



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica

**“PARAMETROS AGROMETEOROLOGICOS BASICOS
PARA REALIZAR CALCULOS DE NECESIDADES DE
AGUA EN LOS CULTIVOS”**

PROYECTO DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Realizado por:

Jorge Daniel Mora Vallejo

Guayaquil - Ecuador

1993

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Victor H. Gonzalez,
Director del Proyecto, y a
todos los que me ayudaron
directa o indirectamente en
la realización de este
trabajo.

DEDICATORIA

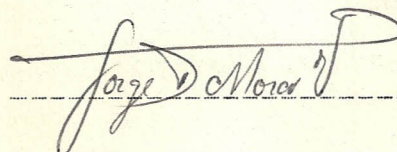
- A toda mi familia por
su constante apoyo

- De una manera especial
a mis padres y a mi
querida abuela, por sus
incontables sacrificios
y acertados consejos.

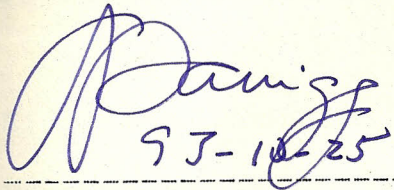
DECLARACION EXPRESA

" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este Proyecto de Grado me corresponde exclusivamente; y , el patrimonio intelectual del mismo a la Escuela Superior Politécnica del Litoral".

(Reglamento de Tópicos de Graduación).

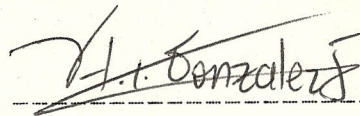
A handwritten signature in black ink, reading "Jorge Daniel Mora Vallejo". The signature is written in a cursive style with a large, stylized initial 'J' and 'M'. It is positioned above a horizontal dashed line.

JORGE DANIEL MORA VALLEJO


93-10-25

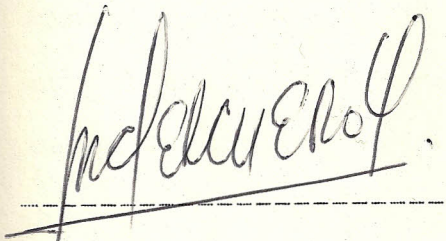
Dr. Alfredo Barriga

Decano
Facultad de Ingeniería
en Mecánica



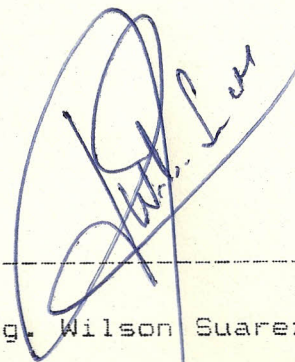
Ing. Victor H. Gonzalez

Director de
Proyecto de Grado



Ing. Manuel Helguero

Miembro del Tribunal
de Grado



Ing. Wilson Suarez

Miembro del Tribunal
de Grado

RESUMEN

El contenido de este informe comprende tres capítulos.

El primero dedicado a los fundamentos teóricos y cálculos basados en datos meteorológicos recogidos en estaciones alejadas del lugar de trabajo, es decir, fuera del Campus - Prosperina. Con este fin, y después de analizar diferentes métodos para calcular la evapotranspiración de referencia (Eto), se escoge el de Penman modificado propuesto por la F.A.O., se construyen las curvas de coeficiente de cultivo y finalmente se obtienen las dosis y frecuencias de riego correspondientes al pimiento, tomate y melón. Antes de revisar cada método se establece el criterio de selección de modo que no se detallan cálculos sino en el de Penman.

El segundo capítulo se dedica al análisis experimental ya que todos los cálculos anteriores son la parte puramente teórica, aunque tengan como base datos agrometeorológicos reales. Los resultados iniciales son contrastados con las mediciones experimentales hechas en el terreno.

El tercer capítulo contiene el análisis de resultados y en la parte final del trabajo (conclusiones y recomendacio -

nes) se incluyen sugerencias que permiten organizar los riegos para el mango.

INDICE GENERAL

	<u>PAG.</u>
Resumen	VI
Indice General	VIII
Indice de Figuras	X
Indice de Tablas	XII
Indice de Cuadros	XIV
Simbología	XVI
Introducción	18
 CAPITULO I	
LAS NECESIDADES DE AGUA EN LOS CULTIVOS	
1.1. Generalidades	20
1.2. Evapotranspiración y factores que la afectan ...	21
1.2.1. Métodos para calcular la evapotranspira- ción de referencia (Eto)	23
1.2.2. Cálculo de la Eto mediante el método de Penman modificado	28
1.3. Construcción de las curvas de coeficiente de Cultivo (kc) Para: melón, pimiento y tomate	44
1.4. Evapotranspiración máxima (Etm) para cada cultivo	55
1.5. Determinación de las dosis y frecuencias de riego	57
1.5.1. Profundidad neta de riego	57
1.5.2. Balance de agua del suelo	61

1.5.3. Tiempos de riego	65
CAPITULO II	
MEDICIONES EXPERIMENTALES Y AJUSTES	
2.1. Procedimientos recomendados y algunas indicaciones	79
2.2. Medición de la profundidad efectiva de extra - cción	80
2.3. Medición de la eficiencia del sistema	81
2.4. Medición de la humedad del suelo	83
2.5. Dosis y frecuencias de riego reales	88
CAPITULO III	
ANALISIS DE RESULTADOS	
3.1. Necesidades de riego	101
3.2. Captación hídrica de la planta para su desarrollo	102
3.3. Métodos usados y recomendados	103
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
APENDICE	107
BIBLIOGRAFIA	111

INDICE DE FIGURAS

Nº		PAG.
1	Kc MEDIO EN LA FASE INICIAL, EN FUNCION DEL NIVEL MEDIO DE LA E_{t0} (DURANTE LA FASE INICIAL Y LA FRECUENCIA DE RIEGO O DE UNAS LLUVIAS APRECIABLES (REF.1)	47
2	CURVA DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (kc) PARA PIMIENTO	50
3	CURVA DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (kc) PARA TOMATE	52
4	CURVA DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (kc) PARA MELON	54
5	PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL SUMINISTRO DE RIEGO	64
6	NECESIDADES DE SUMINISTRO PARA PIMIENTO	71
7	NECESIDADES DE SUMINISTRO PARA TOMATE	74
8	NECESIDADES DE SUMINISTRO PARA MELON	78
9	AGUJERO PRACTICADO JUNTO A LA ZONA MOJADA	86
10	DETERMINACION DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN BASE A SU APARIENCIA Y CONSISTENCIA	87
11	AJUSTES EN LAS NECESIDADES DE SUMINISTRO PARA PIMIENTO	89
12	AJUSTES EN LAS NECESIDADES DE SUMINISTRO PARA TOMATE	91
13	AJUSTES EN LAS NECESIDADES DE SUMINISTRO PARA	

	MELON	93
14	CURVA DE LAS NECESIDADES DE SUMINISTRO USANDO LAMINAS SEMANALES	95
15	COMPACTACION DEL TERRENO Y DESARROLLO RADICULAR.	102

INDICE DE TABLAS

Nº		PAG.
I	Eto PARA CADA MES DEL AÑO	43
II	Etm PARA PIMIENTO, TOMATE Y MELON	56
III	CALCULOS PARA EL SUMINISTRO DE RIEGO DEL PIMIENTO	70
IV	CALENDARIO DE RIEGOS PARA PIMIENTO	72
V	CALENDARIO PARA EL SUMINISTRO DE RIEGO DEL TOMATE	73
VI	CALENDARIO DE RIEGOS PARA TOMATE	75
VII	CALCULOS PARA SUMINISTRO DE RIEGO DEL MELON ...	76
VIII	CALENDARIO DE RIEGOS PARA MELON	78
IX	VALORES MEDIDOS DEL PARAMETRO D	80
X	VALORES ESTIMADOS DEL PARAMETRO RT	81
XI	VALORES MEDIDOS DE Qg	82
XII	VALORES MODIFICADOS DE Ea	83
XIII	MEDICIONES DE LA HUMEDAD DEL TERRENO	85
XIV	CALCULOS MODIFICADOS PARA EL SUMINISTRO DE RIEGO DEL PIMIENTO	88
XV	CALCULOS MODIFICADOS PARA EL SUMINISTRO DE RIEGO DEL TOMATE	90
XVI	CALCULOS MODIFICADOS PARA EL SUMINISTRO DE RIEGO DEL MELON	92
XVII	CALENDARIO DE RIEGOS RECOMENDADO PARA PIMIENTO.	96
XVIII	CALENDARIO DE RIEGOS RECOMENDADO PARA TOAMTE ..	97

XIII

XIX	CALENDARIO DE RIEGOS RECOMENDADO PARA MELON (PRIMERA SIEMBRA)	98
XX	CALENDARIO DE RIEGOS RECOMENDADO PARA MELON (SEGUNDA SIEMBRA)	99
XXI	COMPARACION DE CICLOS VEGETATIVOS Y REQUERIMIENTOS DE AGUA	100

INDICE DE CUADROS

Nº		PAG.
1	DATOS MINIMOS REQUERIDOS PARA CALCULAR E_{to} CON DIFERENTES METODOS (REF.1)	24
2	PRESION SATURANTE DEL VAPOR, e_a , (mbar) EN FUNCION DE LA TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE T_m EN °C (REF.1)	33
3	FACTORES PARA CORREGIR LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN ALTURAS SUPERIORES O INFERIORES A 2 m (REF.1)	34
4	VALORES DEL FACTOR DE PONDERACION (1-W) PARA LOS EFECTOS DEL VIENTO Y DE LA HUMEDAD SOBRE LA E_{to} A DIFERENTES TEMPERATURAS Y ALTITUDES (REF.1)	35
5	LA RADIACION EXTRATERRESTRE R_a EXPRESADA EN EQUIVALENTE DE EVAPORACION, EN mm/día (REF.1) ..	36
6	DURACION MAXIMA DIARIA MEDIA EN LAS HORAS DE FUERTE INSOLACION N. EN DIFERENTES MESES Y ALTITUDES (REF.1)	37
7	CORRECCION PARA LA TEMPERATURA $f(T)$ CON RESPECTO A LA RADIACION DE ONDAS LARGAS R_{nl} (REF.1)	38
8	CORRECCION PARA LA PRESION DEL VAPOR $f(e_d)$ CON RESPECTO A LA RADIACION DE ONDAS LARGAS R_{nl} (REF.1)	39
9	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 (REF.1)	40
10	FACTOR DE CORRECCION c_c , EN LA ECUACION DE PENMAN (REF.1)	41
11	COEFICIENTES DE CULTIVO k_c CORRESPONDIENTES A CULTIVOS EXTENSIVOS DE HORTALIZAS EN DIFERENTES FASES DE CRECIMIENTO Y SEGUN LAS CONDICIONES CLIMATICAS PREDOMINANTES (REF.1)	48
12	S_a , EN mm/m PARA DIFERENTES TEXTURAS DE SUELO (REF.2)	58
13	GRUPOS DE CULTIVOS DE ACUERDO CON EL AGOTAMIENTO DEL AGUA DEL SUELO (REF.2)	68
14	FRACCION DE AGOTAMIENTO DEL AGUA DEL SUELO (p) PARA GRUPOS DE CULTIVOS Y EVAPOTRANSPIRACION MAXIMA (E_{tm})	69

SIMBOLOGIA

F.A.O	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
Et	Evatranspiración
Eto	Evatranspiración de referencia (mm/día)
kc	Coeficiente del cultivo
Etm	Evatranspiración máxima de un cultivo (mm/día)
Eta	Evatranspiración real (mm/día)
Tmed	Temperatura media del aire (°C)
HRmin	Humedad relativa mínima (%)
HRmed	Humedad relativa media (%)
HRmax	Humedad relativa máxima (%)
V2	Viento total a 2 m de altura
n	Duración media real del tiempo de insolación
Kt	Nudos; 1 Kt = 1.853 km/hora
i	Intervalo entre riegos
dnt	Profundidad neta de riego
Sa	Agua total disponible en el suelo (mm/m)
Sfc	Capacidad de campo
Sw	Punto de marchitez
p	Fracción de Sa que puede agotarse sin que $Eta < Etm$ (%)
D	Profundidad efectiva de extracción (m)
Ea	Eficiencia

XVII

CU	Coeficiente de uniformidad (%)
RT	Razón de transpiración (%)
RL	Requisito de lavado o lixiviación (%)
Pe	Lluvia efectiva mensual (mm)
Ge	Contribución de las aguas subterráneas (mm)
Wb	Profundidad real del agua disponible del suelo en la profundidad de las raíces al comienzo del periodo vegetativo. (mm)
tr	tiempo de riego (hr)
Qg	caudal del gotero (l/hr)
Ri/Di	riego por día
Tot Mens	total mensual

INTRODUCCION

Toda la inversión de dinero que implica llevar a cabo un proyecto de riego puede perderse por un mal manejo de los recursos hídricos. Es importante entonces conocer de antemano el volúmen a utilizarse durante el período vegetativo. El uso eficiente del agua reduce costos e implica entre otras cosas conocer la cantidad necesaria para regar, porque el exceso produce un derroche y la escasez un bajo rendimiento.

El objetivo de esta investigación es determinar las frecuencias y láminas de riego para pimiento, tomate y melón, las mismas que se aplicarán en el módulo experimental de riego por goteo, ubicado en la Facultad de Ingeniería en Mecánica (Campus - Prosperina).

Se trata en definitiva de encontrar por cuanto tiempo y cada cuantos días debe regarse; para ello se deben conocer ciertos datos metereológicos tomados en el sitio, si es posible. Esta última condición rara vez se cumple, y de acuerdo con el objetivo arriba indicado se hacen mediciones experimentales de humedad contenida en el terreno (entre uno y otro riego) y no de los parámetros para hacer cálculos. En otras palabras se constata si la

dosis calculada es la necesaria o no, en vez de tomar datos para calcular evapotranspiración. Contiene este informe los resultados iniciales así como los ajustes necesarios de acuerdo a las mediciones experimentales hechas durante el desarrollo del proyecto.

CAPITULO I

LAS NECESIDADES DE AGUA EN LOS CULTIVOS

1.1. Generalidades

Las plantas al igual que todos los seres vivos requieren agua para vivir, y durante su etapa de crecimiento activo, estas contienen más agua que materia sólida. Gran parte del agua absorbida se mueve a través de la planta ingresa por las raíces y sale a la atmósfera por las hojas este proceso se llama transpiración. Por cada kilo de materia seca, encontramos en una planta de 5 a 10 kilos de agua; pero para producir ese kilo de materia seca la planta absorbió cientos de kilos de agua. La diferencia entre los 5 o 10 kilos y la cantidad absorbida es el agua perdida por la transpiración. Como la mayor parte del agua usada por la planta es suministrada a través del suelo, este debe estar húmedo; ocurre entonces junto con la transpiración un proceso de evaporación desde la superficie del suelo. Cuando la vegetación es densa la transpiración es mayor que la evaporación y viceversa; como ambos procesos son afectados por los mismos factores climáticos y como es muy difícil separlos cuantitativamente se los con-

sidera juntos bajo el nombre común de evapotranspiración.

El agua sirve como medio de transporte de las sustancias nutritivas necesarias para la planta. Estas se asimilan como iones o sales. El transporte de los iones puede requerir gasto de energía metabólica o sea que se necesite oxígeno, de allí la importancia de la aireación del suelo. La cantidad y tipo de iones y sales presentes en el agua de riego, puede afectar seriamente la producción de ciertos cultivos y alterar las condiciones físicas del suelo, como es el caso del Na que reduce la permeabilidad.

1.2. Evapotranspiración y factores que la afectan.

El proceso de pérdida de agua hacia la atmósfera del conjunto planta - suelo se conoce como evapotranspiración (Et.). El clima es uno de los factores más importantes que influyen en el volumen de agua perdido por Et. A parte del clima la Et de un cultivo, queda también determinada por el mismo cultivo y por sus características de crecimiento. El medio local, las características del suelo, plagas, fertilizantes, prácticas agrícolas y de riego, y otros factores pueden influir en el crecimiento de la planta y por consiguientes en la tasa de Et.

El nivel de Et está relacionado con la demanda

evaporativa del aire; esta demanda puede expresarse como la evapotranspiración de referencia (Eto) que, cuando se calcula, predice la influencia del clima sobre el nivel de evapotranspiración del cultivo;

" Eto representa la tasa de evapotranspiración de una superficie extensa de gramíneas verdes de 8 a 15 cm de altura, uniformes, de crecimiento activo, que sombrean totalmente el suelo y que no escasean en agua" (1).

Se emplean coeficientes de cultivo (kc) determinados empíricamente, para relacionar Eto con la evapotranspiración máxima del cultivo (Etm) cuando el suministro de agua atiende plenamente las necesidades de cultivo. El valor de kc depende del tipo de cultivo y su etapa de desarrollo, y en cierta medida de la velocidad del viento y la humedad. Para la mayoría de los cultivos el valor kc aumenta desde un valor reducido en el momento de la nascencia, alcanza un máximo durante el período en el que el cultivo llega a su pleno desarrollo, y declina a medida que madura el cultivo.

Para un clima determinado, y para un cultivo en esa etapa de desarrollo, la Etm en mm/día del período considerado es :

$$Etm = Eto * kc \quad (1)$$

El valor así calculado se refiere a las circunstancias en las que el agua es la conveniente para permitir un desarrollo sin limitaciones. " Etm representa la tasa de evapotranspiración máxima de un cultivo sano, que crece en grandes campos y en condiciones óptimas de ordenación agronómica y de riego" (2) .

Los datos meteorológicos para calcular Etm, deben recogerse preferentemente sino en el lugar de trabajo al menos dentro de una zona agrícola (bajo riego). Si los datos han sido recolectados en estaciones situadas en zonas secas, desnudas, en aeropuertos, o incluso sobre tejados los valores calculados, Etm deben corregirse ya que los datos no representan los distintos microclimas que se encuentran dentro de una zona de riego. Cuando los datos son confiables y obtenidos en un ambiente agrícola representativo, la predicción de Etm encierra de 10 a 20 % de error.

1.2.1. Métodos para calcular la Eto

Existen numerosos métodos para calcular la Eto pero los más conocidos son: el Blaney-Criddle, Radiación, Penman y Evaporímetro de cubeta.

" La elección del método viene determinada esencialmente por el tipo de datos climáticos

disponibles" (1). Se escoge este criterio, porque no resulta posible dar recomendaciones generales sobre cual de los numerosos métodos existentes para calcular la E_{to} debe utilizarse para unas condiciones concretas. Los métodos de Penman y de la radiación proporcionan resultados óptimos tratándose de periodos de 10 días. El método de la cubeta clase A puede venir en segundo lugar, aunque sus resultados pueden ser más exactos con un buen emplazamientos y la presencia de vientos débiles, < 2 m/s. En muchos climas deberá aplicarse de preferencia el método Blaney-Criddle para periodos de un mes o más. El cuadro siguiente expone los datos mínimos que se requieren para cada método.

CUADRO 1. DATOS MINIMOS REQUERIDOS PARA CALCULAR E_{to} CON DIFERENTES METODOS (REF.1)

METODO	TEMPERATURA	HUMEDAD	VIENTO	INSOLACION	RADIACION	EVAPORACION	CONDICIONES LOCALES
B.C.	‡	o	o	o			o
RADIACION	‡	o	o	‡	(‡)		o
PENMAN	‡	‡	‡	‡	(‡)		o
CUBETA CLASE A		o	o			‡	‡

‡ DATOS MEDIDOS

o DATOS ESTIMADOS

(‡) CUANDO PUEDE DISPONERSE DE ELLOS PERO NO SON INDISPENSABLES

El método de BLANEY - CRIDDLE es uno de los más usados para calcular necesidades de agua en un cultivo, y debe utilizarse solamente cuando los datos de temperatura sean los únicos datos meteorológicos concretos disponibles. La relación recomendada es:

$$f = p(0.46t + 8.13) \quad (2)$$

Donde: t es la temperatura promedio para el mes examinado

p es el porcentaje diario medio de horas diurnas anuales para una latitud determinada

f es el factor de B.C. en mm

El valor de E_{to} se determina a partir de f y con la ayuda de gráficos que muestran diferentes relaciones de n/N .

Se sugiere el método de la RADIACION en aquellas zonas en las que los datos climatológicos disponibles sean: bien de la insolación, la nubosidad o la radiación y de la temperatura del aire, aunque no hayan de los vientos ni de la humedad. Se puede medir directamente la radiación solar (R_s), pero en general esta actividad se limita a los

principales centros de investigación y estaciones agronómicas. A falta de información disponible se puede calcular R_s en base a lecturas de nubosidad o de la duración de la insolación solar fuerte. Los resultados obtenidos con el método de la radiación deben ser más fiables que los método Blaney - Criaddle. La relación sugerida es :

$$E_{to} = a + b.W.R_s \quad (3)$$

En donde: E_{to} se da en mm/día

R es la radiación solar expresada en mm/día

W un índice de ponderación que depende de la temperatura y la altitud.

El valor de E_{to} se encuentra con la ayuda de gráficos que incluyen los valores de a y b .

Cuando se disponga de datos medidos sobre: temperatura, humedad, viento, horas de fuerte insolación o la radiación solar, es recomendable usar el método de Penman modificado, pues es probable que proporcione resultados más satisfactorios.

Los EVAPORIMETROS DE CUBETA permiten medir los

efectos integrados de: temperatura, viento, humedad y radiación, en función de la evaporación en una superficie de agua libre. De un modo semejante las plantas responden a las mismas variables climáticas, pero diversos factores pueden introducir cambios significativos en las pérdidas de agua; por ejemplo se citan: la transferencia de calor por los costados de la cubeta, el uso de pantallas para protegerla de los pájaros. A pesar de estas deficiencias su uso sigue siendo justificado, con una buena colocación y el mantenimiento de condiciones y el medio circundante normalizados. De entre los distintos tipos de evaporímetro de cubeta los más conocidos son: el de clase A, y la cubeta hundida del colorado. Cada una tiene dimensiones y formas específicas, la primera es redonda y se coloca a 0.15 m sobre la superficie del suelo, mientras que la segunda es cuadrada y se coloca bajo el nivel del suelo dejando 0,05 m. desde el borde. Para hallar la evapotranspiración se usa la relación:

$$E_{to} = k_p * E_{pan}$$

Donde: E_{to} se da en mm/día

E_{pan} es la evapotranspiración en la cubeta en mm/día

K_p es el coeficiente de la cubeta.

1.2.2. Cálculo de E_{to} mediante el Método de Penman Modificado.

En el concepto de E_t se deben distinguir: una evapotranspiración actual o real (E_{ta}), que es la que ocurre en las condiciones reales de un cultivo; la evapotranspiración máxima (E_{tm}) que es el cálculo teórico de la misma para un cultivo determinado y la evapotranspiración de referencia (E_{to}).

La ecuación original de Penman (1948) estimaba la pérdida por evaporación de una superficie de agua, E_o . Usando coeficientes determinados experimentalmente se relacionaba E_o con la E_t de los cultivos en el clima inglés. Los valores de los coeficientes variaban desde 0.6 en el invierno hasta 0.8 en el verano. La ecuación de Penman tiene dos términos a saber: el de la energía (radiación) y el aerodinámico (viento y humedad). La importancia relativa de cada uno depende de las condiciones climáticas, por ejemplo en condiciones de

calma el término energético pasa a ser más significativo.

La fórmula utilizada en este método es la siguiente:

$$E_{to} = c [W * R_n + (1-W)*f(U)*(e_a - e_d)]$$

(mm/día)

término + término
energético aerodinámico

Los datos para calcular E_{to} se aplican como valor diario medio y representan el promedio de esos datos en el período considerado que para nuestro caso será de un mes. Los datos climáticos requeridos son:

Temperatura media, T_m , en °C

Humedad relativa media, HR_{med} , en %

Viento total V_2 en Km/día

Duración media real del tiempo de insolación, n en horas, o bien radiación media (R_s ó R_n) en mm/día. También debe disponerse de datos medidos o estimados sobre el promedio de la humedad relativa máxima (RH_{max}) en % y sobre la velocidad media del viento durante el día ($V_{día}$) en m/s a 2 m de altura.

Descripción de las variables

Presión del vapor (ea-ed).- diferencia entre la presión de saturación del vapor (ea) a la temperatura media en mbar (cuadro 2) y la presión real del vapor (ed) en mbar donde

$$ed = ea * RH / 100$$

Función del Viento.- la influencia del viento sobre la Eto se define así:

$$f(U) = 0.27(1 + V^2/100)$$

en donde V² es la velocidad total del viento en Km/día a una altura de 2m. Cuando no se compilan los datos a esta altura deben hacerse correcciones (cuadro 3). La velocidad del viento es el promedio registrado entre las 7 de la mañana y las 7 de la noche (hora local)

Factor de ponderación (1-W).- dependiente de la T_{med} y la altitud es un parámetro correspondiente a los efectos del viento y de la humedad sobre la Eto (cuadro 4).

Radiación Neta R_n.- es la radiación neta total en mm/día o bien :

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} = (1 - \alpha)R_s - R_{nl}$$

en donde: R_{ns} es la radiación neta de ondas cortas

α es un coeficiente de reflexión
 $\alpha=0.25$

R_s es la radiación percibida de ondas cortas en mm/día; ya sea medida u obtenida a partir de

$$R_s = (0.25 + 0.5n/N)R_a$$

Donde: R_a es la radiación extraterrestre en mm/día (cuadro 5)

n es la radiación media real de la insolación en hr/día

N es la duración máxima posible en hr/día (cuadro 6)

R_{nl} es la radiación neta de ondas largas en mm/día y es una función de la temperatura, $f(T)$; de la presión real del vapor, $f(ed)$; y de la duración del tiempo de insolación, $f(n/N)$ o

$R_{nl} = f(T).f(ed).f(n/N)$ (cuadros 7, 8 y 9).

Factor de corrección (c).- factor de ajuste para la relación $V_{\text{día}}/V_{\text{noche}}$, para HR_{max} y para R_s (cuadro 10).

Es necesario señalar lo siguiente

- En nuestro medio (Guayaquil) los vientos nocturnos son mayores que los diurnos, $V_{\text{noche}}/V_{\text{día}} \approx 1.5$ y para calcular (c) se tomará la relación $V_{\text{día}}/V_{\text{noche}} = 1$ por ser la más aproximada.

- Hemos asumido que los valores de V mostrados en el apéndice corresponden al promedio de las horas diurnas (07:00 - 19:00 hrs).

Con igual procedimiento y utilizando los promedios diarios para cada mes, el cálculo de E_{to} en mm/día para cada mes del año se muestra en la tabla 1 así como los valores referenciales recogidos en CEDEGE.

CUADRO 2. PRESION SATURANTE DEL VAPOR e_a (mmbar) EN FUNCION DE LA TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE T_m EN °C (REF. 1)

Temp. °C	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
mmbar	20.6	22.8	23.4	24.9	26.4	28.1	29.8	31.7	33.6	35.7

Temp. °C	28	29	30	31	32	33	34	35	36
e_a mmbar	37.8*	40.1	42.4	44.9	47.6	50.3	53.2	56.2	59.0

CUADRO 3 FACTORES PARA CORREGIR LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN ALTURAS SUPERIORES
O INFERIORES A 2 m. (REF. 1)

ALTURA DE MEDICION m	0.50	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	10.00
FACTOR DE CORRECCION	1.35	1.15	1.06	1.00	0.93	0.88	0.85	0.83	0.77

CUADRO 4 VALORES DEL FACTOR DE PONDERACION (1-w) PARA LOS EFECTOS DEL VIENTO Y DE LA HUMEDAD SOBRE LA E_{to} A DIFERENTES TEMPERATURAS Y ALTITUDES (REF.1)

Temp. °C	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
(1-w) a una altitud en m.	0.34	0.32	0.29	0.27	0.25	0.23	0.22	0.20	0.18	0.17
	0.33	0.30	0.28	0.26	0.24	0.22	0.21	0.19	0.18	0.16

CUADRO 5 LA RADIACION EXTRATERRESTRE R_a EXPRESADA EN EQUIVALENTE DE EVAPORACION EN MM/DIA (REF. 1)

Lat.	En.	HEMISFERIO SUR										
		Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
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
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
6°	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12.0	12.4	13.5	14.8	15.9	16.2	16.2
4°	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16.0	16.0
2°	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12.0	12.4	13.5	14.8	15.9	16.2	16.2
0°	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16.0	16.0

CUADRO 6 DURACION MAXIMA DIARIA MEDIA DE LAS HORAS DE FUERTE INSOLACION N EN DIFERENTES MESES Y LATITUDES (REF. 1)

Lat. Norte	En.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Lat. Sur	En.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
5°	11.0	11.9	12.0	12.2	12.3	12.4	12.3	12.3	12.1	12.0	11.9	11.0
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 7 CORRECCION PARA LA TEMPERATURA $f(T)$ CON RESPECTO A LA RADIACION DE ONDAS LARGAS R_{nl} (REF. 1)

Temp. °C	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
$f(T) = T^+$	11.0	11.4	11.7	12.0	12.4	12.7	13.1	13.5	13.9	14.2

Temp. °C	20	22	24	26	28	30	32	34	36
$f(T) = T^+$	14.6	15.0	15.4	15.9	16.3*	16.7	17.2	17.7	18.1

CUADRO 8 CORRECCION PARA LA PRESION $f(ed)$ CON RESPECTO A LA RADIACION DE ONDAS LARGAS R_{nl} (REF. 1)

ed mbar	6	8	10	12	14	16	18	20	22
$f(ed) = 0.34 - 0.44 \sqrt{ed}$	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14*	0.13

ed mbar	24	26	28	30	32	34	36	38	40
$f(ed) = 0.34 - 0.44 \sqrt{ed}$	0.12	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06

CUADRO 9 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_{n1} (REF. 1)

n/N	0	.05	.1	.15	.2	.25	.3	.35	.4	.45	.5
$f(n/N) = 0.1+0.9 n/N$.10	.15	.19	.24	.28	.33	.37	.42	.46	.51	.55

n/N	.55	.6	.65	.7	.75	.8	.85	.90	.95	1.00
$f(n/N) = 0.1+0.9 n/N$.60	.69	.73	.78	.82*	.87	.91	.96	1.00	

CUADRO 10 FACTOR DE CORRECCION c EN LA ECUACION DE PENMAN (REF. 1)

	RHmax = 30%				RHmax = 60%				RHmax = 90%			
RS, mm/dia	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
Udia, m/s	Udia/Unoché = 1.0											
0	.06	.90	1.00	1.00	.96	.90	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	.64	.71	.82	.89	.70	.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

CALCULO DE Eto
Mes : Noviembre

Tmed=25.2 °C ea(mmbar)(2)
HRmed= 70% HR/100

ed(mmbar)

ea-ed

U=7.6 kt = 14.1 km/hr = 3.9 m/s
= 338 km/dia
= 338 x 0.77 = 261 (3)
f(U)=0 (1+U/100)

Tmed=25.2 °C (1-w) (4)
altitud = 3m f(U)(1-W)(ea-ed)

latitud=2.195 RA(mm/dia) (5)

n=4.1 n(hr/dia)

N(hr/dia) (6)

n/N

0.25+ 0.75 n /N

Rs(mm/dia)

Rn-s=(1-a)Rs

a=0.25
Tmed=25.2°C f(T) (7)

ed=22.5 f(ed) (8)

n/N=0.34 f(n/N) (9)

Rn(mm/dia)

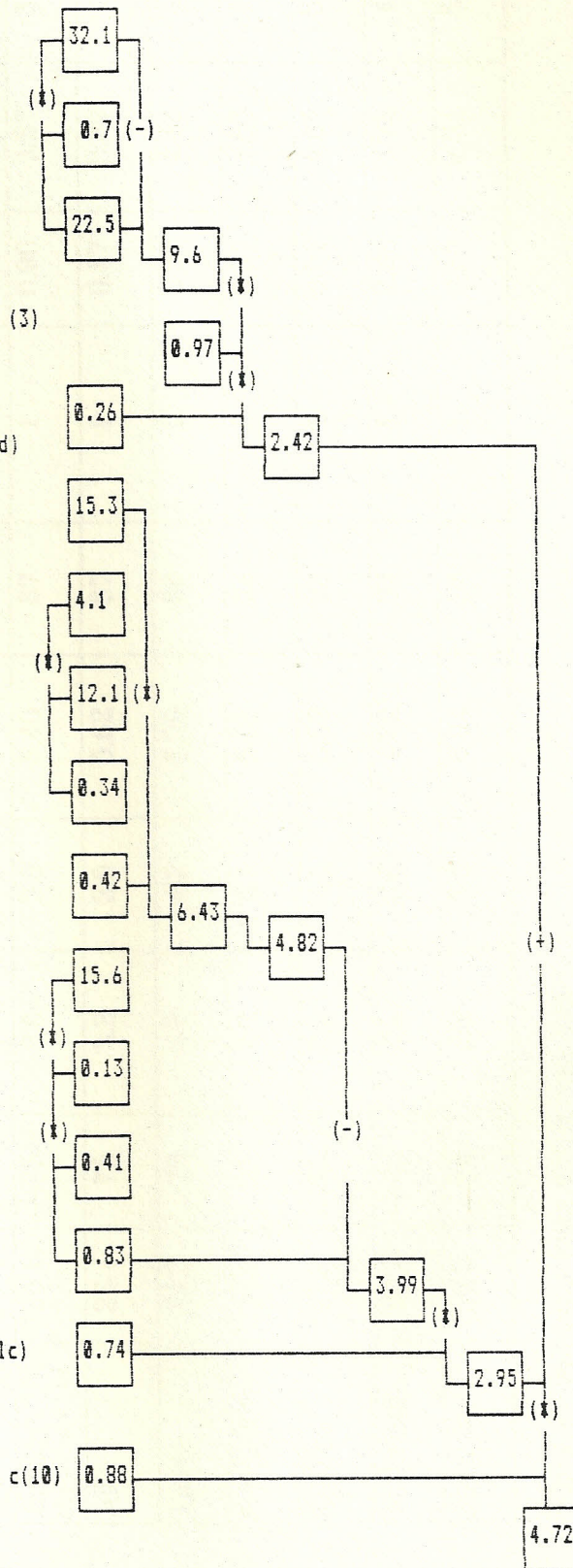
W(calc)

W**Rn

V2=3.9 m/s*0.77=30 m/s

Rhmax = 84 %

Vdia/Vnoche = 1 Rs=4.82



mes	Tmed (°C)	RHmed (%)	n (hr/día)	V (m/s)	Ra (mm/día)	RHmax (90)	Vdía/Vnoche estimado	c	Eto (mm/día)	
									Cálculo	CEDEGE
Enero	26.6	75	3.3	2.8	5.89	89	1	0.97	4.33	4.16
Febrero	26.8	77	3.5	2.5	6.20	91	1	0.97	4.29	4.00
Marzo	27.3	75	4.2	2.7	6.59	89	1	0.98	4.70	4.07
Abril	27.1	76	4.2	2.7	6.42	90	1	0.98	4.54	4.39
Mayo	26.0	73	4.2	3.2	5.92	86	1	0.87	4.05	4.32
Junio	25.1	75	3.6	3.8	5.40	87	1	0.90	3.67	3.79
Julio	24.4	75	3.8	3.9	5.62	87	1	0.87	3.99	4.37
Agosto	24.5	73	4.0	4.2	6.09	86	1	0.90	4.48	4.66
Septiembre	24.5	71	4.3	4.1	6.54	84	1	0.91	4.83	4.99
Octubre	24.7	72	3.1	4.1	5.89	84	1	0.91	4.65	5.14
Noviembre	25.2	70	4.1	3.9	4.82	84	1	0.88	4.72	4.84
Diciembre	26.2	70	3.7	3.6	6.04	84	1	0.87	4.51	5.26

TABLA 1. Eto PARA CADA MES D DEL AÑO

1.3. CONSTRUCCION DE LAS CURVAS DE COEFICIENTE DE CULTIVO (kc) PARA: PIMIENTO, TOMATE Y MELON.

El método anterior permite predecir los efectos del clima sobre la evapotranspiración del cultivo, E_{to} . Para tener en cuenta los efectos de las características del cultivo sobre sus necesidades de agua se utilizan los valores de k_c que relacionan E_{to} y E_{tm} . Los factores que influyen en el valor de k_c son principalmente: las características del cultivo, las fechas de plantación que repercuten en la duración del período vegetativo, las condiciones climáticas, y en especial durante la primera fase de crecimiento, la frecuencia de riego o lluvias.

El período vegetativo se divide en cuatro fases: inicial, desarrollo del cultivo, fase de mediados del período y fase de finales del período. Para trazar las curvas de k_c no es muy importante conocer las características de cada fase, sino su duración y este dato se obtiene fácilmente consultando a un agrónomo.

Con información local sobre la duración de las fases, las fechas de plantación y la frecuencia de riegos durante la fase inicial se procede de la siguiente manera.

- FASE INICIAL.- Con la frecuencia de riego y la Eto para ese mes, hallar Kc gráficamente en la figura 1 y representarlo como una recta.

- FASE DE MEDIADOS DEL PERIODO.- Para un clima dado (Humedad y viento) escoger kc del cuadro 11 y representarlo gráficamente como una recta.

- FASE DE FINALES DEL PERIODO.- Con humedad y viento escoger kc del cuadro 11 y representarlo gráficamente al finalizar el período vegetativo. Se supondrá una línea recta entre el valor de kc al final de la fase inicial y el comienzo de la fase de mediados del período, idem entre kc al final de esta última y el final del período vegetativo.

La curva con línea llena que aparece en los gráficos de kc, se obtiene con nuestros datos y la otra en base a información proporcionada en CEDEGE. A continuación se detallan los cálculos para obtener las curvas de kc y para ellos aclaramos que:

- Los números 3 y 4 del cuadro 11 representan las dos últimas fases del desarrollo vegetativo. Hemos asumido que los datos del cuadro 11 se prestan para hacer una interpolación con respecto a la HRmin.

- La frecuencia de riego durante la fase inicial es de 2 días aunque nuestros productos (melón, pimiento y tomate) se plantaron en semillero y recibían riego a diario.

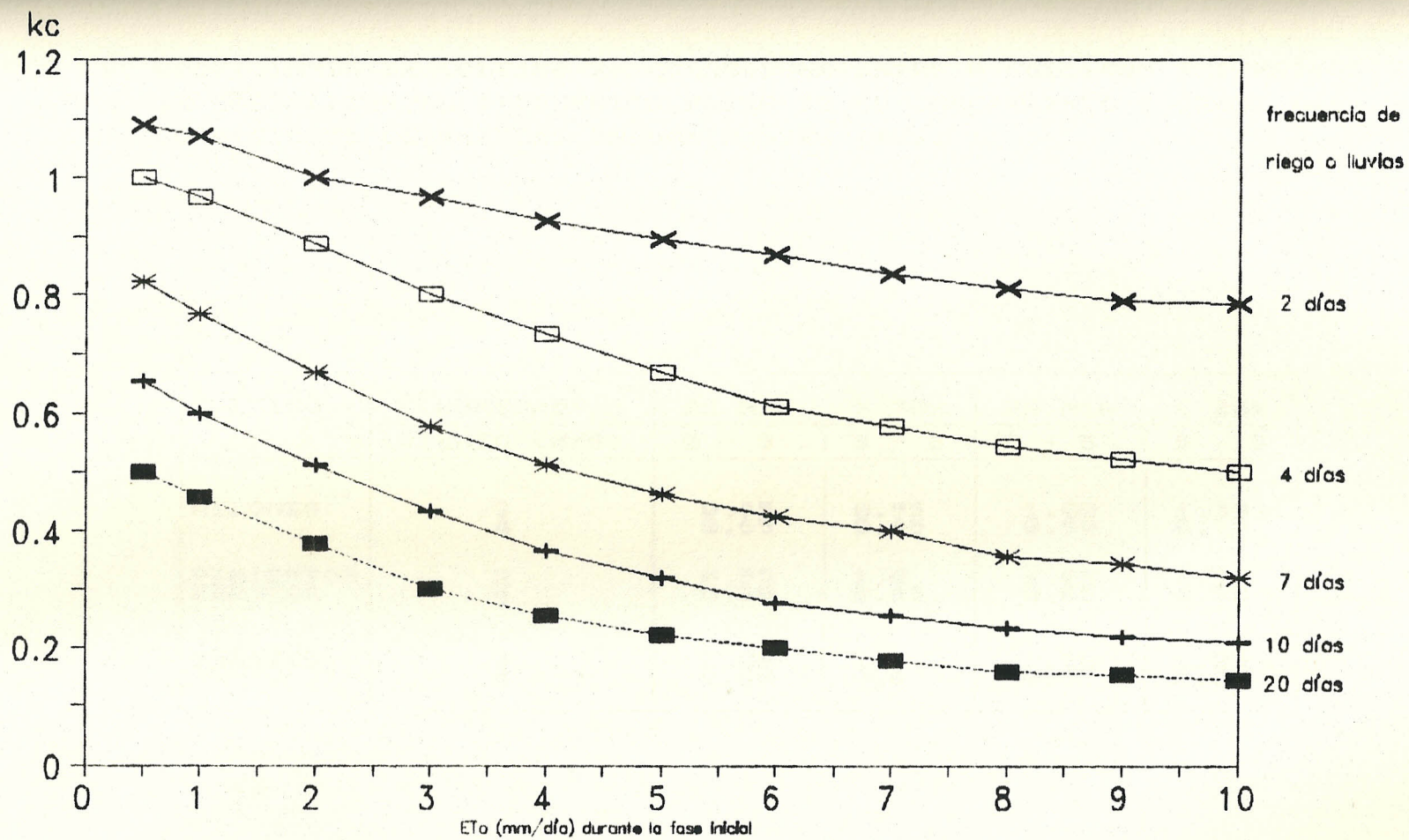


Fig. 1 : k_c MEDIO EN LA FASE INICIAL, EN FUNCION DEL NIVEL MEDIO DE LA ET_0 (DURANTE LA FASE INICIAL)
Y LA FRECUENCIA DE RIEGO O DE UNAS LLUVIAS APRECIABLES. (REF. 1)

CUADRO 11 COEFICIENTE DE CULTIVO k_c CORRESPONDIENTES A CULTIVOS EXTENSIVOS Y DE HORTALIZAS EN DIFERENTES FASES DE SU CRECIMIENTO Y SEGUN LAS CONDICIONES CLIMATICAS PREDOMINANTES (REF. 1)

CULTIVO	HUMEDAD VIENTO (M/S)	RH Min > 70%		RH Min < 20%	
		0 - 5	5 - 8	0 - 5	5 - 8
MELONES	3 4	0.9 0.7	0.9 0.8	1.0 0.9	1.0 0.9
PIMIENTOS FRESCOS	3 4	0.9 0.8	1.0 0.9	1.0 0.9	1.0 0.9
TOMATES	3 4	1.0 0.9	1.1 1.0	1.2 1.1	1.2 1.1

CALCULOS PARA LA CURVA (kc)

FRUTO: Pimiento

DURACION DE LAS FASES

FASE INICIAL	8 días	1 Agosto - 7 Agosto
DESARROLLO DEL CULTIVO	32	8 Agosto - 8 Sept.
MEDIADOS DEL PERIODO	30	9 Sept. - 8 Sept.
FINALES DEL PERIODO	20	9 Oct. - 28 Oct.
	<u>90</u>	
TOTAL	90	

FASE INICIAL (AGOSTO)

Eto = 4,33 mm/día; Frec. de Riego = c/2 días

-----> Fig 1. kc = 0.90

MEDIADOS DEL PERIODO (SEPTIEMBRE)

Vientos = 4.2 m/s; HRmin = 55%

-----> Cuadro 11 kc = 0.98

FINALES DEL PERIODO (OCTUBRE)

Vientos = 4.2 m/s; HRmin = 53%

-----> Cuadro 11 kc = 0.82

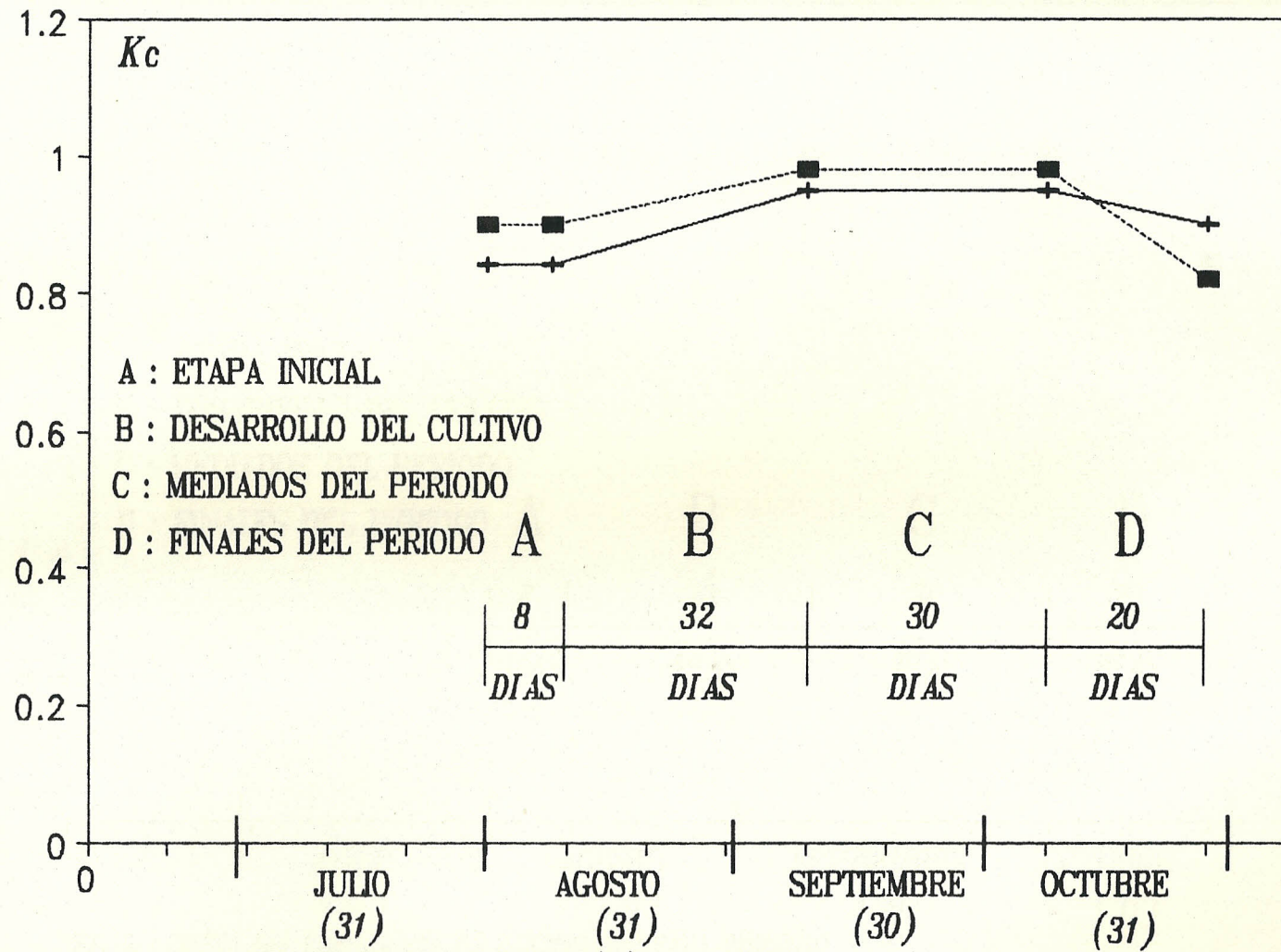


FIG. 2 : CURVA DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c) PARA PIMIENTO.

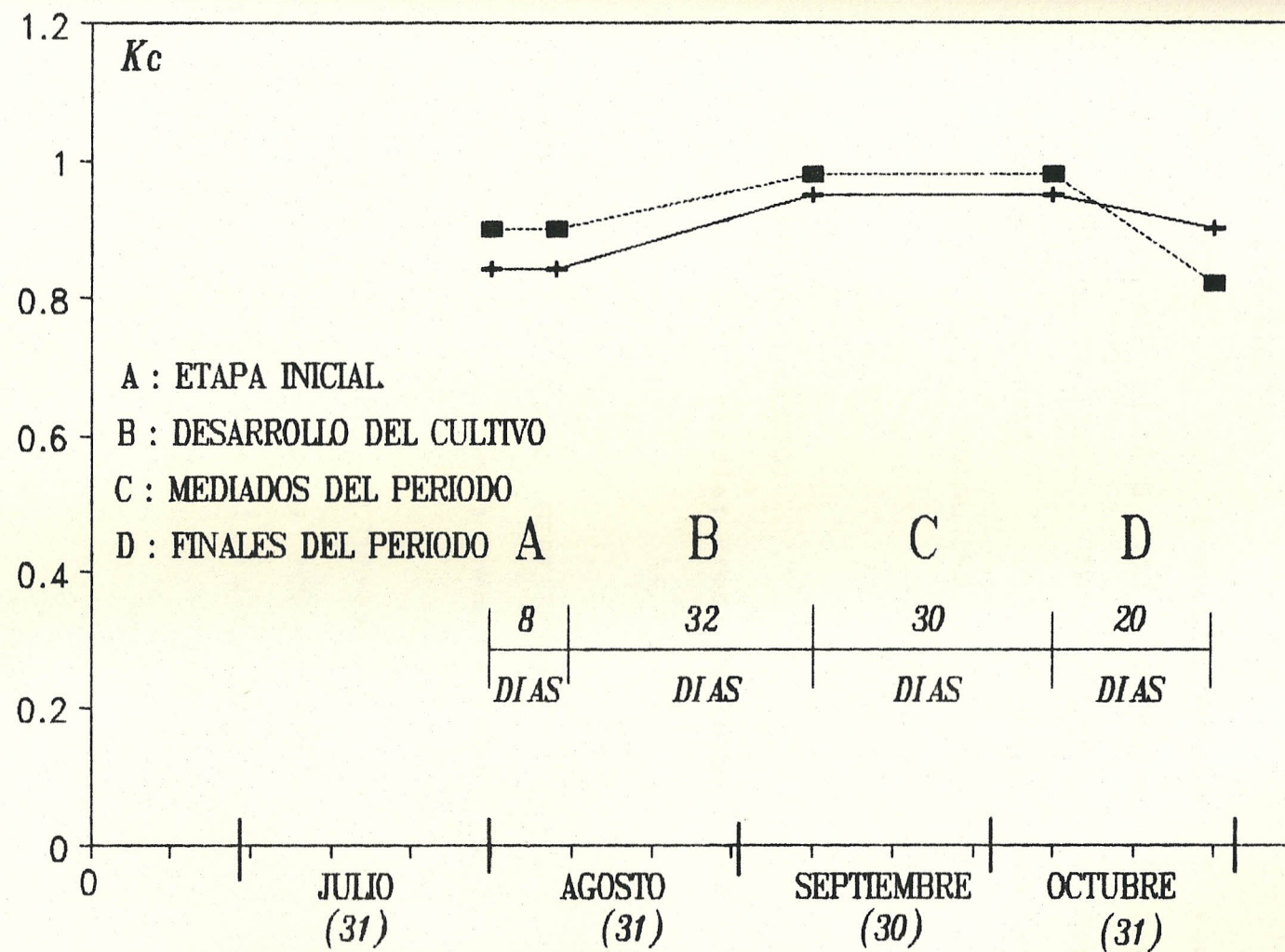


FIG. 2 : CURVA DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c) PARA PIMIENTO.

CALCULOS PARA LA CURVA (kc)

FRUTO: Tomate

DURACION DE LAS FASES

FASE INICIAL	8 días	1 Agosto - 7 Agosto
DESARROLLO DEL CULTIVO	32	8 Agosto - 8 Sept.
MEDIADOS DEL PERIODO	30	9 Sept. - 8 Sept.
FINALES DEL PERIODO	20	9 Oct. - 28 Oct.
	<hr/>	
	TOTAL	90

FASE INICIAL (AGOSTO)

Eto = 4,33 mm/día; Frec. de Riego = c/2 días

-----> Fig 1. kc = 0.90

MEDIADOS DEL PERIODO (SEPTIEMBRE)

Vientos = 4.2 m/s; HRmin = 55%

FINALES DEL PERIODO (OCTUBRE)

Vientos = 4.2 m/s; HRmin = 53%

-----> Cuadro 11 kc = 0.62

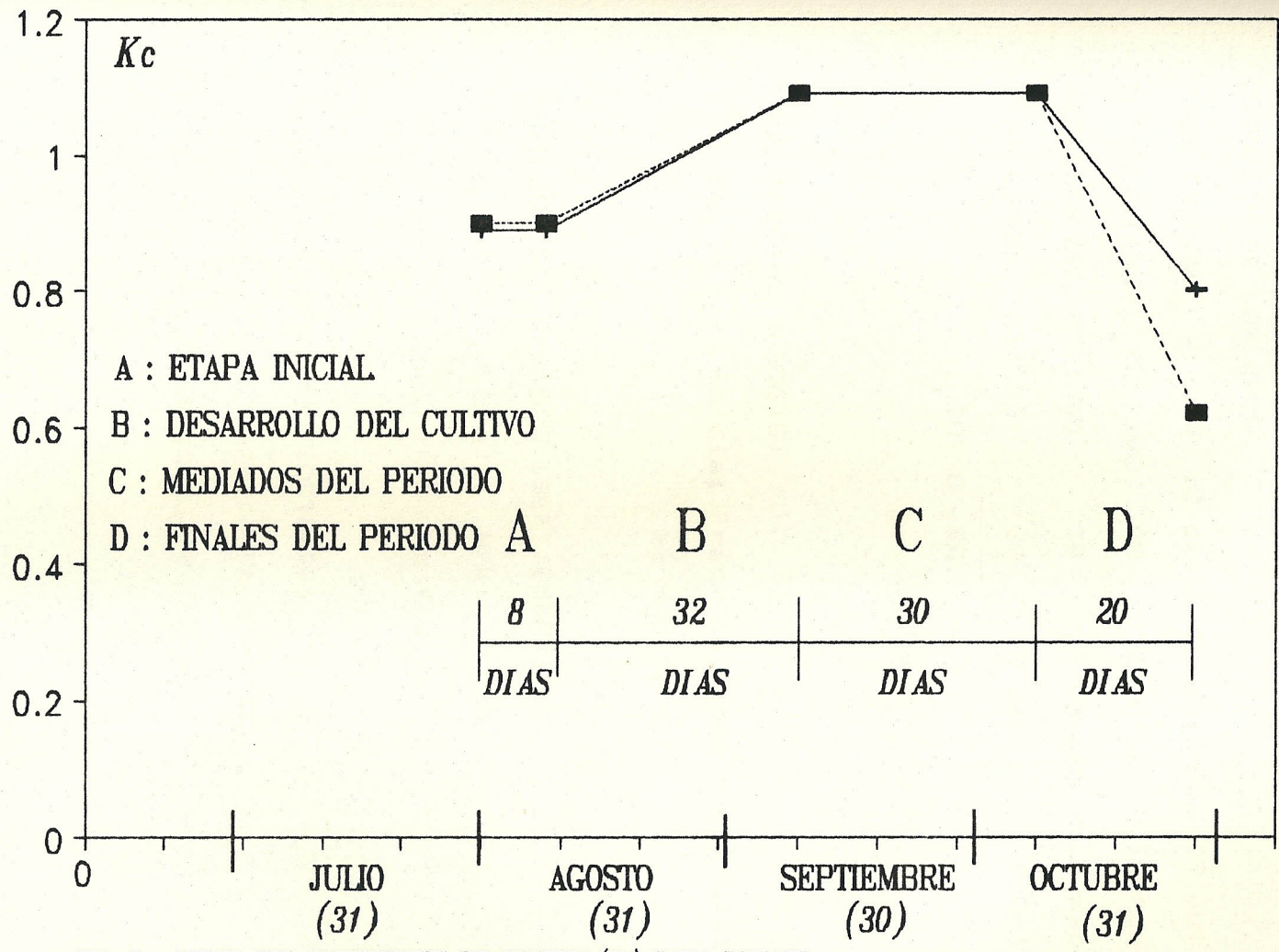


FIG. 3 : CURVA DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c) PARA TOMATE.

CALCULOS PARA LA CURVA (kc)

FRUTO: Melón

DURACION DE LAS FASES

FASE INICIAL	10 días	20 Julio	-	29 Julio
DESARROLLO DEL CULTIVO	20	30 Julio	-	18 Agosto
MEDIADOS DEL PERIODO	30	19 Agosto	-	17 Sept.
FINALES DEL PERIODO	20	18 Sept.	-	7 Oct.
		<hr/>		
	TOTAL	80		

FASE INICIAL (AGOSTO)

Eto = 3,99 mm/día; Frec. de Riego = c/2 días

-----> Fig 1. kc = 0.92

MEDIADOS DEL PERIODO (SEPTIEMBRE)

Vientos = 4.2 m/s; HRmin = 55%

-----> Cuadro 11 kc = 0.96

FINALES DEL PERIODO (OCTUBRE)

Vientos = 4.2 m/s; HRmin = 53%

-----> Cuadro 11 kc = 0.62

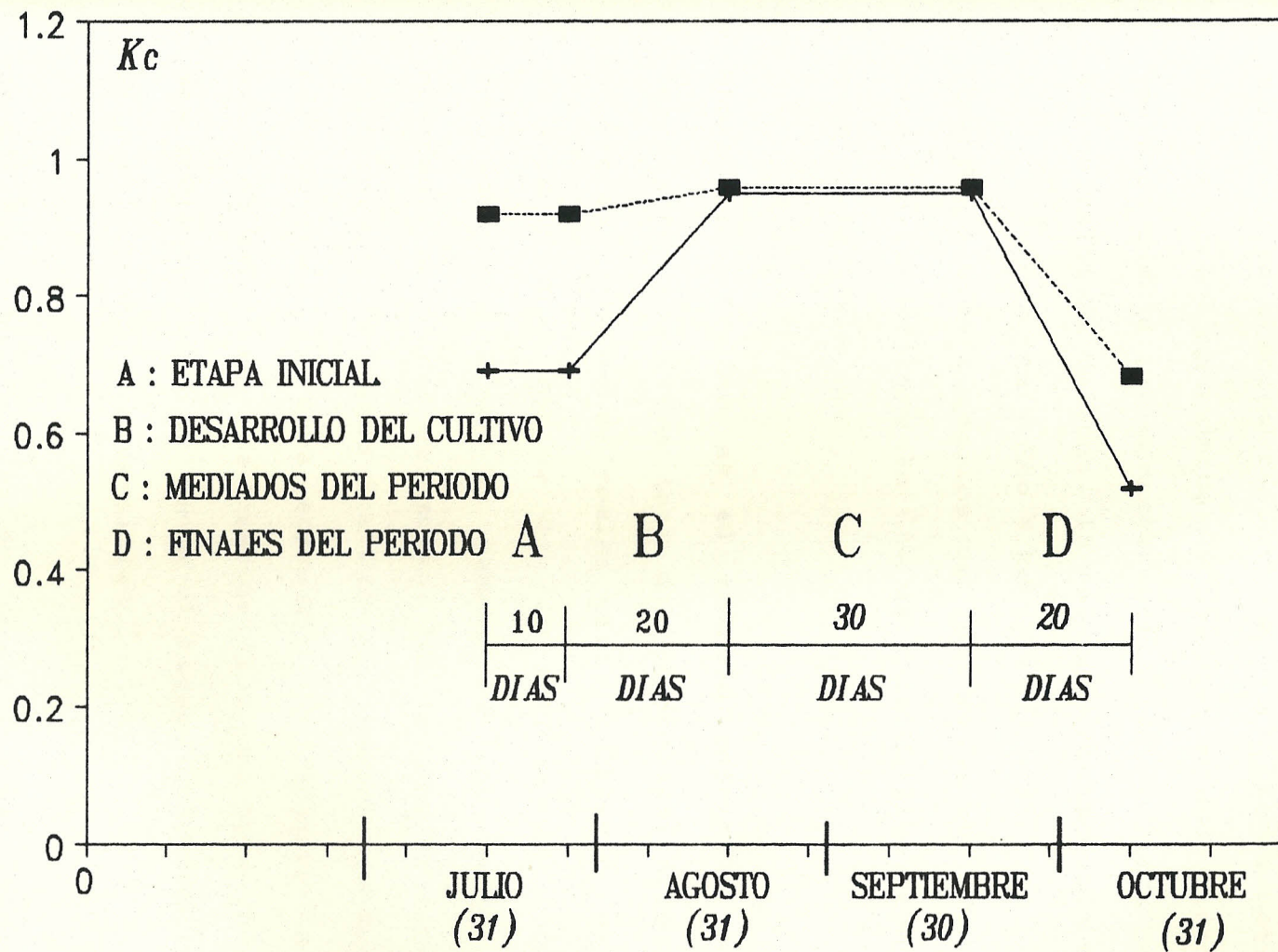


FIG. 4 : CURVA DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c) PARA MELON.

1.4. EVAPOTRANSPIRACION MAXIMA (Etm) PARA CADA CULTIVO.

Como se aclaró anteriormente: la Etm representa la tasa de evapotranspiración máxima de un cultivo sano, que crece en grandes campos y en condiciones óptimas de ordenación agronómica y de riego; así mismo kc tenía en cuenta las características del cultivo sobre sus necesidades de agua, la relación recomendada es:

$$Etm = Eto * kc$$

Tomando valores promedios de las curvas de kc, para cada mes, se obtiene la Etm de cada cultivo, como lo muestra la tabla II.

Ahora bien, la Etm es el cálculo teórico y en el terreno tendremos una tasa de evapotranspiración que ocurre en condiciones reales (Eta). El valor de Eta depende en gran medida de las condiciones locales como son: el clima, el tamaño de los campos, la humedad y salinidad del suelo, los métodos de riego y cultivo, etc. Cuando $Eta = Etm$ nos aseguramos que el cultivo tiene el agua adecuada; la relación entre ambos no debe bajar de ciertos valores, como veremos mas adelante, pues se corre el riesgo de producir en el cultivo daños irreversibles.

De ahí la importancia de analizar los factores arriba mencionados especialmente si se trata de grandes proyectos de riegos.

		JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	
CULTIVO	Eto (mm/día)	3.99	4.48	4.83	4.65	tabla 1
PIMIENTO	kc	-	0.91	0.98	0.95	Fig 2
	Etm (mm/día)	-	4.08	4.73	4.42	Eto * kc
TOMATE	kc	-	0.92	1.04	0.81	Fig 3
	Etm (mm/día)	-	4.12	5.02	3.77	Eto * kc
MELON	kc	0.92	0.95	0.92	0.74	Fig 4
	Etm (mm/día)	3.67	4.26	4.44	3.44	Eto * kc

TABLA II: EVAPOTRANSPIRACION MAXIMA (Etm) PARA PIMIENTO: PIMIENTO, TOMATE Y MELON.

1.5. DETERMINACION DE LAS DOSIS Y FRECUENCIAS DE RIEGO.

El paso siguiente es calcular la cantidad de agua y el momento de su aplicación, a fin de compensar la demanda del líquido durante todo el período vegetativo. Estas necesidades de suministro se expresan con: el intervalo entre riegos (i) en días, que indica cada cuantos días hay que regar; y la profundidad neta de riego (dnt) en mm. Las principales variables para determinar i y dnt cuando $E_a = E_m$ son: las necesidades de agua, E_m y el balance de agua del suelo, W_e .

1.5.1. Profundidad neta de riego (dnt).

Con el fin de hallar E_a debe tenerse en cuenta el agua disponible en el suelo. El agua total disponible en el suelo (S_a) se define como " La profundidad de agua, en mm por metro de profundidad del suelo, entre el contenido del agua del suelo en la capacidad de campo (S_{fc} o para una tensión del agua del suelo de 0.1 a 0.2 atm) y el contenido del agua del suelo en el punto de marchitez (S_w o para una tensión del agua del suelo de 15 atm)" (2) . S_a puede variar mucho para suelos de textura similar y por ello es recomendable información local.

$$S_a(\text{mm/m}) = 10(S_{fc} - S_w)G_a$$

en donde G_a (g/cm^3) es la densidad aparente.

$$\begin{aligned} \text{Para nuestro terreno: } S_a &= 10(35.6 - 21)0.94 \\ &= 137 \text{ mm/m.} \end{aligned}$$

Por recomendación tomamos para fines de cálculos 146 mm/m y como información de caracter general se da el siguiente cuadro.

SUELO DE TEXTURA PESADA	200 mm/m
SUELO DE TEXTURA GRUESA	140 mm/m
SUELO DE TEXTURA GRUESA	60 mm/m

Cuadro 12 : S_a , mm/m, PARA DISTINTAS TEXTURAS DE SUELO (REF.2)

Inmediatamente después de un riego o de una lluvia fuerte $E_t = E_{tm}$. Con el tiempo el agua disponible del suelo se agota y E_t se hace inferior a E_{tm} . La cantidad de agua que puede agotarse sin que $E_t < E_{tm}$ se define mediante la fracción (p) del agua total disponible del suelo S_a . El valor de p , está en función: del cultivo, la magnitud de E_{tm} y del suelo ver los cuadros 13 y 14.

La profundidad de las raíces por encima de la cual la planta extrae agua del suelo se conoce como profundidad efectiva de extracción (D) y no debe confundirse con longitud de la raíz. El valor D varía principalmente en función de los niveles de humedad mantenidos durante la primera fase de crecimiento, y de la estructura (compactación) del terreno. Ante la falta de información bibliográfica local sobre este aspecto, se hicieron consultas a técnicos en la materia, y como era de esperarse no hubo uniformidad, por lo tanto para los primeros cálculos se tomó en cierto modo una media aritmética de las informaciones recogidas.

La eficiencia (E_a) se mide por la proporción del agua total aplicada al terreno que es utilizada por el cultivo. No toda el agua aplicada al cultivo es aprovechada por el mismo; hay pérdidas en las conducciones, en el terreno por percolación profunda, existiendo además otro volúmen que no se aprovecha como consecuencia de la mala distribución sobre el terreno. " En el riego por goteo la mayoría de estas pérdidas se reducen considerablemente, hasta el punto de que la eficiencia

pasa a depender solamente de la uniformidad de aplicación del agua (CU), y de la relación de transpiración (RT) " (3) .

$$E_a = CU * RT$$

En riego por goteo deben lograrse valores de CU mayores al 90%. En cuanto a la relación de transpiración.

$$RT = \text{agua transp} / \text{agua aplicada}$$

esta diferencia se debe fundamentalmente a percolación profunda. Los valores normales están comprendidos entre 0.8 y 0.9.

Para cálculos preliminares se tomaron CU = 0.95 hasta hacer su medición en el terreno y RT = 0.8 para el primer mes y 0.9 para los restantes.

Las sales que la planta no absorbe, estén presentes en el suelo o en el agua de riego, deben desplazarse lo más lejos posible de la zona radical a fin de que no dificulten la normal absorción de los elementos nutritivos. El RL (requisito de lavado o lixiviación), es

la cantidad de agua que debe percolarse a través de la rizósfera (zona donde se desarrollan las raíces) para regular la salinidad del suelo hasta alcanzar un nivel específico. " En la mayoría de las condiciones de suelo y aguas, el R1 del suelo al 20 por ciento es satisfactorio" (4).

1.5.2. Balance de agua del suelo.

Como las necesidades de agua de los cultivos cambian durante el período vegetativo, la aplicación de intervalos fijos y/o láminas de riego fijas provocan riegos excesivos o insuficientes. Las curvas del balance de agua permiten determinar los intervalos de riego, los datos requeridos son: la lluvia efectiva, la contribución de las aguas subterráneas, y el agua disponible en la profundidad de las raíces al comienzo del período vegetativo.

La lluvia efectiva mensual (P_e) no es sino una parte de la lluvia total. Parte de la lluvia puede perderse por diferentes causas como una percolación profunda por debajo de la rizósfera o bien por la evaporación de la lluvia interceptada por las hojas de las plantas. Unas lluvias de 6 a 8 mm pueden

perderse casi totalmente debido a la evaporación.

La contribución de las aguas (G_e) a la rizósfera húmeda se reduce a menos de 1 mm/día cuando el nivel de estas es aproximadamente: de unos 50 - 90 cm en los suelos de textura gruesa y pesada; y de unos 120 - 125 cm en la mayoría de los suelos de textura media. En nuestro caso $G_e = 0$.

La profundidad real del agua disponible del suelo en la profundidad de las raíces al comienzo del periodo vegetativo (W_b) puede calcularse en base al riego que se practica antes del trasplante. Usaremos :

$$W_e = S_a * D$$

Tomando D al final del primer mes.

Las frecuencias y láminas de riego se obtienen gráficamente con el siguiente procedimiento:

- a.- Determinar la profundidad real del agua disponible del suelo en la profundidad de las raíces (W_e) al final del mes. W_e se da en mm.

$$W_e = P_e + G_e + W_b - E_{tm}$$

Representar gráficamente (figura 5, línea 1)

b.- Calcular el agua total disponible en el suelo en la profundidad de las raíces con el producto $S_a * D$ en mm; y representarlo gráficamente (figura 5, línea 2)

c.- Hallar el agua remanente disponible del suelo en la profundidad de las raíces con $(1-p)S_a * D$ en mm y representar gráficamente (figura 5, línea 3). Para el valor de p consultar los cuadros 13 y 14.

d.- Cuando la línea 1 se encuentra con la línea 3, rellenar el agua de suelo con una profundidad de agua $d = p * S_a * D$ en mm, y representarla gráficamente (figura 5, línea 4); la nueva línea del balance de agua se dibuja paralela a la anterior hasta la línea 3 como se muestra (figura 5, línea 5); repetir; leer la fecha del intervalo (i) en días y la profundidad (d) en mm. Obviamente

$$d_{nt} = 1.2 (d/E_a)$$

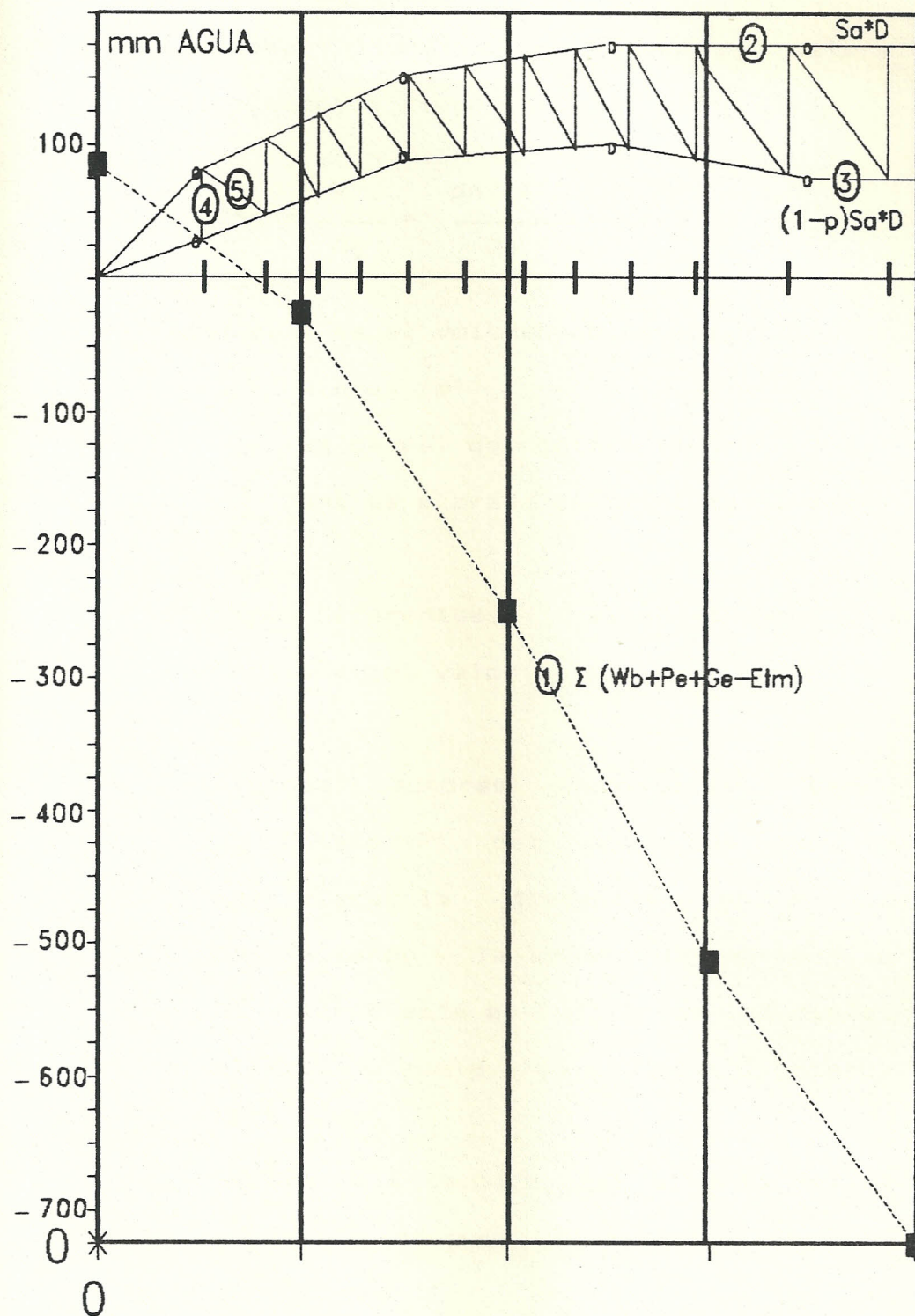


Fig. 5.- PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL
SUMINISTRO DE RIEGO.

1.5.3. Tiempos de Riego.

Una vez hallada la dnt , queda por determinar el tiempo de riego (tr).

$$tr = \frac{V}{Qg} = \frac{dnt * A}{Qg} \quad (hr)$$

donde: V es el volumen de agua (l)

A área (m^2)

Qg caudal del gotero (l/hr)

dnt se expresa en mm (1 mm = 1 l/ m^2)

Existen diferentes alternativas para seleccionar el valor de A .

- Algunos autores recomiendan usar un porcentaje (P) del área que resulta de multiplicar la distancia entre líneas portagoteros y la separación entre goteros. El valor P está en función de las distancias el tipo de suelo y el caudal del gotero.
- Se aconseja también usar el área mojada por el gotero después de cierto tiempo y por último.
- " Según la experiencia de Papadakis, regar

sólo una parte del terreno aproximadamente un 25 a 30 % " (5)

En nuestros primeros cálculos usaremos el diámetro mojado por los goteros después de 1 hora de riego; con:

$$\phi_m = 0.35 \text{ m}; Q_g = 2.6 \text{ l/hr}$$

$$tr = \frac{dnt}{Q_g} * \frac{\pi(\phi \text{ m}^2)}{4} = \frac{dnt}{2.6} * \frac{\pi(0.35)^2}{4}$$

$$tr = 37 \times 10^{-3} \text{ dnt}$$

Son importantes las siguientes aclaraciones

- Las curvas d se trazan a partir de la fecha de trasplante y en los días precedentes, con el fin de encontrar el consumo total de agua por ciclo vegetativo, se asumen los riegos promedios que constan en las tablas de cálculos para suministro.
- Como se vio en la fig 5, lo importante para hallar los días de riego es la pendiente de la curva We. En los gráficos siguientes los valores negativos de We no se dibujan por cuestión de espacio, pero obviamente se respeta la pendiente.

- Después de la floración las raíces no aumentan tanto de longitud como de grosor, por ello las curvas 2 y 3 de la figura 5 al final del período vegetativo, se dibujarán como dos horizontales ya que D no varía.

CUADRO 13 GRUPOS DE CULTIVOS DE ACUERDO CON EL AGOTAMIENTO DEL AGUA DEL SUELO (REF. 2).

Grupo	CULTIVOS
1	CEBOLLA, PIMIENTO, PATATA
2	BANANA, COL, VID, GUISANTE, TOMATE
3	ALFALFA, FRIGOL, CITRICOS, CACAHUATE, PINA, GIRASOL, SANDIA, TRIGO
4	ALGODON, MAIZ, OLIVO, CARTAMO, SORGO, SOJA, REMOLACHA, AZUCARERA, CANA DE AZUCAR, TABACO

CUADRO 14 FRACCION DE AGOTAMIENTO DEL AGUA DEL SUELO (p) PARA GRUPOS DE CULTIVOS Y EUAPOTRANSPIRACION (REF. 2).

Grupo de Cult.	Etm mm/dia								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.50	0.425	0.35	0.30	0.25	0.225	0.20	0.20	0.175
2	0.675	0.575	0.475	0.40	0.35	0.325	0.275	0.25	0.225
3	0.80	0.70	0.60	0.50	0.45	0.375	0.375	0.35	0.30
4	0.875	0.80	0.70	0.60	0.55	0.45	0.45	0.425	0.40

MESES	AGOSTO (31)	SEPTIEMBRE (30)	OCTUBRE (31)
FASES	1 8	9	9 29
$E_{to}(\text{mm}/\text{día})$	4.48	4.83	4.65
kc	0.91	0.98	0.95
$E_{tm}(\text{mm}/\text{día})$	4.12	5.02	3.77
$E_{tm}(\text{mm}/\text{mes})$	126.5	141.9	137.0
$P_e(\text{mm}/\text{día})$	1.8	1.7	1.4
$G_e(\text{mm}/\text{día})$	-	-	-
$W_b(\text{mm})$	14.6		
$W_e = W_b + G_e + P_e - E_{tm}$	-110.1	-250.3	-385.9
$D(\text{m})$	0.10	0.30	0.50
$S_a * D(\text{mm})$	14.6	43.8	73.0
p	0.35	0.31	0.33
$d = p * S_a * D(\text{mm})$	5.11	13.58	24.09
$(1-p)S_a * D(\text{mm})$	9.49	30.22	48.91
$E_a = CU * RT$	0.810	0.855	0.855
$dn = d / E_a(\text{mm})$	6.31	15.88	28.17
$dnt = 1.2 dn(\text{mm})$	7.57	19.06	33.81
$i = d / E_{tm}(\text{días})$	1.25	2.57	5.45
$tr = 37 \times 10^{-3} dnt(\text{hr})$	0.28	0.71	1.25

TABLA III: CALCULOS PARA EL SUMINISTRO DE RIEGO DEL PIMIENTO.

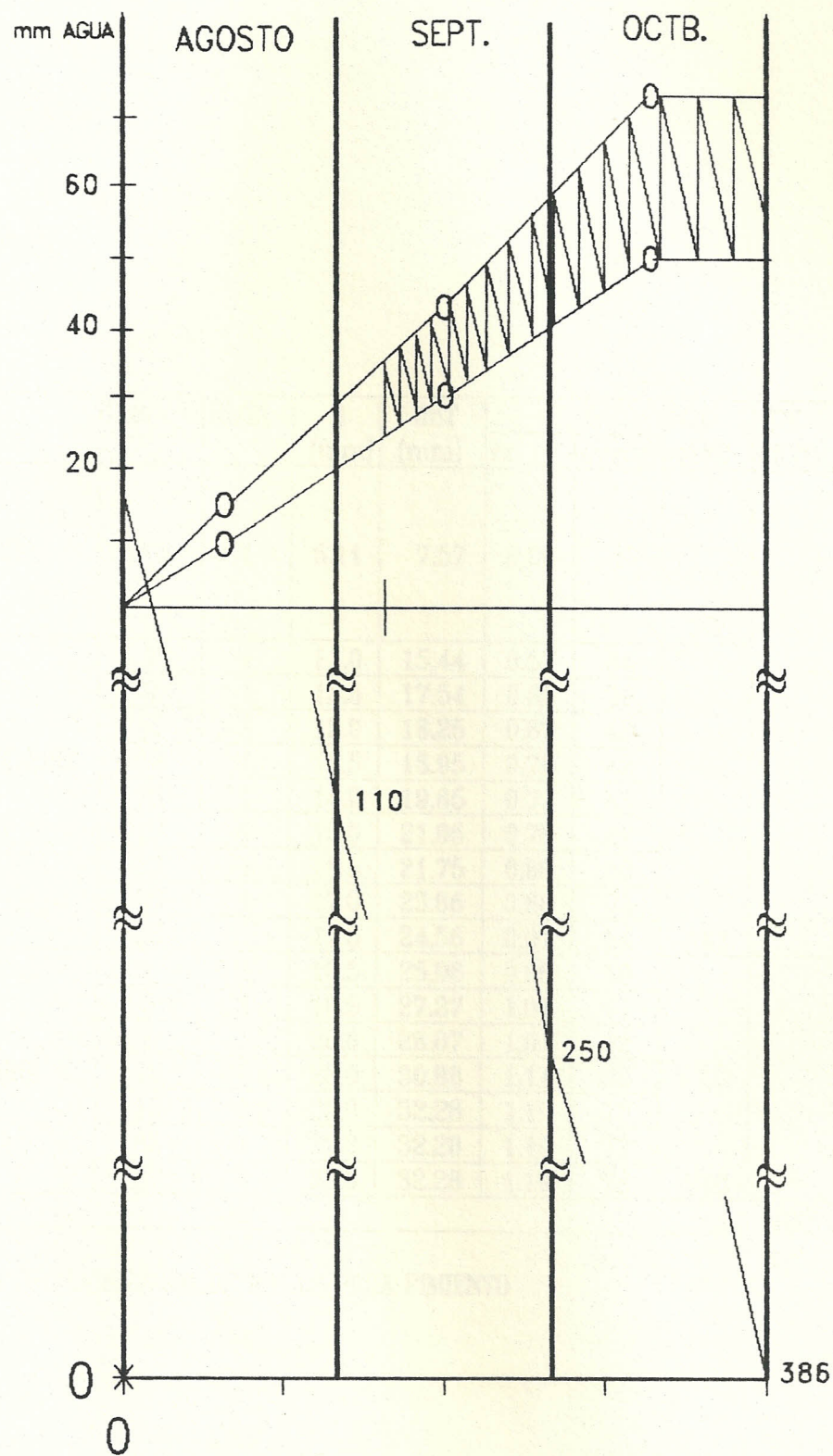


FIG. 6.- NECESIDADES DE SUMINISTRO PARA PIMIENTO.

MES	Días	Ri/Di	d (mm)	dnT (mm)	tr		TOT MENS	TOT CICLO
					hr	min		
AGOSTO	TODOS	1	5.11	7.57	0.28	17	235	
SEPTIEMBRE	7	1	11.0	15.44	0.57	34	181	
	9	1	12.5	17.54	0.65	39		
	11	1	13.0	18.25	0.67	40		
	13	1	13.5	18.95	0.70	42		
	16	1	14.0	19.65	0.73	44		
	19	1	15.0	21.05	0.78	47		
	22	1	15.5	21.75	0.80	48		
	25	1	17.0	23.86	0.88	53		
28	1	17.5	24.56	0.91	54			
OCTUBRE	1	1	18.5	25.96	0.96	58	210	
	5	1	19.5	27.37	1.01	61		
	8	1	20.0	28.07	1.04	62		
	12	1	22.0	30.88	1.14	68		
	16	1	23.0	32.28	1.19	72		
	22	1	23.0	32.28	1.19	72		
	27	1	23.0	32.28	1.19	72		
								626

TABLA IV: CALENDARIO DE RIEGOS PARA PIMIENTO

MESES	AGOSTO (31)	SEPTIEMBRE (30)	OCTUBRE (31)
FASES	1 8	9	9 29
Eto(mm/día)	4.48	4.83	4.65
kc	0.92	1.04	0.81
Etm(mm/día)	4.12	5.02	3.77
Etm(mm/mes)	127.7	150.6	116.9
Pe(mm/día)	1.8	1.7	1.4
Ge(mm/día)	-	-	-
Wb(mm)	14.6		
We = Wb+Ge+Pe-Etm	-111.3	-260.3	-375.7
D(m)	0.10	0.30	0.50
Sa*D(mm)	14.6	43.8	73.0
p	0.47	0.40	0.49
d = p * Sa * D (mm)	6.86	17.52	36.35
(1-p)Sa*D (mm)	7.74	26.28	36.35
Ea=CU*RT	0.810	0.855	0.855
dn=d/Ea (mm)	8.47	20.49	42.51
dnt=1.2 dn (mm)	10.16	24.59	51.01
i=d/Etm (días)	1.66	3.49	9.64
-3 tr=37x10 dnt (hr)	0.37	0.91	1.89

TABLA V: CALCULOS PARA EL SUMINISTRO DE RIEGO DEL TOMATE

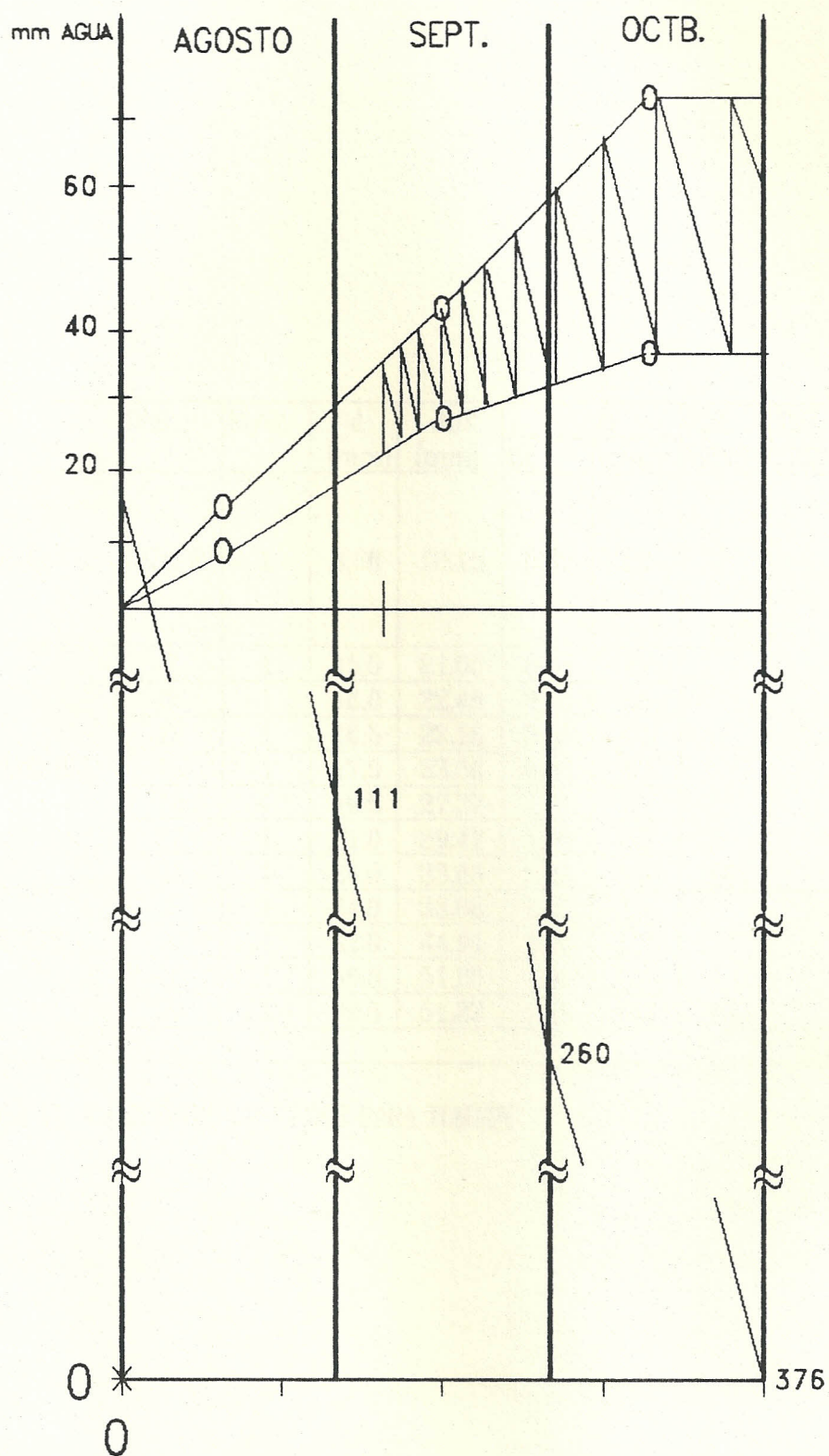


FIG 7: NECESIDADES DE SUMINISTRO PARA TOMATE.

MES	Días	Ri/Di	d (mm)	dnT (mm)	tr		TOT MENS	TOT CICLO
					hr	min		
AGOSTO	CADA 2	1	6.86	10.16	0.37	22	152	
SEPTIEMBRE	7	1	15.0	21.05	0.78	47	181	
	9	1	16.0	22.46	0.83	50		
	12	1	16.5	23.16	0.86	51		
	15	1	17.0	23.86	0.88	53		
	18	1	19.5	27.37	1.01	61		
	22	1	21.0	29.47	1.09	65		
	26	1	24.0	33.68	1.25	75		
OCTUBRE	1	1	24.0	33.68	1.40	84	185	
	8	1	32.0	44.91	1.66	100		
	16	1	36.5	51.23	1.89	114		
	27	1	36.5	51.23	1.89	114		
							518	

TABLA VI: CALENDARIO DE RIEGOS PARA TOMATE

MESES	AGOSTO (31)		SEPTIEMBRE (30)	OCTUBRE (31)	
FASES	20	30	19	18	18
Et _o (mm/día)	3.99		4.48	4.83	4.65
kc	0.92		0.95	0.92	0.74
Et _m (mm/día)	3.67		4.26	4.44	3.44
Et _m (mm/mes)	113.8		122.1	133.2	106.6
Pe(mm/día)	24.5		1.8	1.7	1.4
Ge(mm/día)	-		-	-	-
W _b (mm)	14.6				
W _e = W _b +G _e +P _e -E _{t_m}	-74.7		-205.0	-336.5	-441.4
D(m)	0.10		0.20	0.45	0.5
S _a *D(mm)	14.6		29.2	65.7	73.0
p	0.63		0.57	0.55	0.65
d = p * S _a * D (mm)	9.20		16.64	36.13	47.45
(1-p)*S _a *D (mm)	5.40		12.56	29.57	25.55
E _a = C _u * RT	0.810		0.855	0.855	0.855
d _n =d/E _a (mm)	11.36		19.46	42.26	55.50
d _{nt} =1.2 d _n (mm)	13.63		23.35	50.71	66.59
i=d/E _{t_m} (días)	2.50		3.91	8.14	13.79
⁻³ t _r =37x10 ⁻³ d _{nt} (hr)	0.50		0.86	1.88	2.46

TABLA VII: CALCULOS PARA EL SUMINISTRO DE RIEGO DEL MELON.

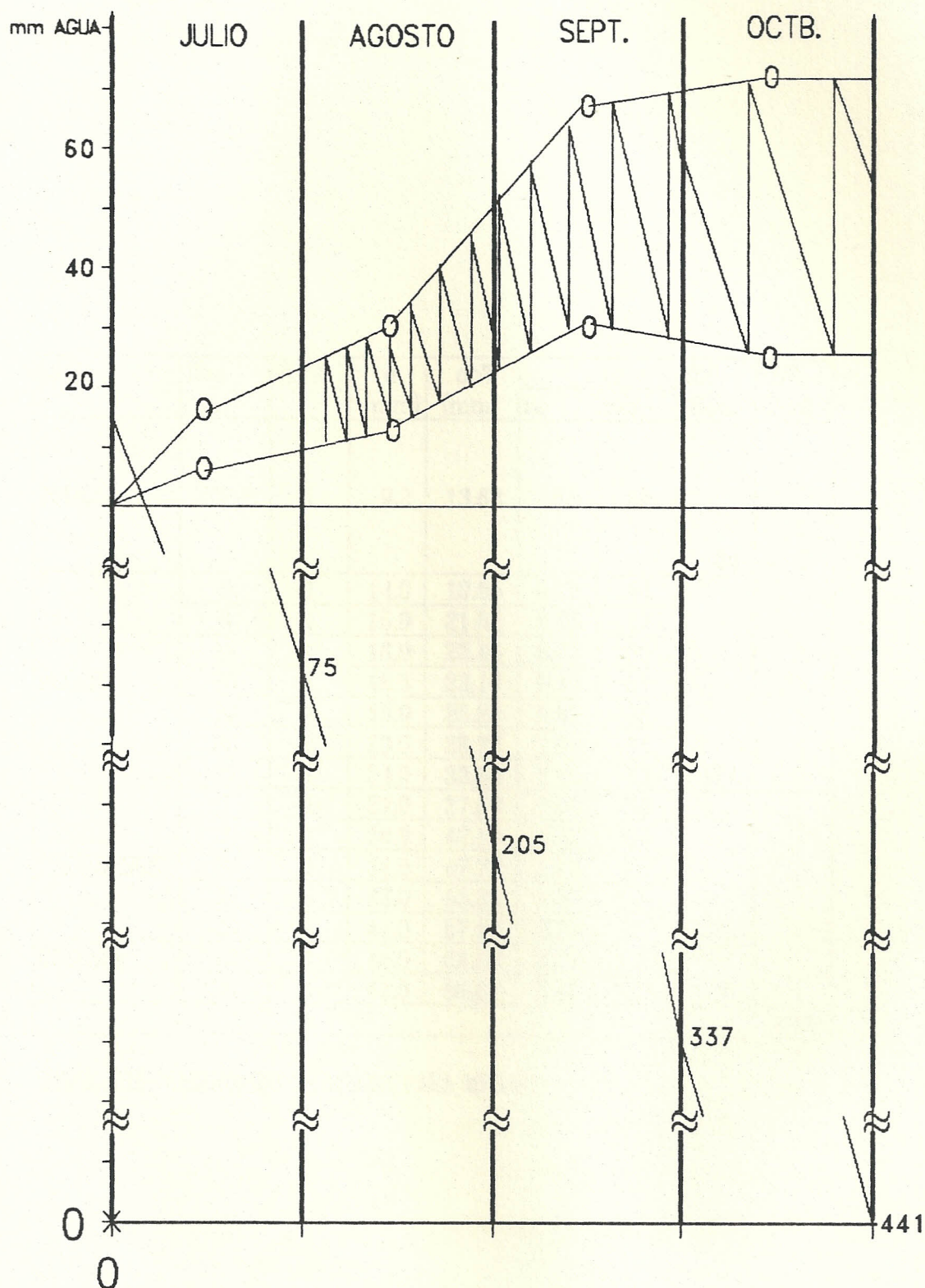


FIG. 8: NECESIDADES DE SUMINISTRO PARA MELON.

MES	Días	Ri/Di	d (mm)	dnT (mm)	tr		TOT MENS	TOT CICLO
					hr	min		
JULIO	TODOS	1	9.2	13.63	0.5	30	68	
AGOSTO	5	1	14.0	19.65	0.73	44	174	
	8	1	15.0	21.05	0.78	47		
	11	1	16.0	22.46	0.83	50		
	15	1	16.5	23.16	0.86	51		
	18	1	18.0	25.26	0.93	56		
	22	1	20.5	28.77	1.06	64		
	27	1	24.0	33.68	1.25	75		
SEPTIEMBRE	1	1	27.0	37.69	1.40	84	239	
	6	1	30.0	42.10	1.56	93		
	12	1	34.0	47.72	1.77	106		
	20	1	38.0	53.33	1.97	118		
	28	1	41.0	57.54	2.13	128		
OCTUBRE	12	1	46.0	64.56	2.39	143	131	
	25	1	47.5	66.67	2.47	148		
								612

TABLA VIII: CALENDARIO DE RIEGOS PARA MELON

CAPITULO II

MEDICIONES EXPERIMENTALES Y AJUSTES

2.1. PROCEDIMIENTOS RECOMENDADOS Y ALGUNAS INDICACIONES.

Del proceso de cálculo del capítulo anterior podemos ver que se pueden pasar por alto algunos detalles sin alterar los resultados. Basados en esto, omitiremos en lo posterior los valores de la curva del balance de agua, tanto en la tabla de cálculos como en el gráfico de las necesidades de suministro.

Con el fin de conseguir la máxima efectividad del riego por goteo se recomiendan riegos permanentes "generalmente diarios o cada dos o tres días para mantener el perfil del suelo en un estado de casi saturación" (5). Se facilita de este modo el trabajo extractivo de la raíz, evitando al mismo tiempo la formación de costras en la superficie del suelo que impiden una buena aireación.

Para acortar los intervalos mayores a tres días se modificó el área a regar conforme a las sugerencias de Papadakis, por lo tanto el tiempo de riego será:

Pimiento y tomate :

$$tr = \frac{dnt \times 0.3 A}{Qg} = \frac{dnt \times 0.3 \times 0.1 \times 0.5}{2.6}$$

$$tr = 57.7 \times 10^{-3} dnt$$

Melón :
$$tr = \frac{dnt \times 0.3 A}{Qg} = \frac{dnt \times 0.3 \times 1.5 \times 0.8}{2.6}$$

$$tr = 13.85 \times 10^{-2} dnt$$

2.2. MEDICION DE LA PROFUNDIDAD EFECTIVA DE EXTRACCION

En cada producto se hicieron mediciones: una en el semillero y las otras dos después del trasplante. Los valores presentados se tomaron en una sola planta que se escogió como representativa por su aspecto (tamaño, color, etc). D viene expresada en metros.

PIMIENTO		TOMATE		MELON	
FECHA	D	FECHA	D	FECHA	D
1992-08-14	0.03	1992-08-14	0.04	1992-07-30	0.03
1992-10-02	0.06	1992-10-02	0.06	1992-08-14	0.06
1992-10-20	0.15	1992-10-20	0.15	1992-09-10	0.20

TABLA IX: VALORES MEDIDOS DEL PARAMETRO D.

Medir la profundidad de las raíces después del trasplante es una labor que presenta serias dificultades por el cuidado que se requiere para no dañar la raíz. No siempre resulta un éxito el

procedimiento siguiente: arrancar la planta, medir y luego reemplazar con otra, porque después de cierto tiempo las plantas de semillero no resisten un trasplante.

2.3. MEDICION DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA.

Como se explicó en el capítulo I, la E_a depende del coeficiente de uniformidad, CU , y de la razón de transpiración, RT .

$$E_a = CU * RT$$

La RT es muy difícil medir y aunque en la REF. 3 se propone como alternativa realizar sondeos ayudándose de tensiómetros, se aclara también que resulta muy difícil cuantificar las pérdidas; por ello los valores a usarse son estimados en base a observaciones del desarrollo de la plantación.

Valido para 1992	PIMIENTO	TOMATE	MELON
Julio			0.80
Agosto	0.80	0.80	0.80
Septiembre	0.90	0.90	0.90
Octubre	0.90	0.95	0.95

TABLA X: VALORES ESTIMADOS DEL PARAMETRO RT .

Con el objeto de medir CU la misma fuente recomienda tomar la unidad de riego que trabaje en las condiciones más difíciles, dentro de ella se escogen cuatro líneas portagoteros y dentro de cada línea cuatro plantas espaciadas uniformemente es decir: una al comienzo, otra a un tercio, otra a los dos tercios y otra al final de la línea. Se determina CU con la relación.

$$CU = 100 * \frac{1}{2} \left(\frac{q \text{ min}}{q \text{ med}} + \frac{q \text{ med}}{q \text{ max}} \right)$$

donde $q \text{ min}$ = media de los cuatro lecturas más bajas

$q \text{ med}$ = media total

$q \text{ max}$ = media de las dos lecturas mayores.

Nuestro módulo no es grande y aleatoriamente se eligió una línea portagoteros del melón para las pruebas. Con las adaptaciones del caso se hicieron las mediciones y cálculos que están detallados a continuación.

l	Qg (cm ³ /min)					- Qg
1o	50	50	50	50	50	50,0
1/3 1	48	48	48	49	49	48,4
2/3 1	49	50	50	50	40	49,4
1f	45	45	45	45	44	44,6

TABLA XI: VALORES MEDIDOS DE Qg.

$$q \text{ med} = \frac{50 + 48.4 + 49.4 + 44.6}{4} = 48.2$$

$$q \text{ max} = \frac{50 + 50}{2} = 50$$

$$q \text{ min} = \frac{50 + 48 + 49 + 44}{4} = 47.7$$

$$CU = 100 \times \frac{1}{2} \left(\frac{47.7}{48.2} + \frac{48.2}{50} \right) = 97.7$$

Llegamos así a los siguientes resultados.

Valido para 1992	PIMIENTO	TOMATE	MELON
Julio			0.784
Agosto	0.784	0.784	0.784
Septiembre	0.882	0.882	0.882
Octubre	0.882	0.931	0.931

TABLA XII: VALORES MODIFICADOS DE Ea.

2.4. MEDICION DE LA HUMEDAD DEL SUELO.

Entre los métodos más usados para medir la humedad del suelo están: el uso de tensiómetros, el método de la estufa y los estimativos aproximados en el campo.

Los tensiómetros son aparatos que miden la tensión con que el terreno retiene el agua, entregándose así una medida indirecta del contenido de humedad del

suelo." El tensiómetro es básicamente un tubo sellado lleno con agua; en un extremo tiene una cápsula de cerámica porosa y en otro un manómetro medidor de vacío." (6)

Para aplicar el segundo método se debe tomar una muestra de terreno y ponerla en una estufa a 105 °C hasta que el peso se haga constante. El porcentaje de humedad de la muestra será "La relación entre el peso de agua perdido por la muestra y el peso de la muestra seca, multiplicada por cien" (7).

Una forma práctica para estimar el contenido de humedad del terreno, in situ, es tomar un puñado de suelo y observar su consistencia y apariencia al presionarlo entre la mano. El estimativo del contenido de humedad se hace en base al cuadro tomado de la REF. 7 que se muestra en el apéndice, siendo 100 % la diferencia entre la Sfc y Sw.

La diversidad de opiniones referentes a las necesidades de suministro (tiempo e intervalos de riego) nos llevaron a regar durante 1 hr pasando un día cuando el intervalo calculado se hizo mayor a 2 días. Entre viernes y lunes el tiempo de riego usado fue 1.5 Hr. Se practicaron agujeros en el

terreno y en base a los criterios mencionados en el párrafo anterior se elaboró la siguiente tabla.

Fecha	
1992-10-02	Riego de acuerdo a recomendaciones de agrónomos: Melón = Pimiento = 1 hr Tomate = 1hr, 15 min
1992-10-05	Los agujeros junto a las plantas muestran: - Melón: Sfc debajo de 0.2 m - Pimiento y tomate : Sfc a partir de 0.1 m - Riego Normal: 1 hora para los tres cultivos - Melón = Pimiento = 1 hr - Tomate = 1 hr, 15 min
1992-10-07	Los agujeros junto a las plantas muestran: - En los tres cultivos = 75% a partir de 0.03 m Los agujeros entre líneas portagoteros muestran: - Melón: Humedad < 50% hasta 0.2 m - Pimiento y tomate: Sfc debajo de 0.2m - Despues de regar 1 hr todo el perfil (0.2m desde la superficie) se muestra a Sfc en los tres cultivos.

TABLA XIII: MEDICIONES DE LA HUMEDAD DEL TERRENO.

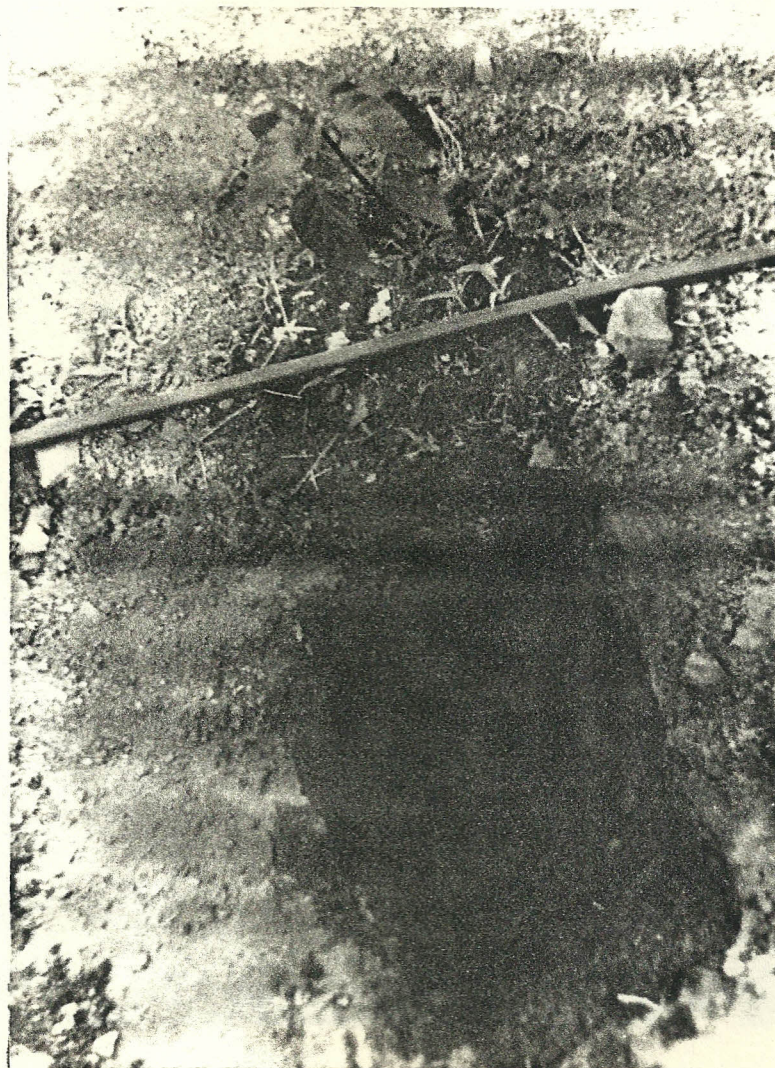


FIG. 7: AGUJERO PRACTICADO JUNTO A LA ZONA
MOJADA.



FIG. 10: DETERMINACION DE LA HUMEDAD DEL SUELO
EN BASE A SU APARIENCIA Y CONSISTENCIA.

2.5. DOSIS Y FRECUENCIAS DE RIEGO REALES.

El análisis de la tabla XIII y el criterio de los riegos permanentes para un máxima efectividad, nos hicieron ver la conveniencia de acortar los intervalos inicialmente calculados.

MESES	AGOSTO	SEPT.	OCTB.
D (m)	0.03	0.06	0.15
Sa*D(mm)	4.38	8.76	11.9
p	0.35	0.31	0.33
d = p*Sa*D(mm)	1.53	2.72	7.23
(1-p)Sa*D(mm)	2.85	6.04	14.67
Ea = CU*RT	0.784	0.882	0.882
dn = d/Ea (mm)	1.95	3.08	8.20
dnt = 1.2 dn(mm)	2.34	3.70	9.84
i = d/Etm (días)	0.37	0.57	1.64
tr = 57.7×10^{-3} dnt	0.13	0.21	0.57

TABLA XIV: CALCULOS MODIFICADOS PARA EL SUMINISTRO DE RIEGO DEL PIMIENTO.

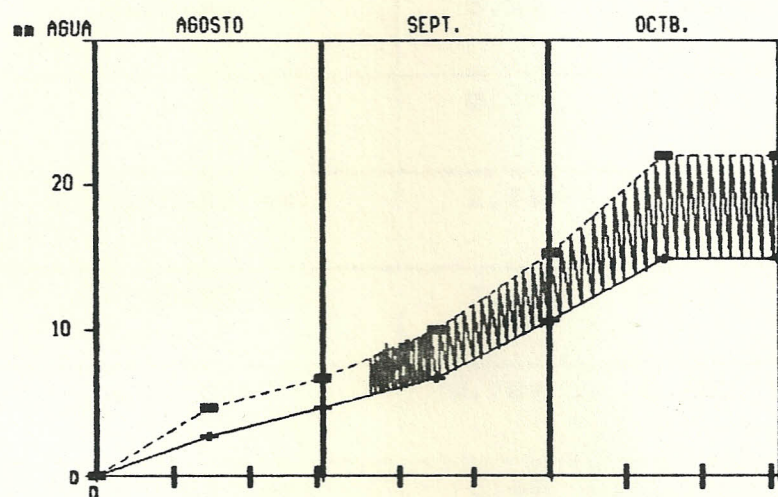


FIG. 11: AJUSTES EN LAS NECESIDADES DE SUMINISTRO PARA PIMIENTO.

MESES	AGOSTO	SEPT.	OCTB.
D (m)	0.04	0.06	0.15
Sa*D(mm)	5.84	8.76	21.9
p	0.47	0.40	0.49
d = p*Sa*D(mm)	2.74	3.50	10.73
(1-p)Sa*D(mm)	3.10	5.26	11.17
Ea = CU*RT	0.784	0.882	0.931
dn = d/Ea (mm)	3.49	3.97	11.52
dnt = 1.2dn (mm)	4.19	4.76	13.83
i = d/Etm (días)	0.66	0.70	2.85
tr = 57.7 x10 ⁻³ dnt	0.24	0.27	0.80

TABLA XV: CALCULOS MODIFICADOS PARA EL SUMINISTRO DE RIEGO DEL TOMATE.

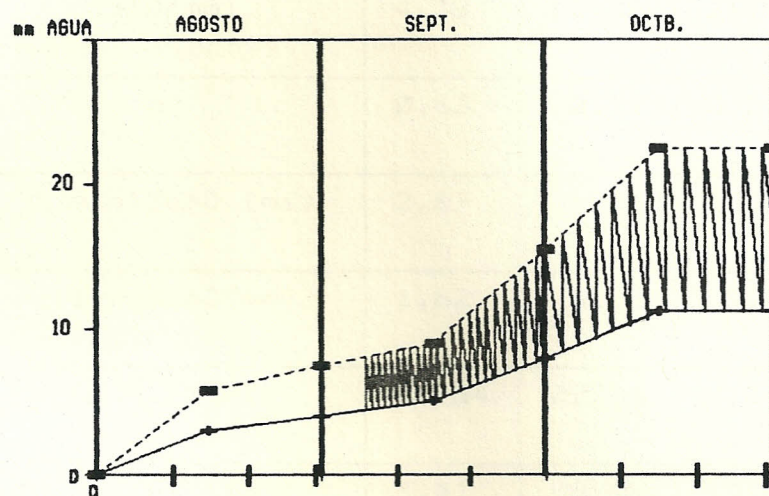


FIG. 12: AJUSTES EN LAS NECESIDADES DE SUMINISTRO PARA TOMATE.

MESES	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCTB.
D (m)	0.03	0.08	0.15	0.15
Sa*D(mm)	4.38	11.68	21.90	21.90
p	0.63	0.57	0.55	0.65
d = p*Sa*D (mm)	2.67	6.66	12.04	14.23
(1-p)Sa*D(mm)	1.62	5.02	9.86	7.67
Ea = CU*RT	0.784	0.784	0.882	0.931
dn = d/Ea (mm)	3.41	8.49	13.65	15.28
dnt = 1.2 dn (mm)	4.09	10.19	16.38	18.34
i = d/Etm (días)	0.73	1.56	2.71	4.14
tr = 13.8×10^{-2} dnt	0.57	1.41	2.27	2.54

TABLA XVI: CALCULOS MODIFICADOS PARA EL SUMINISTRO DE RIEGO DEL MELON.

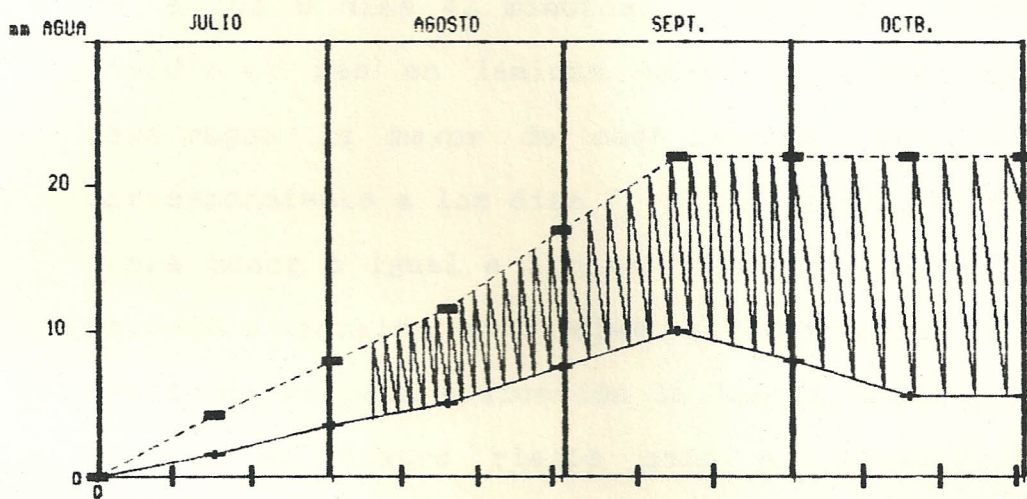


FIG. 13: AJUSTES EN LAS NECESIDADES DE
SUMINISTRO PARA MELON.

A estas alturas tenemos en claro que los intervalos entre riegos (i) no deben ser mayores a dos días (Tabla 13, experiencia de personas que cultivan el producto, y recomendación indicada en el subcapítulo 2.1); así mismo la experiencia personal demostró que es conveniente regar láminas fijas durante una semana a tener que controlar: hoy 37 minutos, pasado mañana 39, a los 6 días 42 minutos. Se decidió entonces dividir al mes en láminas semanales, seleccionando para regar la mayor de cada semana, es decir la correspondiente a los días 7, 15, 22 y 30 o 31 cuando i era menor o igual a 2 días. Por otra parte los i mayores o iguales a 3 días se acortarían a 2 y usaríamos en cada aplicación la lámina total semanal dividida en cuatro riegos como se muestra en la figura 14.

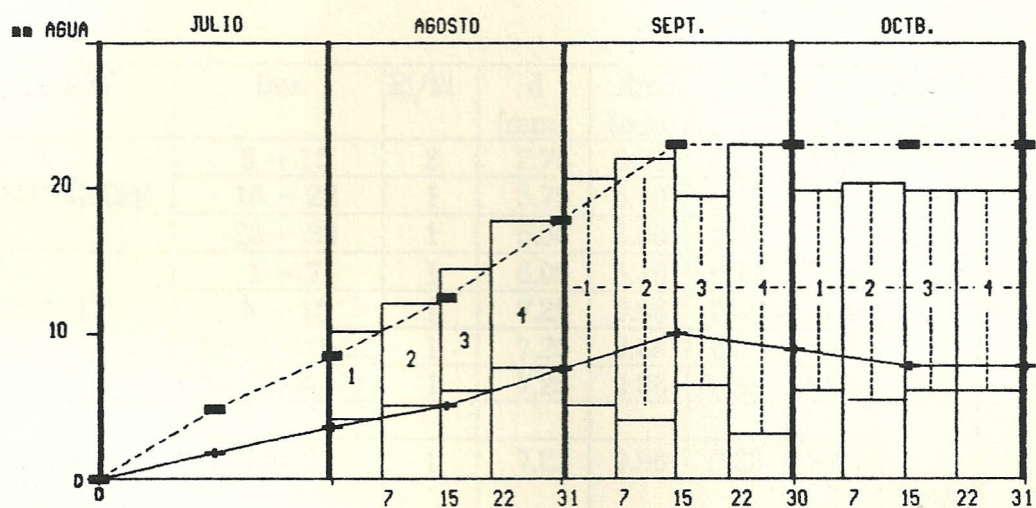


FIG. 14: NECESIDADES DE SUMINISTRO USANDO LAMINAS SEMANALES.

MES	Días	Ri/Di	d (mm)	dnt (mm)	tr		TOT MENS	TOT CICLO
					hr	min		
SEPTIEMBRE	8 - 15	2	2.75	3.74	0.21	13.0	120	
	16 - 22	1	3.75	5.10	0.78	18.0		
	23 - 30	1	5.00	6.80	0.83	24.0		
OCTUBRE	1 - 7	1	6.00	8.16	0.47	28.0	223	
	8 - 15	1	7.25	9.86	0.60	34.0		
	17-18-20-22	1	7.25	9.86	0.60	34.0		
	24-26-28-30	1	7.25	9.86	0.60	34.0		
NOVIEMBRE	CADA 2	1	7.25	9.86	0.60	34.0	148	
DICIEMBRE	CADA 2	1	7.25	9.86	0.60	34.0	148	

TABLA XVII: CALENDARIO DE RIEGOS RECOMENDADO PARA PIMIENTO

MES	Días	Ri/Di	d (mm)	dnt (mm)	tr		TOT MENS	TOT CICLO
					hr	min		
SEPTIEMBRE	8 - 15	2	3.50	4.78	0.27	17.0	193	
	16 - 22	1	5.25	7.54	0.41	25.0		
	23 -29	1	7.00	9.52	0.58	33.0		
OCTUBRE	1-3-5-7	1	9.00	11.60	0.67	40.0	168	
	9-11-13-15	1	7.50	9.67	0.58	33.0		
	17-19-21-23	1	8.00	10.31	0.59	36.0		
	25-27-29-31	1	8.00	10.31	0.59	36.0		
NOVIEMBRE	CADA 2	1	8.00	10.31	0.59	36.0	155	
DICIEMBRE	CADA 2	1	8.00	10.31	0.59	36.0	155	
								671

TABLA XVIII: CALENDARIO DE RIEGOS RECOMENDADO PARA TOMATE

MES	Días	Ri/Di	d (mm)	dnt (mm)	tr		TOT MENS	TOT CICLO
					hr	min		
AGOSTO	4-7	1	5.75	8.80	1.22	73.0	184	
	8-10-12-14	1	6.75	10.33	1.43	86.0		
	16-28-20-22	1	8.00	12.24	1.69	102.0		
	24-26-28-30	1	9.50	14.54	2.01	121.0		
SEPTIEMBRE	1-3-5-7	1	7.50	10.20	1.41	85.0	173	
	8-10-12-14	1	8.50	11.58	1.60	96.0		
	16-18-20-22	1	6.25	8.50	1.18	71.0		
	24-26-28-30	1	9.50	12.92	1.79	107.0		
OCTUBRE	1-3-5-7	1	6.75	8.70	1.20	72.0	146	
	8-10-12-14	1	7.00	9.02	1.25	75.0		
	16-18-20-22	1	7.25	9.34	1.29	78.0		
	24-26-28-30	1	7.25	9.34	1.29	78.0		

TABLA XIX: CALENDARIO DE RIEGOS RECOMENDADO PARA MELON

(PRIMERA SIEMBRA) *

* SIN COSECHA

Siguiendo el procedimiento ya explicado se obtuvo para la segunda siembra de melón el siguiente calendario de riegos.

MES	Días	Ri/Di	d (mm)	dnt (mm)	tr		TOT MENS	TOT CICLO
					hr	min		
NOVIEMBRE							106	
	15-21	1	4.0	5.14	0.75	45.0		
	22 - 31	1	5.0	6.8	0.94	56		
DICIEMBRE	2-4-6-7	1	6.0	8.16	1.13	68.0	141	
	9-11-13-15	1	7.0	9.52	1.32	79.0		
	17-19-21-23	1	6.0	8.16	1.13	68.0		
	25-27-29-31	1	7.0	9.52	1.32	79.0		
ENERO	1-3-5-7	1	6.0	8.16	1.13	68.0	144	
	9-11-13-15	1	6.5	8.84	1.22	73.0		
	17-19-21-23	1	7.0	9.52	1.32	79.0		
	25-27-29-31	1	7.0	9.52	1.32	79.0		
								391

TABLA XX: CALENDARIO DE RIEGOS RECOMENDADO PARA MELON
(SEGUNDA SIEMBRA)

El número de riegos de la REF. 8 que se muestran en la tabla XXI corresponde al sistema de riego por SURCOS.

	CICLO VEGETATIVO	LAMINA DE AGUA TOTAL (mm)	NUMEROS DE RIEGOS	
CALCULO	90	639	92	PIMIENTO
REF. 8	90 - 120	600	12	
CALCULO	90	671	77	TOMATE
REF. 8	80	400 - 800	15	
CALCULO	80	391	49	MELON
REF. 8	80 - 90	400 - 600	8 - 10	

TABLA XXI: COMPARACION DE CICLOS VEGETATIVOS Y REQUERIMIENTOS DE AGUA (REF. 8)

CAPITULO III

ANALISIS DE RESULTADOS

3.1. NECESIDADES DE RIEGO.

No existen referencias que permitan hacer un análisis cuantitativo de las dosis y frecuencias de riego calculadas. Las experiencias de las personas que cultivan estos productos, se aplican a sus particulares condiciones de clima y suelo, por lo tanto, sólo podríamos decir si nuestros cálculos se parecen a lo que es usual en nuestro medio o no.

Por falta de pruebas en las que se haya medido la cantidad de agua aplicada en similares circunstancias no se pueden establecer porcentajes de error; así pues la semejanza entre lo calculado y lo que normalmente se usa, no nos indica si estamos regando sólo el agua necesaria o con exceso.

Las fuentes consultadas sugieren dosis y frecuencias constantes por ejemplo 2 litros pasando un día en el caso del melón; pero no han experimentado con riegos calculados en base a los métodos aquí descritos. Se riega comunmente de acuerdo a como se presentan; el

clima, la planta y el terreno en ese día.

Si tomamos como base de comparación los valores de la referencia 8 mostrados en la tabla XXI, nuestros cálculos arrojan excelentes resultados en cuanto a láminas totales.

3.2. CAPTACION HIDRICA DE LA PLANTA.

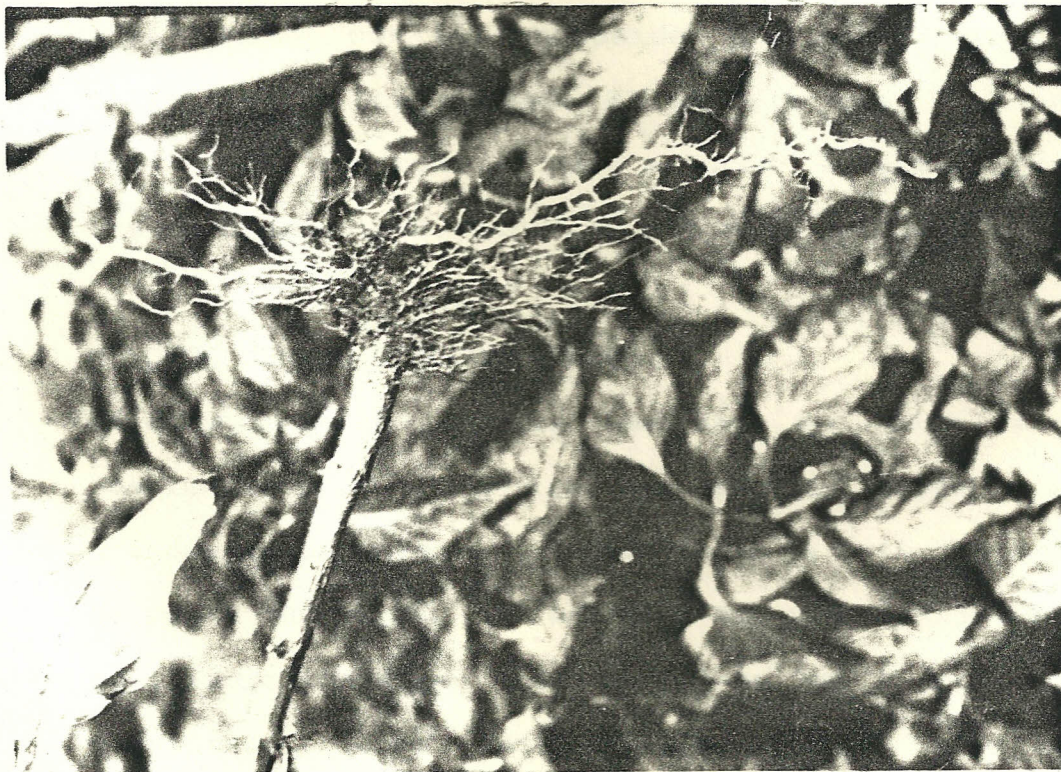


Fig. 15 COMPACTACION DEL TERRENO Y DESARROLLO RADICAL

La figura 15 muestra el problema que representa un terreno compactado para el crecimiento de la planta. El escaso desarrollo radical en profundidad provoca una competencia por los nutrientes y el agua en exceso conduce a estos fuera del alcance de las raíces. Esta circunstancia (terreno compactado) presente en nuestra área experimental hubiera impedido juzgar la exactitud de los cálculos aún en el caso de que se los hubiera aplicado.

La razón de transpiración (RT), fue estimada por observación directa del desarrollo de las plantas, y se justifica tener valores altos en el caso del melón y el tomate, por la frondosidad que presentan en el último mes. Una elevada RT permite que la planta tenga mayor oportunidad para absorber el agua, porque las pérdidas por evaporación son casi nulas.

3.3. METODOS USADOS Y RECOMENDADOS.

La determinación de la humedad en base a la apariencia y consistencia del suelo, presenta dos grandes inconvenientes en cuanto a la interpretación de sus resultados; el primero es que son juzgados casi subjetivamente y por otro lado son difíciles de cuantificar. Como los cálculos fueron ajustados tomando en cuenta también la humedad del terreno, hallada mediante el procedimiento que acabamos de

mencionar, las mejores alternativas para comprobar su exactitud eran sin duda: un seguimiento con tensiómetros, o bien el uso de placas metálicas conectadas a la computadora, la humedad se mide entonces en base a la conductividad eléctrica del terreno. Este último método estaba en fase de experimentación cuando finalizó el proyecto.

Los calendarios teóricos no fueron aplicados en su totalidad, sólo se usaron mientras el intervalo entre riegos era menor o igual a dos días, en lo posterior se regó de acuerdo a sugerencias de personas que se dedican a este tipo de cultivos. Los ajustes hechos buscaron que los cálculos teóricos se parecieran a los calendarios usados por quienes siembran estos frutos.

El agujero practicado alrededor de la zona mojada, permitió comprobar si la cantidad de agua y profundidad de riego no eran insuficientes, antes que, si el volúmen era el necesario o estábamos regando en demasía.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del análisis de resultados llegamos a los siguientes conclusiones.

- 1.- El riego aplicado en el área experimental condujo a buenos resultados.
- 2.- Se ha cumplido con el objetivo trazado, conocemos ahora un método para hacer los cálculos de necesidades de agua y los ajustes que deben practicarse, pues si bien los calendarios sólo se aplicaron parcialmente, garantizan agua suficiente. Afirmación que se confirma en base a los resultados de producción agrícola obtenidos.
- 3.- La buena cosecha de tomate se aseguró regando 1.25 tr durante la floración y 1.5 tr durante el desarrollo del cultivo.
- 4.- Se tiene un calendario confiable si:
 - No se permiten intervalos entre riegos mayores a 2 días.
 - Se hacen los cálculos con el 30 % del área tomando de la tabla 9 los valores para D.
 - Se mide la profundidad efectiva de extracción al momento del trasplante y al principio de la floración.

5.- El uso de goteros autocompensados permite obtener elevados coeficientes de uniformidad y por ende altas eficiencias.

Se pone a consideración las siguientes recomendaciones.

1.- Usar en futuras experiencias los calendarios de riego obtenidos con los cálculos estudiados, ayudándose con tensiómetros para hacer ajustes.

2.- Con el fin de optimizar el riego utilizando las placas metálicas y la computadora, deben probarse distintas profundidades de ubicación así como distancias de separación, durante las diferentes fases del ciclo vegetativo.

3.- Puede ocurrir que no se tenga información sobre las necesidades de riego de un determinado producto; en ese caso resulta útil regar unos 45 minutos, hacer un agujero alrededor de la zona mojada y comprobar: la profundidad de riego y la humedad presente. Si no se tienen tensiómetros o no hay la suficiente experiencia en su uso, el método de la inspección en base a la apariencia y consistencia del suelo es una buena alternativa. Se sugiere su aplicación para el mango.

A P E N D I C E

NORMALES MENSUALES

AEROPUERTO "SIMON BOLIVAR" GUAYAQUIL

AÑOS 1961 - 1988

VALORES MENSUALES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
-------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

VIENTO DOMINANTE

DIRECCION	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW
VEL.MEDIA kt	5.4	4.9	5.2	5.3	6.3	7.3	7.7	8.1	8.0	8.0	7.6	7.0
VEL.MAX.ABS.	SW	ENE	W	SSW	SSW	SSW	SSW	S	SW	S	SSW	SSW
VEL.MAX kt	10.0	18.0	22.0	17.0	20.0	20.0	20.0	22.0	24.0	24.0	20.0	22.0

TEMPERATURA DEL AIRE EN °C.

Media	26.6	26.8	27.3	27.1	26.0	25.1	24.4	24.0	24.5	24.7	25.2	26.2
Max. Media	31.6	31.5	32.4	32.2	31.2	30.2	29.7	30.1	31.0	30.5	31.3	31.9
Min Media	23.6	23.8	21.1	23.8	22.9	21.6	20.9	20.5	20.9	21.5	21.8	22.7
Max. Abs.	37.2	35.2	36.0	36.0	35.2	35.0	34.1	34.7	34.5	35.1	35.4	37.0
Min. Abs.	20.4	20.8	21.4	21.8	19.4	18.8	17.5	18.0	17.5	19.2	19.0	19.6

HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE EN %

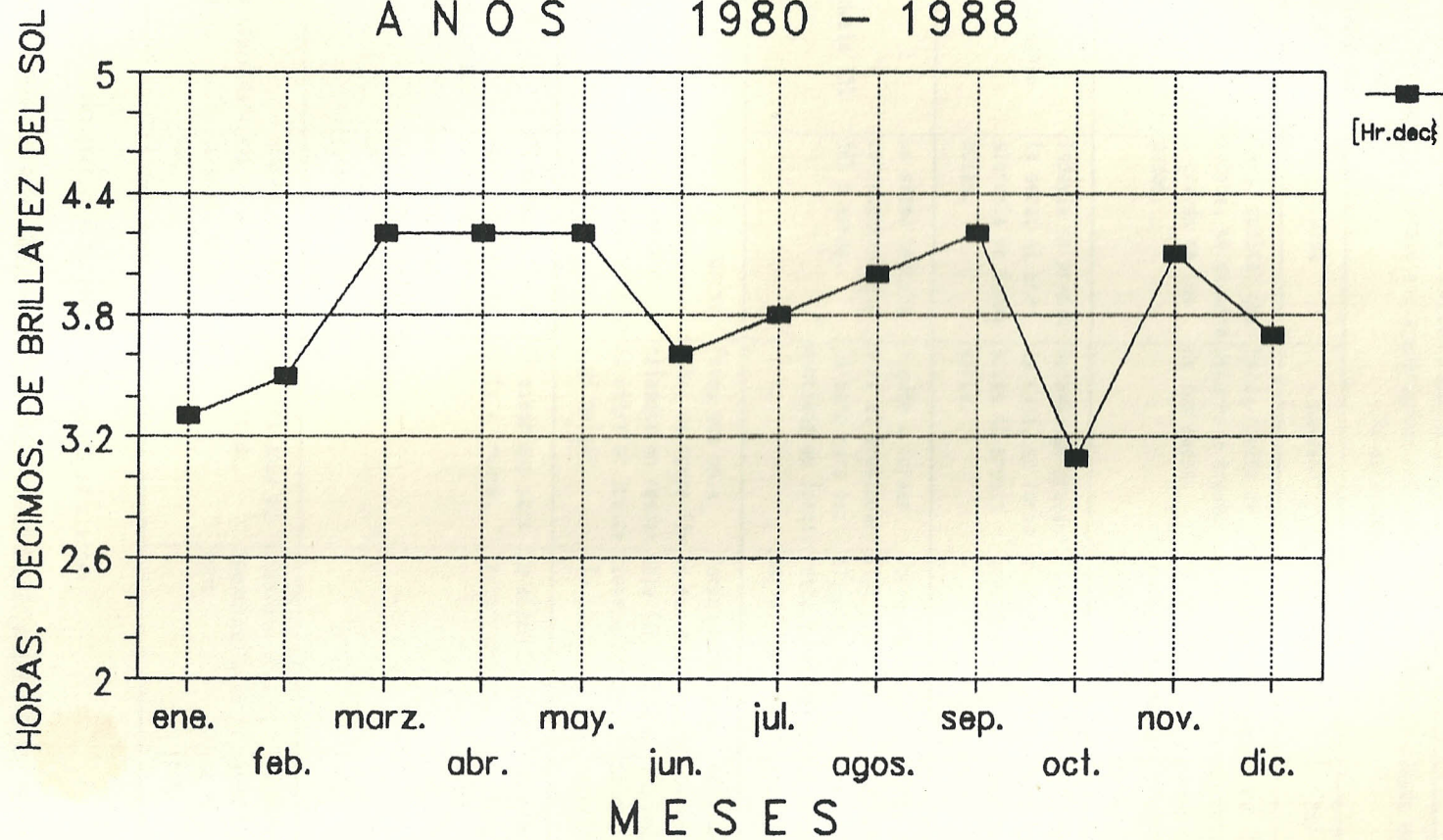
Media	75	77	75	76	73	75	75	73	71	72	70	70
Max. Media	89	91	89	90	86	87	87	86	84	84	84	84
Min. Media	57	60	58	58	57	59	58	55	53	55	52	52

CANTIDAD TOTAL DE LLUVIA EN mm

Media	200.7	274.9	216.3	202.4	69.5	53.0	24.5	1.8	1.7	1.4	12.9	49.3
Max.Abs.24H.	117.1	126.0	149.3	156.4	164.4	111.6	51.3	12.2	6.2	4.8	30.4	55.8
No.DIAS PRM.	18	22	17	18	19	4	3	2	2	4	3	8

HELIOFANIA.PROMEDIO. [HORAS, DECIMOS]

A Ñ O S 1980 - 1988



FUENTE: Estación Meteorológica de la Espol.

Porcentaje de Humedad del suelo, aprovechable por las plantas	Consistencia apariencia del suelo al presionar un puñado entre la mano según su textura			
	Gruesa	Liviana	Media	Muy pesada
0	Seca, suelta, granulada, se escurre a través de los dedos.	Seca, suelta se escurre a través de los dedos.	Pulverimento, seca a veces ligeramente encostrada siendo fácilmente desmenuzable.	Dura, compacta agrieta algunas veces presenta terreno en superficie.
50% o menos	Todavía se presenta seca; al presionarla no forma bolas.	Todavía se presenta seca, no forma bolas al presionarla.	Algo desmenuzable pero se une al presionarla.	Algo blanda, formará bolas al presionarla (1)
50% hasta 75%	La misma textura correspondiente a 50% o menos.	Tiende a formar bola al presionarla pero rara vez mantiene su forma.	Forma una bola algo plástica algunas veces se resbala al presionarla.	Forma una bola y produce una cinta presionarla entre el dedo pulgar y el índice.
75% hasta la capacidad del campo.	Tiende a pegarse ligeramente, a veces forma una bola débil al presionarla.	Forma una bola débil se rompe fácilmente no resbala entre el índice y el pulgar.	Forma una bola y es muy dúctil resbala fácilmente si tiene mucha arcilla.	Fácilmente forma una cinta entre los dedos, produce una sensación resbalosa.
A la capacidad de campo.	Al presionarla el agua libre no se hace aparente en el suelo, pero queda una huella de la bola en la mano.	Lo mismo que para textura gruesa.	Lo mismo que para textura gruesa.	Lo mismo que para textura gruesa.
Sobre la capacidad de campo.	Aparecerá agua cuando el suelo es golpeado en la mano.	Liberará agua al ser amasada.	Liberará agua al comprimirla en la mano.	Se enfanga y el agua libre aparece en la superficie.

(1) Se forman bolas apretando firmemente un puñado de tierra.

CONSISTENCIA Y APARIENCIA DEL SUELO AL PRESIONAR UN PUÑADO ENTRE LA MANO; SEGUN TEXTURA (REF. 7)

B I B L I O G R A F I A

- 1.- F.A.O RIEGO Y DRENAJE, VOL. 24, EDITORIAL F.A.O., ROMA, 1974
- 2.- F.A.O RIEGO Y DRENAJE, VOL 33, EDITORIAL F.A.O, ROMA 1980.
- 3.- MEDINA JORGE., RIEGO POR GOTEO, EDICIONES MUNDIPRENSA, MADRID, 1988
- 4.- DALE E. RIEGO POR GOTEO CUANTO? COMO? DONDE?, TOMADO LA REVISTA AGRICULTURA DE LAS AMERICAS, NOVIEMBRE 1972
- 5.- RODRIGUEZ FLORENCIO, RIEGO POR GOTEO. EGT EDITOR S.A. MEXICO D.F. 1982
- 6.- PRIETO VICTOR. MEDICIONES DE HUMEDAD DEL SUELO. TOMADO DE LA REVISTA AGRICULTURA DE LAS AMERICAS MARZO 1984
- 7.- BLAIR ENRIQUE, INFORME DE RIEGOS Y AVENAMIENTOS, LIMA, 1957
- 8.- AGRIPAC. INFORME TECNICO, GUAYAQUIL, 1992.