432129	2.108	3.018	0.0612 NS
ERROR	12	8.382325	0.699		
TOTAL	19	28.262210			

Coefficiente de variación: 7.5329%

Cuadro 20. Largo de follaje en centímetros para cada tratamiento y repetición.

	I	II	III	IV	TOTAL	\bar{X}
F-8	49.87	56.23	63.07	53.97	223.14	55.78
F-12	50.03	46.33	46.90	49.77	193.03	48.26
F-16	46.83	43.00	55.97	48.86	194.66	48.66
F-20	40.27	44.63	48.90	47.80	181.60	46.09
F-24	32.23	42.07	45.63	45.27	165.20	41.30
TOTALES	219.23	232.26	260.47	245.67	957.63	

Cuadro 21. Análisis de varianza para el largo de follaje en centímetros.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	SIGNIFICANCIA
BLOQUE	3	188.214900	62.738	4.550	0.0236
TRATAMIENTO	4	450.781300	112.695	8.173	0.0024
ERROR	12	165.468800	13.789		
TOTAL	19	804.464900			

Coefficiente de variación: 7.7553%

Cuadro 22. Prueba de Tukey para largo de follaje en centímetros.

TRATAMIENTO	MEDIAS	INTERPRETACIONES*
F-8	55.780	A
F-16	48.660	B
F-12	48.260	BC
F-20	46.090	BCD
F-24	41.300	DE

* Tratamientos con igual letra son estadísticamente iguales.

Cuadro 23. Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para todos los tratamientos durante los riegos generales.

ESTRATO *	PORCENTAJE DE HUMEDAD				DIFERENCIA CONSUMO %	AJUSTE cm	LAMINA PARCIAL cm	
	DESPUES DE RIEGO		ANTES DE RIEGO					
	Fecha	%	Fecha	%				
0-25	13-2-90	32.94	16-2-90	31.48	1.46	0.42	0.28	0.70
0-25	18-2-90	32.65	21-2-90	31.36	1.29	0.37	0.25	0.62
0-25	23-2-90	32.04	26-2-90	28.26	3.78	1.09	0.73	1.82
0-25	28-2-90	33.09	3-3-90	31.14	1.95	0.56	0.37	0.93
0-25	5-3-90	32.15	8-3-90	30.64	1.51	0.43	0.29	0.72
0-25	10-3-90	32.44	13-3-90	30.30	2.14	0.62	0.41	1.03

LAMINA TOTAL (cm): 5.82

* Se asumió que en el estrato de 25-50 cm no hubo consumo de agua en este período.

Cuadro 24. Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-8.

ESTRATO cm	PORCENTAJE DE HUMEDAD				DIFERENCIA %	CONSUMO cm	AJUSTE cm	LAMINA PARCIAL cm
	DESPUES DE RIEGO		ANTES DE RIEGO					
	Fecha	%	Fecha	%				
0-25		28.52		25.72	2.80	0.80	0.48	1.28
	16-3-90			21-3-90				
25-50		31.21		28.37	2.84	0.73	0.44	1.17
0-25		28.21		26.66	1.55	0.44	0.26	0.70
	24-3-90			29-3-90				
25-50		32.54		30.56	1.98	0.51	0.31	0.82
0-25		29.36		27.02	2.34	0.67	0.40	1.07
	1-4-90			6-4-90				
25-50		32.16		29.19	2.97	0.76	0.46	1.22
0-25		30.22		26.24	3.98	1.14	0.68	1.82
	9-4-90			14-4-90				
25-50		32.52		29.99	2.53	0.65	0.39	1.04
0-25		30.29		26.10	4.19	1.20	0.72	1.92
	17-4-90			22-4-90				
25-50		32.51		30.31	2.20	0.57	0.34	0.91
0-25		31.66		26.60	5.06	1.45	0.87	2.32
	25-4-90			30-4-90				
25-50		32.04		29.74	2.30	0.59	0.35	0.94
0-25		29.71		26.39	3.32	0.95	0.57	1.52
	3-5-90			8-5-90				
25-50		32.16		29.69	2.47	0.64	0.38	1.02

LAMINA PARCIAL (cm): 17.75
 RIEGOS GENERALES (cm): 5.82
 LAMINA TOTAL CONSUMIDA (cm): 23.57

* Ajuste proporcional que corresponde a tres días en los cuales no se determinó en el campo, el consumo de agua entre los muestreos previos (1 día) y posteriores (2 días) al riego.

Cuadro 25. Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-12.

ESTRATO	PORCENTAJE DE HUMEDAD				DIFERENCIA CONSUMO	AJUSTE *	LAMINA PARCIAL	
	DESPUES DE RIEGO		ANTES RIEGO					
cm	Fecha	%	Fecha	%	%	cm	cm	
0-25		28.52		24.76	3.76	1.08	0.36	1.44
	16-3-90		25-3-90					
25-50		31.21		27.59	3.62	0.93	0.31	1.24
0-25		30.40		25.44	4.96	1.43	0.48	1.91
	28-3-90		6-4-90					
25-50		31.88		29.45	2.43	0.62	0.21	0.83
0-25		30.05		24.84	5.21	1.50	0.5	2.00
	9-4-90		18-4-90					
25-50		29.72		28.00	1.72	0.44	0.15	0.59
0-25		29.33		25.83	3.5	1.01	0.34	1.35
	21-4-90		30-4-90					
25-50		33.09		28.53	4.56	1.17	0.39	1.56
0-25		29.58						
	3-5-90							
25-50		31.48						
					LAMINA PARCIAL (cm): 10.92			
					RIEGOS GENERALES (cm): 5.82			
					LAMINA TOTAL CONSUMIDA (cm): 16.74			

* Ajuste proporcional que corresponde a tres días en los cuales no se determinó en el campo, el consumo de agua entre los muestreos previos (1 día) y posteriores (2 días) al riego.

Cuadro 26. Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-16.

ESTRATO cm	PORCENTAJE DE HUMEDAD		DIFERENCIA %	CONSUMO cm	AJUSTE * cm	LAMINA PARCIAL cm
	DESPUES DE RIEGO Fecha	ANTES DE RIEGO Fecha				
0-25	28.52	23.52	5.0	1.44	0.33	1.77
	16-3-90	29-3-90				
25-50	31.21	27.97	3.24	0.83	0.19	1.02
0-25	28.14	22.28	5.86	1.68	0.39	2.07
	1-4-90	14-4-90				
25-50	29.84	26.52	3.32	0.85	0.20	1.05
0-25	30.1	22.90	7.20	2.07	0.48	2.55
	17-4-90	30-4-90				
25-50	31.7	27.24	4.46	1.15	0.26	1.41
0-25	29.02					LAMINA PARCIAL (cm): 9.87
	3-5-90	-----				RIEGOS GENERALES (cm): 5.82
25-50	31.11					LAMINA TOTAL CONSUMIDA (cm): 15.69

* ajuste proporcional que corresponde a tres días en los cuales no se determinó en el campo, el consumo de agua entre los muestreos previos (1 día) y posteriores (2 días) al riego.

Cuadro 27. Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-20.

ESTRATO cm	PORCENTAJE DE HUMEDAD				DIFERENCIA %	CONSUMO cm	AJUSTE * cm	LAMINA PARCIAL cm
	DESPUES DE RIEGO		ANTES DE RIEGO					
	Fecha	%	Fecha	%				
0-25		28.52		22.45	6.07	1.74	0.31	2.05
	16-3-90			2-4-90				
25-50		31.21		27.98	3.23	0.83	0.15	0.98
0-25		30.20		21.46	8.74	2.51	0.44	2.95
	5-4-90			22-4-90				
25-50		32.63		26.23	6.40	1.65	0.29	1.94
0-25		31.57						LAMINA PARCIAL (cm): 7.92
	25-4-90							RIEGOS GENERALES (cm): 5.82
25-50		33.07						LAMINA TOTAL CONSUMIDA (cm): 13.74

* Ajuste proporcional que corresponde a tres días en los cuales no se determinó en el campo, el consumo de agua entre los muestreos previos (1 día) y posteriores (2 días) al riego.

Cuadro 28. Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-24.

ESTRATO cm	PORCENIAJE DE HUMEDAD		DIFERENCIA %	CONSUMO cm	AJUSTE * cm	LAMINA PARCIAL cm
	DESPUES DE RIEGO Fecha	ANTES DE RIEGO Fecha				
0-25	28.52	23.40	5.12	1.47	0.21	1.68
	16-3-90	6-4-90				
25-50	31.21	27.14	4.07	1.05	0.15	1.20
0-25	30.13	22.83	7.60	2.18	0.31	2.49
	9-4-90	30-4-90				
25-50	32.49	26.29	6.20	1.60	0.23	1.83
0-25	31.48					LAMINA PARCIAL (cm): 7.20
	3-5-90					RIEGOS GENERALES (cm): 5.82
25-50	32.85					LAMINA TOTAL CONSUMIDA (cm): 13.02

* Ajuste proporcional que corresponde a tres días en los cuales no se determinó en el campo, el consumo de agua entre los muestreos previos (1 día) y posteriores (2 días) al riego.

Cuadro 29. Número de riegos y láminas de agua aplicados para los cinco tratamientos, incluyendo el período de establecimiento (cm).

NUMERO DE RIEGOS*	LAMINAS APLICADAS EN CADA RIEGO (cm)				
	TRATAMIENTOS				
	F-8	F-12	F-16	F-20	F-24
1	2.54	3.02	2.37	3.58	3.53
2	1.71	2.34	4.01	4.31	3.91
3	1.95	2.88	3.64	4.86*	1.05*
4	1.97	2.47	1.44*		
5	1.93	1.60*			
6	2.42				
7	2.01				
Láminas aplicadas en la diferenciación de los tratamientos	14.53	12.31	12.36	12.75	8.49
Lámina aplicada durante el período de establecimiento	5.82	5.82	5.82	5.82	5.82
Lámina total aplicada equivalente a la Et del cultivo	20.35	18.13	18.18	18.57	14.31

* No incluye los 6 riegos aplicados en la etapa de establecimiento (primeros 33 días después de la siembra).

* Lámina de agua consumida durante la etapa previa a la cosecha y que no se repuso en riego.

Cuadro 30. Cálculo de la evapotranspiración semanal y total por la fórmula de Penman modificado por FAO.

FECHA	T ^o C max promedio	T ^o min promedio	T ^o C media	t pto. rocío	ea mbar (cuadro 36)	ed mbar (cuadro 37)	ea-ed mbar
09-15/2/90	25.31	14.23	19.77	15.63	23.08	17.79	5.29
16-22/2/90	25.87	13.73	19.80	13.37	23.12	15.37	7.75
23-01/3/90	22.5	12.04	17.27	11.00	19.72	13.15	6.57
02-08/3/90	26.04	14.68	20.36	13.74	23.94	15.74	8.20
09-15/3/90	26.07	14.67	20.37	13.70	23.96	15.70	8.26
16-22/3/90	25.90	13.76	19.83	12.76	23.16	14.76	8.40
23-29/3/90	25.73	14.46	20.10	13.11	23.55	15.11	8.44
30-05/4/90	29.10	16.44	22.77	16.54	27.71	18.85	8.86
06-12/4/90	27.40	16.37	21.88	15.10	26.22	17.21	9.01
13-19/4/90	27.03	16.03	21.53	14.47	25.70	16.52	9.18
20-26/4/90	26.70	14.88	20.79	14.04	24.58	16.04	8.54
27-03/5/90	28.17	16.98	22.58	16.54	27.39	18.85	8.54
04-10/5/90	27.10	16.87	21.98	15.44	26.37	17.58	8.79

Continúa.

Continuación

Cuadro 30.

Semana número	viento Km/día (cuadro 38)	f(u) (cuadro 39)	(1-w) (cuadro 40)	(w) (cuadro 41)	Ra mm/día (cuadro 42)	N (horas) (cuadro 43)
1	337.62	1.18	0.28	0.72	13.52	11.6
2	339.99	1.19	0.28	0.72	12.52	11.6
3	539.36	1.73	0.31	0.69	13.52	11.6
4	383.40	1.30	0.28	0.72	14.85	12.0
5	467.13	1.53	0.28	0.72	14.85	12.0
6	491.75	1.59	0.28	0.72	14.85	12.0
7	438.85	1.46	0.28	0.72	14.85	12.0
8	363.52	1.25	0.25	0.75	15.65	12.5
9	464.39	1.52	0.26	0.74	15.65	12.5
10	412.77	1.38	0.26	0.74	15.65	12.5
11	374.10	1.29	0.27	0.73	15.65	12.5
12	341.64	1.19	0.25	0.75	15.65	12.5
13	288.92	1.05	0.26	0.74	15.90	12.8

Cont inúa.

Continuación

Cuadro 30.

semana número	n (horas)	n/N	Rs mm/día	C (cuadro 44)	f(t) (cuadro 45)	f(ed) (cuadro 45)	f(n/N) (cuadro 47)
1	8.26	0.71	8.18	0.45	14.60	0.150	0.74
2	8.23	0.71	8.18	0.45	14.60	0.170	0.74
3	8.11	0.70	8.11	0.45	14.00	0.185	0.73
4	7.73	0.64	8.46	0.43	14.60	0.160	0.68
5	9.38	0.78	9.50	0.49	14.60	0.160	0.80
6	9.08	0.76	9.36	0.47	14.60	0.170	0.79
7	8.67	0.72	9.06	0.45	14.60	0.170	0.75
8	8.90	0.71	9.47	0.45	15.20	0.145	0.74
9	8.78	0.70	9.39	0.45	15.00	0.155	0.73
10	7.11	0.57	8.37	0.49	14.90	0.160	0.62
11	6.91	0.55	8.22	0.39	14.80	0.160	0.60
12	7.51	0.60	8.61	0.41	15.20	0.145	0.64
13	7.10	0.55	8.35	0.39	15.00	0.150	0.60

Continúa.

Continuación

Cuadro 30.

Semana número	Rns mm/día	Rnl mm/día	Rn mm/día	RH max %	U día m/seg.	U noche m/seg.	$\frac{U \text{ día}}{U \text{ noche}}$	Factor (c) (Cuadro 48)	Eto mm/día
1	6.08	1.62	4.46	98.71	5.55	4.67	1.19	0.93	4.72
2	6.08	1.84	4.24	98.43	5.18	3.22	1.61	0.99	5.58
3	6.08	1.89	4.19	97.0	8.21	7.75	1.06	0.85	5.45
4	6.38	1.59	4.79	98.71	5.84	5.12	1.14	0.96	6.18
5	7.28	1.87	5.41	98.71	7.11	6.07	1.17	0.95	7.06
6	6.98	1.96	5.02	98.0	7.49	6.43	1.16	0.94	6.91
7	6.68	1.86	4.82	98.43	6.68	5.82	1.15	0.95	6.57
8	7.04	1.63	5.41	98.28	5.54	3.05	1.82	1.06	7.24
9	7.04	1.70	5.34	98.43	7.07	5.48	1.29	0.96	7.21
10	6.26	1.48	4.78	98.14	6.29	5.98	1.05	0.91	6.22
11	6.10	1.42	4.68	98.14	5.70	4.90	1.16	0.94	6.01
12	6.42	1.41	5.01	98.57	5.20	2.43	2.14	1.05	6.61
13	6.20	1.35	4.85	98.57	4.40	3.60	1.22	0.98	5.87

Continúa.

Continuación

Cuadro 30.

Semana número	Kc	Et (cultivo) mm/día
1	0.57	2.69
2	0.58	3.24
3	0.61	3.32
4	0.66	4.08
5	0.74	5.22
6	0.85	5.87
7	0.94	6.18
8	0.99	7.17
9	1.10	7.93
10	1.00	6.22
11	0.98	5.89
12	0.92	6.08
13	0.80	4.70

Cuadro 31. Cálculo de la evapotranspiración semanal y total por la fórmula de Blaney-Criddle modificado por FAO.

Fecha	Semana o fracción	t ^o c	P % (Cuadro 49)	f (mm/día)	HR% min	n (horas)
09-15/2/90	1	19.77	0.26	4.48	40.00(med)*	8.26
16-22/2/90	1	19.80	0.26	4.28	31.28(med)	8.23
23-01/3/90	1	17.27	0.26	4.18	45.28(med)	8.11
02-08/3/90	1	20.36	0.27	4.72	38.57(med)	7.73
09-15/3/90	1	20.37	0.27	4.72	36.14(med)	9.38
16-22/3/90	1	19.83	0.27	4.66	37.71(med)	9.08
23-29/3/90	1	20.10	0.27	4.69	38.14(med)	8.67
30-05/4/90	1	22.77	0.28	5.21	34.14(med)	8.90
06-12/4/90	1	21.88	0.28	5.09	34.43(med)	8.78
13-19/4/90	1	21.53	0.28	5.05	36.57(med)	7.11
20-26/4/90	1	20.79	0.28	4.95	40.43(med)	6.91
27-03/5/90	1	22.58	0.28	5.18	37.86(med)	7.51
04-10/5/90	1	21.98	0.29	5.29	38.43(med)	7.10

* Condiciones de humedad relativa mínima utilizada para la predicción de la Eto a partir del factor f de Blaney-Criddle (fig. 9 del apéndice).

Continúa.

Continuación

Cuadro 31.

Semana número	N (cuadro 43)	n/N	viento (m/seg)	Eto (mm/día)	Kc	Et (cultivo) mm/día
1	11.60	0.71(med)*	5.55 (3)*	5.20	0.54	2.81
2	11.60	0.71(med)	5.18 (3)	5.20	0.56	2.91
3	11.60	0.70(med)	8.21 (3)	4.70	0.60	2.82
4	12.0	0.64(med)	5.84 (3)	5.40	0.55	3.51
5	12.0	0.78(med)	7.11 (3)	5.40	0.72	3.89
6	12.0	0.76(med)	7.49 (3)	5.30	0.82	4.35
7	12.0	0.72(med)	6.68 (3)	5.35	0.92	4.92
8	12.5	0.71(med)	5.54 (3)	6.30	0.93	6.17
9	12.5	0.70(med)	7.07 (3)	6.10	1.10	6.71
10	12.5	0.57(bajo)	6.29 (3)	6.00	1.18	7.08
11	12.5	0.55(bajo)	5.70 (3)	5.90	0.97	5.72
12	12.5	0.60(med)	5.20 (3)	6.20	0.90	5.58
13	12.8	0.55(bajo)	4.40 (2)	5.70	0.78	4.45

* Condiciones de horas de insolación diarias y vientos diurnos utilizadas para la predicción de la Eto a partir del factor f de Blaney-Criddle (fig. 9 del apéndice).

Cuadro 32. Valores de tasa de evapotranspiración semanal y total en milímetros para los diferentes tratamientos, Penman y Blaney-Criddle modificados por FAO, y evaporación de tanque.

Fecha	F-8	F-12	F-16	F-20	F-24	PENMAN	BLANEY-CRIDDLE	TANQUE
09-15/2/90	9.80	9.80	9.80	9.80	9.80	18.83	19.67	30.80
16-22/2/90	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	22.68	20.37	32.90
23-01/3/90	20.06	20.06	20.06	20.06	20.06	23.24	19.74	35.00
02-08/3/90	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	28.55	24.57	36.10
09-15/3/90	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	36.54	27.23	39.8
16-22/3/90	21.44	15.63	12.21	10.60	8.40	41.90	30.45	43.7
23-29/3/90	13.30	18.02	13.73	11.49	8.92	43.26	34.44	38.2
30-05/4/90	19.08	15.98	13.66	13.10	8.93	50.19	43.19	36.8
06-12/4/90	23.60	15.36	13.65	17.12	11.55	55.51	46.97	38.8
13-19/4/90	24.87	15.11	15.75	17.11	12.60	43.54	49.56	40.8
20-26/4/90	26.37	16.98	17.32	21.22	12.60	41.23	40.04	31.3
27-03/5/90	26.73	15.68	15.58	18.58	11.33	42.56	39.06	29.5
04-10/5/90	22.22	12.44	11.20	18.58	9.22	32.90	31.15	32.2
TOTAL	244.47	192.06	179.96	194.66	150.41	480.13	426.44	466.00

Cuadro 33. Coeficientes de determinación " r^2 " de evapotranspiración semanal de los tratamientos contra fórmulas de Penman y Blaney-Criddle modificados por FAO.

TRATAMIENTOS	FORMULA	r_c^2	r_t^2
F-8	Penman	0.381	0.64
	Blaney-Criddle	0.512	0.64
F-12	Penman	0.217	0.64
	Blaney-Criddle	0.127	0.64
F-16	Penman	0.058	0.64
	Blaney-Criddle	0.076	0.64
F-20	Penman	0.071	0.64
	Blaney-Criddle	0.161	0.64
F-24	Penman	0.062	0.64
	Blaney-Criddle	0.043	0.64

$$r_t^2 \text{ (11 G.L., 0.01) } = 0.64$$

Cuadro 34. Relación entre evapotranspiración semanal de los tratamientos y evaporación semanal del tanque evaporímetro (Et/Ev).

FECHA	TRATAMIENTOS				
	F-8	F-12	F-16	F-20	F-24
	Et/Ev	Et/Ev	Et/Ev	Et/Ev	Et/Ev
09-15/2/90	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
16-22/2/90	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
23-01/3/90	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
02-08/3/90	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
09-15/3/90	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
16-22/3/90	0.49	0.36	0.28	0.24	0.19
23-29/3/90	0.35	0.47	0.36	0.30	0.23
30-05/4/90	0.52	0.43	0.38	0.36	0.24
06-12/4/90	0.61	0.40	0.35	0.44	0.30
13-19/4/90	0.61	0.37	0.39	0.42	0.31
20-26/4/90	0.84	0.54	0.55	0.78	0.40
27-03/5/90	0.91	0.53	0.53	0.63	0.38
04-10/5/90	0.69	0.38	0.35	0.58	0.28

Cuadro 35. PRESION SATURANTE DEL VAPOR ea EN mbar EN FUNCION DE LA TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE t EN °C

Temperatura °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
ea mbar	6.1	6.6	7.1	7.6	8.1	8.7	9.4	10.0	10.7	11.5	12.3	13.1	14.0	15.0	16.1	17.0	18.2	19.4	20.6	22.0

Temperatura °C	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
ea mbar	23.4	24.9	26.4	28.1	29.8	31.7	33.6	35.7	37.8*	40.1	42.4	44.9	47.6	50.3	53.2	56.2	59.4	62.8	66.3	69.9

Cuadro 36. PRESION DEL VAPOR ed CALCULADA A PARTIR DE LA TEMPERATURA EN EL PUNTO DE ROCIO

temp °C	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
ed mbar	6.1	7.1	8.1	9.3	10.7	12.3	14.0	16.0	18.2*	20.5	23.4	26.4	29.8	33.6	37.8	42.4	47.5	53.2	59.4	66.3	73.8

Cuadro 37. Factores para corregir la velocidad del viento en alturas superiores o inferiores a 2 metros.

Altura de Medición, m	Factor de Corrección
0.50	1.35
1.00	1.15
1.50	1.06
2.00	1.00
3.00	0.93
4.00	0.88
5.00	0.85
6.00	0.83
10.00	0.77
11.00	0.76

Cuadro 38. VALORES DE LA FUNCION DEL VIENTO $f(u) = 0,27 (1 + \frac{u^2}{100})$
 PARA UNA VELOCIDAD DEL VIENTO A UNA ALTURA DE 2m EN KM/DIA

Wind in km/day	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	-	.30	.32	.35	.38	.41	.43	.46	.49	.51
100	.54	.57	.59	.62	.65	.67	.70	.73	.76	.78
200	.81	.84	.86	.89*	.92	.94	.97	1.00	1.03	1.05
300	1.08	1.11	1.13	1.16	1.19	1.21	1.24	1.27	1.30	1.32
400	1.35	1.38	1.40	1.43	1.46	1.39	1.51	1.54	1.57	1.59
500	1.62	1.65	1.67	1.70	1.73	1.76	1.78	1.81	1.84	1.80
600	1.89	1.92	1.94	1.97	2.00	2.02	2.05	2.08	2.11	2.15
700	2.16	2.19	2.21	2.24	2.27	2.29	2.32	2.35	2.33	2.40
800	2.43	2.46	2.48	2.51	2.54	2.56	2.59	2.62	2.65	2.65
900	2.70									

Cuadro 39. VALORES DEL FACTOR DE PONDERACION (1-W) PARA LOS EFECTOS DEL VIENTO Y DE LA HUMEDAD SOBRE LA ET_o A DIFERENTES TEMPERATURAS Y ALTIITUDES

Temperatura °C	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
(1-W) a una altitud de (en m) 0	0.57	.54	.51	.48	.45	.42	.39	.36	.34	.32	.29	.27	.25	.23*	.22	.20	.18	.17	.16	.15
500	.56	.52	.49	.46	.43	.45	.38	.35	.33	.30	.28	.26	.24	.22	.21	.19	.18	.16	.15	.14
1 000	.54	.51	.48	.45	.42	.39	.36	.34	.31	.29	.27	.25	.23	.21	.20	.18	.17	.15	.14	.13
2 000	.51	.48	.45	.42	.39	.36	.34	.31	.29	.27	.25	.23	.21	.19	.18	.16	.15	.14	.13	.12
3 000	.48	.45	.42	.39	.36	.34	.31	.29	.27	.25	.23	.21	.19	.18	.16	.15	.14	.13	.12	.11
4 000	.46	.42	.39	.36	.34	.31	.29	.27	.25	.23	.21	.19	.18	.16	.15	.14	.13	.12	.11	.10

Cuadro 40. VALORES DEL FACTOR DE PONDERACION W PARA LOS EFECTOS DE LA RADIACION SOBRE LA ET_o A DIFERENTES TEMPERATURAS Y ALTIITUDES

Temperatura °C	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
W a una altitud de (en m) 0	0.43	.46	.49	.52	.55	.58	.61	.64	.66	.68	.71	.73	.75	.77*	.78	.80	.82	.83	.84	.85
500	.44	.48	.51	.54	.57	.60	.62	.65	.67	.70	.72	.74	.76	.78	.79	.81	.82	.84	.85	.86
1 000	.46	.49	.52	.55	.58	.61	.64	.66	.69	.71	.73	.75	.77	.79	.80	.82	.83	.85	.86	.87
2 000	.49	.52	.55	.58	.61	.64	.66	.69	.71	.73	.75	.77	.79	.81	.82	.84	.85	.86	.87	.88
3 000	.52	.55	.58	.61	.64	.66	.69	.71	.73	.75	.77	.79	.81	.82	.84	.85	.86	.87	.88	.89
4 000	.54	.58	.61	.64	.66	.69	.71	.73	.75	.77	.79	.81	.82	.84	.85	.86	.87	.89	.90	.90

Cuadro 41.

LA RADIACION EXTRATERRESTRE R_0 EXPRESADA EN EQUIVALENTE DE EVAPORACION, EN MM/DIA

Hemisferio Norte												Lat	Hemisferio Sur											
En.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.		En.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
3.8	6.1	9.4	12.7	15.8	17.1	16.4	14.1	10.9	7.4	4.5	3.2	50°	17.5	14.7	10.9	7.0	4.2	3.1	3.5	5.5	8.9	12.9	16.5	18.2
4.3	6.6	9.8	13.0	15.9	17.2	16.5	14.3	11.2	7.8	5.0	3.7	48	17.6	14.9	11.2	7.5	4.7	3.5	4.0	6.0	9.3	13.2	16.6	18.2
4.9	7.1	10.2	13.3	16.0	17.2	16.6	14.5	11.5	8.3	5.5	4.3	46	17.7	15.1	11.5	7.9	5.2	4.0	4.4	6.5	9.7	13.4	16.7	18.3
5.3	7.6	10.6	13.7	16.1	17.2	16.6	14.7	11.9	8.7	6.0	4.7	44	17.8	15.3	11.9	8.4	5.7	4.4	4.9	6.9	10.2	13.7	16.7	18.3
5.9	8.1	11.0	14.0	16.2	17.3	16.7	15.0	12.2	9.1	6.5	5.2	42	17.8	15.5	12.2	8.8	6.1	4.9	5.4	7.4	10.6	14.0	16.8	18.3
6.4	8.6	11.4	14.3	16.4	17.3	16.7	15.2	12.5	9.6	7.0	5.7	40	17.9	15.7	12.5	9.2	6.6	5.3	5.9	7.9	11.0	14.2	16.9	18.3
6.9	9.0	11.8	14.5	16.4	17.2	16.7	15.3	12.8	10.0	7.5	6.1	38	17.9	15.8	12.8	9.6	7.1	5.8	6.3	8.3	11.4	14.4	17.0	18.3
7.4	9.4	12.1	14.7	16.4	17.2	16.7	15.4	13.1	10.6	8.0	6.6	36	17.9	16.0	13.2	10.1	7.5	6.3	6.8	8.8	11.7	14.6	17.0	18.2
7.9	9.8	12.4	14.8	16.5	17.1	16.8	15.5	13.4	10.8	8.5	7.2	34	17.8	16.1	13.5	10.5	8.0	6.8	7.2	9.2	12.0	14.9	17.1	18.2
8.3	10.2	12.8	15.0	16.5	17.0	16.8	15.6	13.6	11.2	9.0	7.8	32	17.8	16.2	13.8	10.9	8.5	7.3	7.7	9.6	12.4	15.1	17.2	18.1
8.8	10.7	13.1	15.2	16.5	17.0	16.8*	15.7	13.9	11.6	9.5	8.3	30	17.8	16.4	14.0	11.3	8.9	7.8	8.1	10.1	12.7	15.3	17.3	18.1
9.3	11.1	13.4	15.3	16.5	16.8	16.7	15.7	14.1	12.0	9.9	8.8	28	17.7	16.4	14.3	11.6	9.3	8.2	8.6	10.4	13.0	15.4	17.2	17.9
9.8	11.5	13.7	15.3	16.4	16.7	16.6	15.7	14.3	12.3	10.3	9.3	26	17.6	16.4	14.4	12.0	9.7	8.7	9.1	10.9	13.2	15.5	17.2	17.8
10.2	11.9	13.9	15.4	16.4	16.6	16.5	15.8	14.5	12.6	10.7	9.7	24	17.5	16.5	14.6	12.3	10.2	9.1	9.5	11.2	13.4	15.6	17.1	17.7
10.7	12.3	14.2	15.5	16.3	16.4	16.4	15.8	14.6	13.0	11.1	10.2	22	17.4	16.5	14.8	12.6	10.6	9.6	10.0	11.6	13.7	15.7	17.0	17.5
11.2	12.7	14.4	15.6	16.3	16.4	16.3	15.9	14.8	13.3	11.6	10.7	20	17.3	16.5	15.0	13.0	11.0	10.0	10.4	12.0	13.9	15.8	17.0	17.4
11.6	13.0	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.8	14.9	13.6	12.0	11.1	18	17.1	16.5	15.1	13.2	11.4	10.4	10.8	12.3	14.1	15.8	16.8	17.1
12.0	13.3	14.7	15.6	16.0	15.9	15.9	15.7	15.0	13.9	12.4	11.6	16	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.8	16.7	16.8
12.4	13.6	14.9	15.7	15.8	15.7	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12.0	14	16.7	16.4	15.3	13.7	12.1	11.2	11.6	12.9	14.5	15.8	16.5	16.6
12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	12.3	12.5	12	16.6	16.3	15.4	14.0	12.5	11.6	12.0	13.2	14.7	15.8	16.4	16.5
13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.6	12.9	10	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12.0	12.4	13.5	14.8	15.9	16.2	16.2
13.6	14.5	15.3	15.6	15.3	15.0	15.1	15.4	15.3	14.8	13.9	13.3	8	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16.0	16.0
13.9	14.8	15.4	15.4	15.1	14.7	14.9	15.2	15.3	15.0	14.2	13.7	6	15.8	16.0	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14.0	15.0	15.7	15.8	15.7
14.3	15.0	15.5	15.5	14.9	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.1	4	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.2	15.1	15.6	15.5	15.4
14.7	15.3	15.6	15.3	14.6	14.2	14.3	14.9	15.3	15.3	14.8	14.4	2	15.3	15.7	15.7	15.1	14.1	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.3	15.1
15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.3	0	15.0	15.2	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.5	15.4	15.1	14.8

Cuadro 42. DURACION MAXIMA DIARIA MEDIA DE LAS HORAS DE FUERTE
INSOLACION N EN DIFERENTES MESES Y LATITUDES

Lats. Norte	En.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Lats. Sur	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	En.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.
50°	8.5	10.1	11.8	13.8	15.4	16.3	15.9	14.5	12.7	10.3	9.1	8.1
48°	8.8	10.2	11.8	13.6	15.2	16.0	15.6	14.3	12.6	10.9	9.3	8.3
46°	9.1	10.4	11.9	13.5	14.9	15.7	15.4	14.2	12.6	10.9	9.5	8.7
44°	9.3	10.5	11.9	13.4	14.7	15.4	15.2	14.0	12.6	11.0	9.7	8.9
42°	9.4	10.6	11.9	13.4	14.6	15.2	14.9	13.9	12.9	11.1	9.8	9.1
40°	9.6	10.7	11.9	13.3	14.4	15.0	14.7	13.7	12.5	11.2	10.0	9.3
35°	10.1	11.0	11.9	13.1	14.0	14.5	14.3	13.5	12.4	11.3	10.3	9.8
30°	10.4	11.1	12.0	12.9	13.6	14.0	13.9*	13.2	12.4	11.5	10.6	10.2
25°	10.7	11.3	12.0	12.7	13.3	13.7	13.5	13.0	12.3	11.6	10.9	10.6
20°	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9
15°	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2
10°	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.8	11.5	11.5
5°	11.8	11.9	12.0	12.2	12.3	12.4	12.3	12.3	12.1	12.0	11.9	11.8
0°	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1

Cuadro 43. FACTOR DE CONVERSION DE LA RADIACION EXTRATERRESTRE EN RADIACION SOLAR NETA, R_{ns} , PARA UNA REFLEXION α DADA DE UN 25% Y DIFERENTES RELACIONES ENTRE LAS HORAS REALES DE INSOLACION Y LAS MAXIMAS POSIBLES $(1-\alpha) (0,25 + 0,50 n/N)$

n/N	0.0	.05	.10	.15	.20	.25	.30	.35	.40	.45	.50	.55	.60	.65	.70	.75	.80	.85	.90	.95	1.00
$(1-\alpha)(0.25 + 0.50 n/N)$	0.19	.21	.22	.24	.26	.28	.30	.32	.34	.36	.37	.39	.41	.43	.45	.47	.49*	.51	.52	.54	.56

Cuadro 44. CORRECCION PARA LA TEMPERATURA $f(t)$ CON RESPECTO A LA RADIACION DE ONDAS LARGAS R_{nl}

$t^{\circ}C$	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
$f(t) = \sigma T_k^4$	11.0	11.4	11.7	12.0	12.4	12.7	13.1	13.5	13.8	14.2	14.6	15.0	15.4	15.9	16.3*	16.7	17.2	17.7	18.1

Cuadro 45. CORRECCION PARA LA PRESION DEL VAPOR $f(ed)$ R_{nl} CON RESPECTO A LA RADIACION DE ONDAS LARGAS

ed mbar	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
$f(ed) = 0.34 - 0.044 \sqrt{ed}$.23	.22	.20	.19	.18	.16	.15	.14*	.13	.12	.12	.11	.10	.09	.08	.08	.07	.06

Cuadro 46. CORRECCION PARA LA RELACION ENTRE LAS HORAS REALES DE FUERTE INSOLACION Y LAS MAXIMAS POSIBLES $f(n/N)$ CON RESPECTO A LA RADIACION DE ONDAS LARGAS R_{nl}

n/N	0	.05	.1	.15	.2	.25	.3	.35	.4	.45	.5	.55	.6	.65	.7	.75	.8	.85	.9	.95	1.0
$f(n/N) = 0.1 + 0.9 n/N$.10	.15	.19	.24	.28	.33	.37	.42	.46	.51	.55	.60	.69	.73	.78	.82*	.87	.91	.96	1.00	

Cuadro 47.

Factor de corrección c en la ecuación de Penman

RS, mm/día	RH _{max} = 30 %				RH _{max} = 60 %				RH _{max} = 90 %			
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
Ud _{fa} /Unoch _e = 4.0												
0	.86	.90	1.00	1.00	.96	.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	.79	.84	.92	.97	.92	1.00	1.11	1.19	.99	1.10	1.27	1.32
6	.68	.77	.87	.93	.85	.96	1.11	1.19	.94	1.10	1.26	1.33
9	.55	.65	.78	.90	.76	.88	1.02	1.14	.88	1.01	1.16	1.27
Ud _{fa} /Unoch _e = 3.0												
0	.86	.90	1.00	1.00	.96	.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	.76	.81	.88	.94	.87	.96	1.06	1.12	.94	1.04	1.18	1.28
6	.61	.68	.81	.88	.77	.88	1.02	1.10	.86	1.01	1.15	1.22
9	.46	.56	.72	.82	.67	.79	.88	1.05	.78	.92	1.06	1.18
Ud _{fa} /Unoch _e = 2.0												
0	.86	.90	1.00	1.00	.96	.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	.69	.76	.85	.92	.83	.91	.99*	1.05*	.89	.98	1.10*	1.14
6	.53	.61	.74	.84	.70	.80	.94	1.02	.79	.92	1.05	1.12
9	.37	.48	.65	.76	.59	.70	.84	.95	.71	.81	.96	1.06
Ud _{fa} /Unoch _e = 1.0												
0	.86	.90	1.00	1.00	.96	.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	.64	.71	.82	.89	.78	.86	.94*	.99*	.85	.92	1.01*	1.05
6	.43	.53	.68	.79	.62	.70	.84	.93	.72	.82	.95	1.00
9	.27	.41	.59	.70	.50	.60	.75	.87	.62	.72	.87	.96

Cuadro 48. PORCENTAJE DIARIO MEDIO (p) DE HORAS DIURNAS ANUALES
A DIFERENTES LATITUDES

Latitud Norte Sur ^{1/}	En.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	En.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.
60°	.15	.20	.26	.32	.38	.41	.40	.34	.28	.22	.17	.13
58	.16	.21	.26	.32	.37	.40	.39	.34	.28	.23	.18	.15
56	.17	.21	.26	.32	.36	.39	.38	.33	.28	.23	.18	.16
54	.18	.22	.26	.31	.36	.38	.37	.33	.28	.23	.19	.17
52	.19	.22	.27	.31	.35	.37	.36	.33	.28	.24	.20	.17
50	.19	.23	.27	.31	.34	.36	.35	.32	.28	.24	.20	.18
48	.20	.23	.27	.31	.34	.36	.35	.32	.28	.24	.21	.19
46	.20	.23	.27	.30	.34	.35	.34	.32	.28	.24	.21	.20
44	.21	.24	.27	.30	.33	.35	.34	.31	.28	.25	.22	.20
42	.21	.24	.27	.30	.33	.34	.33	.31	.28	.25	.22	.21
40	.22	.24	.27	.30	.32	.34	.33	.31	.28	.25	.22	.21
35	.23	.25	.27	.29	.31	.32	.32	.30	.28	.25	.23	.22
30	.24	.25	.27	.29	.31	.32	.31*	.30	.28	.26	.24	.23
25	.24	.26	.27	.29	.30	.31	.31	.29	.28	.26	.25	.24
20	.25	.26	.27	.28	.29	.30	.30	.29	.28	.26	.25	.25
15	.26	.26	.27	.28	.29	.29	.29	.28	.28	.27	.26	.25
10	.26	.27	.27	.28	.28	.29	.29	.28	.28	.27	.26	.26
5	.27	.27	.27	.28	.28	.28	.28	.28	.28	.27	.27	.27
0	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27

^{1/} Latitudes Sur: aplicuense 6 meses de diferencia, según se indica.

Cuadro 49.

VALORES DEL FACTOR f DE BLANEY-CRIDDLE PARA DIFERENTES TEMPERATURAS Y PORCENTAJE DIARIO/DE HORAS DIURNAS ANUALES

$t^{\circ}\text{C}$	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
.14	1.1	1.3	1.4	1.5	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.2	3.3	3.5	3.6	3.7
.16	1.3	1.4	1.6	1.7	1.9	2.0	2.2	2.3	2.5	2.6	2.8	2.9	3.1	3.2	3.4	3.5	3.7	3.8	4.0	4.1	4.2
.18	1.5	1.6	1.8	2.0	2.1	2.3	2.5	2.6	2.8	3.0	3.1	3.3	3.5	3.6	3.8	3.9	4.1	4.3	4.4	4.6	4.8
.20	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	4.9	5.1	5.3
.22	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8
.24	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1	6.4
.26	2.1	2.4	2.6	2.8	3.1	3.3	3.5	3.8	4.0	4.3	4.5	4.7	5.0	5.2	5.5	5.7	5.9	6.2	6.4	6.7	6.9
.28	2.3	2.5	2.8	3.0	3.3	3.6	3.8	4.1	4.3	4.6	4.9	5.1	5.4	5.6	5.9	6.1	6.4	6.7	6.9	7.2	7.4
.30	2.4	2.7	3.0	3.3	3.5	3.8	4.1	4.4	4.6	4.9	5.2	5.5	5.8	6.0	6.3	6.6	6.9	7.1	7.4	7.7	8.0
.32	2.6	2.9	3.2	3.5	3.8	4.1	4.4	4.7	5.0	5.3	5.5	5.8	6.1	6.4	6.7*	7.0	7.3	7.6	7.9	8.2	8.5
.34	2.8	3.1	3.4	3.7	4.0	4.3	4.6	5.0	5.3	5.6	5.9	6.2	6.5	6.8	7.1	7.5	7.8	8.1	8.4	8.7	9.0
.36	2.9	3.3	3.6	3.9	4.3	4.6	4.9	5.2	5.6	5.9	6.2	6.6	6.9	7.2	7.6	7.9	8.2	8.6	8.9	9.2	9.6
.38	3.1	3.4	3.8	4.1	4.5	4.8	5.2	5.5	5.9	6.2	6.6	6.9	7.3	7.6	8.0	8.3	8.7	9.0	9.4	9.7	10.1
.40	3.3	3.6	4.0	4.4	4.7	5.1	5.5	5.8	6.2	6.6	6.9	7.3	7.7	8.0	8.4	8.8	9.1	9.5	9.9	10.2	10.6
.42	3.4	3.8	4.2	4.6	5.0	5.3	5.7	6.1	6.5	6.9	7.3	7.7	8.1	8.4	8.8	9.2	9.6	10.0	10.4	10.8	11.1

Cuadro 50.

COEFICIENTES DE CULTIVO, Kc CORRESPONDIENTES A CULTIVOS EXTENSIVOS Y DE HORTALIZAS EN DIFERENTES FASES DE SU CRECIMIENTO Y SEGUN LAS CONDICIONES CLIMATICAS PREDOMINANTES

Cultivo	Humedad		RH min > 70%		RH min < 20%	
	Viento (m/seg)		0-5	5-8	0-5	5-8
Todos los cultivos extensivos	Inicial	1	Utilícese la Figura No. 10 por interpolación			
	de desarrollo del cultivo	2				
Alcachofas (perennes, cultivadas limpias)	mediados	3	0.95	0.95	1.0	1.05
	recolección	4	0.9	0.9	0.95	1.0
Cebada		3	1.5	1.1	1.15	1.2
		4	0.25	0.25	0.2	0.2
Frijoles verdes		3	0.95	0.95	1.0	1.05
		4	0.85	0.85	0.9	0.9
Frijoles secos Leguminosas		3	1.05	1.1	1.15	1.2
		4	0.3	0.3	0.25	0.25
Remolachas (de mesa)		3	1.0	1.0	1.05	1.1
		4	0.9	0.9	0.95	1.0
Zanahorias		3	1.0	1.05	1.1	1.15
		4	0.7	0.75	0.8	0.85
Ricino		3	1.05	1.1	1.15	1.2
		4	0.5	0.5	0.5	0.5
Apio		3	1.0	1.05	1.1	1.15
		4	0.9	0.95	1.0	1.05
Maíz dulce		3	1.05	1.1	1.15	1.2
		4	0.95	1.0	1.05	1.1
Maíz (grano)		3	1.05	1.1	1.15	1.2
		4	0.55	0.55	0.6	0.6
Algodón		3	1.05	1.15	1.2	1.25
		4	0.65	0.65	0.65	0.7
Crucíferas (coles, coliflores, brécoles, coles de Bruselas)		3	0.95	1.0	1.05	1.1
		4	0.8	0.85	0.9	0.95
Pepino Fresco Cosechado a máquina		3	0.9	0.9	0.95	1.0
		4	0.7	0.7	0.75	0.8
		4	0.85	0.85	0.95	1.0

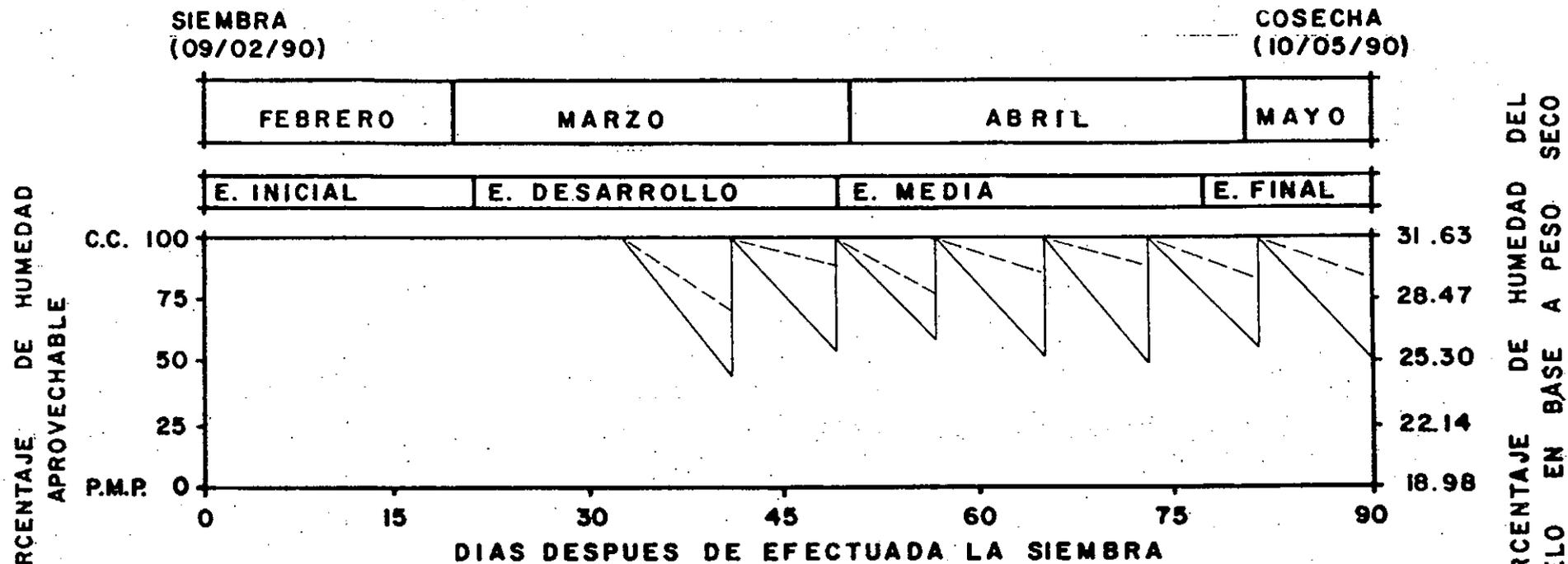


FIGURA 1 : Porcentaje de humedad aprovechable y porcentaje de humedad del suelo en base a peso seco para el tratamiento F- 8

——— ESTRATO 0-25 cm
 - - - - - ESTRATO 25-50 cm

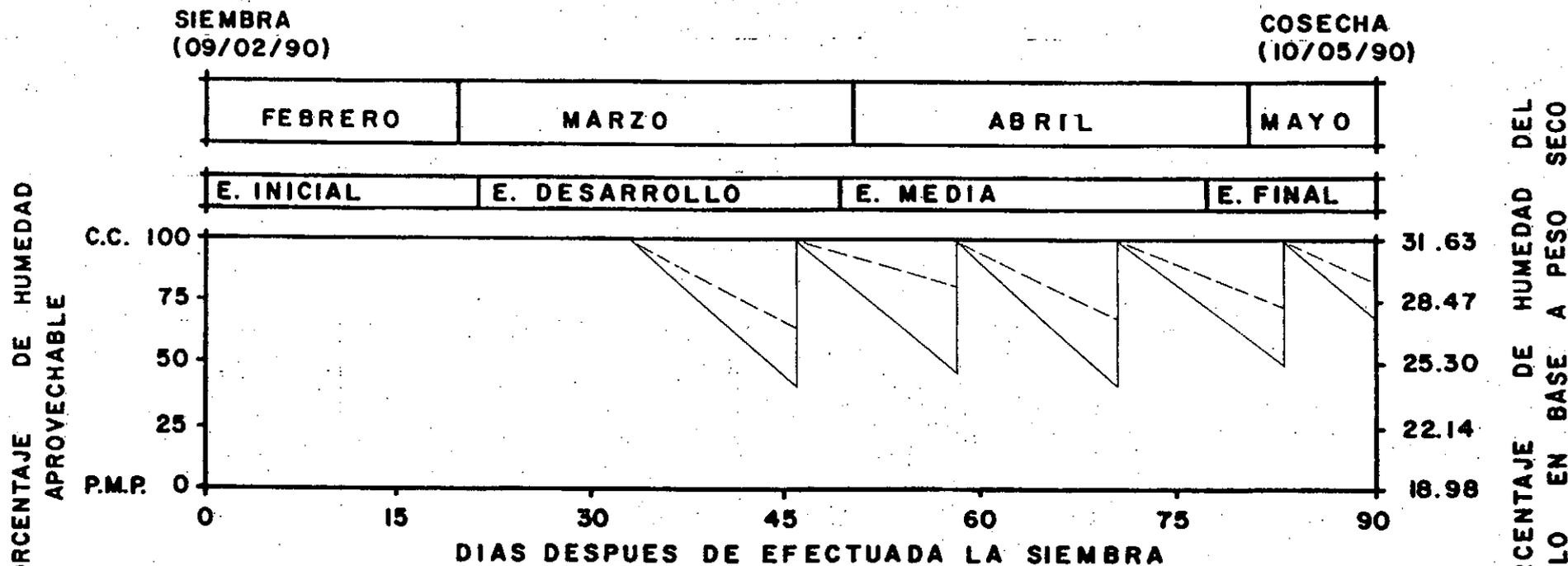


FIGURA 2 : Porcentaje de humedad aprovechable y porcentaje de humedad del suelo en base a peso seco para el tratamiento F- 12

———— ESTRATO 0-25 cm
 - - - - - ESTRATO 25-50 cm

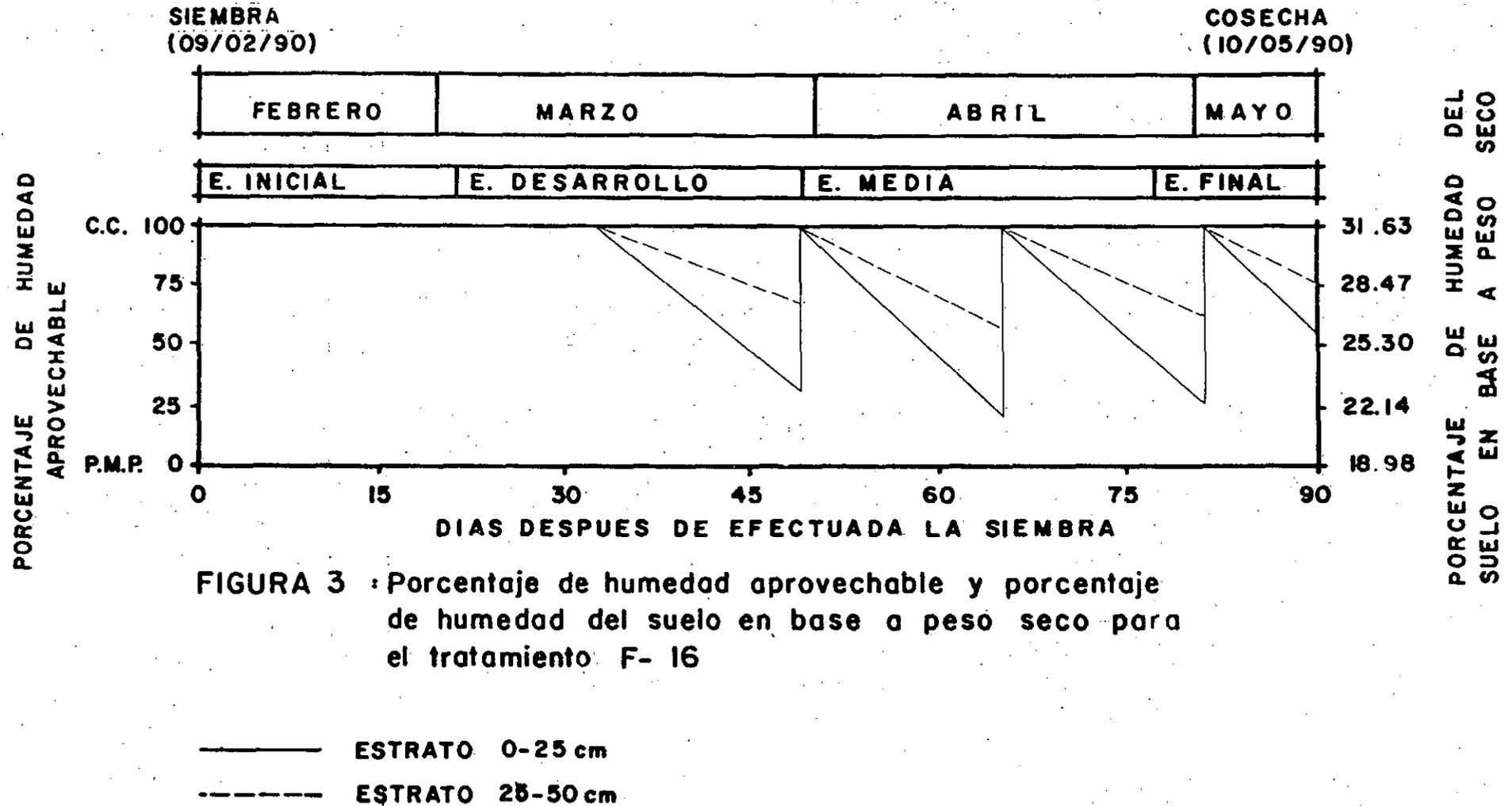


FIGURA 3 : Porcentaje de humedad aprovechable y porcentaje de humedad del suelo en base a peso seco para el tratamiento F- 16

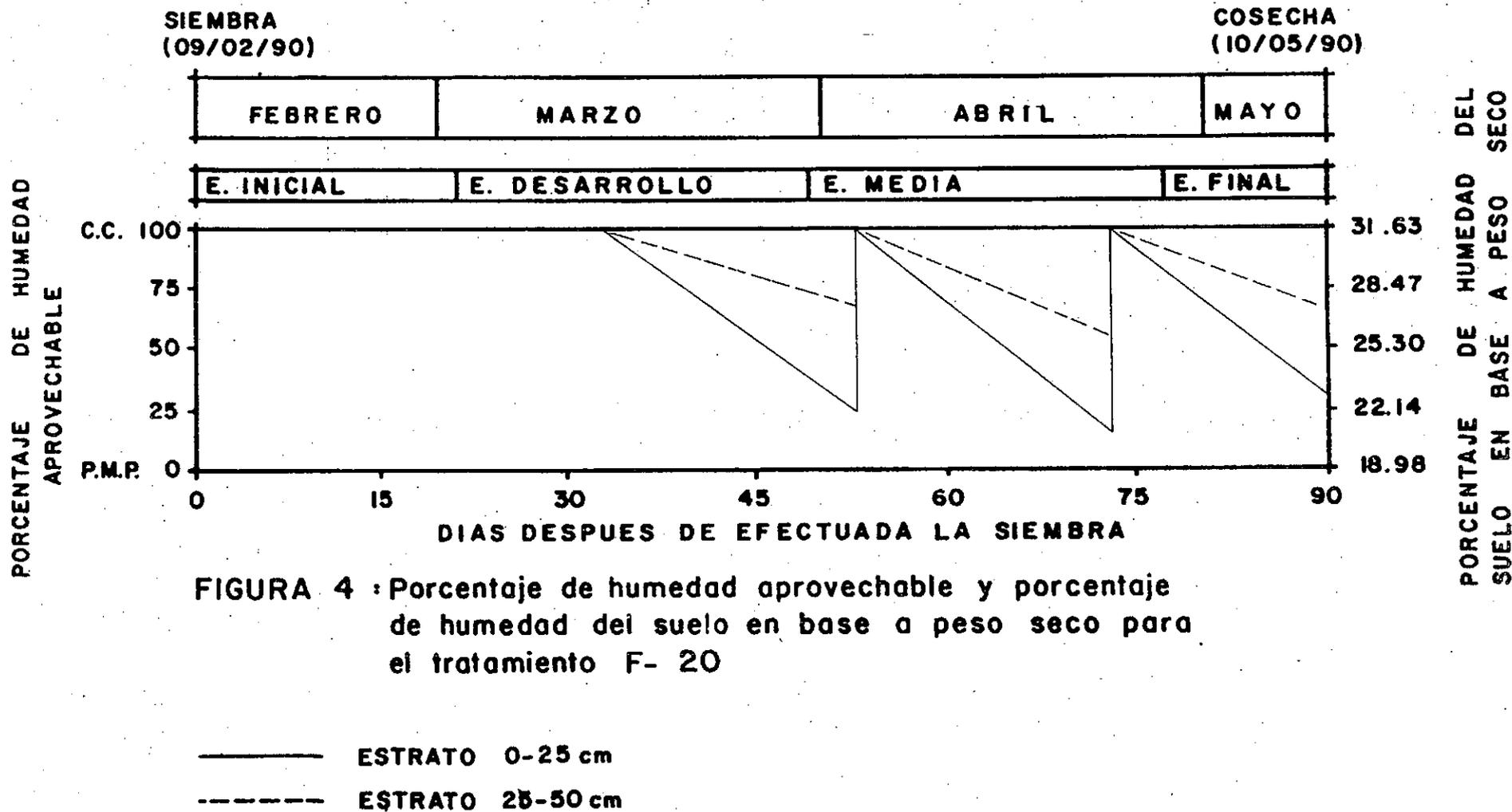


FIGURA 4 : Porcentaje de humedad aprovechable y porcentaje de humedad del suelo en base a peso seco para el tratamiento F- 20

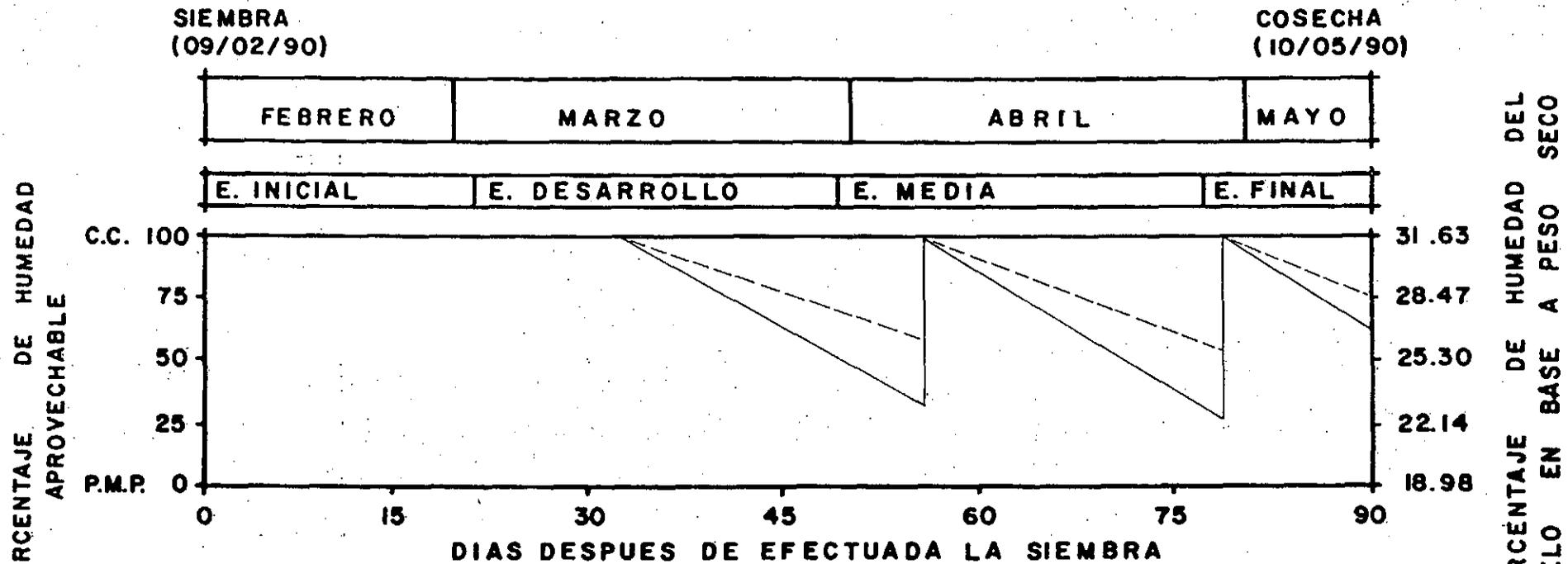


FIGURA 5 : Porcentaje de humedad aprovechable y porcentaje de humedad del suelo en base a peso seco para el tratamiento F-24

— ESTRATO 0-25 cm
 - - - ESTRATO 25-50 cm

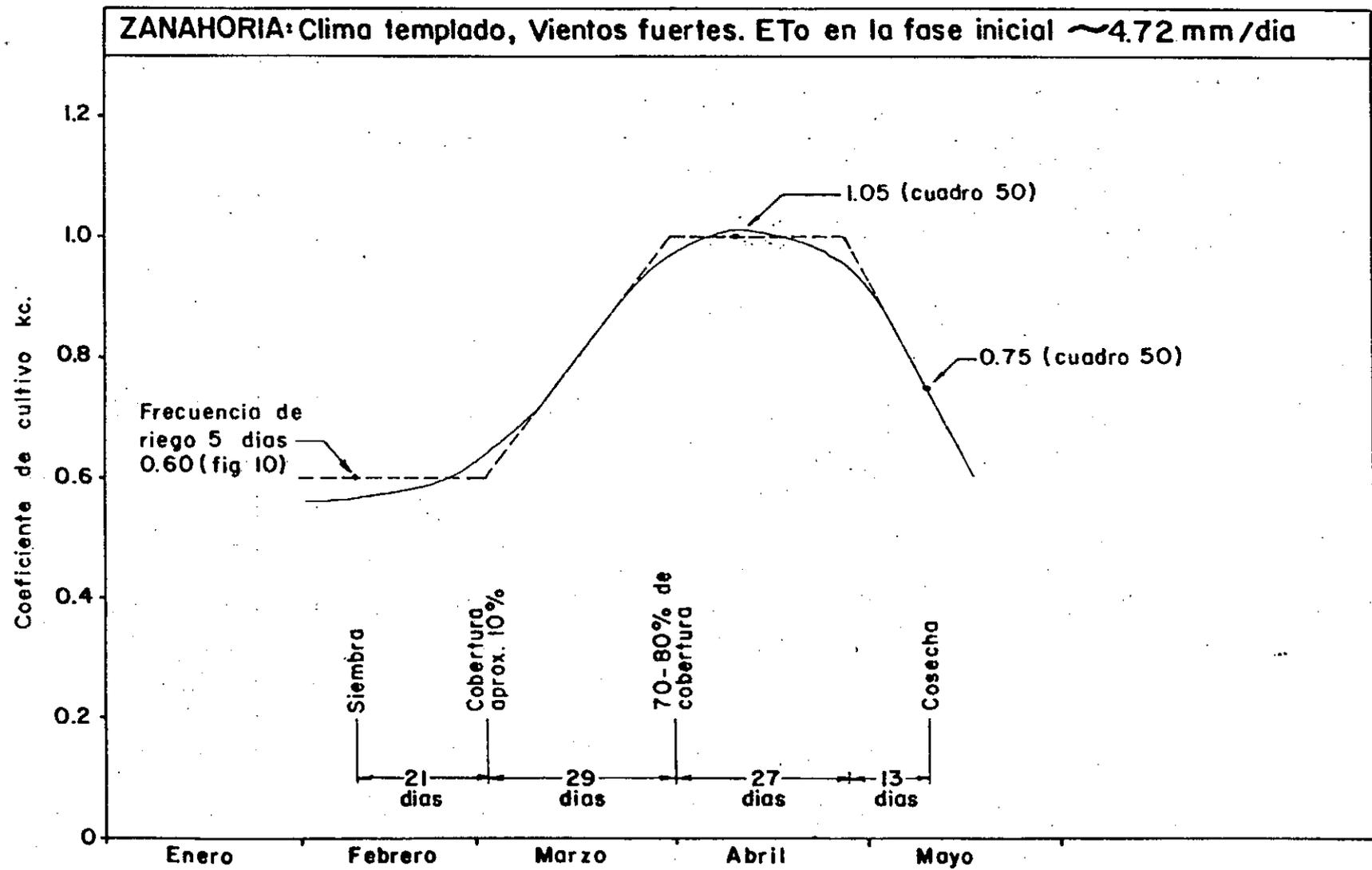


Figura 6 CURVA DE COEFICIENTE DEL CULTIVO (kc), PARA PENMAN (en caso de zanahoria)

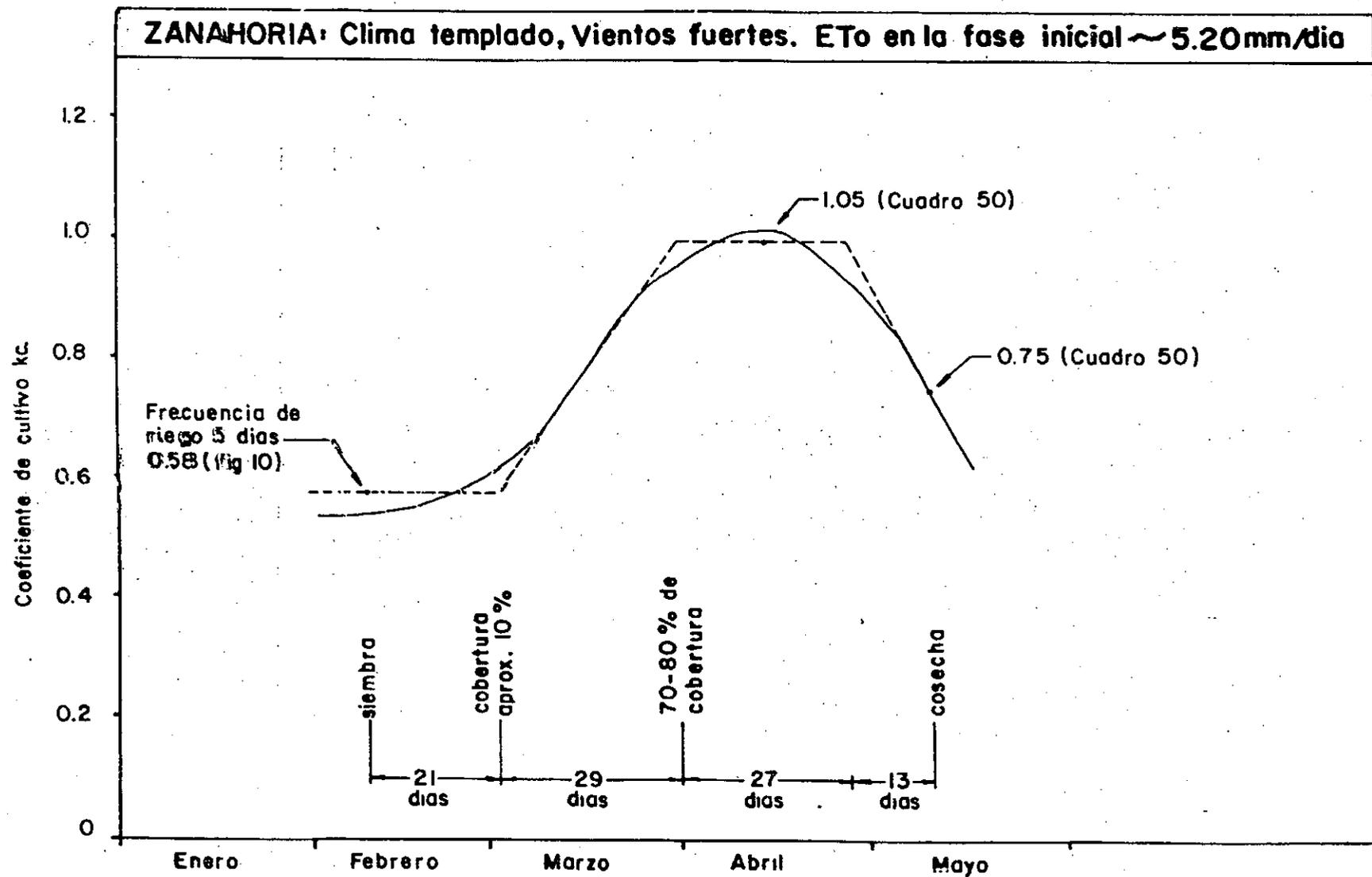


FIGURA 7. CURVA DE COEFICIENTE DEL CULTIVO (kc), PARA BLANEY-CRIDDLE (en caso de zanahoria)

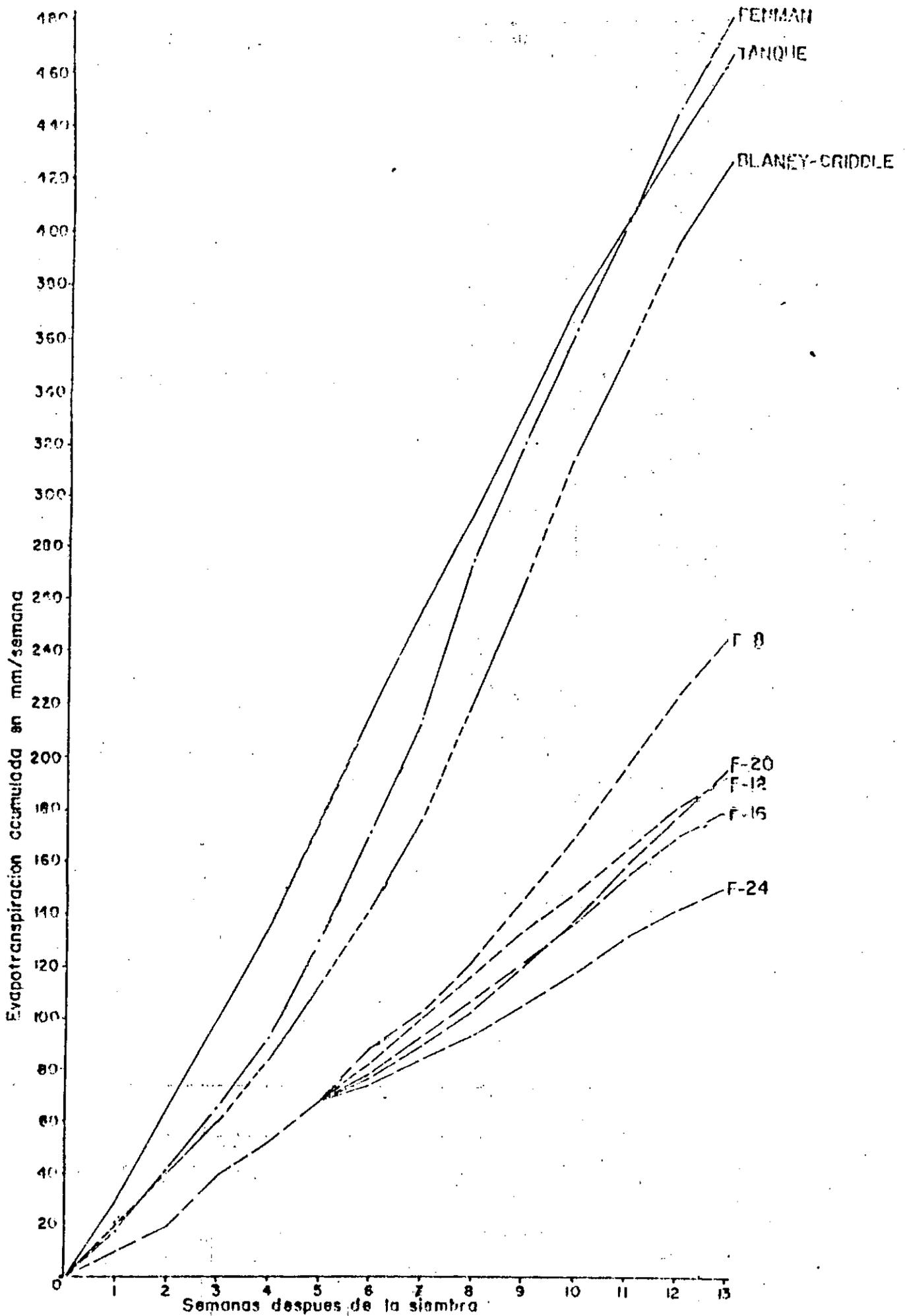


FIGURA 8 EVAPOTRANSPIRACION ACUMULADA DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS, PENMAN Y BLANEY-CRIDDLE MODIFICADO POR FAO Y EVAPORACION DE TANQUE

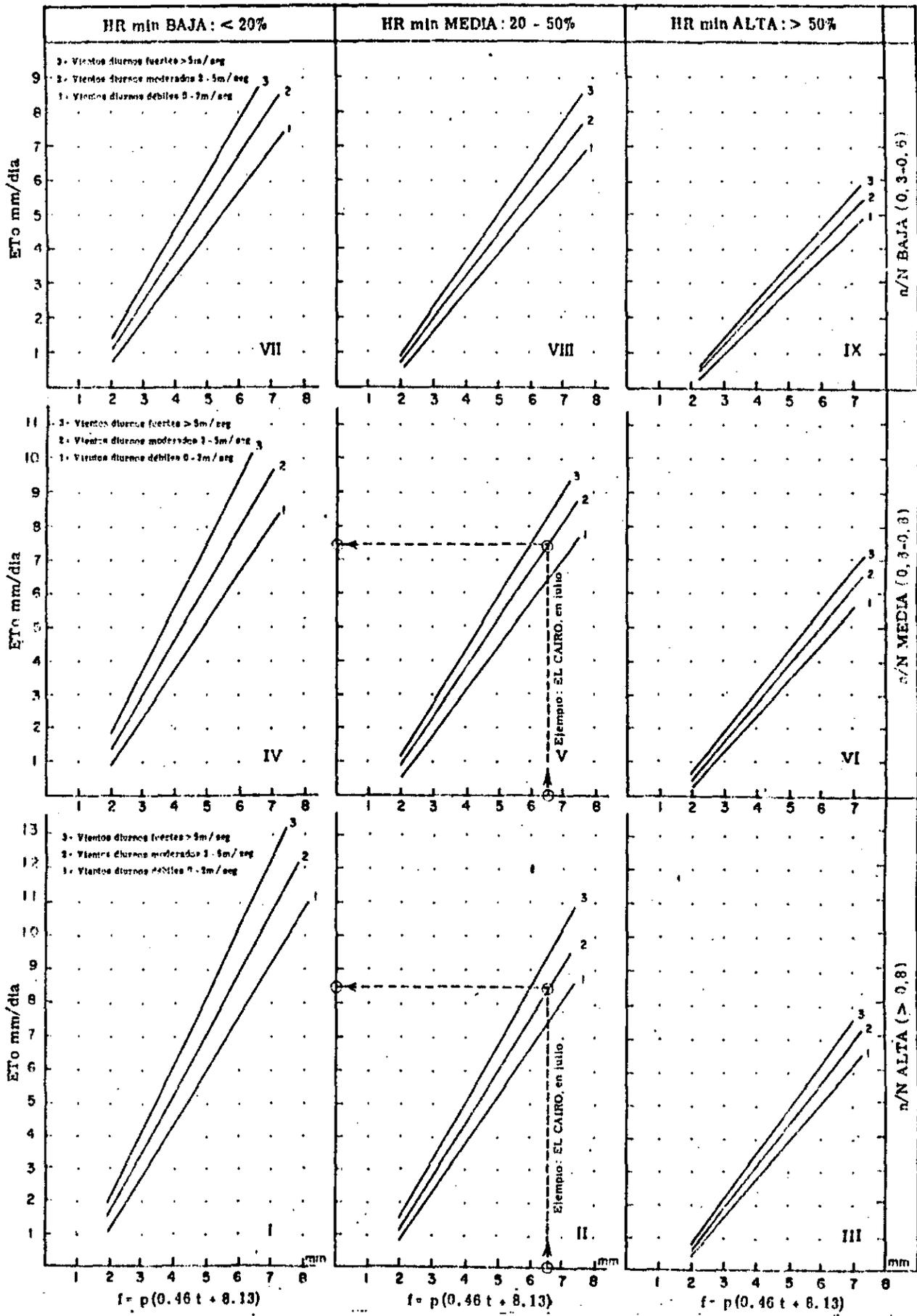


Fig. 9 Predicción de la ET₀ a partir del factor f de Blaney-Criddle, para diferentes condiciones de humedad relativa mínima, horas de insolación diarias y vientos diurnos.

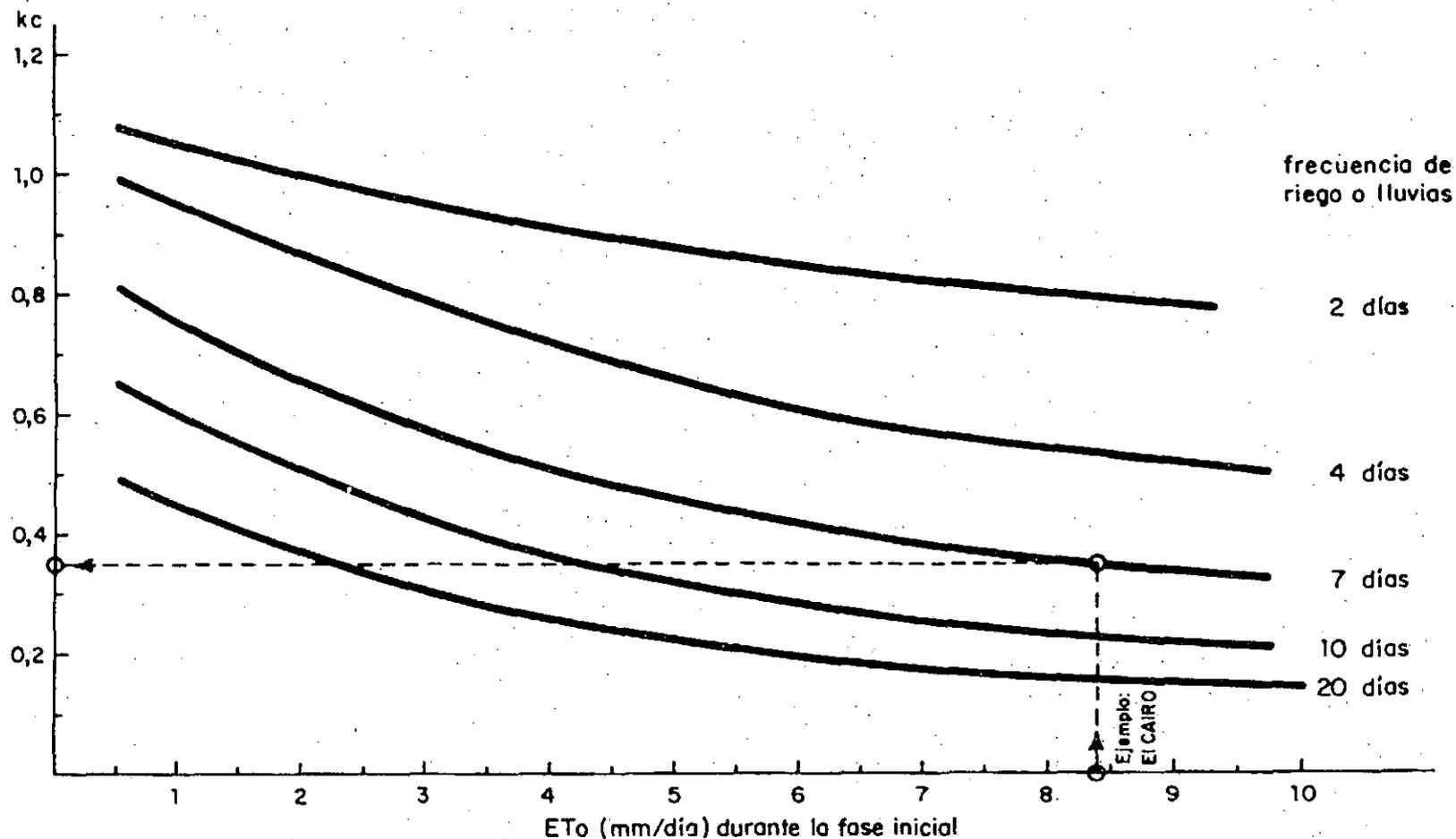
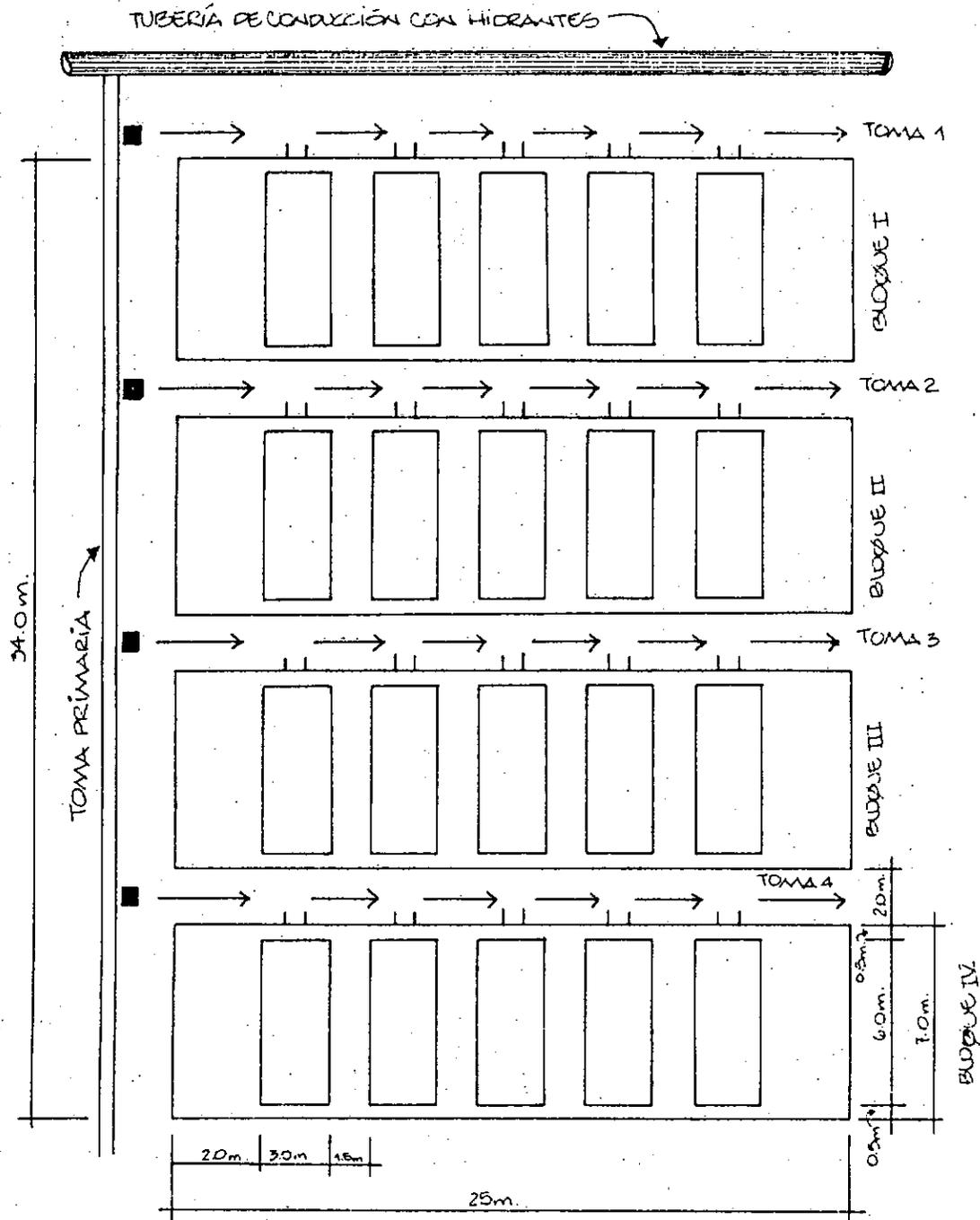


Fig. 10 kc medio en la fase inicial, en función del nivel medio de la ETo (durante la fase inicial) y la frecuencia de riego o de unas lluvias apreciables.

Figura 11. PLANO GENERAL DEL EXPERIMENTO.



ESCALA: 1:250

EJEMPLO 1.

CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION DEL CULTIVO DE REFERENCIA Eto PARA LA PRIMERA SEMANA DE MEDICION, POR LA FORMULA DE PENMAN MODIFICADO POR FAO.

1.1 Variables

Las variables que han de utilizarse para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo por la fórmula de Penman son las siguientes:

T^oCmax. promedio: Temperatura máxima promedio expresada en grados centígrados (dato obtenido de la estación meteorológica).

T^oCmin. promedio: Temperatura mínima promedio expresada en grados centígrados (dato obtenido de la estación meteorológica).

T^oC media: Temperatura media expresada en grados centígrados (se obtiene de la relación $T_{max} + T_{min}/2$).

t pto. rocío: Temperatura en el punto de rocío expresada en grados centígrados (dato obtenido de la estación meteorológica).

ea: Presión saturante del vapor expresada en milibares (se obtiene del cuadro 35 a partir de la temperatura media del aire).

ed: Presión del vapor expresada en milibares (se obtiene del cuadro 36 a partir de la temperatura en el punto de rocío).

Viento: Velocidad promedio del viento expresada en km/día (dato obtenido de la estación meteorológica), se corrige por un factor en función de la altura de medición superior o inferior a 2 metros (cuadro 37).

f(u): Función del viento a una altura de 2 metros, expresada en km/día (se obtiene del cuadro 38).

(1-W): Factor de ponderación para los efectos del viento y de la humedad sobre la evapotranspiración (se obtiene del cuadro 39 en base a temperatura y altitud).

(W): Factor de ponderación para los efectos de la radiación sobre la evapotranspiración (se obtiene del cuadro 40 en base a temperatura y altitud).

Ra: Radiación extraterrestre expresada en equivalente de evaporación en mm/día (se obtiene del cuadro 41 en base a mes y latitud).

N: Duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación (se obtiene del cuadro 42 en base a mes y latitud).

n: Horas de insolación media semanal (dato obtenido de la

estación meteorológica).

Rs: Radiación solar expresada en equivalente de evaporación en mm/día. Se obtiene de la relación $(0.25 + 0.50n/N)Ra$.

c: Factor de conversión de la radiación extraterrestre en radiación solar neta, Rns , para una reflexión dada de un 25% y diferentes relaciones entre las horas reales de insolación y las máximas posibles (se obtiene del cuadro 43 en base a la relación n/N).

f(t): Corrección para la temperatura con respecto a la radiación neta de ondas largas Rnl (se obtiene del cuadro 44 en base a la temperatura media).

f(ed): Corrección para la presión del vapor con respecto a la radiación de ondas largas, Rnl (se obtiene del cuadro 45 en base a la ed).

f(n/N): Corrección para la relación entre las horas reales de fuerte insolación y las máximas posibles con respecto a la radiación de ondas largas Rnl (se obtiene del cuadro 46 en base a n/N).

Rns: Factor de conversión de la radiación extraterrestre Ra en radiación solar neta Rns (se obtiene del producto $c \cdot Ra$).

Rnl: Radiación neta de ondas largas. Se obtiene del producto $f(t) \cdot f(ed) \cdot f(n/N)$.

Rn: Radiación neta expresada en equivalente de evaporación en mm/día (se obtiene de la diferencia $Rns - Rnl$).

RHmax: Humedad relativa máxima expresada en porcentaje (dato obtenido de la estación meteorológica).

U día: Velocidad diurna promedio del viento expresada en m/seg (dato obtenido de la estación meteorológica).

U noche: Velocidad promedio del viento durante la noche expresada en m/seg (dato obtenido de la estación meteorológica).

Factor (c): Factor de corrección para una ecuación de Penman determinada (se obtiene del cuadro 47 en base a humedad relativa máxima, radiación solar, velocidad diurna promedio del viento y la relación $U \text{ día}/U \text{ noche}$).

Eto: Evapotranspiración del cultivo de referencia. Está dado por la siguiente ecuación: $Eto = c[W \cdot Rn + (1-W) \cdot f(u) \cdot (ea - ed)]$.

Kc: Coeficiente del cultivo (zanahoria en este caso), se obtiene de la figura 6.

Et: Evapotranspiración del cultivo expresada en mm/día. Se obtiene del producto $Kc \cdot Eto$.

Continuación

Ejemplo 1.

1.2 Cálculos

a) Presión del vapor (ea - ed)

Datos: -tmax = 25.31
-tmin = 14.23
-t pto. rocío = 15.63
-t media = $25.31 + 14.23/2 = 19.77$
-ea = 23.08 (cuadro 35)
-ed = 17.97 (cuadro 36)
-(ea - ed) = 5.29

b) Función del viento

Datos: -Velocidad del viento a una altura de 11m = 479.76 km/día
-Factor de corrección del viento por altura = 0.76 (cuadro 37)
-Viento = $479.76 \cdot 0.76 = 364.62$ km/día
-f(u) = 1.26 (cuadro 38)

c) Factores de ponderación (1 - W) y (W)

Datos: -altitud = 1500m
-t media = 19.77°C
-(1 - W) = 0.28 (cuadro 39)
-(W) = 0.72 (cuadro 40)

d) Radiación solar

Datos: -mes = febrero
-latitud = 15°N
-Ra = 13.52 mm/día (cuadro 41)
-N = 11.6 horas (cuadro 42)
-n = 8.26 horas
-Rs = $(0.25 + 0.50n/N)Ra = 8.18$ mm/día

e) Radiación neta

Datos: -n/N = 0.71
-c = 0.45 (cuadro 43)
-f(t) = 14.60 (cuadro 44)
-f(ed) = 0.15 (cuadro 45)
-f(n/N) = 0.74 (cuadro 46)

$$\begin{aligned}
 -Rns &= c \cdot Ra = 6.08 \text{ mm/día} \\
 -Rn1 &= f(t) \cdot f(ed) \cdot f(n/N) = 1.62 \text{ mm/día} \\
 -Rn &= Rns - Rn1 = 4.46 \text{ mm/día}
 \end{aligned}$$

f) Factor de corrección (c) en la ecuación de Penman

Datos:

$$\begin{aligned}
 -Rs &= 8.18 \\
 -U \text{ día} &= 5.55 \text{ m/seg} \\
 -U \text{ noche} &= 4.67 \text{ m/seg} \\
 -U \text{ día/U noche} &= 1.19 \\
 -RH_{\max} &= 98.71\% \\
 -\text{Factor (c)} &= 0.93 \text{ (cuadro 47)}
 \end{aligned}$$

g) Cálculo de la Eto

Datos:

$$\begin{aligned}
 -Rn &= 4.46 \\
 -(1 - W) &= 0.28 \\
 -f(u) &= 1.26 \\
 -(ea - ed) &= 5.29 \\
 -Eto &= c[W \cdot Rn + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (ea - ed)] \\
 &= 4.72 \text{ mm/día}
 \end{aligned}$$

FORMULARIO DE CALCULO DEL METODO PENMAN

ET _o (cultivo de referencia) (Penman) = W.Rn + (1 - W f(u) (ea-ed)	
DATOS	País: Guatemala Lugar: USAC Latitud: 15° N Altitud: 1502 m Período: febrero-mayo 1990 Longitud: 90° O
t media = 19.77°C	ea mbar (36) ^{1/}
RH media =	RH/100 datos
o term. humedo (diferencial)	ed mbar cálc.
o t punto rocfo = 15.63	(37)
u ₂ = 337.62 km/d t = 19.77°C alt = 1502 m	(ea-ed) mbar cálc. 5.29
mes = febrero	f(u) (39) 1.18
lat. = 15° N	(1-W) (40) 0.28
n = 8.26	(1-W) f(u) (ea-ed) mm/día cálc. 1.74
mes = febrero	
lat. = 15° N	
α = 0.25	
Ra mm/día (42) 13.52	
n h/día datos 8.26	
N h/día (43) 11.60	
n/N cálc. 0.71	
(1-) (0.25+0.50 n/N) (44) 0.45	
Rns mm/día 6.08 ^{2/}	
t = 19.77°C	f(t) (45) 14.60
ed = 17.77 mbar	f(ed) (46) 0.15
n/N = 0.71	f(n/N) (0.47) 0.74
Rnl = f(t) . f(ed) . f(n/N) mm/día cálc. 1.62	
Rn = Rns - Rnl cálc. 4.46	
W (41) 0.72	
W . Rn cálc. 3.20	
c (43) 0.93	
U2, RH diurnos/noct.	ET _o = c [WRn + (1-W)f(u)(ea-ed)] mm/día 4.72

1/ Las cifras entre paréntesis remiten al cuadro de referencia

2/ Cuando se conocen los datos de R_s, R_{ns} = 0.75 R_s

EJEMPLO 2.

CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION DEL CULTIVO DE REFERENCIA Eto PARA LA PRIMERA SEMANA DE MEDICION, POR LA FORMULA DE BLANEY-CRIDDLE MODIFICADO POR FAO.

2.1 Parámetros de comparación

a) Humedad relativa mínima HRmin

Baja < 20%
Media 20 - 50%
Alta > 50%

b) Insolación (relación n/N)

Baja < 0.6
Media 0.6 - 0.8
Alta > 0.8

c) Viento

Ligero < 2 m/seg
Moderado 2 - 5 m/seg
Fuerte 5 - 8 m/seg
Muy fuerte > 8 m/seg

2.2 Variables que han de utilizarse para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo por la fórmula de Blaney-Criddle modificado por FAO

a) Datos obtenidos de la estación meteorológica

-T°Cmax
-T°Cmin
-HR %min
-n (horas de insolación media semanal)
-Velocidad del viento (m/seg)

b) Datos obtenidos por medio de cálculos

-T°C media = $T_{max} + T_{min}/2$
-n/N
-f = Factor que equivale a la relación: $P(0.46T + 8.13)$
Donde: P = Porcentaje diario medio de horas diurnas anuales.
T = T°C media

c) Datos obtenidos de cuadros del apéndice

-P = Porcentaje diario medio de horas diurnas anuales
(cuadro 48)

-N = Duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación (cuadro 42)

2.3 Cálculos

Datos: -latitud = 15°N
-altitud = 1500m
-mes = febrero
-T°C media = 19.77
-P% = 0.26 (cuadro 48)
-f = 4.48
-HR %min = media
-n/N = media
-viento = fuerte

Eto = 5.20 mm/día (figura 9, cuadro V, curva 3)

Para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo, el coeficiente Kc se obtiene de la figura 7 del apéndice y luego:

$$Et(\text{cultivo}) = Kc \cdot Eto$$

FORMULARIO DE CALCULOS EN EL METODO DE BLANEY-CRIDDLE

DATOS	País: Guatemala Lugar: USAC		Latitud: 15° N	Altitud: 1502 m
	Período: febrero-mayo 1990		Longitud: 90° O	
t media = 19.77°C	t media	datos	19.77	
latitud = 15° N	p	Cuadro 49	0.26	
	f	Cuadro 50	4.48	
RH (min) = 40%	estimación	med.		
n/N = 0.71	estimación	med.		
U ₂ diurnos = 5.5 m/seg	estimación	fuerte		
	Fig. 9	Recuadro y línea	V 3	
	Fig. 9		ETo	
			5.20	
			mm/día	



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

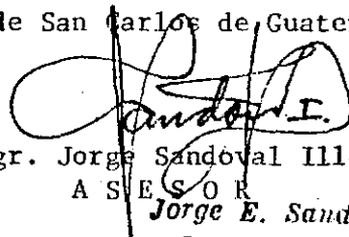
LA TESIS TITULADA: "MEDICION DE LA EVAPOTRANSPIRACION Y EVALUACION DE CINCO FRECUENCIAS DE RIEGO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ZANAHORIA (Daucus carota), EN EL VALLE CENTRAL DE GUATEMALA".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: LUIS GERARDO MOLINA MONTERROSO.

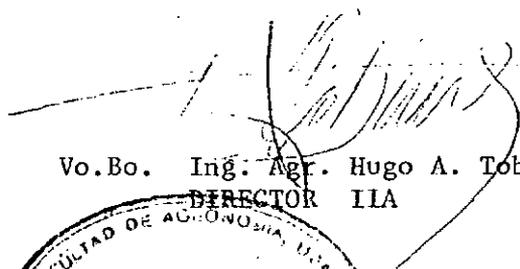
CARNET No. 83-10097

Ha sido evaluada por los siguientes profesionales: Ingenieros Agrónomos: David Juárez, Víctor Cabrera, Manuel Martínez y Víctor Hugo Méndez.

El Asesor y Autoridades de la Facultad de Agronomía hacen constar que ha cumplido con las normas universitarias y reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



Ing. Agr. Jorge Sandoval Illescas
 ASESOR
 Jorge E. Sandoval I.
 Ingeniero Agrónomo
 Colegado No. 320



Vo.Bo. Ing. Agr. Hugo A. Tobías
 DIRECTOR IIA



I M P R I M A S E:


 Ing. Agr. Aníbal Martínez
 DECANO



HT/dydea