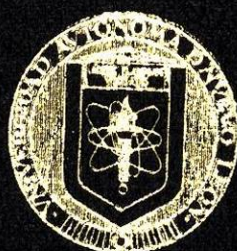


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA



COMPARACION DE CINCO METODOS INDIRECTOS  
PARA ESTIMAR EL USO CONSUNTIVO DEL TRIGO  
Triticum aestivum/ EN LA REGION DE MARIN, N. L.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

PRESENTA

DAVID QUINTANILLA COBIAN

MARIN, N. L.

NOVIEMBRE DE 1981

T  
SB191  
.W5  
Q55  
C.1



1080063460

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE AGRONOMIA



COMPARACION DE CINCO METODOS INDIRECTOS PARA ESTIMAR EL  
USO CONSUNTIVO DEL TRIGO (Triticum aestivum)  
EN LA REGION DE MARIN, N.L.

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA  
PRESENTA

DAVID QUINTANILLA COBIAN

MARIN, N.L.

NOVIEMBRE DE 1981

T  
SB19L  
.WS  
Q55



DEDICATORIA

CON MUCHO CARIÑO Y RESPETO  
PARA MIS PADRES

Sr. LEONCIO QUINTANILLA TREVIÑO  
Sra. LAURA COBIAN DE QUINTANILLA

Por todos sus esfuerzos y apoyo que  
me brindaron durante mis estudios.

CON AFECTO A MIS HERMANOS

LEONCIO  
ALFONSO  
SERGIO  
MA. LAURA  
JORGE

Que me dieron su apoyo en  
todo momento y motivaron  
en mi el sentimiento del  
deber.

## A G R A D E C I M I E N T O S

### A MIS ASESORES

Ing. CARLOS H. SANCHEZ SAUCEDO

Ing. BENJAMIN IBARRA RUIZ

Por su apoyo y orientación en  
la elaboración de este trabajo.

### A LA Srita. OLGA LOREDO MENDEZ

Por su ayuda en la realización  
de este trabajo.

### A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS

Que de alguna manera intervinieron  
y colaboraron para llevar a efecto  
este trabajo.

# I N D I C E

	Pag.
I. INTRODUCCION - - - - -	1
II. REVISION DE LITERATURA - - - - -	3
II.1. El cultivo del trigo - - - - -	3
II.1.1. Importancia mundial y nacional - - - - -	3
II.1.2. Origen geográfico - - - - -	3
II.1.3. Necesidades hídricas del trigo - - - - -	4
II.2. Requerimientos hídricos de las plantas - - - - -	5
II.3. Relación suelo - planta - agua - - - - -	6
II.3.1. Conceptos básicos utilizados en la relación suelo - planta - agua - - - - -	7
II.4. El uso consuntivo del agua en las plantas - - - - -	10
II.4.1. Factores que influyen en el uso consuntivo - - - - -	12
II.4.2. Métodos para estimar el uso consuntivo - - - - -	15
II.4.2.1. Métodos directos - - - - -	16
II.4.2.1.1. Método del lisímetro - - - - -	16
II.4.2.1.2. Método del evapo-transpirómetro de Thornthwaite	17
II.4.2.1.3. Método de los atmómetros desarrollados por Li- vingston - - - - -	18
II.4.2.1.4. Método gravimétrico - - - - -	19
II.4.2.1.5. Método de integración - - - - -	21
II.4.2.1.6. Método de entradas y salidas de agua para gran des extensiones - - - - -	21
II.4.2.1.7. Método micrometeorológico - - - - -	22
II.4.2.1.7.1. Método aerodinámico - - - - -	22
II.4.2.1.7.1.1. Método de Dalton - - - - -	26
II.4.2.1.7.2. Método del balance de energía - - - - -	27
II.4.2.1.7.3. Métodos combinados - - - - -	29
II.4.2.1.8. Método de McIlroy - - - - -	30



	Pag.
II.4.2.2.2. Método de Jensen - Haise - - - - -	38
II.4.2.2.3. Método modificado de Jensen Haise - - - - -	42
II.4.2.2.4. Método en base a la evaporación del tanque tipo- "A" con la fórmula de Grassi - Christiansen - -	43
II.4.2.2.5. Método de Grassi - Christiansen - - - - -	45
II.4.2.2.6. Método de Hargreaves - - - - -	49
II.4.2.2.7. Método de Thornthwaite - - - - -	53
II.4.2.2.8. Método de Blaney - Morin - - - - -	55
II.4.2.2.9. Método de Blaney - Criddle - - - - -	56
II.4.2.2.9.1. Método de Grassi - Christiansen - - - - -	60
II.4.2.2.9.2. Método de la curva única de Hansen - - - - -	64
II.4.2.2.10. Método de Lowry - Johnson - - - - -	67
II.4.2.2.11. Método de Makkink - - - - -	68
II.4.2.2.12. Método de Turc - - - - -	69
II.4.2.3. Evapotranspiración en el campo de cultivo - - -	73
 III. MATERIALES Y METODOS - - - - -	 78
 IV. RESULTADOS Y DISCUSION - - - - -	 84
 V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES - - - - -	 96
 VI. RESUMEN - - - - -	 98
 VII. BIBLIOGRAFIA - - - - -	 100
 VIII. APENDICE - - - - -	 103

INDICE DE TABLAS, CUADROS Y FIGURAS

	Pag.
TABLA 1. 1 Rendimiento como una fracción de la humedad aprovechable (HA) usada para algunos cultivos (Keller, Willardson y Woodward, 1962) - - - - -	8
TABLA 2. 2 Valores medios mensuales de la radiación solar en ausencia de atmosfera expresada en altura equivalente de agua evaporada en mm/día. - - - - -	34
TABLA 2. 3 Valores de $G_{Ta}^4$ equivalente de agua evaporada, en mm/día. - - - - -	35
TABLA 2. 4 Valores de K para emplear en la fórmula de Jensen-Haise - - - - -	39
TABLA 2. 5 Valores de porcentaje mensual de horas luz-"P" de Blaney - Criddle - - - - -	50
TABLA 2. 6 Valores del coeficiente k para la fórmula de Hargreaves - - - - -	52
TABLA 2. 7 Coeficientes de desarrollo $K_c$ para el cálculo de usos consuntivos - - - - -	59
TABLA 2. 8 Valores de $K_G$ para diferentes tipos de cultivo - - - - -	60
TABLA 2. 9 Coeficiente periódico k de uso consuntivo - en función del ciclo vegetativo, de acuerdo con Grassi - Christiansen - - - - -	63
TABLA 2.10 Coeficientes globales de evapotranspiración estacional ( $K_G$ ) para diversos cultivos, en	

		donde los valores corresponden a las zonas de clima árido y semi-árido y los valores máximos a zonas húmedas y semi-húmedas. - - - - -	65
TABLA	2.11	Radiación máxima del aire. - - - - -	75
TABLA	2.12	Duración mensual del día N. - - - - -	76
TABLA	2.13	Constantes para determinar el coeficiente de madurez del cultivo $k_{co}$ . - - - - -	77
CUADRO	1	Gasto en litros/minuto, Parshall de .2" de diámetro. - - - - -	104
CUADRO	2	Datos de constantes de humedad, capacidad de campo, C.C., punto de marchitez permanente, P.M.P. y densidad aparente Da a las profundidades de 0 - 25 y 25 - 50. - - - -	105
CUADRO	3	Contenido de humedad de los tratamientos por estratos, para cada una de las fechas de muestreo. - - - - -	106
CUADRO	4	Resumen de las propiedades físicas del suelo de acuerdo a la textura. - - - - -	107
CUADRO	5	Datos diarios sobre temperatura máxima, mínima y promedio de la estación meteorológica de la FAUANL en Marín, N.L. y la estación meteorológica del ejido Marín - N.L. - - - - -	108

CUADRO	6	Datos diarios de evaporación, en mm, en el campo, estación meteorológica de la FAUANL en Marín N.L. y la estación meteorológica del ejido Marín, N.L. - - - - -	113
CUADRO	7	Datos diarios de precipitación en mm, registrados en la estación meteorológica de la FAUANL en Marín, N.L. y la estación meteorológica del ejido Marín, N.L. - - - - -	118
CUADRO	8	Datos de uso consuntivo por período en cm. de cada uno de los tratamientos. Método gravimétrico. - - - - -	87
CUADRO	9	Cálculo del uso consuntivo por el método gravimétrico para el tratamiento 1. - - - - -	125
CUADRO	10	Cálculo del uso consuntivo por el método gravimétrico para el tratamiento 2. - - - - -	127
CUADRO	11	Cálculo del uso consuntivo por el método gravimétrico para el tratamiento 3. - - - - -	129
CUADRO	12	Cálculo del uso consuntivo por el método gravimétrico para el tratamiento 4. - - - - -	131
CUADRO	13	Datos de evaporación y uso consuntivo de los métodos indirectos por período. - - - - -	87
CUADRO	14	Cálculo del uso consuntivo por el método de Blaney - Criddle. - - - - -	133
CUADRO	15	Cálculo del uso consuntivo por el método modificado de Jensen - Haise. - - - - -	136

CUADRO 16	Transformación de la evapotranspiración - potencial a evapotranspiración real del - método modificado de Jensen - Haise. - - - - -	139
CUADRO 17	Cálculo del uso consuntivo por el método de Jensen - Haise. - - - - -	140
CUADRO 18	Transformación de la evapotranspiración - potencial a evapotranspiración real del - método de Jensen - Haise. - - - - -	142
CUADRO 19	Cálculo del uso consuntivo por el método del tanque evaporímetro usando la fórmula la de Grassi - Christiansen. - - - - -	143
CUADRO 20	Datos de rendimiento de cada uno de los - tratamientos. - - - - -	146
FIGURA 2.1	Valores de presión de vapor, $e_d$ , mm de Hg en función de la temperatura, en °C. - - - - -	36
FIGURA 2.2	Valores de vapor vs. temperatura, $\Delta$ , . - - - - -	37
FIGURA 2.3	Monograma para estimar la evapotranspira- ción de los cultivos por la fórmula de - Grassi - Christiansen. - - - - -	48
FIGURA 2.4	Relación entre humedad relativa media dia- ria y la humedad relativa media al medio- día. - - - - -	51
FIGURA 2.5	Curva única de Hansen. - - - - -	66

FIGURA	2.6	Monograma para determinar la evapotranspiración según W.Halvak con la fórmula - Turc. - - - - -	74
FIGURA	1	Distribución de la precipitación durante el desarrollo del ciclo vegetativo del trigo. - - - - -	123
FIGURA	2	Desarrollo fenológico del cultivo desde la siembra a la cosecha, muestreos de humedad y riegos aplicados. - - - - -	124
FIGURA	3	Uso consuntivo promedio diario por período del tratamiento 1. - - - - -	126
FIGURA	4	Uso consuntivo promedio diario por período del tratamiento 2. - - - - -	128
FIGURA	5	Uso consuntivo promedio diario por período del tratamiento 3. - - - - -	130
FIGURA	6	Uso consuntivo promedio diario por período del tratamiento 4. - - - - -	132
FIGURA	7	Curva de desarrollo del trigo para el cálculo de $K_c$ en la fórmula de Blaney - Criddle. - - - - -	134
FIGURA	8	Uso consuntivo promedio diario por período determinado por el método de Blaney - Criddle. - - - - -	135
FIGURA	9	Uso consuntivo promedio diario por período determinado por el método modificado-	

	de Jensen - Haise. - - - - -	138
FIGURA 10	Uso consuntivo promedio diario por período determinado por el método de Jensen - Haise. - - - - -	141
FIGURA 11	Cúvra de desarrollo del trigo para el cálculo de $C_{Vc}$ en la fórmula de Grassi - Christiansen. - - - - -	144
FIGURA 12	Uso consuntivo promedio diario por período determinado por el método de Grassi - Christiansen. - - - - -	145
FIGURA 13	Uso consuntivo por período para los cuatro tratamientos. - - - - -	91
FIGURA 14	Uso consuntivo acumulado para los cuatro tratamientos. - - - - -	92
FIGURA 15	Uso consuntivo por período de los métodos indirectos, método gravimétrico del tratamiento 2 y la evaporación del tanque. - - - - -	93
FIGURA 16	Uso consuntivo acumulado de los métodos indirectos, método gravimétrico del tratamiento 2 y la evaporación del tanque. - - - - -	95

## INTRODUCCION

En Nuevo León, como en todos los estados de la República Mexicana, el agua es un factor limitante para la expansión de las tierras para la irrigación, para la producción de alimentos. Mientras aumenta la población, la demanda de agua se hace mayor lo cual crea la necesidad de la conservación y el uso más eficiente del agua.

Para lograr esto es necesario determinar la importancia básica que en el diseño y planteamiento de un proyecto de riego representan las necesidades hídricas de los cultivos, determinando la etapa de mayor demanda y el momento crítico en que la aplicación del riego tenga la máxima influencia sobre la producción.

Para la determinación de las demandas hídricas de los cultivos, se requiere de datos de difícil obtención directa, ya sea por la carencia de instrumentos y/ o personal que lo opere.

Generalmente los problemas y gastos planteados por el elemento básico agua aumentan al tratar de obtenerla y operarla optimamente ya sea en zonas áridas donde es escasa y su presencia requiere del traslado desde grandes distancias para desarrollar una zona agrícola, ó en zonas húmedas donde se requiere drenaje y captación para eliminar los excesos y regularizar los regímenes de escurrimiento.

Para resolver estos problemas es necesario obtener el máximo rendimiento de una unidad básica de agua, para esto, hay que saber cuando aplicarla, cuanto aplicar y como diseñar y dirigir un sistema de irrigación. Por lo tanto, el conocimiento del uso consuntivo del agua que se define como la cantidad unitaria de agua usada en un área dada para la transpiración de las plantas, para la construcción de la estructura de los tejidos de las plantas y para la evaporación del agua del suelo adyacente, es necesario para planear sistemas de irrigación y drenaje óptimos y mejorar las prácticas de irrigación existentes.



El objetivo del presente trabajo es determinar cuál de los métodos para calcular el uso consuntivo es el más apropiado para obtener los requerimientos hídricos de las plantas, para posteriormente tratar de reconocer el más aceptable a las necesidades y posibilidades de los cultivos de las diferentes zonas agrícolas, ó en el último caso, adoptar aquel que de acuerdo con la localidad estudiada reúna la mayoría de los requisitos para la obtención del uso consuntivo.

## REVISION DE LITERATURA

### II.1. El cultivo del trigo.

El cultivo del trigo se extiende ampliamente en muchas partes del mundo, quizás por ser una especie que tiene un amplio rango de adaptación y por su gran consumo en muchos países, de tal manera que en la actualidad ocupa el primer lugar entre los cuatro cereales de mayor producción mundial ( trigo, arroz, maíz y cebada ). Sin embargo, siendo un cultivo tolerante a bajas temperaturas en sus primeras fases de desarrollo, su mayor producción tiende a concentrarse en ciertas áreas, principalmente en aquellos países de climas templados y fríos. (Robles 1976)

#### II.1.1. Importancia mundial y nacional.

El trigo ocupa el primer lugar en producción y superficie entre los cereales básicos en la alimentación humana y animal.

Los países que producen más trigo son la U.R.S.S., China, Estados Unidos de Norteamérica, Canadá, India, Francia, Italia, Australia y Argentina; y los países que más exportan son Estados Unidos de Norteamérica, Canadá, Australia, U.R.S.S. y Argentina.

La importancia que tiene en México el trigo, de acuerdo con el área y producción, ocupa el cuarto lugar con 857,000 hectáreas y 2,400,000 toneladas de semilla. Con respecto al valor de la cosecha en la producción nacional, ocupa el tercer lugar dentro de los primeros 15 cultivos importantes dentro de la economía del país, con 2,198 millones de pesos. (Robles, 1976)

#### II.1.2. Origen geográfico

En la parte suroeste de Asia ya era el trigo una cosecha importante desde los primeros registros históricos. Se cultivaba en Grecia, Persia,

Egipto y en toda Europa, desde los tiempos prehistóricos. El trigo fué -- introducido a los Estados Unidos de Norteamérica por los primeros coloni -- zadores a lo largo de las costas orientales.

En México se introdujo el cultivo del trigo por los españoles a -- principios de la década de 1520 poco después de su llegada. (Robles, -- 1976)

### II.1.3. Necesidades hídricas del trigo.

Es necesario que el terreno tenga humedad suficiente para que las -- semillas germinen normalmente y mantenga a las plantas de trigo hasta -- por lo menos 30 días de su nacimiento y posteriormente aplicar los rie -- gos de auxilio.

La producción bajará notablemente si el cultivo sufre una falta -- de agua al momento de la floración y formación del grano. Se debe evitar el encharcamiento porque no solo lava el fertilizante aplicado sino que -- también causará problemas a la planta por falta de aire en las raíces, -- lo que puede perjudicar el rendimiento del cultivo.

La profundidad, estructura y textura del suelo tienen gran influen -- cia en las necesidades de riego para cualquier cultivo. El agua disponi -- ble en los suelos de textura ligera es menos que en suelos de textura me -- diana o pesada. Los suelos poco profundos y los ligeros necesitan riegos más frecuentes que aquellos que tienen mayor profundidad y textura pesa -- da.

Los riegos deben aplicarse antes de que las plantas presenten sín -- tomas de sequía, tales como el enrollamiento de las hojas o quemaduras -- en las puntas de las mismas. (Robles, 1976)

Para esta región se requieren de tres a cuatro riegos, según ---

la cantidad de precipitación que se presente durante el desarrollo del cultivo.

Calendario de tres riegos cuando se presentan lluvias.

RIEGOS	EPOCA DE APLICACION	LAMINA (cm.)
Presiembra ó germinación	Antes o después de sembrar	15
Primer riego de auxilio	35 - 40 días después de la nacencia	12
Segundo riego de auxilio	70 - 80 días después de la nacencia	12

Calendario de cuatro riegos cuando no se presentan lluvias.

RIEGOS	EPOCA DE APLICACION	LAMINA (cm.)
Presiembra ó germinación	Antes o después de la siembra	15
Primer riego de auxilio	35 - 45 días después de la nacencia	12
Segundo riego de auxilio	55 - 65 días después de la nacencia	12
Tercer riego de auxilio	75 - 85 días después de la nacencia	12

( Circular CIAGON, 1980 )

II.2. Requerimientos hídricos de las plantas.

Los requerimientos hídricos de la planta es la cantidad de agua requerida para mantener una deseada humedad en el suelo y nivel de salinidad apropiado durante la estación de cultivo.

Este es usualmente expresado como una profundidad de agua (lámina de agua) en cm. para un período dado de tiempo.

Bajo condiciones prácticas la cantidad de agua perdida por evaporación y transpiración es causada por un efecto combinado ya que ambos no son entre sí independientes, lo que se denomina Evapotranspiración. La transpiración puede ser influenciada por la evaporación del suelo, y la evaporación del suelo puede ser influenciada por el grado de cobertura existente del cultivo y la disponibilidad de humedad en el suelo cerca de la superficie del suelo.

La evapotranspiración resulta en la transferencia de agua pura (libre de sales) hacia la atmósfera, con lo cual las sales permanecen en la solución suelo - agua. El mantenimiento de un medio ambiente favorable para las raíces de la planta requiere de la humedad del suelo sea re- puesta como ésta sea usada y que las sales que se acumulen sean removi- das.

Los requerimientos de agua de la planta comprenden el agua total usada en la evapotranspiración mientras que el total del agua requerida para la irrigación también incluye las necesidades de agua para el lavado de sales acumuladas. La cantidad de agua requerida para el lavado de sales es directamente proporcional a la evapotranspiración y la concentración de sales existentes en el agua usada para el riego, que tenga el cultivo. Así, la evapotranspiración es el factor básico para determinar los requerimientos de agua para la irrigación. (García, 1979)

### II.3. Relación suelo - planta - agua.

La relación entre suelo-planta-agua trata de las propiedades físicas de los suelos y plantas que afectan el movimiento, retención y uso del agua. ( U.S.D.A., 1974 )

Las relaciones entre suelo-planta-agua que son de particular --

importancia en la agricultura de riego incluyen:

1.- La capacidad del suelo para retener agua y permanecer bien drenado.

2.- Las características de flujo del agua en los suelos.

3.- Las propiedades físicas del suelo incluyendo contenido de materia orgánica, profundidad del suelo, textura y estructura del suelo.

4.- Las propiedades químicas del suelo incluyendo la concentración de sales solubles y nutrientes debido al movimiento, uso y evaporación del agua localizada en el suelo.

El conocimiento de todas estas relaciones y como ellas serán relacionadas entre sí es de gran importancia para todos aquellos que desean mejorar las actividades de la irrigación y obtener el mejor, y más eficiente uso del agua. (García, 1979)

### II.3.3. Conceptos básicos utilizados en la relación suelo-planta-agua.

1.- Humedad del suelo: La humedad aprovechable es aquella que es retenida en los suelos entre su capacidad de campo, CC, y su punto de marchitez permanente, PMP. Si el contenido de humedad está por debajo del PMP, la planta realiza un esfuerzo debido a las deficiencias de humedad en el suelo (deficiencia hídrica) ocasionando cambios en el proceso fisiológico de la planta.

La diferencia entre la CC y el PMP nos da la humedad aprovechable, HA, sin embargo, el máximo beneficio económico de la inversión hecha en un cultivo no ocurrirá si el total de la HA es extraída por el cultivo. Consecuentemente, solo una fracción de la HA debe de ser permitida que se extraiga, esta fracción de HA es definida como Deflección Permisible de Humedad, DPH, y se expresa en la siguiente ecuación:

$$DPH = f(CC - PMP) \rho Pr \dots \dots \dots 1 - 1$$

Donde:

DPH = Deflección permisible de humedad del suelo.

f = Factor que depende del cultivo, adimensional (tabla 1.1 )

CC = Capacidad de campo, en %.

PMP = Porcentaje de marchitez permanente, en %.

$\rho$  = Densidad aparente del suelo, en  $gr/cm^3$ .

Pr = Profundidad della zona radicular, en m.

Así, del agua que es agregada al suelo durante la irrigación es estimada por la ecuación 1 - 1 .

Tabla 1.1 Rendimiento como una fracción de la humedad aprovechable (HA ) usada para algunos cultivos (Keller, Willardson y Woodward, --- 1962)

	PROMEDIO DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO.				
	PAPA (7 años)	CHICHAROS (4 años)	REMOLACHA (1 año)	CEBADA (3 años)	ALFALFA (1 año)
0.75 a 0.80	0.57	0.55	0.90	1.00	1.00
0.50 a 0.65	0.77	0.75	0.96	0.92	0.97
0.25 a 0.35	0.94	0.90	0.99	0.93	0.98
0.10 a 0.15	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95

2.4 Características hidráulicas de los suelos: una propiedad de los suelos que es extremadamente importante para la agricultura de riego es la tasa de infiltración o la razón de tiempo al cual el agua se percola hacia adentro del suelo. Esto es influenciado por las propiedades físicas y químicas del suelo y el gradiente hidráulico. La configuración de la superficie del suelo (surcos o melgas), la pendiente, la rugosidad y el tipo de vegetación que cubre el suelo, también influyen la infiltración.

La tasa de infiltración variará de cuando empieza el riego a valores relativamente altos para después a medida de que avanza el tiempo -- hasta llegar a un valor mucho más bajo al final del riego.

El término infiltración acumulada (profundidad de aplicación), la cual contabiliza las variaciones en el tiempo, es usada para definir la cantidad total de agua enviada a la zona radicular durante una irrigación.

La diferencia entre la infiltración y la permeabilidad no es influenciada por el gradiente hidráulico. La permeabilidad es también usada para designar el flujo a través de los suelos en cualquier dirección. La definición básica de permeabilidad es la velocidad de un flujo a través del espacio poroso en respuesta a cualquier valor de diferencia de fuerzas (Fuerzas de conducción).

3.- Propiedades físicas de los suelos: la matriz del suelo sirve de varias y muy valiosas formas, no solo como una base sobre la cual las plantas se sostienen en posición vertical, sino también como fuente de nutrientes y de proveer un buen balance entre la aereación y el contenido de humedad aprovechable para las plantas.

La textura y la estructura de los suelos tienen influencia entre las fuerzas intermoleculares y la absorción del agua en los suelos. Esas fuerzas pueden ser completamente sustanciales e incluyen la capilaridad y las fuerzas de atracción como resultado del cercano contacto entre las partículas sólidas del suelo. La textura del suelo también tiene gran influencia sobre la porosidad y la distribución y el tamaño de los poros por los cuales la permeabilidad del suelo o el aire, agua y las raíces de las plantas lo cual es tan importante para las plantas como un adecuado suministro de nutrientes. De hecho el sistema completo del suelo - planta-agua es interrelacionado de tal forma que la falta o falla de uno de los componentes puede acelerar los beneficios de todos los otros.

La profundidad del suelo es importante porque ésta establece la can



tividad de agua y nutrientes que se pueden almacenar, también como los límites de la zona radicular.

Las prácticas de irrigación son influenciadas por el grado de proliferación de las raíces, tal que, el suministro de agua aprovechable para la planta está limitada por el volumen del suelo que contenga el sistema radicular del cultivo.

4.- Propiedades químicas del suelo: las propiedades químicas del suelo pueden influenciar grandemente la irrigación del suelo al afectar las propiedades hidráulicas de éste. Los suelos sódicos tienden a tener una muy pobre estructura, debido a su propiedad de dispersarse lo cual tiende grandemente a reducir el espacio poroso. Este afecta grandemente a la permeabilidad del suelo al agua.

Un suelo salino retardará o impedirá la germinación y puede substancialmente reducir el crecimiento de la planta debido a la alta presión osmótica que se desarrolla en la solución agua-suelo y la planta.

Esas presiones, las cuales parecen ser independientes del tipo de sales presentes, grandemente impiden la habilidad de la planta para absorber el agua. En suma a los efectos adversos causados por la salinidad pueden incluirse el desbalance nutricional o el daño de sustancias tóxicas causadas por algunos iones específicos. (García, 1979)

#### II.4. El uso consuntivo del agua en las plantas.

El riego se practica principalmente para corregir las deficiencias en la distribución y cantidad de la precipitación natural del clima en una área determinada. Dado que la necesidad del riego depende del clima es natural que la respuesta a muchos problemas derivados con el planteamiento del riego debe de ser encontrada a través de un estudio de los datos climatológicos, teniendo en cuenta que, el estudio de éstos datos en relación al riego, requiere de la aceptación de ciertos conceptos fundamentales en conexión con la entrada y pérdidas de humedad por el

suelo.

Por otra parte, puesto que diferentes cultivos desarrollan su sistema radicular a diferentes profundidades, es obvio que la cantidad total de humedad disponible del suelo para un cultivo, dependerá además de la profundidad efectiva del sistema radicular, del tipo de suelo que limita el espesor o influye en las características de retención del mismo. (SRH, 1971)

El término "Consumptive use of water", traducido como "Uso consuntivo del agua", fue planteado por primera vez por el Ing. John E. Field con la finalidad de mencionar el agua consumida por el cultivo.

El uso consuntivo se define como la cantidad de agua que es necesario suministrar para que sea utilizada en la construcción de los tejidos de las plantas, en la transpiración de las mismas y en la evaporación realizada por el suelo adyacente, durante el ciclo vegetativo de los cultivos.

Matemáticamente se puede expresar bajo la siguiente expresión:

$$\text{Uso consuntivo} = \text{Evaporación del suelo} + \text{Transpiración de las plantas} + \text{Construcción de los tejidos.}$$

Suele denominarsele únicamente evapotranspiración por la importancia del consumo de humedad de éstos conceptos que es aproximadamente de 99 %, en comparación con la utilizada para la formación de los tejidos de las plantas, donde solamente se aprovecha el 1 al 2 % de la humedad. (SARH, 1979) (SARH, 1977)

Evapotranspiración potencial.- Según Penman es la cantidad de agua que consume un cultivo de talla baja y uniforme, que cubre totalmente el suelo y que siempre será provisto de humedad abundante. Lógicamente la cantidad de agua consumida de esta forma será mayor que la de uso consuntivo. (SARH, 1980)

#### II.4.1. Factores que influyen en el uso consuntivo.

La variabilidad del uso consuntivo del agua depende de diversos factores, en su mayoría determinantes del desarrollo vegetativo de las plantas y del consumo de agua.

Suelo.- (Estructura, textura, fertilidad, salinidad, capacidad de retención de agua, profundidad, nivel freático, etc.).

Cultivo.- (Especie, variedad, ciclo vegetativo, fase de desarrollo, fisiología intrínseca, etc.).

Agua.- (Disponibilidad, prácticas de riego, eficiencia de aplicación de riego, etc.).

Clima.- (Temperatura, fotoperíodo, calor aprovechable, precipitación, estado higrómico del aire, vientos, nubosidad, advección, etc.).

Los factores anteriormente mencionados, tienen influencia los unos sobre los otros y nunca actúan independientemente.

Diversos factores operan solos ó en combinación para influenciar las cantidades de agua consumida por las plantas. Sus efectos no son necesariamente constantes pero pueden diferir con la localidad y fluctuar año con año. Algunos involucran el factor humano, otros están relacionados con las influencias naturales del medio ambiente y las características de crecimiento de las plantas.

De las influencias naturales más importantes son: el clima, la provisión de agua, los suelos y la topografía. Los factores climáticos que afectan en especial al uso consuntivo del agua son: la precipitación, la temperatura, la radiación solar, la humedad, el viento, duración de la etapa de crecimiento, latitud y luz solar.

La precipitación .- La cantidad e intensidad de la precipitación - pueden tener algún efecto sobre la cantidad de agua consumida empleada durante cualquier verano. Bajo ciertas condiciones, la precipitación puede presentarse como una serie de lloviznas ligeras y frecuentemente durante la época calurosa del verano, que pueden agregar poco o nada a la humedad del suelo para uso de las plantas a través de la transpiración, pero que si disminuye la extracción de humedad almacenada. Tal precipitación puede perderse grandemente por evaporación directamente de la superficie del follaje de la planta y del suelo.

Parte de la precipitación de los aguaceros fuertes puede perderse - por escurrimiento superficial y la otra parte penetrando al suelo y está-disponible para la transpiración de la planta. Tal condición reduce la -- cantidad necesaria del agua de riego.

Temperatura.- El promedio del uso consuntivo del agua por los cultivos en cualquier localidad es probablemente afectado mucho más por la temperatura que por cualquier otro factor, ya que, para lapsos largos de -- tiempo es una buena medida de la radiación solar. Temperaturas bajas retardan el crecimiento de las plantas y temperaturas elevadas pueden causar dormancia. El uso consuntivo del agua puede variar grandemente aún en años de iguales temperaturas acumuladas debido a las desviaciones de la - distribución normal estacional. La transpiración no está influenciada exclusivamente por la temperatura si no por el área foliar y las necesidades fisiológicas de la planta, las que están relacionadas a la etapa de - madurez.

La humedad.- La evaporación y la transpiración aumentan en días de baja humedad y disminuye durante períodos de humedad alta por la variación de tensiones.

El viento.- La evaporación del agua de las superficies de la planta y suelo se efectúa más rápidamente cuando hay viento que cuando no hay, - vientos cálidos y otras situaciones inusitadas del viento durante el período de crecimiento incrementa la cantidad de agua consumida. Sin embargo, hay un límite en el cual la cantidad de agua puede perderse

en la evapotranspiración, puesto que, tan pronto se seca la superficie del suelo, la evapotranspiración se detiene prácticamente y la transpiración restringida por la capacidad de la vegetación para extraer y conducir la humedad del suelo a través de sus tejidos.

Etapa de desarrollo.- La etapa de desarrollo que está muy relacionada a la temperatura, ejerce un mayor uso por etapas del agua por las plantas. Debido a que la mayoría de los cultivos se sembraron cuando las heladas fuertes han pasado, los períodos libres de heladas pueden usarse como guía para calcular el uso consuntivo del agua; las fechas actuales de siembra y cosecha de los cultivos y las fechas promedio anuales del primero y último riego son importantes la estimación en los requerimientos de riego por los cultivos.

Latitud y luminosidad.- La latitud tiene influencia considerable en la cantidad del uso consuntivo del agua de diversas plantas. Debido al movimiento de la tierra y la inclinación del eje de la misma, las horas del día durante el verano son mayores en las latitudes boreales que en el ecuador. Dado que el sol es la fuente de toda la energía empleada en el desarrollo de los cultivos y en la evaporación del agua, esta duración mayor del día permite a las plantas el continuar respirando durante un período mayor durante cada día lo que produce un efecto similar a la prolongación del período de crecimiento.

Fuente de agua de riego disponible.- Todos los factores climáticos antes mencionados influyen en la cantidad de agua que potencialmente puede consumirse en un área dada. Sin embargo, hay otros factores que provocan diferencias importantes en las cantidades del uso consuntivo del agua, ya que, cuando no hay agua disponible de alguna fuente, (lluvia, agua del terreno natural o de riego) no puede haber uso consuntivo, así en las áreas áridas y semi-áridas donde se practica el riego en gran escala, tanto la cantidad como la distribución en etapas de la provisión de agua disponible afectará al uso consuntivo.

Calidad del agua.- Este factor puede tener un efecto apreciable en el uso consuntivo del agua para la vegetación. El que las plantas trans-

pieren más o menos cuando el agua es muy alcalina está sujeto a discusión, sin embargo, si es necesario la aplicación de agua salina adicional a las tierras bajo riego para arrastrar las sales a través del suelo.

Fertilidad del suelo.- Si un suelo, se hace más fértil por la aplicación de fertilizantes o por otros métodos, deben esperarse incrementos en los rendimientos o de los cultivos acompañados de un pequeño incremento en el consumo de agua. Sin embargo, un incremento en la fertilidad del suelo provoca una disminución en la cantidad de agua consumida por unidad de rendimiento de cosecha.

Plagas y enfermedades.- Donde las plagas y enfermedades afectan el crecimiento natural de la vegetación es razonable suponer que la transpiración disminuirá de igual manera. Es debido a que año con año se presentan daños en los cultivos por plagas y enfermedades. Ordinariamente las pérdidas pueden no variar grandemente año con año, pero el uso consuntivo si puede reducirse materialmente en aquellos años cuando las pérdidas son inicitadamente severas.

Condiciones del lugar.- Es sabido que el uso consuntivo varía en las regiones áridas con respecto a las húmedas. Se ha estimado que el uso consuntivo del agua es muy alto para cultivos situados en tierras bajo riego adyacentes a los desiertos o áreas barbechadas. Esto se debe al calor extra (energía advectiva) que es transportada lateralmente por el aire sobre las tierras bajo riego que crecen en terrenos en donde los vientos predominantes provienen de áreas húmedas a partes donde pueden tener un uso consuntivo relativamente bajo. (SRH, 1971)

#### II.4.2. Métodos para estimar el uso consuntivo.

Los procedimientos para determinar la evapotranspiración pueden clasificarse en "Métodos directos" y "Métodos indirectos ó empíricos".

Los primeros proporcionan directamente el consumo total del agua -

requerida, utilizando para ello aparatos e instrumento para su determinación.

Los segundos en forma indirecta y bajo la utilización de fórmulas empíricas se obtienen los consumos utilizados a través de todo el ciclo vegetativo de la planta. (SARH, 1979) (SARH, 1977)

#### II.4.2.1. Métodos directos.

Miden directamente la evapotranspiración y requieren para su determinación la instalación de aparatos, el cuidado de ellos y seguir la metodología indicada.

Son aplicables para zonas donde se tiene una agricultura establecida, proporcionan valores mucho más apegados a la realidad y sirven a la vez para ajustar los parámetros de los métodos empíricos. (SARH, 1979) (SARH, 1977)

##### II.4.2.1.1. Método del lisímetro.

Determina la evapotranspiración potencial y consiste en el uso del lisímetro, ideado por el Prof. W. O. Pruitt, que es un recipiente de lámina galvanizada formado por un tanque cilíndrico de más o menos 6.00 m. de diámetro por 95 cm. de alto, en el que se coloca el suelo y el cultivo a estudio. El consumo de agua por las plantas se determina pesando diariamente el conjunto de suelo, agua y aparato, y por diferencia de pesadas, se obtiene el valor buscado.

La reposición del agua se hace por medio de tanques de alimentación en forma automática.

#### Ventajas del método:

Pueden mencionarse como ventajas la facilidad de las medidas y la aplicación de agua; pero a su vez estos aparatos fáciles de manejar son caros.

Desventajas del método:

- 1.- Alto costo.
- 2.- Puede alterar las condiciones normales del suelo.
- 3.- Provoca un desarrollo anormal de las raíces, que se concentran hacia el tubo de aplicación del agua, por haber más humedad en el fondo o base del recipiente.
- 4.- No se puede aplicar a plantas que tengan un sistema radicular mayor que las dimensiones del tanque que contiene el suelo. (SARH, 1977) (SARH, 1979)

II.4.2.1.2. Método del evapo-transpirómetro de Thornthwaite.

En forma directa determina la evapotranspiración potencial de los cultivos, el cual fué ideado por Thornthwaite y consta de las siguientes partes:

- a) Tanque evapotranspirador de fierro galvanizado, con área rectangular de 4 m.<sup>2</sup> y 90 cm. de profundidad. Este tanque va unido hasta el nivel del suelo, se llena de tierra y es donde se siembran las plantas. En el fondo tiene un lecho de grava que ayuda a eliminar el exceso de agua.
- b) Tubería subterránea ramificada y perforada para conducir el agua al suelo.
- c) Tanque alimentador donde se mide y se agrega diariamente el agua consumida.
- d) Tanque regulador, situado entre el alimentador y el evapotranspirador.
- e) Tanque de excedentes, que recoge los excesos del agua, generalmente provocadas por lluvias.



f) Junto a los tanques de excedentes y alimentador se colocan higrómetros que permiten tener las medidas exactas de agua.

g) Tubería que conecta a todo el sistema.

La cantidad de agua consumida ( U.C. ) será la que se agrega al tanque alimentador ( Va ) más la lluvia (VLI), menos la cantidad medida en el tanque de excedentes (Ve).

$$U.C. = Va + VLI - Ve . . . . . 2 - 2$$

Para el buen funcionamiento del aparato se recomienda que los -- tanques alimentador, regulador y de excedentes, estén bajo una caseta, para disminuir los efectos de evaporación, además alrededor del tanque evapotranspirador deberá estar sembrado el cultivo que está en estudio.

Las dificultades que presenta la operación del equipo, el hecho de no poder aplicar a más de un cultivo, hacer que su utilización sea altamente costosa. (SARH, 1977) (SARH, 1979)

### II,4.2.1.3. Método de los atmómetros desarrollados por Livingston.

Están formados por una esfera de cerámica porosa, que tiene un vástago barnizado del mismo material que se introduce dentro de un recipiente que contiene agua; la esfera se encuentra pintada de blanco o negro. Al recibir energía de la atmósfera se produce una evaporación en la superficie de la esfera que se traduce en una absorción en el depósito graduado, en el cual mide la cantidad de agua evapotranspirada.

Se ha visto que existe mayor correlación entre la evapotranspiración y las lecturas de los atmómetros, si se utilizan dos, uno pintado de negro y otro de blanco. La evapotranspiración se obtiene con la diferencia de lecturas, utilizando la siguiente ecuación:

$$E = 0.87 (I_n - I_b) . . . . . 2 - 3$$

Donde:

E = Evapotranspiración            Lb = Lectura en atmómetro blanco.

Ln = Lectura en atmómetro negro.

#### II.4.2.1.4. Método gravimétrico.

Se basa en la determinación de los diferentes valores de humedad - registrados en una serie de pesadas que se efectúan a través del ciclo - vegetativo, a muestras de suelo, obtenidas en una profundidad igual a la que tienen las raíces de las plantas del cultivo considerado.

En función de estas diferencias y las características del suelo -- se obtienen las láminas de agua consumida por evapotranspiración, en el período de tiempo determinado.

La suma total de las láminas consumidas entre los intervalos entre- riegos será igual a la "lámina total consumida" ó "uso consuntivo" del - cultivo estudiado.

Metodología para la determinación de los consumos de humedad gra - vimetricamente.

1.- Elección del terreno: Se escoge un terreno dentro de los sue - los que dominan el área de estudio, sin la presencia de mantos freáticos a menos de tres metros de profundidad de la superficie del terreno.

2.- Muestreo: Se toman muestras de espesores de 0.30 m. hasta una- profundidad que varíe de 0.60 a 1.50 m., o sea, el espesor donde se alo- ja el sistema radicular de las plantas de cultivo. Se fijan dentro del - terreno tres sitios de muestreo y se toman en cada uno, una muestra por- cada espesor de 0.30 m. que serán colocadas dentro de un bote con tapa - hermética y peso conocido.

3.- Frecuencia: La frecuencia de muestreo se realiza antes de ca - da uno de los riegos y dos, tres o cuatro días después de la aplicación del agua, así como dos o tres muestreos entre riegos con el fin de con -

trolar el nivel de humedad del suelo y el momento de regar.

4.- Formación del cuadro de consumos: El registro y control de las humedades se efectúa en espesores de 0.60 a 0.90 m. subdividiendo en dos o tres profundidades de 0.30 m. cada uno de ellos.

Es necesario determinar la densidad aparente "Da" del suelo por los métodos normales, y determinar en capas según el espesor del muestreo. (SARH, 1977) (SARH, 1979)

Los cálculos se hacen aplicando la fórmula siguiente:

$$La = Ps \times Da \times Pr \dots \dots \dots 2 - 4$$

Donde:

La = lámina de agua consumida ó uso consuntivo, en cm.

Ps = Porcentaje de agua consumida.

Da = Densidad aparente,  $gr/cm^3$ .

Pr = Profundidad del muestreo, en m.

#### Método sobre estudios de humedad del suelo.

La utilización consuntiva del agua por los diversos cultivos se ha determinado por el estudio de la humedad del suelo. Este método es apropiado para aquellas regiones en las que los suelos son relativamente uniformes y la profundidad del agua subterránea es tal que no influye en las fluctuaciones de humedad de la zona radicular del suelo. La humedad del terreno se determina antes y después de cada riego, con algunas mediciones en la zona radicular principal. Hay que realizar por lo general un gran número de determinaciones para obtener una precisión adecuada.

Los metros cúbicos de agua extraída diariamente, se registrarán para cada período. Cuando se señalan sobre dos ejes de coordenadas el agua extraída y el tiempo, se puede dibujar una curva que expresa la utilización estacional. (Israelsen, 1965)

#### II.4.2.1.5. Método de integración.

El método de integración consiste en sumar el producto del consumo unitario de cada cultivo por la superficie que ocupa, más el consumo unitario de la vegetación espontánea multiplicada por su superficie más la evaporación de la tierra sin vegetación, multiplicada por su superficie. Antes de que este método pueda ser aplicado con éxito, es necesario conocer el consumo de agua unitario y las áreas de las superficies cubiertas por diferentes tipos de cultivo, por la vegetación espontánea por la tierra sin vegetación y las superficies de agua. Por medio de la fotografía aérea y de los levantamientos topográficos se pueden determinar las áreas de los diversos tipos de vegetación natural, así como las superficies sin vegetación y las de agua. (Israelsen, 1965)

#### II.4.2.1.6. Método de entradas y salidas de agua para grandes extensiones.

Aplicando este método, el consumo de agua,  $U$ , es igual al agua -- que entra en la cuenca durante un año,  $I$ , más la precipitación anual sobre el suelo,  $P$ , más el agua subterránea acumulada al principio del año  $G_s$ , menos el agua subterránea existente al final del año,  $G_e$ , menos -- las salidas de agua anuales,  $R$ , todos estos volúmenes medidos en  $m^3$ . Según esto resulta:

$$U = (I + P) + (G_s - G_e) - R . . . . . 2 - 5$$

La diferencia entre la cantidad almacenada de agua capilar al -- principio y al final del año se considera despreciable. Se presupone -- que las mediciones de los cursos de agua se hacen con aforadores con -- lecho de roca, y que las entradas superficiales son aproximadamente idénticas a las salidas. La cantidad  $(G_s - G_e)$  se considera como un solo factor, de manera que la evaluación de  $G_s$  o  $G_e$  resulta innecesaria y -- es preciso conocer su diferencia, lo cual es producto la profundidad media de la capa freática, desde enero de un año hasta el mismo mes del -- siguiente año, medida en metros y multiplicada por los rendimientos específicos (espacio total de poros en el suelo menos el contenido de hu--

medad a la capacidad de campo, expresados en porciento del volúmen total del suelo) del terreno y por la superficie del suelo del valle. La cantidad P se obtiene multiplicando la precipitación media anual, en metros, - por la superficie del valle, en metros cuadrados. El consumo unitario del valle en metros cúbicos por hectárea se obtiene dividiendo el consumo total en él por su superficie. (Israelsen, 1965)

II.4.2.1.7. Método micrometeorológico.

Este método proporciona una estimación de la densidad de flujo de vapor de agua en la capa limitante de la atmósfera y tiene ventajas muy importantes, aunque sean limitantes (el cuando y donde aplicarlo), así como las dificultades instrumentales. Sus variantes más empleadas son los métodos de perfil (también denominados aerodinámicos o de transporte de masas). Los métodos de balance de energía y la combinación de ambos. Los métodos de correlación de remolino se han empleado y preferido en principio aunque las dificultades instrumentales también limitan su uso. (SRH, --- 1971)

II.4.2.1.7.1. Método aerodinámico

Los diversos métodos aerodinámicos son diseñados para medir o estimar la velocidad de difusión de vapor del agua y en particular, la causada por la turbulencia.

De acuerdo con el principio de semejanza, los métodos aerodinámicos requieren que la velocidad de viento que se registre a dos alturas o de que se incluya un parámetro con los registros de la velocidad del viento a una altura determinada. Las mediciones en perfil hacen posible emplear este principio en la derivación del enfoque aerodinámico. En las cercanías de la superficie, la transferencia de momento, vapor de agua, calor y bixido de carbono se expresan como sigue:

$$\text{Momento: } \tau = - K_m \frac{1}{z} u \dots \dots \dots 2 - 6$$

$$\text{Vapor de agua: } E = - K_V \frac{d q}{d z} \dots \dots \dots 2 - 7$$

$$\text{Calor: } K = C_P K_H \frac{d T}{d z} \dots \dots \dots 2 - 8$$

$$\text{Bioxido de carbono: } Q = - \rho K_C \frac{d c}{d z} \dots \dots \dots 2 - 9$$

Donde:

$\ell$  = Unidad de flujo de cantidad de momento, esfuerzo cortante número de Reynolds.

E = Densidad de flujo de vapor de agua.

K = Densidad de flujo de calor.

Q = Densidad de flujo de bioxido de carbono.

$\rho$  = Densidad del aire (gr/cm<sup>3</sup>).

T = Temperatura en °C.

C<sub>P</sub> = Calor específico del aire a presión constante (0.24 cal/gr/°C).

K<sub>M</sub>, K<sub>V</sub>, K<sub>H</sub> y K<sub>C</sub> = Difusividades de remolino para la cantidad de momento, vapor de agua, calor y bioxido de carbono en cm<sup>2</sup>/seg.

u, T y C = Velocidad del viento, temperatura, bioxido de carbono registrado en la altura z.

q = Humedad específica en gramos de vapor de agua por gramos de aire húmedo.

Si las difusividades de remolino son idénticas, las diferentes cantidades de u, T y C pueden tener perfiles semejantes en la capa de aire -- próxima a la superficie. Ha surgido una controversia sobre la igualdad de difusividades de remolino y la relación entre ellas depende notablemente de la estabilidad atmosférica. En condiciones de estabilidad normal las difusividades de remolino son aproximadamente iguales debido a que la cantidad de movimiento del vapor de agua, el mismo calor y el bioxido de carbono son llevados esencialmente por los mismos remolinos.

Bajo condiciones inestables donde la convección térmica se suma fuertemente a la turbulencia de fricción, el calor extra cortado hacia arriba por un remolino mayor que el vapor de agua; consecuentemente, bajo condi-

ciones moderadamente estables,  $K_H$  puede ser dos veces  $K_M$  o  $K_C$  a la altura de dos metros (Swinbank, 1958) y esta relación tenderá a crecer con la inestabilidad de la atmósfera y con la altura de la superficie. Por lo tanto, el principio de semejanza en el cual se basa el enfoque aerodinámico, es a lo más, una aproximación burda. Una ecuación de éste tipo es la derivada por Thornthwaite - Holzman (1939) para evaporación o vegetación de altura.

$$E = \frac{\rho K^2 (q_1 - q_2) (u_2 - u_1)}{\ln \frac{z_2}{z_1}} \dots \dots \dots 2 - 10$$

Donde:

E = Evaporación.

$\rho$  = Densidad del aire.

K = Constante de Von Karman, o 0.40.

$u_1, u_2, q_1$  y  $q_2$  = Velocidad del viento y humedades específicas en las alturas  $z_1$  y  $z_2$  respectivamente.

Esta ecuación fué deducida por Pasquill (1950) para cultivos altos-bajo la forma:

$$E = \frac{K^2 \rho (q_1 - q_2 - u_1)}{\ln \frac{z_2 - d}{z_1 - d}} \dots \dots \dots 2 - 11$$

En la que es el desplazamiento del plano cero.

La validez de la ecuación Thornthwaite - Holzman depende de que, el principio de semejanza sea válido y que el perfil del viento sobre el terreno pueda ser cierto por la ecuación logarítmica. Como ambas proporciones son válidas unicamente para condiciones estables, su exactitud es limitada a dichas condiciones. Aunque dicha ecuación aerodinámica fuese exacta no podría adaptarse como un método de campo. Mientras que la humedad y el viento puedan ser medidos facilmente en un nivel determinado, -





II.4.2.1.7.1.1. Método de Dalton.

Es el método aerodinámico más antiguo para estimar la evapotranspiración de una superficie acuosa  $E_o$  y se basa en la ecuación:

$$E_o = (e_s - e) f(u) \dots \dots \dots 2 - 13$$

Donde:

$e_s$  = Presión de vapor de la superficie evapotante, en mbars.

$e$  = Presión de vapor a una altura dada por encima de la superficie, en mbars.

$f(u)$  = Función de la velocidad horizontal del viento.

Frecuentemente se emplea la fórmula empírica:

$$f(u) = (a + bu_z) \dots \dots \dots 2 - 14$$

En donde  $u$  es el tiempo promedio de la velocidad del viento medio a una altura standard y  $a$  y  $b$  constantes a determinar experimentalmente. La ecuación de Dalton se ha aplicado frecuentemente a lagos y tanques e vaporímetros, donde se supone que  $e_s$  es la presión de vapor saturante correspondiente a la temperatura superficial. Debido a que los bordes de los tanques evaporímetros aumenten la turbulencia,  $a$  es mayor en tanques que en porciones de agua. Las mediciones de la temperatura del agua a uno o dos cm. por debajo de la superficie son lo suficientemente precisas para determinar la presión de vapor saturante en la superficie con modificaciones a las constantes, también es aplicable a otras superficies evaporantes. No se ha aplicado a superficies cultivadas debido a las dificultades en la determinación de la presión de vapor en su superficie. Dado que la rugosidad de las superficies acuosas no es variable, Rohwer (1931) evaluó las constantes de la ecuación de Dalton y obtuvo:

$$E_o = 0.40 (e_s - e_d) (1 + 10.17 u_2) \text{ mm/día} \dots \dots 2 - 15$$

Donde:

$u_2$  = Velocidad del viento a los dos m. de altura, en millas-

por hora.

$e_s$  = Presión de vapor de la superficie evaporante.

$e_d$  = Presión de vapor de saturación a la temperatura del punto de rocío. (SRH, 1971)

### II.4.2.1.7.2. Método del balance de energía.

Debido a que la evaporación es un cambio de estado que demanda una cantidad de energía como calor latente de vaporización, el problema de balance energético es medir todas las demás fuentes y reducciones de energía dejando solamente como desconocida a la evaporación. Despreciando la cantidad de energía empleada en la fotosíntesis y no considerando por el momento a la cantidad de energía advectiva, el balance de energía se puede escribir así:

$$(1 - r) H_{oc} - {}^n H_{ol} = LE + K + S + G \dots \dots \dots 2 - 16$$

$r$  = Coeficiente de reflexión de la superficie.

$H_{oc}$  = Radiación global de onda corta.

${}^n H_{ol}$  = Radiación neta de onda larga.

$LE$  = Densidad de flujo del calor latente de evaporación

$K$  = Densidad de flujo del calor sensible hacia la atmósfera.  
cal/día/cm<sup>2</sup>.

$S$  = Densidad de flujo del calor sensible en el suelo.  
cal/día/cm<sup>2</sup>.

$G$  = Almacenamiento de calor en el cultivo. cal/día cm<sup>2</sup>.

La radiación de onda corta puede medirse con facilidad y presión razonable empleando los solarímetros; sin embargo, para los lugares donde no se cuenta con aparatos y registros se usa una relación empírica de la forma:

$$H_{oc} = a + \left[ \frac{bn}{N} \right] H_a \dots \dots \dots 2 - 17$$

$H_a$  = Absorción teórica máxima de radiación si no hubiere atmósfera.

$\frac{n}{N}$  = Duración actual de la luz solar intensa como una fracción de la posible duración máxima para un cielo despejado.

a y b = Constantes determinadas empíricamente y que dependen de la localidad dada.

El coeficiente de reflexión depende del ángulo de incidencia, el que para la radiación directa varía con latitud, con la estación y la hora del día, así como con el tipo de superficie. De ahí, que la cantidad de radiación incidente que se refleja por una superficie dada no sea constante. Los valores promedio diarios para diversas superficies con zacate y dependiendo también de la altura del cultivo y humedad varían entre 0.16 a 0.33, siendo los más usuales, los valores comprendidos entre 0.19 y 0.26. Para los coeficientes de reflexión de una superficie libre de agua, el valor generalmente aceptado es 0.05.

La radiación neta de una onda larga dependerá de la temperatura superficial, la temperatura del aire, el vapor de agua atmosférico y la nubosidad. Se calcula suponiendo igual temperatura del aire y la temperatura superficial con la siguiente ecuación:

$$n_{H_{01}} = \sigma (273 + T_a)^4 (0.56 - 0.092 e_a) (0.10 + 0.9 \frac{n}{N}) \dots 2 - 18$$

$\sigma$  = Constante de Boltzman ( $118.10^{-9}$  cal/cm<sup>2</sup>/día/K<sup>4</sup>).

$T_a$  = Temperatura del aire, en °C.

$e_a$  = Presión de vapor, en mm de Hg.

En esta expresión puede haber desviaciones considerables debido a nubosidad.

La radiación neta sobre la superficie horizontal puede calcularse de la siguiente expresión:

$$H_n = (1 - r)H_{ol} \dots \dots \dots 2 - 19$$

La energía usada en la evapotranspiración es:

$$LE = \frac{H_n - S}{1 + \beta} \dots \dots \dots 2 - 20$$

$$\beta = \frac{K}{LE} = \gamma \left[ \frac{K_H}{K_V} \right] \left[ \frac{T_s - T_a}{e_s - e_a} \right] \dots \dots \dots 2 - 21$$

$\beta$  = Relación de Bowen, constante que depende de la estabilidad de la atmósfera.

$\gamma$  = Constante psicrométrica; (0.485 mm de Hg/°C), su valor es de -- 0.49 para °C y mm de Hg, para °F y mm de Hg es 0.27.

$T_s$  = Temperatura en la superficie.

$T_a$  = Temperatura del aire.

$e_s$  = Presión de vapor en la superficie.

$e_a$  = Presión de vapor del agua.

$K_H$  y  $K_V$  = Difusividades de remolino para calor y vapor de agua respectivamente. (SRH, 1971)

#### II.4.2.1.7.3. Métodos combinados.

El éxito de la estimación del balance de energía dependerá de las mediciones de temperatura superficial. En la ecuación aerodinámica se necesita la presión de vapor superficial. Tanto la presión de vapor como la temperatura en la superficie de agua libre se pueden determinar con una aproximación razonable midiendo la temperatura debajo de la superficie. Sin embargo, es difícil obtener estos datos en la superficie evaporante de un cultivo.

Penman (1948) y McIlroy (1961) desarrollaron las ecuaciones consistentes en una combinación del balance energético y la ecuación empírica-

de Dalton. Dicha ecuación tiene la ventaja de que la evapotranspiración calculada es menos sensible a errores en la fusión de viento obtenida -- experimentalmente en la ecuación de Dalton. Penman supuso la igualdad de los factores de calor y transferencia de vapor y despreciando el almacenamiento de calor bajo la superficie evaporante combinó las dos ecuaciones simultáneas para desarrollar una ecuación para el cálculo de la evaporación de una superficie libre de agua.

$$LE = L(e_s - e) f(u) \dots \dots \dots 2-22$$

$$H_n = LE + K \dots \dots \dots 2-23$$

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial introdujo un factor de reducción por el cual la evaporación calculada de una superficie acuosa debe ser multiplicada. (SRH, 1971)

#### II.4.2.1.8. Método de McIlroy.

McIlroy y Slatyer (1961) desarrollaron un método combinado, emplearon las siguientes ecuaciones, básicas para el desarrollo de una fórmula para determinar la evapotranspiración:

$$K = h(T_s - T_s) \dots \dots \dots 2-24$$

$$LE = \frac{h}{\gamma} (e_s - e_z) \dots \dots \dots 2-25$$

$h$  = Velocidad del viento que depende de la totalidad de los factores de transferencia entre el nivel cero y la altura  $z$ .

$T_s$  = Temperatura de la superficie evaporante, en °C.

$\gamma$  = Constante psicrométrica, en mm de Hg.

$e_s$  = Presión de vapor actual en la superficie evaporante.

$e_z$  = Presión de vapor actual en la altura  $z$ .

Usando la ecuación psicrométrica para termómetros totalmente ventilados

$$e = E_{T_W} - (T - T_W) = E_{T_W} - \Psi_D \dots \dots \dots 2 - 26$$

$E_{T_W}$  = Presión de vapor saturante a la temperatura del bulbo mojado.

$T_W$  y  $D$  = Abatimiento  $(T - T_W)$  del bulbo mojado.

La diferencia de la presión de vapor puede darse por la ecuación:

$$e_s - e_z = (E_{T_W} - E_{T_{Wz}}) - (D_s - D_z) \dots \dots \dots 2 - 27$$

Introduciendo la pendiente  $s$  de la curva de presión de vapor a -- la temperatura del bulbo mojado:

$$D = \left[ \frac{E_{T_W}}{T_W} \right] T_{Wa} \dots \dots \dots 2 - 28$$

Introduciendo también la depresión  $D_z$  del bulbo mojado a la altura de referencia  $z$  y la depresión  $D_s$  en la superficie evaporante, se obtuvo la ecuación:

$$E = \left[ \frac{s}{s + \Psi} \right] \left[ \frac{Hn - S}{L} \right] + \frac{h}{L} (D_z - D_s) \dots \dots \dots 2 - 29$$

$s$  = Pendiente de la curva temperatura-presión de vapor saturado, a la temperatura media del bulbo mojado.

$h$  = Velocidad del viento dependiente de todos los factores de -- transferencia del tipo Dalton entre el nivel cero y la altura  $z$ .

La determinación de  $h$  y  $s$ , especialmente esta última, al no ser -- idéntica al factor correspondiente en la ecuación de Penman, requiere -- de un procedimiento iterativo. La necesidad de este procedimiento pare

ce ofrecer una gran objeción para su aplicación práctica, especialmente en el caso de cultivos con una rugosidad superficial muy variable durante la etapa de crecimiento. (SRH, 1971)

II.4.2.2. Métodos indirectos ó empíricos.

La mayor parte de los métodos empíricos son demasiado teóricos ya que han sido deducidos bajo condiciones de regiones muy definidas y tienen su aplicación precisa en una serie de datos que generalmente no se tienen a la disposición.

II.4.2.2.1. Método de Penman.

La fórmula de Penman (1948) ha combinado la ecuación del balance de energía, con la ecuación aerodinámica, para obtener una expresión que permita calcular la evaporación de una superficie libre de agua,  $E_o$ .

$$E_o = \frac{\Delta R_n + E_a \gamma}{\Delta + \gamma} \dots \dots \dots 2 - 30$$

$\Delta$  = Es la pendiente de la curva de tensión de vapor vs. temperatura.

$R_n$  = Es la radiación neta, en mm/día.

$\gamma$  = Es la constante psicométrica,  $0.27 \text{ mm de Hg/}^\circ = 0.49 \text{ mm de Hg / }^\circ\text{C}$ .

$E_a$  = Es el poder evaporante de la atmósfera obtenido por medio de la ecuación aerodinámica, mm/día.

La radiación neta,  $R_n$ , es la diferencia entre la radiación recibida y la emitida para calcular la radiación recibida,  $R_r$ , Penman (1948) obtuvo para el sur de Inglaterra la siguiente ecuación:

$$R_r = R(1 - r) (0.18 + 0.55 \frac{n}{N}) \dots \dots \dots 2 - 31$$

R= Es la radiación teórica en ausencia de atmósfera, mm/día.

r= Es el coeficiente de reflexión ó albedo, en décimos.

$\frac{n}{N}$  Es la fracción de insolación (actuales sobre posibles horas de sol).

En cambio la radiación emitida  $R_e$ :

$$R_e = 6 T_a^4 (0.56 - 0.092 e_a) (0.10 + 0.9 \frac{n}{N}) \dots \dots \dots 2 - 32$$

6 = Es la constante de Stefan - Balzam.

Ta= Es la temperatura absoluta en grados Kelvin.

$e_a$  = Es la presión de vapor del aire, en mm de Hg.

La ecuación aerodinámica expresa:

$$E_a = 0.35(0.50 + 0.15 u_2) (e_d - e_a), \text{ mm/día } \dots \dots \dots 2 - 33$$

$u_2$  = Es la velocidad del viento a 2 m. de altura, en Km/h.

$e_d$  = Es la tensión de vapor al punto de rocío, en mm de Hg.

Para evaporación de una superficie libre de agua a evapotranspiración, Penman (1948) utiliza un factor reductor, f, cuyos valores oscilan desde 0.6, para los meses invernales a 0.8 para los meses de verano. Con relación a una superficie libre de agua, f, tiene en cuenta el menor número de horas diarias que los estomas de las plantas permanecen abiertos, por lo tanto:

$$E_{tp} = E_o \cdot E \dots \dots \dots 2 - 34$$

Para facilitar los cálculos con la fórmula de Penman, se incluyen las siguientes tablas y gráficas: 1. Valores de radiación solar al tope de la atmósfera, R, en mm/día, tabla 2.2; 2. valores de irradiación --  $6T_a^4$ , en mm/día, tabla 2.3 ; 3. valores de presión de vapor saturado,



$e_d$ , mm de Hg, en función de la temperatura, en °C, fig. 2.1 ; 4. vapor - vs temperatura,  $\Delta$ , fig. 2.2. (Grassi, 1968)

TABLA 2.2.

VALORES MEDIOS MENSUALES DE LA RADIACION SOLAR EN AUSENCIA DE ATMOSFERA-  
EXPRESADA EN ALTURA EQUIVALENTE DE AGUA EVAPORADA EN mm/día.

	HEMISFERIO NORTE					
	50°	40°	30°	20°	10°	0°
Enero	3.6	6.0	8.5	10.8	12.8	14.5
Febrero	5.9	8.3	10.5	12.3	13.9	15.0
Marzo	9.1	11.0	12.7	13.9	14.8	15.2
Abril	12.7	13.9	14.8	15.2	15.2	15.2
Mayo	15.4	15.9	16.0	15.7	15.0	13.9
Junio	16.7	16.7	16.5	15.8	14.8	13.4
Julio	16.1	16.3	16.2	15.7	14.8	13.5
Agosto	13.9	14.8	15.3	15.3	15.0	14.2
Septiembre	10.5	12.2	13.5	14.4	14.9	14.9
Octubre	7.1	9.3	11.3	12.9	14.1	15.0
Noviembre	4.3	6.7	9.1	11.2	13.1	14.6
Diciembre	3.0	5.5	7.9	10.3	12.4	14.3

	HEMISFERIO SUR				
	10°	20°	30°	40°	50°
Enero	15.8	16.8	17.3	17.3	17.1
Febrero	15.7	16.0	15.8	15.2	14.1
Marzo	15.1	14.6	13.6	12.2	10.5
Abril	13.8	12.5	10.8	8.8	6.6
Mayo	12.4	10.7	8.7	6.4	4.1
Junio	11.6	9.6	7.4	5.1	2.8
Julio	11.9	10.0	7.8	5.6	3.3
Agosto	13.0	11.5	9.6	7.5	5.2
Septiembre	14.4	13.5	12.1	10.5	8.5
Octubre	15.3	15.3	14.8	13.8	12.5
Noviembre	15.7	16.4	16.7	16.5	16.8
Diciembre	15.8	16.9	17.6	17.8	17.8

TABLA 2.3

VALORES DE  $G_{Ta^4}$  EQUIVALENTE DE AGUA EVAPORADA, EN mm/día.

TEMPERATURA °C	TEMPERATURA ABSOLUTA		$G_{Ta^4}$ mm/día
	Ta	°K	
2		275	11.6
4		277	12.0
6		279	12.4
8		281	12.8
10		283	13.1
12		285	13.5
14		287	13.9
16		289	14.3
18		291	14.7
20		293	15.1
22		295	15.5
24		297	15.9
26		299	16.4
28		301	16.8
30		303	17.1

Calculada con:

$$G = 1,371 \cdot 10^{-12} \text{ cal/s/cm}^2/\text{°K}^4$$

Calor latente de vaporización = 580 cal/gr

11b.

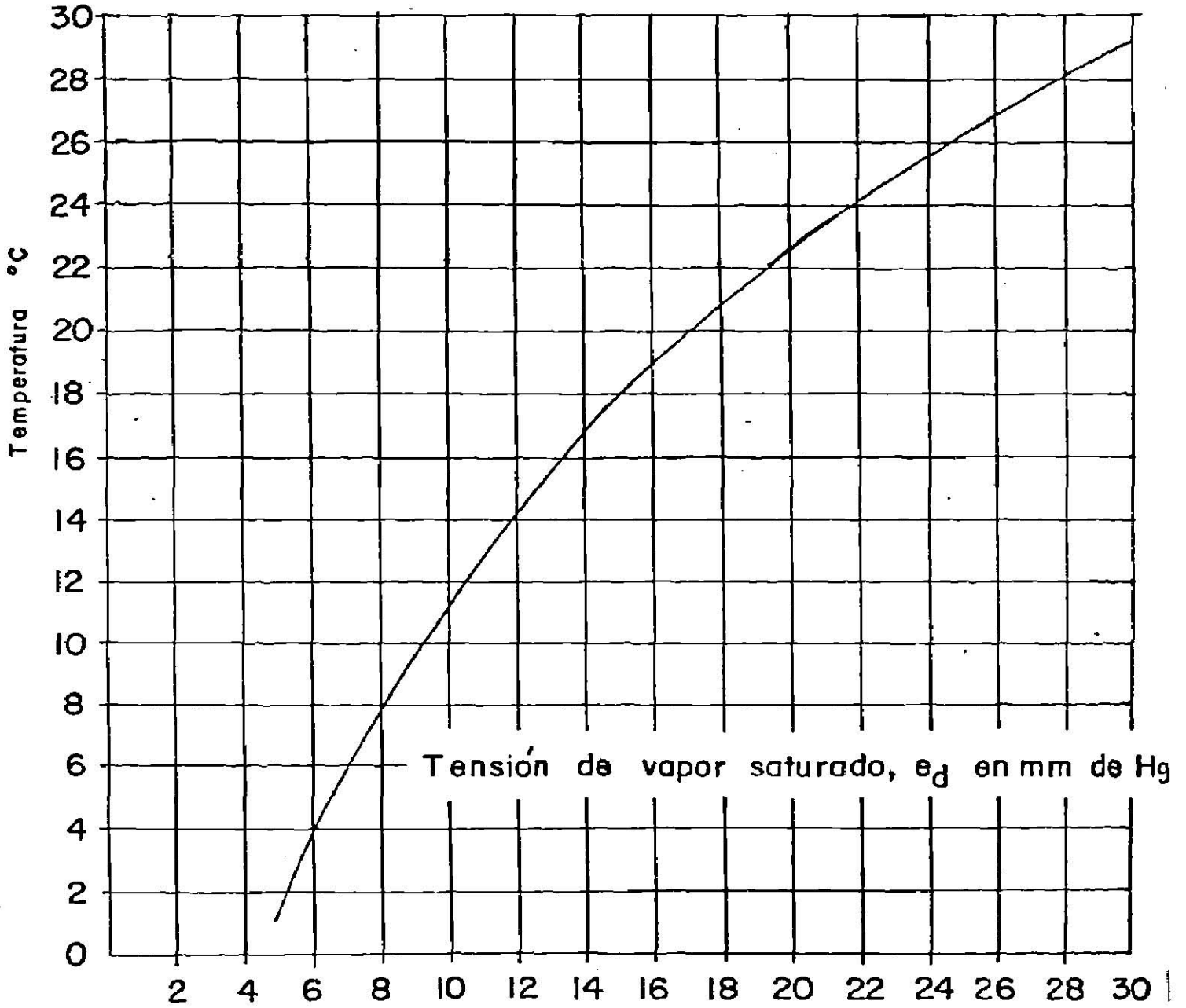
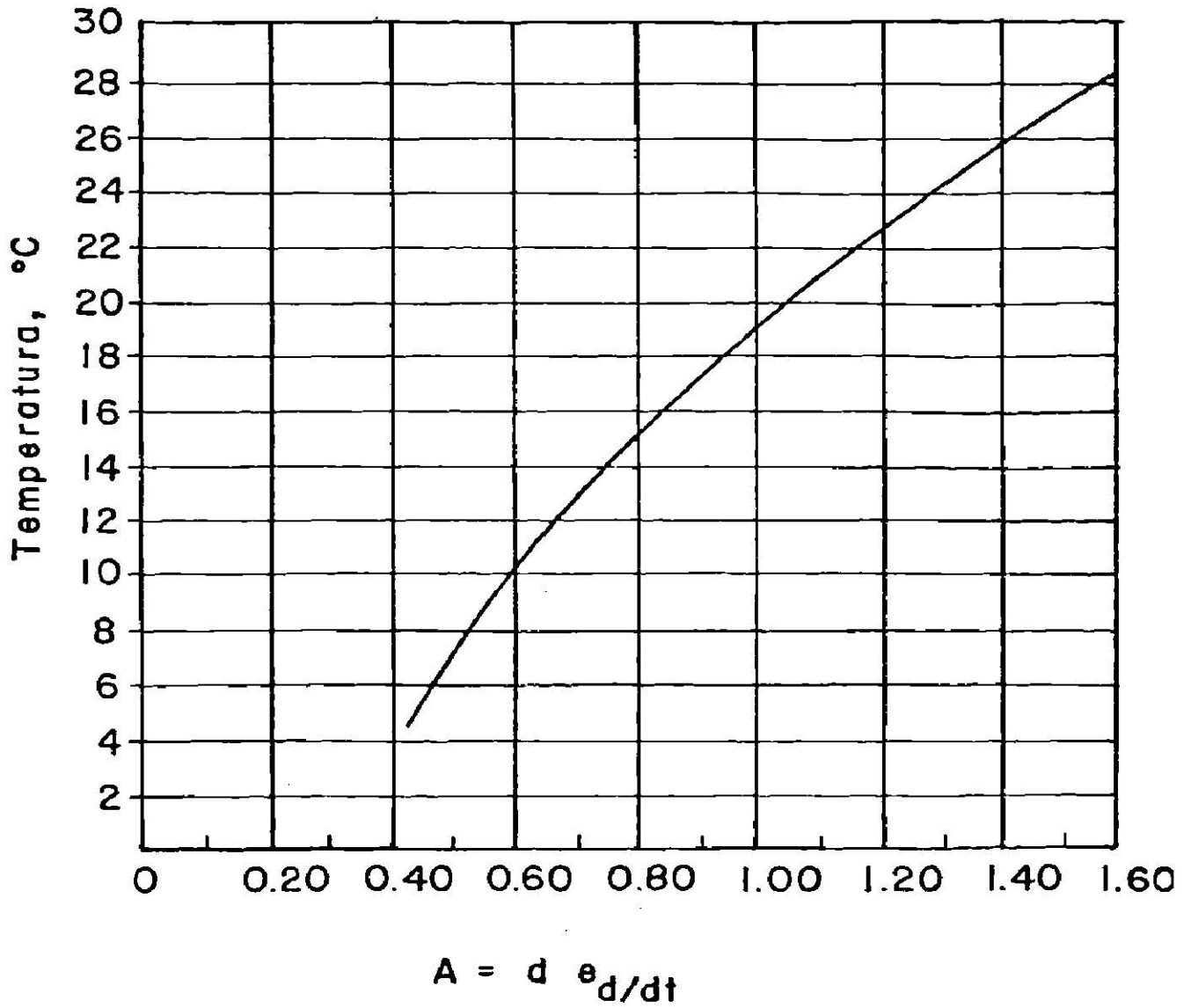


FIG. 2.1

FIG. 2.2



II.4.2.2.2. Método de Jensen-Haise.

El procedimiento de Jensen-Haise (1963), desarrollado para estimar - la evapotranspiración que produce en períodos breves de una semana, en función de la radiación solar,  $R_s$ , para diferentes cultivos, dichos autores han representado la relación  $E_t/R_s$ , tabla 2.4 en función de:

- a) El porcentaje de cubrimiento del terreno por el volúmen foliar - del cultivo, estimado en forma relativa, en cultivos anuales; alcanzando el 100% de cubrimiento del suelo, se consideran simplemente los días después de dicha etapa.
- b) El porcentaje de duración de la estimación de crecimiento en alfalfa.
- c) Valores absolutos de tiempo, días o meses en frutales.

La relación de  $WE_t/R_s$  variable en función del tiempo, ha sido tabulada para diferentes zonas de los Estados Unidos de Norteamérica, además de los promedios semanales  $R_s$  para diferentes localidades registradas por la oficina meteorológica de aquel país.

La fórmula de Jensen-Haise, expresa que:

$$E_t = \frac{E_t}{R_s} m R_s \dots \dots \dots 2 - 35$$

$\frac{E_t}{R_s} m$  = Es el valor promedio de la relación, correspondiente a un período específico, adimensional.

$R_s$  = Es la radiación solar, promedio del período correspondiente expresada en altura equivalente de agua evaporada, en mm/día.

Jensen-Haise (1963) han obtenido así mismo, la fórmula para la evapotranspiración potencial,  $E_{tp}$ , en función de la radiación solar y la temperatura media en  $^{\circ}F$ , que convertida a  $^{\circ}C$ , se expresa:

...VALORES DE K PARA EMPLEAR EN LA FORMULA DE JENSE Y HAISE

CULTIVO		(a) Area de la Cuenca de Columbia											
		Después de alcanzar Etp: Etapas en días											
Período de crecimiento foliar : %		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Cultivos estacionales													
Maíz	0.15	0.21	0.31	0.42	0.55	0.59	0.56	0.52	0.47	0.42	0.37	-	-
Papa	0.13	0.19	0.28	0.44	0.59	0.61	0.61	0.60	0.59	0.58	-	-	-
Remolacha azucarera	0.12	0.21	0.33	0.47	0.57	0.58	0.58	0.57	0.56	0.54	0.52	0.50	0.50
		Estación de crecimiento %											
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100		
Huertos Frutales													
Manzano con alfalfa	0.21	0.40	0.55	0.65	0.69	0.71	0.71	0.71	0.70	0.62	0.44		
		(b) Estados de las Llanuras del Norte											
CULTIVO		Después de alcanzar E. : Etapas en días											
Período de Crecimiento foliar : %		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Cultivos estacionales													
Frijol	0.17	0.21	0.27	0.38	0.60	0.70	0.66	0.57	0.47	0.37	0.27	-	-
Maíz	0.16	0.19	0.28	0.40	0.53	0.57	0.53	0.48	0.43	0.38	-	-	-
		Continuación en la siguiente hoja											

(b) Estados de las Llanuras del Norte

CULTIVO	Período de Crecimiento foliar: %										Después de alcanzar Etp: Etapas en días				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70			
Cultivos Estacionales															
Avena	0.07	0.10	0.21	0.42	0.62	0.67	0.65	0.52	0.25	-	-	-			
Remolacha azucarera	0.14	0.17	0.23	0.36	0.53	0.57	0.57	0.55	0.53	0.51	0.47	-			

(c) Estados de las Llanuras del Sur

CULTIVO	Período de Crecimiento foliar: %											
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Cultivos Estacionales												
Sorgo granífero	0.15	0.22	0.37	0.58	0.73	0.72	0.65	0.57	0.50	0.42	0.34	-

	Siembra a Encañado					a espigazón					después de espigazón				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	0-50	50-100	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50			
Trigo de invierno en Kansas	0.18	0.17	0.14	0.12	0.24	0.42	0.56	0.61	0.62	0.57	0.43	0.18			
Trigo de invierno en Texas	0.18	0.19	0.20	0.22	0.39	0.42	0.56	0.61	0.62	0.57	0.43	0.18			

(d) Estados del Sur

CULTIVO	Período de Crecimiento foliar		%	Después de alcanzar Etp. Etapas en días									
	0-20	20-40		40-60	60-80	80-100	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Cultivos Estacionales													
Algodón	0.06	0.09	0.32	0.66	0.85	0.82	0.71	0.60	0.50	0.59	0.28	0.17	
Sorgo granífero	0.15	0.33	0.54	0.74	0.95	0.95	0.80	0.67	0.53	0.39	0.25	0.13	

M E S

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
Huertos Frutales												
Dátil	0.53	0.55	0.57	0.59	0.63	0.69	0.75	0.78	0.74	0.64	0.57	0.54
Vide	0.06	0.05	0.10	0.21	0.37	0.53	0.62	0.60	0.49	0.36	0.24	0.12
Toronja	0.19	0.21	0.24	0.27	0.32	0.38	0.46	0.50	0.47	0.40	0.31	0.33
Limoneros y Naranjos	0.16	0.16	0.18	0.21	0.25	0.30	0.35	0.38	0.38	0.35	0.30	0.22



$$E_{tp} = (0.78 + 0.0252 T \text{ } ^\circ\text{C}) R_s \dots \dots \dots 2 - 36$$

(Grassi, 1968)

II.4.2.2.3. Método modificado de Jensen - Haise.

El procedimiento usado en el método modificado de Jansen-Haise se basa en una ecuación, en la cuál se ajusta la función entre la radiación solar y la temperatura para la localización y altura del sitio donde será usada mediante las funciones de la presión de vapor (Jensen-Haise, -- 1964). Así,

$$ET_p = C_t (T - T_x) R_s \rho L_v \dots \dots \dots 2 - 37$$

$ET_p$  = Es el promedio diario de evapotranspiración potencial.

T = Temperatura promedio, en  $^\circ\text{C}$ .

$R_s$  = Radiación solar total diaria, en  $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{día}$ .

$\rho$  = Densidad del agua (aproximadamente  $1 \text{ gr}/\text{cm}^3$ )

$L_v$  = Calor latente de vaporización para el agua (a  $20^\circ\text{C}$ ,  $L_v = 585 \text{ -- cal}/\text{gr}$ ).

$C_t$  = Coeficiente de temperatura en  $^\circ\text{C}^{-1}$ .

$T_x$  = Constante, en  $^\circ\text{C}$ .

En la que:

$$T_x = -2.5 - 0.14(e_2 - e_1) - \text{elevación}/550 \dots \dots \dots 2 - 38$$

$$e_2 = 6.328 + 0.424(T. \text{ max}) + 0.01085(T. \text{ max})^2 + 0.000519(T. \text{ max})^3 \dots \dots \dots 2 - 39$$

$$e_1 = 6.328 + 0.424(T. \text{ min}) + 0.01085(T. \text{ min})^2 + 0.000519(T. \text{ min})^3 \dots \dots \dots 2 - 40$$

En donde  $e_2$  y  $e_1$  son las presiones de vapor de saturación a las temperaturas mínimas respectivamente; la elevación es la altura sobre el nivel del mar en metros.

$$C_t = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2 CH}} \dots \dots \dots 2 - 41$$

$$C_1 = 38 - (2^\circ\text{C} \times \text{elevación} / 305) \dots \dots \dots 2 - 42$$

$$C_2 = 7.6 \text{ }^\circ\text{C} \dots \dots \dots 2 - 43$$

$$CH = \frac{50 \text{ mb}}{e_2 - e_1} \dots \dots \dots 2 - 44$$

El método modificado de Jensen - Haise es considerado como uno de los mejores métodos para estimar la evapotranspiración potencial en las regiones áridas y semi-áridas. Sin embargo, su utilidad es algunas veces limitada debido a que  $R_s$  no ha sido un parámetro ampliamente medido históricamente. (García, 1979)

II.4.2.2.4. Método en base a la evaporación del tanque tipo "A" con la fórmula de Grassi - Christiansen

Las medidas de evaporación de una superficie libre de agua en el tanque evaporímetro,  $E_v$ , integra los efectos de los diferentes factores meteorológicos que influyen en la evapotranspiración. Estudios de correlación en diferentes cultivos y períodos del ciclo vegetativo, permiten obtener coeficientes para estimar la evapotranspiración en función de la evaporación de una superficie libre de agua:

$$E_t = E_v \cdot k \dots \dots \dots 2 - 45$$

Se han ensayado tanques de diferentes características, en cuanto a tamaño, color, ubicación y nivel con respecto al terreno. Trabajos experimentales de evaluación del comportamiento de los diferentes tanques,

han sido realizados por Fruitt (1960) con relación a la evapotranspiración en 1 símetros de una completa cobertura vegetal. La relación  $E_{tp}/E_v$  varió según el tipo, tamaño y ambiente entre 0.75 y 1.25.

Dado su mayor universalidad, que se emplea en la mayor parte de los servicios meteorológicos, han usado más el tanque standard tipo "A", del servicio meteorológico de los Estados Unidos de Norteamérica. Dicho evaporímetro mide 1.20 m. de diámetro por 0.25 m. de profundidad, se construye de chapa galvanizada y se instala con un fondo de 0.15 m. por sobre el nivel del terreno.

Grassi - Christiansen, Grassi (1964) han obtenido la siguiente ecuación para estimar  $E_t$  en base a  $E_v$ .

$$E_t = 0.95 E_v \cdot C_t \cdot C_{Vc} \cdot F \dots \dots \dots 2 - 46$$

En la que:

$$C_t = 1.4 - 0.02 T \text{ } ^\circ\text{C} \dots \dots \dots 2 - 47$$

$$C_{Vc} = 0.0942 + 0.02774 Vc - 0.0002126 Vc^2 \dots \dots \dots 2 - 48$$

T= Temperatura, en  $^\circ\text{C}$ .

$C_t$ = Coeficiente de temperatura, adimensional.

Vc= Porcentaje de la duración del ciclo vegetativo.

$C_{Vc}$ = Coeficiente del ciclo vegetativo, adimensional.

F = Factor de cultivo.

En la ecuación 2 - 48 que determina  $C_{Vc}$  tiene en cuenta, en cultivos estacionales, el efecto de variación del tamaño del cultivo desde emergencia a total cubrimiento del terreno, (en cuyo caso  $C_{Vc} = 1.00$  para Vc = 68 %) y el efecto de maduración al final del ciclo; no es en consecuencia aplicable a cultivos permanentes, en cuyo caso debe considerarse

$C_{Vc} = 1.00$  durante todo ese ciclo. (Grassi, 1968)

FACTOR DEL CULTIVO, F

Valores Provisoriales

Alfalfa -----	1.10
Algodón -----	0.98
Avena -----	0.83
Frijol -----	0.86
Maíz -----	1.05
Papa -----	1.04
Remolacha azucarera -----	1.16
Trigo de invierno -----	0.87

II.4.2.2.5. Método de Grassi - Christiansen.

Trabajando con los datos complicados por Jensen - Haise (1962) pero incluyendo la radiación al tope de la atmósfera R, en lugar de la radiación solar,  $R_s$ , y un mayor número de factores meteorológicos Grassi-Christiansen, Grassi (1964) obtuvieron la siguiente ecuación:

$$E_t = 5.46 C_R \cdot C_{Cic} \cdot C_T \cdot C_{TD} \cdot F \text{ mm/día} \dots \dots \dots 2 - 49$$

Que también puede escribirse:

$$E_t = E_{tp} \cdot C_{Vc} \cdot F \dots \dots \dots 2 - 50$$

Para cada uno de los coeficientes anteriores se ha determinado una ecuación:

$$C_R = 0.1824 + 0.0575 R \dots\dots\dots 2 - 51$$

$$C_{Clc} = 1.15 - 0.05 C \dots\dots\dots 2 - 52$$

$$C_T = 0.062081 + 0.02633 T - 0.0003682 T^2 \dots\dots\dots 2 - 53$$

$$C_{TD} = 0.9361 + 0.00767 TD \dots\dots\dots 2 - 54$$

$$C_{Vc} = \text{Ecuación 2 - 48}$$

R = Radiación teórica al tope de la atmósfera, mm/día.

Clc = Nubosidad en décimos.

TD = Diferencia de temperaturas.

T = Temperatura en °C.

F = Factor de cultivo.

Una variante de la ecuación que determina la evapotranspiración elimina la influencia de la diferencia de temperaturas  $C_{TD}$  y resuelve el coeficiente de temperatura,  $C_T$ , en base a una ecuación lineal. En base a dicha variante, se ha confeccionado un monograma, fig. 2.3 que resuelve gráficamente la multiplicación de los cuatro coeficientes y la constante. Para ajustar la fórmula y obtener la evapotranspiración se multiplica  $E_{t1}$  del monograma, por el valor del factor F correspondiente, que se detalla a continuación:

FACTOR DEL CULTIVO, F

Valores provicionales

<u>CULTIVO</u>	<u>F</u>
Alfalfa -----	1.00 (+)
Algodón -----	1.08
Avena -----	0.89
Cebolla -----	1.01
Frijol -----	0.98
Maíz -----	1.00
Manzana -----	1.02 (+)
Papa -----	1.02
Remolacha azucarera -----	1.00
Tomate -----	0.82

( + ) Debe tomarse  $C_{vc} = 100$

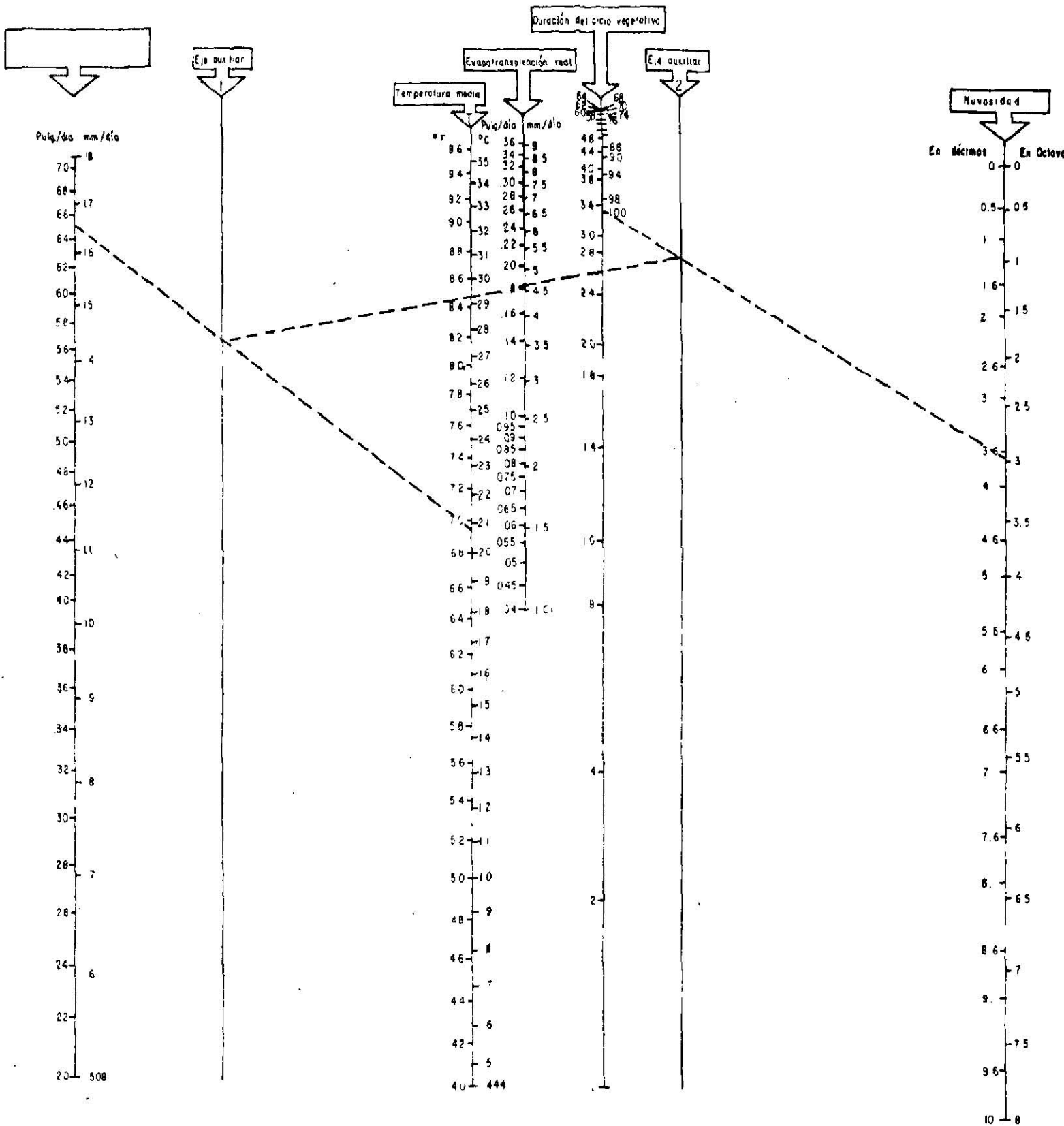


FIG 2.3 NOMOGRAMA PARA ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACION DE LOS CULTIVOS POR LA FÓRMULA DE: GRASSI - CHRISTIANSEN  
 Cálculo: PEDRO C FERNANDEZ, Instituto de Suelos y Riego, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.

En el caso de los frutales, los coeficientes consignados se refieren a cultivos adultos. (Grassi, 1968).

II.4.2.2.6. Método de Hargreaves.

La fórmula de Hargreaves (1956), permite calcular el uso consuntivo mensual, en función de la temperatura media, la humedad relativa al medio día y la duración del día dependiente de la latitud. Ultimamente (1966) su autor ha introducido factores adimensionales de corrección de la fórmula y una tabla que incluye coeficientes para tener en cuenta el efecto del cultivo.

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

$$E_t = 17.37 k.d.t (1.0 - H_n) \dots \dots \dots 2 - 55$$

- k = Coeficiente empírico de cultivo.
- d = Coeficiente mensual de duración del día.
- t = Temperatura media mensual.
- H<sub>n</sub> = Humedad relativa media, al medio día.

El coeficiente d está relacionado con p de Blaney - Criddle, tabla 2.5, de modo que:

$$d = 0.12 p \dots \dots \dots 2 - 56$$

Dado que los valores de humedad relativa que generalmente se publican en las estadísticas meteorológicas, corresponden a la media diaria, Al Barrak ( 1964 ) ha obtenido una relación, fig. 2.4 , entre dicho valor y la humedad relativa al medio día. Los valores de k se consignan en la tabla 2.6 , en función del porcentaje de la época de creci-



... Procedimiento de Elaney - Criddle, ( 1950 )

FORCENTAJE MENSUAL DE HORAS DE LUZ P.

LATITUD NORTE	ENE	FEB	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
40°	6.73	6.73	8.30	8.92	9.99	10.08	10.34	9.56	8.41	7.78	6.73	6.53
38°	6.87	6.79	8.44	8.90	9.92	9.95	10.10	9.47	8.38	7.80	6.82	6.66
36°	6.99	6.86	8.35	8.85	9.31	9.83	9.99	9.40	8.36	7.85	6.92	6.79
34°	7.10	6.91	8.36	8.80	9.72	9.70	9.88	9.33	8.36	7.90	7.02	6.92
32°	7.20	6.97	8.37	8.72	9.36	9.60	9.77	9.28	8.34	7.93	7.11	7.05
30°	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.34	7.99	7.19	7.14
28°	7.40	7.02	8.39	8.68	9.46	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	7.27	7.27
26°	7.49	7.12	8.40	8.64	9.37	9.30	9.49	9.10	8.32	8.06	7.36	7.35
24°	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.19	9.41	9.05	8.31	8.10	7.43	7.46
22°	7.76	7.22	8.41	8.57	9.22	9.12	9.31	9.00	8.30	8.13	7.50	7.56
20°	7.73	7.26	8.20	8.52	9.14	9.02	9.25	8.95	8.30	8.19	7.58	7.99
18°	7.88	7.26	8.40	8.46	9.06	8.99	9.20	8.81	8.29	8.24	7.67	7.80
16°	7.94	7.30	8.42	8.45	8.98	8.98	9.07	8.80	8.28	8.24	7.72	7.90
14°	7.08	7.39	8.43	8.44	8.90	8.73	8.99	8.79	8.28	8.28	7.85	8.05
12°	8.08	7.40	8.44	8.43	8.84	8.64	8.90	8.78	8.27	8.28	7.85	8.05
10°	8.11	7.40	8.44	8.43	8.81	8.57	8.84	8.74	8.26	8.29	7.89	8.08
8°	8.13	7.41	8.45	8.39	8.75	8.51	8.77	8.70	8.25	8.31	7.89	8.11
6°	8.19	7.49	8.45	8.39	8.73	8.48	8.75	8.69	8.25	8.41	7.95	8.19
4°	8.20	7.58	8.46	8.33	8.65	8.40	8.67	8.63	8.21	8.43	7.95	8.20
2°	8.43	7.62	8.47	8.22	8.51	8.25	8.52	8.50	8.20	8.45	8.16	8.42
0°	8.49	7.67	8.49	8.22	8.49	8.22	8.49	8.49	8.19	8.49	8.22	8.49

Fig.2.4

Relacion entre humedad relativa media diaria y la humedad relativa media al medio día  
Según AL BARRAK (1964)

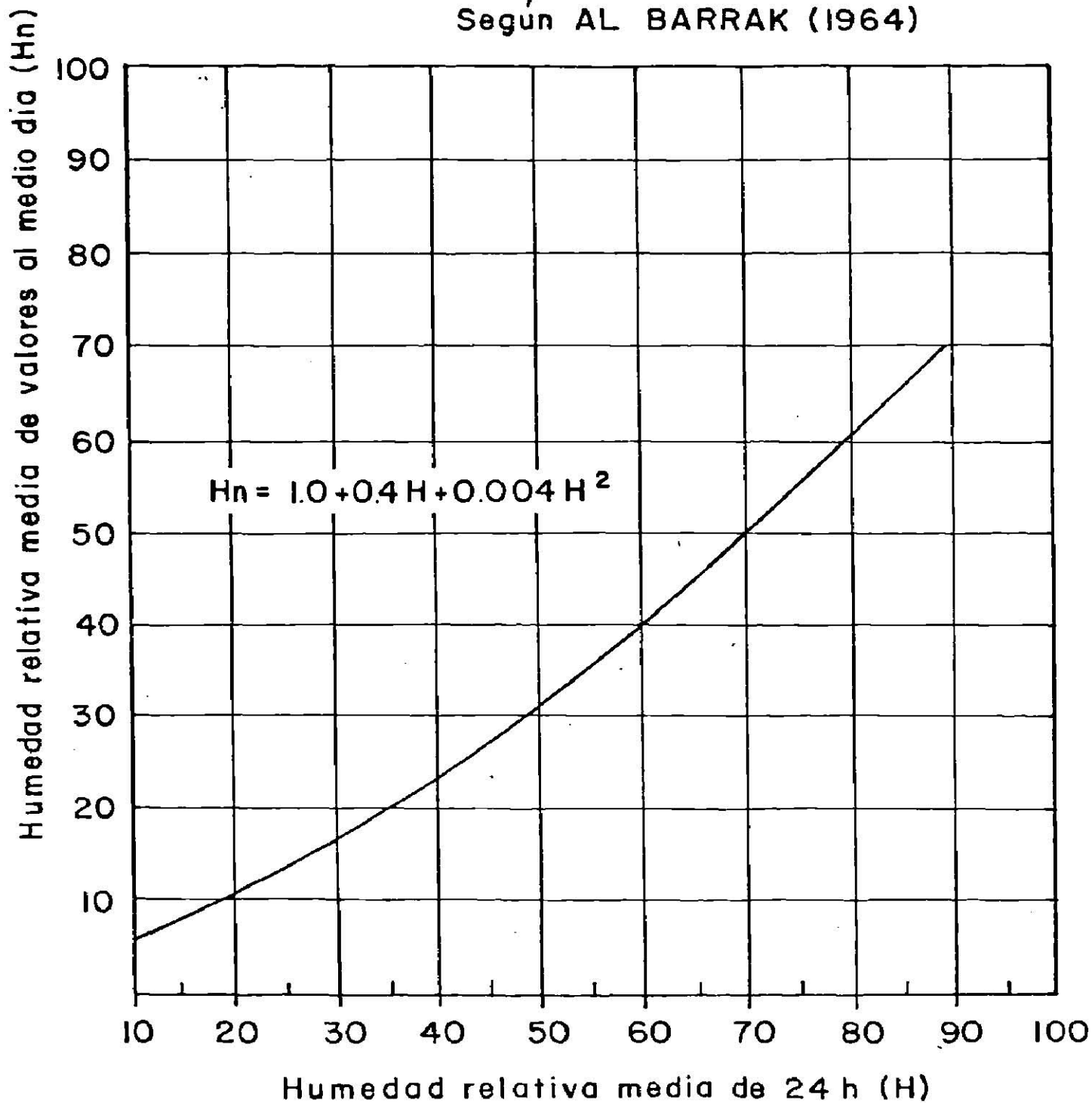


TABLA 2.6

VALORES DEL COEFICIENTE k PARA LA FORMULA DE HARGREAVES

Desarrollo Días %	G R U P O S							Arroz
	A	B	C	D	E	F	G	
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.20	0.15	0.12	0.08	1.00	0.60	0.55	0.90
10	0.36	0.27	0.22	0.15	1.00	0.60	0.60	0.92
15	0.50	0.38	0.30	0.19	1.00	0.60	0.65	0.95
20	0.64	0.48	0.38	0.27	1.00	0.60	0.70	0.98
25	0.75	0.56	0.45	0.36	1.00	0.60	0.75	1.00
30	0.84	0.63	0.50	0.40	1.00	0.60	0.80	1.03
35	0.92	0.69	0.55	0.46	1.00	0.60	0.85	1.06
40	0.97	0.73	0.58	0.52	1.00	0.60	0.90	1.08
45	0.99	0.74	0.60	0.58	1.00	0.60	0.95	1.10
50	1.00	0.75	0.60	0.65	1.00	0.60	1.00	1.10
55	1.00	0.75	0.60	0.71	1.00	0.60	1.00	1.10
60	0.99	0.74	0.60	0.77	1.00	0.60	1.00	1.10
65	0.96	0.72	0.58	0.82	1.00	0.60	0.95	1.10
70	0.91	0.68	0.55	0.88	1.00	0.60	0.90	1.05
75	0.85	0.64	0.51	0.90	1.00	0.60	0.85	1.00
80	0.75	0.56	0.45	0.90	1.00	0.60	0.80	0.95
85	0.60	0.45	0.36	0.80	1.00	0.60	0.75	0.90
90	0.46	0.35	0.28	0.70	1.00	0.60	0.70	0.85
95	0.28	0.21	0.17	0.60	1.00	0.60	0.55	0.80
100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Grupo A: Frijol, maíz, algodón, papas, remolacha azucarera y —  
tomates

Grupo B: Dátiles, olivo, duraznos, ciruelas y nogal.

Grupo C: Melón, cebada, zanahorias, vides y almendras.

Grupo D: Esparragos, cebada, apio, lino, avena, trigo, sorgo —  
granífero y otros cereales menores.

Grupo E: Pasto pangola, trebol, huertos con cultivos de cobertura,  
bananas y platanos.

Grupo F: Naranja, limonero y toronja.

Grupo G: Caña de azúcar y alfalfa.

miento, para ocho grupos de cultivos, en cada uno de los cuales se ha incluido las especies que responden a un mismo tipo de curva.

Dado que la fórmula ha sido desarrollada para condiciones meteorológicas medias, los resultados mejoran al ser afectados por los siguientes factores de corrección según Hargreaves (1966).

1.- Efecto de la velocidad del viento: los resultados deben aumentarse ó disminuirse en 9% por cada 50 Km/día de aumento o disminución, con respecto a 100Km/día que corresponde a las condiciones de obtención de la fórmula.

2.- Duración del resplandor solar: la fórmula se obtuvo con una insolación del 90% para situaciones diferentes corresponde aplicar las siguientes correcciones:

Insolación %	30	40	50	60	70	80	90
Corrección %	-34	-28	-24	-20	-16	-9	0

3.- Altitud: los resultados deben aumentarse de 1.0% por cada 100 m. de elevación a partir de los 150 m. que corresponde a las condiciones de obtención de la fórmula. (Grassi, 1968)

#### II.4.2.2.7. Método de Thornthwaite.

C. W. Thornthwaite (1948) buscando una expresión simple que emplee a datos climatológicos accedibles, desarrolló una fórmula empírica basada en la latitud y la temperatura, demostrando teóricamente que esta última constituye un buen índice de la energía en un lugar específico.

Sirve para estimar la evapotranspiración potencial y tiene la ventaja de que la fórmula usa datos climatológicos accedibles. Se obtienen buenos resultados en zonas húmedas con vegetación abundante.

Su expresión general es la siguiente:

$$E_t = 1.6 \left[ \frac{10T}{I} \right]^a \dots \dots \dots 2 - 57$$

$E_t$  = Evapotranspiración potencial no ajustada en mm (para meses de 30 días de 12 horas luz).

T = Temperatura media mensual, en °C.

I = Suma de (i) para todos los meses del año o semana anual de calor.

a = Constante que depende del lugar y que es función del índice de eficiencia anual de temperatura (I) cuyo valor es:

$$a = 0.000000675 I^3 - 0.0000771 I^2 + 0.017925 I + 0.49239 \quad 2- 58$$

i = Eficiencia de la temperatura.

I = Índice anual de calor (o temperatura). Es la suma de las eficiencias mensuales de temperatura.

$$I = \sum_{12} i \dots \dots \dots 2- 59$$

$$i = \left[ \frac{T}{5} \right]^{1.514} \dots \dots \dots 2 -60$$

La evapotranspiración potencial no ajustada se corrige por la duración del día en horas y los días de los meses, para obtener la evapotranspiración potencial como una función expotencial de la temperatura promedio mensual del aire y aplicada al ajuste por la duración del día para corregir la relación por estación y latitud. Justifica la emisión de otros factores meteorológicos al recalcar el hecho de que estos factores se conjugan con la temperatura del aire.

Las fallas que se pueden considerar en éste método son las siguientes:

1.- La temperatura no es una buena indicadora de la energía disponible para la evapotranspiración.

2.- La temperatura del aire con respecto a la temperatura de radiación puede ser diferente.

3.- La evapotranspiración puede cesar cuando la temperatura promedio desciende de °C. Lo que no es cierto.

4.- El viento puede ser un factor importante en algunas áreas, requiriéndose en ocasiones para ello, un factor de corrección (Makkink).

5.- La fórmula no toma en cuenta el efecto de calentamiento ó enfriamiento del aire por advección. (SRH, 1971)

#### II.4.2.2.8. Método de Blaney - Morin.

Harry F. Blaney y Karl V. Morin, 1942, basándose en observaciones en Nuevo México y Texas obtuvieron una fórmula empírica para relacionar la evaporación en tanque y la evapotranspiración con la temperatura, humedad relativa y duración del día en horas, la relación fue en la forma siguiente:

$$EVT \text{ ó } E = K t p (114 - H) \dots \dots \dots 2 - 61$$

EVT = Uso consuntivo del agua, en mm.

E = Evaporación del tanque evaporímetro tipo "A", en mm.

K = Factor ó coeficiente experimental que depende del cultivo.

t = Temperatura promedio mensual, °F

p = Porcentaje de horas luz en el mes con respecto al total anual.

H = Humedad relativa mensual, en por ciento.

También se expresa como:

$$EVT \text{ ó } E = K \frac{t \cdot p}{100} (114 - H) \dots \dots \dots 2 - 62$$

$$= K \cdot f (114 - H) \dots \dots \dots 2 - 63$$

f = Fuerza evaporante, que son los factores de luminosidad y temperatura para el período estimado.

Si las temperaturas promedio mensuales se expresan en °C, la expresión queda como sigue:

$$EVT \text{ ó } E = K \cdot p \frac{t \times 17.8}{21.8} (114 - H) \dots \dots \dots 2 - 64$$

El valor de p se obtiene en la tabla 2.5 según latitud y el mes y K se obtiene en tablas de acuerdo con valores experimentales. (SRH, 1971).

II.4.2.2.9. Método de Blaney - Criddle.

Harry F. Blaney y Wayne D. Criddle lograron perfeccionar su fórmula en el oeste de los Estados Unidos de Norteamérica donde haciéndose invertir la temperatura media mensual y el porcentaje de horas luz, así como un coeficiente que depende del cultivo se puede estimar el uso consuntivo.

$$U.C. = K \cdot F \dots \dots \dots 2 - 65$$

U.C. = Uso consuntivo, en cm.

K = Coeficiente que depende del tipo de cultivo.

$$F = \sum_{i=1}^n f \dots \dots \dots 2 - 66$$

n = Número de veces.

f = Factor climático.

$$f = p (8.12 + 0.457 T \text{ } ^\circ\text{C.}) \dots \dots \dots 2 - 67$$

p = Porcentaje de horas luz del mes, con respecto al total anual.

T = Temperatura media mensual, en °C.

Esta fórmula representa valores muy elevados, por haber sido desarrollada en una región desértica, Phelan introdujo una corrección de temperatura,  $K_t$ , que se calcula como sigue:

$$K_t = 0.031144 T + 0.2396 \dots \dots \dots 2 - 68$$

T = Es la temperatura media mensual, en °C.

Considerando que la expresión general de Blaney - Criddle, permite obtener volúmenes del uso consuntivo en períodos no menores de 30 días, en virtud de que K, es una constante que varía en función del desarrollo del cultivo, se han obtenido curvas de variación de K en función de dicho desarrollo que permite obtener valores de U.C. en el período que se desee, por lo cual el factor K se transforma en  $K_c$  y por lo tanto la expresión final en la fórmula tal como se usa actualmente es la siguiente:

$$U.C. = K_c K_t F \dots \dots \dots 2 - 69$$

Para poder obtener esta fórmula es necesario tener las curvas de coeficiente de desarrollo  $K_c$ , de cada cultivo, las cuales deben obtenerse en cada lugar y para cada cultivo o bien usar otras obtenidas en lugares similares.

Se sugiere la siguiente metodología para el cálculo del U.C. a través de introducir los coeficientes de desarrollo.



1.- Obtener en cada uno de los períodos el porcentaje de horas luz, p, en función de la latitud del lugar donde se desarrolla el cultivo y el mes. Tabla 2.5.

2.- Calcular el factor f.

3.- Determinar el factor de corrección de temperatura,  $K_t$ .

4.- Calcular los valores de  $K_c$  que son los coeficientes de desarrollo obtenidos en la gráfica del cultivo que se trate. Se dan los valores de  $K_c$  de acuerdo al desarrollo del cultivo en la tabla 2.7.

5.- Determinar el U.C.

6.- Aunque este método y sus coeficientes por cultivos han sido usados con buena aproximación deben rectificarse cada vez que se tengan referencias experimentales confiables. Para hacer el ajuste hay que determinar un factor de corrección, J, que se calcula de la siguiente manera:

a) Obteniendo la suma de los usos consuntivos mensuales calculados en el punto 5 la suma de las f correspondientes y el cociente:

$$C = \frac{U.C}{f} \dots \dots \dots 2 - 70$$

b) Tomando la tabla 2.8 ó de alguna referencia experimental, el valor propuesto del coeficiente global  $K_G$  y obteniendo:

$$J = \frac{K_G}{C} \dots \dots \dots 2 - 71$$

c) Aplíquese los usos consuntivos mensuales obtenidos, el coeficiente J, para obtener así el uso consuntivo ajustado:

$$U.C.' = U.C. \times J \dots \dots \dots 2 - 72$$

(SARH, 1977) (SARH, 1979)

TABLA 2.7. Coeficiente de desarrollo Kc para el cálculo de usos consuntivos

CULTIVOS ANUALES

% de desarrollo mensual	Ajonjolif	Algodón	Arroz	Cañadete	Cárta	Cebada	Cucurbitáceas	Chile	Frijol	Garbanzo	Jitomate	Lana	Maíz	Papa	Sorgo	Soya	Trigo
0	0.30	0.20	0.45	0.15	0.14	0.15	0.45	0.48	0.50	0.30	0.43	0.30	0.42	0.20	0.30	0.51	0.15
5	0.35	0.22	0.50	0.17	0.16	0.20	0.47	0.50	0.54	0.35	0.43	0.35	0.45	0.35	0.35	0.51	0.20
10	0.40	0.25	0.55	0.20	0.18	0.30	0.50	0.55	0.60	0.40	0.43	0.40	0.48	0.40	0.40	0.51	0.30
15	0.50	0.28	0.65	0.25	0.22	0.40	0.53	0.65	0.65	0.50	0.45	0.50	0.51	0.45	0.48	0.51	0.40
20	0.60	0.32	0.72	0.29	0.27	0.55	0.55	0.75	0.73	0.55	0.45	0.55	0.60	0.50	0.60	0.51	0.55
25	0.70	0.40	0.80	0.36	0.35	0.70	0.60	0.80	0.80	0.65	0.50	0.70	0.65	0.60	0.70	0.51	0.70
30	0.80	0.50	0.85	0.43	0.44	0.90	0.65	0.90	0.90	0.70	0.55	0.90	0.70	0.70	0.80	0.51	0.90
35	0.87	0.62	0.90	0.52	0.54	1.40	0.70	0.95	0.97	0.75	0.65	1.00	0.80	0.82	0.90	0.53	1.10
40	0.95	0.80	0.92	0.61	0.64	1.25	0.75	0.98	1.05	0.78	0.75	1.10	0.90	0.97	1.00	0.55	1.25
45	1.00	0.90	0.93	0.61	0.76	1.40	0.80	1.03	1.10	0.80	0.85	1.15	1.00	1.05	1.08	0.57	1.40
50	1.10	0.98	0.93	0.80	0.88	1.50	0.81	1.05	1.12	0.82	0.95	1.20	1.05	1.16	1.07	0.60	1.50
55	1.20	1.00	0.93	0.90	0.97	1.57	0.82	1.05	1.12	0.85	1.00	1.28	1.07	1.25	1.05	0.63	1.57
60	1.28	1.02	0.92	1.00	1.07	1.62	0.80	1.05	1.10	0.85	1.08	1.30	1.08	1.30	1.00	0.66	1.62
65	1.30	1.00	0.90	1.01	1.07	1.61	0.79	1.03	1.05	0.82	1.02	1.35	1.07	1.35	0.95	0.68	1.61
70	1.32	0.95	0.85	1.02	1.08	1.55	0.77	1.00	1.02	0.80	0.98	1.30	1.05	1.38	0.90	0.70	1.55
75	1.28	0.87	0.80	0.91	1.02	1.45	0.75	0.97	0.95	0.75	0.95	1.28	1.02	1.38	0.82	0.70	1.45
80	1.25	0.80	0.68	0.80	0.96	1.30	0.72	0.90	0.87	0.70	0.90	1.25	1.00	1.35	0.75	0.69	1.30
85	1.10	0.75	0.63	0.60	0.86	1.10	0.71	0.85	0.80	0.65	0.85	1.10	0.95	1.33	0.70	0.63	1.10
90	1.00	0.65	0.58	0.41	0.76	0.95	0.70	0.80	0.72	0.60	0.85	0.95	0.90	1.30	0.65	0.56	0.95
95	0.90	0.55	0.55	0.25	0.60	0.80	0.67	0.70	0.70	0.50	0.75	0.80	0.87	1.25	0.60	0.43	0.80
100	0.80	0.50	0.47	0.14	0.45	0.62	0.65	0.60	0.62	0.40	0.70	0.60	0.85	1.20	0.55	0.32	0.62

TABLA 2.8

VALORES DE  $K_G$  PARA DIFERENTES TIPOS DE CULTIVO

TIPOS DE CULTIVO	<u><math>K_G</math></u>
<b>Oleaginosas</b>	
Higuerillo	0.84
Algodón	0.79
Lino	0.78
Cartamo	1.21
Soya	0.68
<b>Forrajeras</b>	
Alfalfa	1.20
Bermuda	0.97
Panizo azul	0.98
<b>Granos pequeños</b>	
Cebada	1.09
Sorgo (1 cosecha)	0.87
Sorgo (2 cosechas)	0.90
Trigo	0.99
<b>Frutales</b>	
Toronja	0.66
Vid	0.70
Naranja	0.53
<b>Hortalizas</b>	
Brocoli	0.77
Col temprana	0.72
Col tardía	0.82
Melón	0.74
Zanahoria	0.63
Coliflor	0.78
Lechuga	0.50
Maíz dulce	0.98



go de sus diferentes etapas de desarrollo, Carlos J. Grassi propone la generalización de las tres ecuaciones anteriores utilizando para ello una ecuación promedio aplicable para la obtención de valores empíricos del coeficiente de cultivo.

Las ecuaciones obtenidas en el desarrollo de la fórmula para estimar la evapotranspiración de diferentes cultivos en base a diferentes factores meteorológicos, relacionan la evapotranspiración relativa en función de la duración del ciclo vegetativo expresado en por ciento.

Los datos de los coeficientes periódicos,  $K$ , calculados en función del por ciento del ciclo vegetativo para diferentes valores del coeficiente global medio ( $K_G$ ), se encuentran en la tabla 2.9.

Para la obtención de los coeficientes mensuales de uso consuntivo que dependen de la duración del ciclo vegetativo de cada cultivo, se elaboran cada una de las curvas en función del coeficiente global seleccionado y se divide el total del ciclo vegetativo del cultivo (1 - 100%) en los meses que lo integran y se obtienen dichos coeficientes mensuales  $k_m$ .

Obtenidos los  $k_m$ , en la fórmula de Blaney - Criddle, se multiplican los valores de luminosidad y temperatura,  $f$ , calculado para cada mes para así obtener los usos consuntivos mensuales.

Además, el procedimiento para seleccionar el coeficiente global medio de uso consuntivo ( $K_G$ ) para cada cultivo, se basa en la clasificación climatológica de la zona a considerar, de acuerdo con lo propuesto por Köppen y modificado por Thornthwaite. Para la elección del coeficiente se emplea la provincia de humedad obtenida por el procedimiento anterior, correspondiendo los valores mínimos para las regiones más húmedas y los máximos para las regiones áridas y semiáridas. (SRH, 1971)

TABLA 2.9

COEFICIENTE PERIODICO  $k$  DE USO CONSUNTIVO EN FUNCION DEL CICLO VE-  
VEGETATIVO, DE ACUERDO CON GRASSI - CHRISTIANSEN

	% del ciclo vegetativo									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\frac{K_G=0.35}{k}$	.158	.255	.333	.391	.430	.450	.450	.432	.393	.336
$\frac{K_G=0.40}{k}$	.181	.292	.380	.447	.492	.514	.515	.493	.450	.384
$\frac{K_G=0.45}{k}$	.204	.328	.428	.503	.553	.578	.579	.555	.406	.432
$\frac{K_G=0.50}{k}$	.226	.365	.475	.559	.615	.643	.643	.616	.562	.480
$\frac{K_G=0.55}{k}$	.249	.401	.523	.615	.676	.707	.708	.678	.618	.528
$\frac{K_G=0.60}{k}$	.272	.438	.571	.671	.738	.771	.772	.740	.674	.576
$\frac{K_G=0.65}{k}$	.295	.474	.618	.727	.799	.836	.837	.801	.731	.624
$\frac{K_G=0.70}{k}$	.317	.511	.666	.783	.861	.900	.901	.863	.787	.672
$\frac{K_G=0.75}{k}$	.340	.547	.713	.839	.922	.964	.965	.925	.843	.720
$\frac{K_G=0.80}{k}$	.362	.584	.761	.895	.984	1.028	1.030	.986	.899	.768
$\frac{K_G=0.85}{k}$	.385	.620	.809	.951	1.045	1.093	1.094	1.048	.956	.816
$\frac{K_G=0.90}{k}$	.407	.657	.856	1.006	1.107	1.157	1.158	1.109	1.012	.864
$\frac{K_G=0.95}{k}$	.430	.693	.904	1.061	1.168	1.221	1.222	1.171	1.068	.912

#### II.4.2.2.9.2. Método de la curva única de Hansen.

Todas las plantas presentan etapas de crecimiento, floración y fructificación. Se basa en las exigencias de humedad a través del ciclo vegetativo se conjugan en una sola curva determinada como promedio de todas las demás, en que el factor climático,  $f$ , se sustituye por la evaporación de una superficie libre de agua. Las etapas de crecimiento están relacionadas con las demandas de humedad aún más estrechamente, que la edad misma de los cultivos.

Este método tiene las siguientes ventajas:

a) Reúne en una sola curva la información sobre las exigencias relativas de humedad de un cultivo a través del ciclo vegetativo, eliminando así la necesidad de usar diferentes curvas para calcular los usos consumivos.

b) El factor  $f$  puede ser sustituido ventajosamente por el dato de evaporación que ha sido obtenido bajo condiciones controladas.

c) El coeficiente de requerimiento de humedad puede ser adaptado a las condiciones de cada distrito afinado dicho coeficiente con los estudios de control gravimétrico de la humedad de los suelos, que se haya realizado en las parcelas de prueba para diferentes cultivos. (SARH, 1977) (SARH, 1979)

El procedimiento de cálculo exige seguir el siguiente camino:

1.- Obtengase para cada mes el factor  $f$  de Blaney - Criddle.

2.- Calcule el coeficiente de la etapa de desarrollo del cultivo,  $K_G$ , tabla 2.10. Para ello hay que precisar en décimos el tramo de la curva correspondiente al período real del cultivo y dividirlo entre el número de meses que dura en el campo, para así obtener el dato del período vegetativo correspondiente a cada mes. Fig. 2.5.

TABLA 2.10

Coefficientes globales de evapotranspiración estacional-  
( $K_G$ ) para diversos cultivos, en donde los valores co-  
rresponden a las zonas de clima árido y semiárido y los  
valores mínimos a zonas húmedas y semihúmedas.

CULTIVO	PERIODO VEGETATIVO	COEFICIENTE GLOBAL $K_G$
Aguacate	Perenne	0.50 - 0.55
Ajonjolí	3 a 4 meses	0.80
Alfalfa	entre heladas en invierno	0.80 - 0.85 0.60
Algodón	6 a 7 meses	0.60 - 0.65
Arroz	3 a 5 meses	1.00 - 1.20
Cacahuate	3 meses	0.60 - 0.65
Cacao	Perenne	0.75 - 0.80
Café	Perenne	0.75 - 0.80
Camote	6 a 5 meses	0.60
Caña de azúcar	Perenne	0.75 - 0.90
Cartamo	5 a 8 meses	0.55 - 0.65
Cereales de grano pequeño: (alpiste, avena, cebada, centeno, trigo).	3 a 6 meses	0.75 - 0.85
Cítricos	7 a 8 meses	0.50 - 0.65
Chile	3 a 4 meses	0.60
Esparrago	6 a 7 meses	0.60
Fresa	Perenne	0.45 - 0.60
Frijol	3 a 4 meses	0.60 - 0.70
Frutales de hueso y pepita (hoja caduca)	entre heladas	0.60 - 0.70
Frutales establecidos de clima tropical y sub-tropical (hoja decidua)	Perenne	$0.75E_{TA} + 0.80E_{TA}$
Garbanzo	4 a 5 meses	0.60 <sup>2</sup> - 0.70 <sup>f</sup>
Girasol	4 meses	0.50 - 0.65
Gladiolo	3 a 4 meses	0.60
Haba	4 a 5 meses	0.60 - 0.70
Hortalizas	2 a 4 meses	0.60
Jitomate	4 meses	0.70
Lechuga y col	3 meses	0.70
Lenteja	4 meses	0.60
Lino	7 a 8 meses	0.70 - 0.80
Maíz	4 a 7 meses	0.75 - 0.85
Mango	Perenne	0.75 - 0.80
Melón	3 a 4 meses	0.60
Nogal	entre heladas	0.70
Papa	3 a 5 meses	0.65
Palma datilera	Perenne	0.65 - 0.80
Palma cocotera	Perenne	0.80 - 0.90
Papaya	Perenne	0.60 - 0.80
Plátano	Perenne	0.60 - 1.00
Pastos de Gramíneas	Perenne	0.75
Remolacha	6 meses	0.65
Sandía	3 a 4 meses	0.60

$E_{TA}$  = Evaporación en tanque evaporímetro tipo "A"

f = Factor de luminosidad y temperatura.



COSECHA

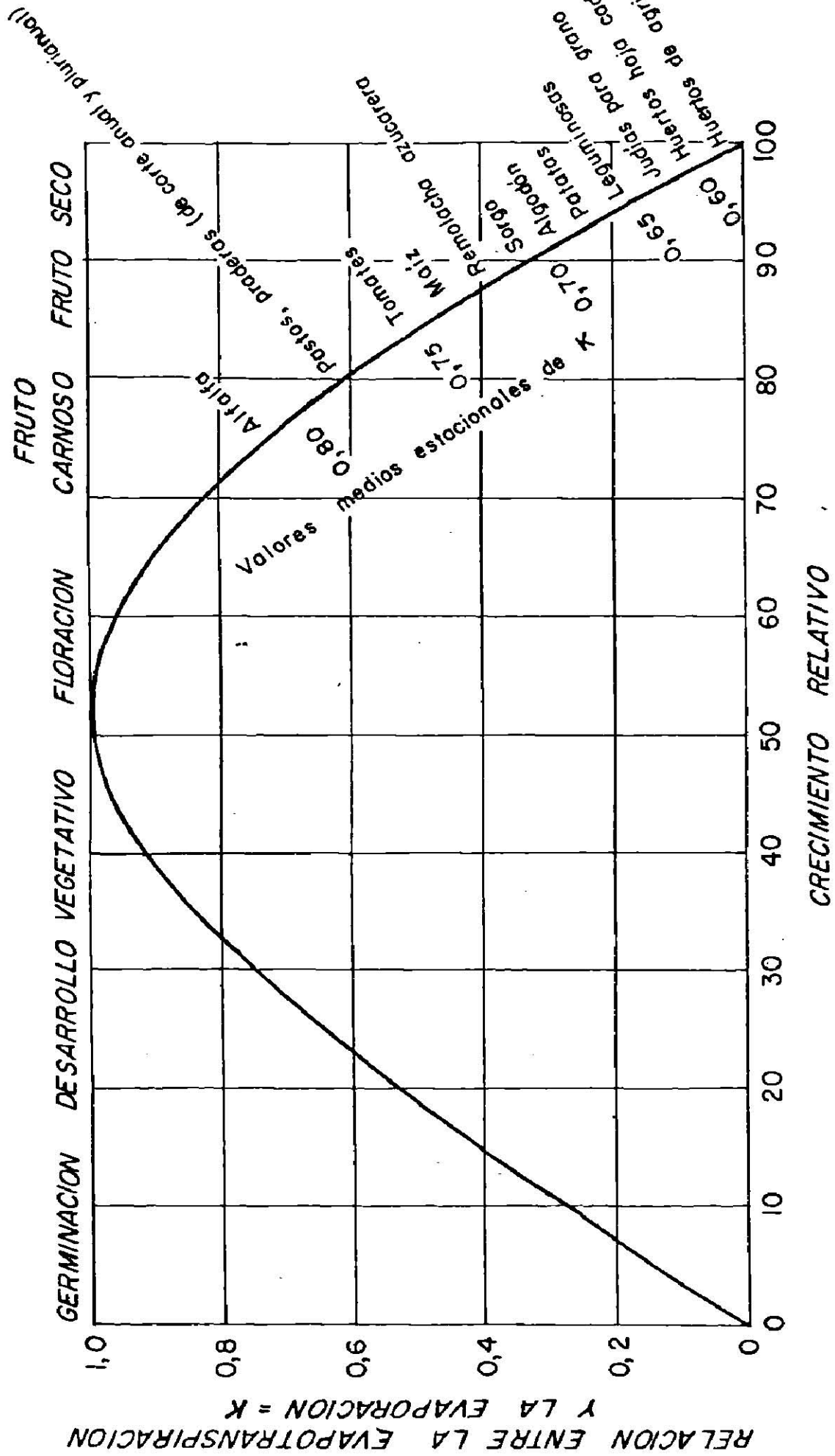


FIG. 2.5

Para cada mes se calcula sobre la curva ordenada media (promedio de tres a cuatro ordenadas del intervalo) la cual representa el valor mensual de  $K_G$ .

El uso consuntivo sea producto de:

$$U.C. = f. K_G \dots \dots \dots 2 - 76$$

3.- Se le aplica el factor de corrección, J, que se le aplica a la fórmula de Blaney-Criddle, al U.C. que se obtiene en el punto anterior. Se recomienda usar en zonas húmedas y semi-húmedas el dato de evaporación en el tanque, en lugar del coeficiente "f" por su mayor parecido al valor de evaporación calculado por el método de Thornthwaite para esos climas. (SRH, 1971).

#### II.4.2.2.10. Método de Lowry - Johnson.

Este método fué uno de los primeros en emplearse para el cálculo del uso consuntivo. Se aplica a toda una cuenca y se ha empleado con éxito en la parte árida del oeste de los Estados Unidos de Norteamérica. Es un procedimiento empírico basado en la relación de datos de la zona donde se aplica. Se parte de la premisa de que existe una relación lineal entre la evapotranspiración y el "calor efectivo".

Aunque este método no ha sido diseñado para la evapotranspiración mensual de un cultivo determinado, utilizando una proporción Wayne D. Criddle a calculado para la localidad de Boise, Idaho, Estados Unidos de Norteamérica una evapotranspiración igual a 0.6 m. tomando 4,967 grados día de calor calculados por Lowry - Johnson.

Al tomar exclusivamente el mes de julio, el promedio de la máxima en °C, fué de 31.12.

Donde:

$$\text{Calor efectivo} = 31.12 \text{ } ^\circ\text{C} \times 31 = 946.72 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sacando la evapotranspiracion con respecto a la evapotranpiración - total y para dicho mes:

$$\frac{965 \text{ aprox.}}{4,967 \text{ aprox.}} \times 0.66 = 0.129$$

Su función aproximada es:

$$U = 0.000154 (F - 32) D + 0.089 \dots \dots \dots 2 - 77$$

U = Evaporación, en pies/día.

F = Temperatura, en °F.

D = Número de días del mes.

#### II.4.2.2.11. Método de Makkink.

En 1957, G. F. Makkink desarrolló en Holanda una fórmula empírica, - empleando datos de lisímetros para la evapotranspiración potencial de pas to de poca altura. Su fórmula difiere de las anteriores al basarse en me diciones de la radiación solar ponderadas de acuerdo a la temperatura del aire, Makkink consideró que a mayor temperatura se emplea mayor porción - de energía solar.

Su relación es la siguiente:

$$E = 0.61 \frac{\Delta}{\Delta + \Psi} - 0.12 \dots \dots \dots 2 - 78$$

E = Evapotranspiración potencial.

Q = Radiación incidente, en mm/día (convertida en mm de agua evapo- rada.)

Δ = Pendiente de la curva temperatura - presión de vapor saturado a la temperatura promedio del aire.

Ψ = 0.49. constante psicrométrica, para °C.

Es una fórmula empírica obtenida en clima húmedo por lo cual se podrían obtener valores menores que la evapotranspiración potencial máxima en climas áridos debido a la poca consideración hecha a la energía de advección. Su uso ha sido muy limitado y falta probarla más ampliamente. - (SRH, 1971)

II.4.2.2.12. Método de Turc.

En Francia, L. Turc en 1954 obtiene una fórmula empírica que expresa el poder evaporante del aire como una función de la temperatura promedio y la radiación solar o las horas de fotoperíodo. Expresó la evaporación real como una función de la humedad disponible incluyendo precipitación y agua de riego y el poder evaporante del aire. Su fórmula la basó en el balance de agua de una cuenca y en datos lisimétricos recolectados durante una cantidad de años en Rothamstread y Versailles.

Al poder evaporante lo expresó como sigue:

$$l = 0.0437 (t + 2) I_g \dots \dots \dots 2 - 79$$

l = Poder evaporante del aire.

t = Temperatura promedio del aire, en °C.

$I_g$  = Radiación solar mensual incidente, en Langleys/día  
(cal-gramo/cm<sup>2</sup>/día) en una superficie horizontal.

Cuando los registros de radiación real no están disponibles,  $I_g$  se puede estimar utilizando la siguiente fórmula:

$$I_g = Q_A (0.18 + 0.62 \frac{n}{N}) \dots \dots \dots 2 - 80$$

$Q_A$  = Valor de Angost. Cantidad teórica de radiación máxima que puede alcanzar la superficie de la tierra con una transferencia de la atmósfera igual a 1. Se calcula mediante tablas para todos los meses del año en función de la latitud del lugar.

n = Duración real del fotoperíodo en el mes.

N = Duración teórica máxima posible del fotoperíodo en el mes.

$\frac{n}{N}$  = Insolación relativa, en horas.

$Q_A$  y N dependen de la latitud y están dados en tablas.

Para la estimación de la evapotranspiración, se utiliza la siguiente expresión:

$$EVT = 0.013 \frac{t}{t + 15} \dots \dots \dots 2 - 81$$

EVT = Evapotranspiración potencial, en mm/día.

$I_g$  = Radiación incidente, en cal/cm<sup>2</sup>/día.

t = Temperatura promedio mensual, en °C. Cuando la temperatura es inferior a los cero grados ó igual, la EVT = 0.

Poirás Ollier, tomando en cuenta la duración variable de los meses usando un coeficiente con valor de 0.40 a 0.37, correspondiente este último al mes de febrero y el anterior a todos los demás.

Cuando la humedad relativa es menor de 50%, es necesario corregir la EVT obtenida, multiplicándola por un factor F:

$$F = 1 + \frac{50 - H}{70} \dots \dots \dots 2 - 82$$

H = Humedad relativa, en %

Cuando se conoce la cantidad y volumen del suelo, la evaporación en cm. considerada para períodos de diez días se obtiene con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{P + a + V}{\sqrt{1 + \left(\frac{P + a}{I} + \frac{V}{2I}\right)^2}} \dots \dots \dots 2 - 83$$

E = Evaporación, en mm.

P = Precipitación en mm.

a = Humedad del suelo disponible para la evaporación de un suelo desnudo.

V = Humedad del suelo adicional disponible para la evaporación (a través de la vegetación) de un suelo cultivado.

I = Evaporación máxima correspondiente a la década

Quando no hay vegetación, V = 0 y la evaporación desde un suelo desnudo se expresa como:

$$E = \frac{P + a}{\sqrt{1 + \left(\frac{P + a}{I}\right)^2}} \dots \dots \dots 2 - 84$$

En la ecuación anterior, a y V representan respectivamente los factores del suelo y de la planta. Para un lapso de 7 días, a (mm) se puede determinar según la fórmula:

$$a \text{ (mm/semana)} = 35 - \Delta \dots \dots \dots 2 - 85$$

Δ = Déficit de humedad del suelo, a partir de un valor de referencia. (Δ = 0, cuando el suelo está a capacidad de campo).

La expresión anterior implica que un suelo desnudo no se puede secar más allá después de alcanzar un valor de = 35 mm.

El factor vegetativo, V, puede variar de acuerdo a la especie de la planta y la etapa de desarrollo. Para un período de 7 días, V (mm) es ta dada por:

$$V \text{ (mm/semana)} = 25 \sqrt{\frac{MK}{Z}} \dots \dots \dots 2 - 86$$

M = Producción total de materia seca, en 100 Kg/Ha.

Z = Duración del ciclo vegetativo, en días.

K = Factor de cultivo.

<u>CULTIVO</u>	<u>K</u>
Maíz, Betabel -----	0.67
Papa -----	0.83
Cereales, lino, zanahoria -----	1.00
Frijol, trebol, otras legumbres -----	1.17
Alfalfa, zacate de pastizal, mostaza -----	1.33

Este método es tan complicado, que se usa muy poco en irrigación, teniendo mayor utilización en la estimación de datos hidrológicos.

La fórmula de Turc toma en cuenta la variación de valores de la evapotranspiración potencial, ya que estando el suelo más o menos reseco, se obtiene una evapotranspiración reducida.

El empleo se ha generalizado gracias al establecimiento de un monograma fig. 2.6 diseñado por W. Halvak y su modo de empleo es el siguiente.

Si se desconoce  $I_g$ , se determina a partir de  $Q_A$  (tablas 2.11) (línea 1) y del valor de la relación  $n/N$  (línea 2) que se calcula directamente ( $N$  se obtiene del valor tabulado en la tabla 2.12, y  $n$  observando en la estación meteorológica de la región).

Se obtiene el valor de  $I_g$  en la línea 4 sobre la horizontal de 3 - en caso de que se conozca este valor, se parte directamente de esta línea 4. Después se prolonga la horizontal (3-4) hasta 5, punto de intersección con la escala de la evapotranspiración potencial.

Se une 5 con el punto 6, origen de la escala de temperatura y sobre recta así determinada, se toma 8 de igual abscisa que 7, indicativo de la temperatura en la escala inferior.

El punto 9 de igual ordenada que 8, da el valor de la (evapotranspiración potencial). Si se trata del mes de febrero, debe de prolongarse la recta hasta 9. (SRH, 1971)

II.4.2.3. Evapotranspiración en el campo de cultivo.

En contraste con la evapotranspiración potencial  $ET_p$  la cual ocurre en el cultivo de referencia que no sufre ninguna deficiencia de humedad en el suelo, y está bajo condiciones de cobertura total, existe una evapotranspiración en el campo de cultivo  $ET$  la cual puede ser estimada por la siguiente ecuación:

$$ET = K_c \cdot ET_p \dots \dots \dots 2 - 87$$

En donde  $K_c$  es el coeficiente que contabiliza la madurez del cultivo y la deficiencia hídrica bajo la cual la planta está creciendo. Este coeficiente se calcula de la siguiente manera:

$$K_c = k_{co} \cdot k_s \dots \dots \dots 2 - 88$$

Donde  $k_{co}$  es el coeficiente de madurez del cultivo creciendo bajo condiciones adecuadas de riego de tal manera que el agua no sea un limitante en el crecimiento del cultivo, pero sin mantener la superficie del suelo bastante húmeda. Los coeficientes de madurez pueden ser determinados algunas relaciones funcionales generalizadas que son aplicables a muchas regiones semi-áridas (Jensen, 1969; 1971).

Para prácticas de cálculo por computadora de la programación de irrigación, es conveniente usar una ecuación polinomial de la estimación, como la siguiente:

$$k_{co} = A r^3 + B r^2 + C r + D \dots \dots \dots 2 - 89$$

Donde  $r$  es un factor que indica el grado de cobertura del cultivo y es calculado de las formas siguientes según sea el caso: (a) número de dí



FIG- 2.6

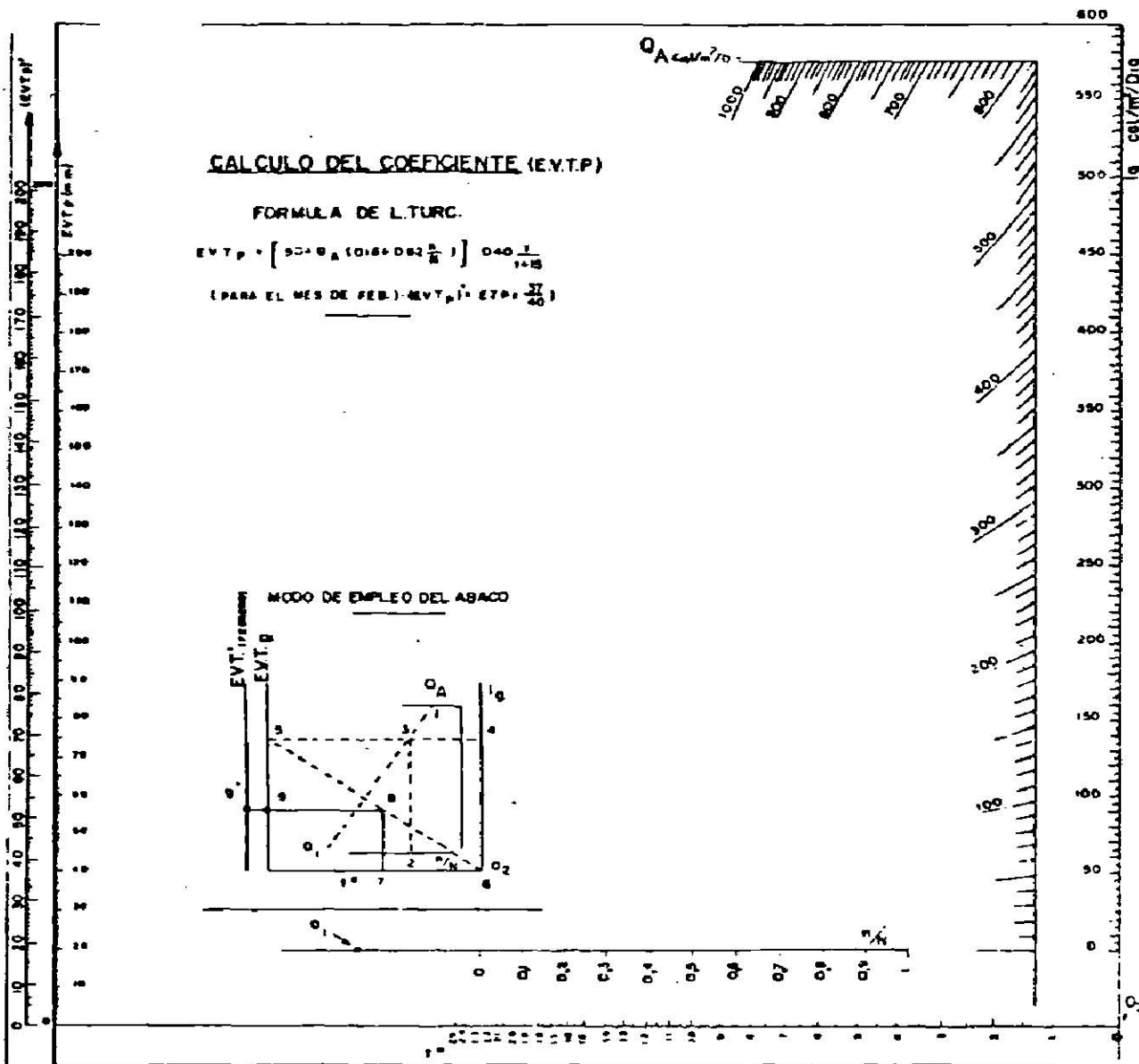


TABLA 2.11  
 RADIACION MAXIMA DEL AIRE  
 (cal-gramo/cm<sup>2</sup> de superficie horizontal)

MESES	GRADOS LATITUD NORTE									
	42°	43°	44°	45°	46°	47°	48°	49°	50°	51°
Enero	336	321	307	293	278	264	250	236	222	208
Febrero	468	454	441	427	414	400	387	373	360	347
Marzo	651	640	629	618	606	595	584	573	562	551
Abril	819	812	805	798	791	785	778	771	764	757
Máyo	939	937	934	932	929	927	925	922	920	918
Junio	985	985	984	984	984	984	983	983	983	983
Julio	954	952	950	948	946	944	942	940	938	936
Agosto	846	840	835	829	823	817	812	806	800	794
Septiembre	689	679	669	658	648	638	627	617	607	597
Octubre	510	496	483	470	457	443	430	417	404	391
Noviembre	362	347	332	318	303	289	275	260	246	232
Diciembre	294	280	266	251	237	223	208	194	180	166

TABLA 2.12

DURACION MENSUAL DEL DIA N (horas)

MESES	GRADOS LATITUD NORTE									
	42°	43°	44°	45°	46°	47°	48°	49°	50°	51°
Enero	296	292	288	284	281	277	274	270	266	262
Febrero	297	296	295	293	291	290	288	286	284	282
Marzo	370	370	370	370	370	370	369	369	368	368
Abril	401	403	404	405	407	409	410	412	413	415
Mayo	452	455	457	461	465	468	472	475	479	483
Junio	454	458	462	467	471	476	480	485	490	495
Julio	461	465	468	472	475	479	483	488	492	497
Agosto	429	432	435	437	439	442	444	447	449	452
Septiembre	376	376	376	377	377	377	377	378	378	378
Octubre	343	342	342	341	340	338	337	336	334	333
Noviembre	285	292	289	287	284	281	278	275	272	268
Diciembre	284	281	277	273	270	266	262	257	253	247

as transcurridos sobre el número de días a que ocurre cobertura efectiva, este vaor de r es para antes de que ocurra covertura efectiva; (b) número de días transcurridos despues de que ocurrió la cobertura efectiva, este valor de r es para despues de que ocurre la cobertura efectiva.

Las constantes A, B, C y D toman diferentes valores (tabla 2.13) dependiendo del cultivo, las condiciones de clima y la cobertura efectiva.

$k_s$  es el coeficiente de deficiencia hídrica y es calculado de la siguiente forma:

$$k_s = \frac{\text{Log} \{1 + 100 [1 - (DH/CC)]\}}{\text{Log } 101} \dots \dots \dots 2 - 90$$

Donde DH es la deflección de humedad en el suelo o el abatimiento de humedad en el suelo en cm. y CC es la capacidad de campo en cm. Para calcular el valor de  $k_s$ , los valores de contenido de humedad en el suelo deben de ser conocidos. (García, 1979)

Tabla 2.13 Constantes para determinar el coeficiente de madurez del cultivo  $k_{co}$ . Antes de cobertura efectiva.

Cultivo	Constantes			
	A	B	C	D
Maíz	- 1.583	2.756	- 0.4276	0.213
Frijol	- 1.353	2.562	- 0.3532	0.212
Alfalfa	0.0	0.0	1.087	0.250
Granos pequeños	- 2.893	4.843	- 1.140	0.233
Papa	- 1.281	2.456	- 9.371	0.213
Pastura	0.0	0.0	1.508	0.250
Despues de cobertura efectiva				
Maíz	$275 \times 10^{-8}$	$-488 \times 10^{-6}$	0.0119	0.915
Frijol	$165 \times 10^{-8}$	$-264 \times 10^{-4}$	$-112 \times 10^{-6}$	1.05
Alfalfa	0.0	0.0	0.025	0.5
Granos pequeños	$844 \times 10^{-8}$	$-726 \times 10^{-6}$	$853 \times 10^{-5}$	1.022
Pastura	0.0	0.0	0.0	0.87

## MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se realizó en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la U.N.A.L. ubicada en el municipio de Marín, N.L. durante el ciclo de invierno 1980 - 1981.

El campo experimental se encuentra ubicado en el Km. 17 de la carretera Zuazua - Marín, siendo sus coordenadas geográficas de 25° 53' Latitud Norte y 100° 03' Longitud Oeste con una altitud sobre el nivel medio del mar de 367.3 m.

El clima dominante en la región según la clasificación de Köppen, - modificado por García (5), es del tipo:

$$BS_1 (h') h x' (e)$$

Donde los términos significan:

$BS_1$  = Clima seco ó árido con régimen de lluvias de verano siendo el menos seco de los BS.

$(h')h$  = Temperatura anual sobre 22°C y bajo los 18°C, en el mes mas frío.

$x'$  = El régimen de lluvias se presenta como intermedias entre verano e invierno, como un porcentaje de lluvia invernal mayor de 18.

$(e')$  = Oscilación promedio es de 400 - 500 mm. anuales y una temperatura media de 17.9°C.

### MATERIALES.

- 1.- Semilla de trigo.
- 2.- Fertilizantes (sulfato de amonio y superfosfato simple).
- 3.- Tractor con sus implementos.
- 4.- Tránsito y nivel

- 5.- Cinta métrica.
- 6.- Azadones y palas.
- 7.- Barrena Veihmeyer.
- 8.- Frascos ó botes con tapa hermética.
- 9.- Balanza analítica.
- 10.- Estufa.
- 11.- Aforadores Parshall.
- 12.- Indicadores y estacas.
- 13.- Tanque evaporímetro standard tipo "A".

MÉTODOS.

El diseño utilizado fué un bloques al azar con 6 repeticiones y 4 - tratamientos los cuales fueron:

Tratamiento 1.- Aplicación del riego como se recomienda en Anáhuac , N.L.

RIEGOS	EPOCA DE APLICACION	LAMINA (CM.)
Presiembra ó germinación	Antes o después de sembrar	15
Primer riego de auxilio	35 - 45 días después de la nacencia	12
Segundo riego de auxilio	55 - 65 días después de la nacencia	12
Tercer riego de auxilio	75 - 85 días después de la nacencia	12

La aplicación no se hizo como se tenía previsto debido a la ocu -- rencia de lluvias durante el desarrollo del experimento. La aplicación de

los riegos fueron, de la siguiente manera:

RIEGOS	EPOCA DE APLICACION	LAMINA (CM.)
Presiembra o germinación	Después de la siembra	15
Primer riego de auxilio	80 días después de la nacencia	De acuerdo al contenido de humedad
Segundo riego de auxilio	95 días después de la nacencia	De acuerdo al contenido de humedad

Tratamiento 2.- Aplicación del riego por etapas fenológicas.

RIEGOS	EPOCA DE APLICACION.	LAMINA (CM.)
Presiembra o germinación	Antes ó después de sembrar	15
Primer riego de auxilio	En el amacollamiento	De acuerdo al contenido de humedad
Segundo riego de auxilio	En la floración	De acuerdo al contenido de humedad
Tercer riego de auxilio	Llenado de grano	De acuerdo al contenido de humedad

La aplicación de los riegos no se hizo como se tenía previsto debido a la ocurrencia de lluvias durante el desarrollo del experimento. - La aplicación de los riegos fué de la siguiente manera:

RIEGOS	EPOCA DE APLICACION	LAMINA (CM.)
Presiembra o germinación	Después de la siembra	15
Primer riego de auxilio	En el espigamiento	De acuerdo al contenido de humedad
Segundo riego de auxilio	Llenado de grano	De acuerdo al contenido de humedad

Tratamiento 3.- Aplicación de dos riegos.

RIEGOS	EPOCA DE APLICACION	LAMINA (CM.)
Presiembra o germinación	Antes ó después de sembrar	15
Primer riego de auxilio	En la floración	De acuerdo al contenido de humedad

Tratamiento 4.- Aplicación de un solo riego antes o después de sembrar con una lámina de 15 cm.

Las especificaciones del diseño experimental fueron las siguientes:

- 1.- La unidad experimental fué 8 x 8 m. tomándose como parcela útil una superficie de  $27.6 \text{ m}^2$  ( 6 x 4.6 m. ).
- 2.- La distancia entre repeticiones fué de 3 m. incluyendo el canal de riego.
- 3.- La superficie total fué de  $2016 \text{ m}^2$ , incluyendo canales de riego y calles.



## DESARROLLO DEL EXPERIMENTO.

El orden cronológico del desarrollo del experimento fué el siguiente:

### Determinación de las características del suelo:

Se escogieron tres puntos representativos del lote experimental de donde se obtuvieron las muestras para hacer la determinación de las características físicas del suelo como son Capacidad de campo, Punto de marchitez permanente y densidad aparente, a las profundidades de 0 - 25 y 25 - 50 cm.

### Preparación del terreno.

- a) Se realizó un desbare, ya que el cultivo que había era sorgo.
- b) Se realizó un arado profundo.
- c) Se rastreó y cruzó para la eliminación de los terrones.
- d) Se hizo el levantamiento topográfico para la determinación de la pendiente y distribución de las repeticiones.

### Siembra y fertilización.

Se realizaron simultáneamente la siembra y la fertilización utilizando la sembradora - fertilizadora para grano fino. Se calibró de tal manera, que tirara 150 Kg. de semilla por hectárea, 487.80 Kg. de sulfato de amonio y 263.16 Kg. de superfosfato simple por hectárea ya que la fórmula de fertilización recomendada fué 100 - 50 - 00.

La variedad de semilla utilizada fué PAVON F - 76

### Instalación del tanque evaporímetro.

El tanque se colocó al centro del lote experimental, aproximadamen

te a unos 25 cm. de la superficie del suelo.

Datos climatológicos recopilados durante el desarrollo del experimento.

Durante el desarrollo del experimento fueron tomados datos diarios de temperaturas máximas, mínimas y promedio, precipitación y evaporación.

#### Aplicación de los riegos (tratamientos)

La aplicación de los riegos se hizo con aforadores Parshall previamente calibrados.

Para la determinación de la lámina de riego,  $L_R$ , se uso la siguiente ecuación:

$$L_R = (CC - CH) P_r \cdot D_a$$

Donde:

$L_R$  = Lámina de riego, en cms.

CC = Capacidad de campo, en %.

CH = Contenido de humedad, en %.

$P_r$  = Profundidad del muestreo, en m.

$D_a$  = Densidad aparente, en  $gr/cm^3$ .

Para la obtención del tiempo de riego,  $T_R$ , se uso la siguiente ecuación:

$$T_R = \frac{V}{Q}$$

Donde:

V = Volúmen, en  $m^3$ .

Q = Gasto, en  $m^3/seg$ .

$T_R$  = Tiempo de riego en segundos.

Sabemos que el volúmen,  $V$ , está dado por la fórmula:

$$V = A \cdot L_R$$

Donde:

$V$  = Volúmen,  $m^3$ .

$A$  = Area de la superficie a regar. en  $m^2$ .

$L_R$  = Lámina de riego, en m.

Si tenemos en cuenta que la forma de riego que usamos en el experimento es por medio de aforadores Parshall, debemos tomar en cuenta la carga del aforador y de acuerdo al Cuadro 1 del apéndice se conoce el gasto,  $Q$ , y de esta manera determinaremos el tiempo de riego que hay que dejar el aforador funcionando.

Es importante que para el buen funcionamiento del aforador que trabaje a carga constante y descarga libre.

Determinación de los usos consuntivos.

La determinación se hizo con los siguientes metodos:

- 1.- Método gravimétrico.
- 2.- Método de Blaney - Criadle.
- 3.- Método en base a la evaporación del tanque tipo "A" con la ecuación de Grassi - Christiansen.
- 4.- Método de Jensen - Haise.
- 5.- Método modificado de Jensen - Haise.
- 6.- Evaporación del tanque tipo "A".

## RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se presentan los resultados y discusión de las variables utilizadas durante el desarrollo del presente trabajo.

### Datos de suelo.

De este factor se determinaron las constantes hídricas del suelo -- que son capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) así como la densidad aparente ( $D_a$ ). Cuadro 2 del apendice. También se determinaron las variaciones de humedad durante el ciclo en dos estratos de suelo, 0 - 25 y 25 - 50 cm. de profundidad. Cuadro 3 del apendice.

Para la determinación de las constantes hídricas (CC y PMP) se utilizó el método de la textura del suelo (arcilloso) según Ibarra Ruiz, - 1978. Cuadro 4 del apendice. Ya que el método de la columna de suelo el resultado era muy disparado. Para la determinación de la densidad aparente se utilizó el método de volumen conocido con la barrena de Uhland.

Para la determinación de la variación de humedad se utilizó el método gravimétrico, utilizando la barrena Veihmeyer.

### Datos de clima.

Se recopilaron datos diarios de temperatura máxima, mínima y promedio, precipitación y evaporación en la estación meteorológica de la --- FAUANL en el municipio de Marín, N.L. situado en el mismo municipio, la evaporación también se tomo en el campo donde se desarrolló el experimento. Cuadros 5, 6 y 7 del apendice.

La finalidad de tomar los datos en diferentes puntos cercanos al -- punto de referencia, fué para observar la variación que existe de un lugar a otro y utilizarlos como parámetros en las fórmulas empíricas. para determinar el uso consuntivo.

Los datos que se utilizaron para la estimación de los usos consuntivos fueron las temperaturas máximas, mínimas, promedio y precipitación de la estación meteorológica de la FAUANL; la evaporación que se utilizó fué la que se registró directamente en el campo donde se desarrolló el experimento, en la toma de este dato se tuvieron problemas en la instalación del tanque por lo que no se tomaron datos hasta el día 9 de febrero del presente año, tampoco se tomaron las lecturas el día domingo por la falta de transporte, tomándose como sustitutos de los datos faltantes los de la estación meteorológica de la FAUANL. La lectura de los datos se hizo a las 8 horas del día.

En la fig. 1 del apendice se muestra la distribución de la precipitación durante el ciclo vegetativo del cultivo.

#### Datos de cultivo.

En la fig. 2 del apendice se presentan las fechas de siembra, riegos, muestreos de humedad del suelo y etapas del cultivo con los días de duración de cada etapa.

#### Tratamientos y usos consuntivos.

El cuadro 8 reporta los valores de uso consuntivo para cada uno de los tratamientos, determinados por el método gravimétrico. Cuadros 9, 10, 11, y 12. Figs. 3, 4, 5 y 6 del apendice. Mientras que el cuadro 13 reporta los datos de evaporación y usos consuntivos obtenidos a partir de los métodos indirectos (Blaney - Criddle, Grassi - Christiansen, Jensen - Haise y modificado de Jensen Haise). Cuadros 14, 15, 16, 17, 18, y 19; Figs. 7, 8, 9, 10, 11 y 12 del apendice.

Para comparar los diferentes métodos de determinación del uso consuntivo indirectamente utilizaremos el uso consuntivo determinado gravimétricamente, del tratamiento 2 ya que fué el que reportó el rendimiento más alto. Cuadro 20 del apendice.

CUADRO 8 Datos de uso consuntivo por período en cm. de cada uno - de los tratamientos. Método gravimétrico.

TRATA.	P E R I O D O S									TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
I	2.68	9.26	2.19	1.10	0.00	2.67	8.19	11.96	11.90	39.95
II	2.68	8.88	2.06	1.28	0.00	1.05	9.36	3.58	11.26	40.15
III	2.68	8.74	2.40	0.94	0.00	0.92	6.43	5.89	2.10	30.10
IV	2.68	8.28	2.95	1.07	0.00	0.00	7.32	0.40	1.64	24.34

CUADRO 13 Datos de evaporación y uso consuntivo de los métodos in - directos por períodos.

METODOS	P E R I O D O S									TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
BLANEY - CRIDDLE	1.11	8.31	4.10	5.66	4.94	8.48	2.38	6.63	1.65	43.25
EVAPORA- CION	3.57	7.36	3.05	2.93	2.23	6.44	2.07	7.87	9.12	44.64
JENSEN HAISE	4.42	7.56	3.82	5.40	4.48	9.03	2.38	5.46	5.44	47.99
GRASSI CHRIS- TIANSEN	1.35	5.31	2.72	2.67	1.90	5.56	1.73	5.81	5.27	32.32
MODIFI- CADO - JENSEN HAISE	1.51	3.02	1.48	2.19	2.45	3.83	1.20	3.06	2.95	21.69

Para la comparación de los diferentes métodos utilizaremos la siguiente relación:

$$\% \text{ de desviación} = \frac{\text{U.C. del tratamiento 2}}{\text{U.C. de c/u de los met. ind.}}$$

Utilizando la relación anterior podemos encontrar que el porcentaje de desviación entre el método gravimétrico y los indirectos resulta como sigue:

MÉTODOS	% DE DESVIACION
Blaney - Criddle	7.19
Evaporación del tanque	10.06
Jensen Haise	16.34
Grassi - Christiansen	24.00
Modificado de Jensen - Haise	85.00

De acuerdo a los resultados anteriores podemos deducir que los métodos que más se ajustan a la determinación del uso consuntivo gravimetricamente fueron los de Blaney - Criddle y la evaporación del tanque, los restantes 3 métodos reportan diferencias que van desde un 16% a un 85% de desviación.

El método modificado de Jensen - Haise se basa en una ecuación en la cual se ajusta la función entre la radiación solar, la temperatura y altura donde será usada mediante las funciones de presión de vapor de saturación; según la literatura revisada (García, 1979) es uno de los métodos más apropiados para usarse en zonas áridas y semiáridas y que la radiación solar ( $R_g$ ) es uno de los factores que no se han estudiado ampliamente, el cual afecta a la determinación del uso consuntivo y esta es la razón por la cual tiene una desviación de 85% con respecto al uso consuntivo del tratamiento 2 obtenido gravimetricamente.

Por otra parte, este método requiere del cálculo constante de temperatura con ecuaciones bastantes sofisticadas donde se aplican coeficientes empíricos limitando su uso.

En el otro método de Jensen - Haise utiliza la función de la radiación solar y la temperatura, teniendo los mismos problemas que el método anterior de Jensen - Haise.

Otro de los problemas que se tienen con los métodos de Jensen - Haise es que determinan la evapotranspiración potencial, y para convertirla a evapotranspiración real es necesario del uso de coeficientes de cultivo y suelo que son determinados empíricamente por ecuaciones sofisticadas en donde se toma en cuenta la cobertura efectiva del cultivo, por lo cual esto puede ocasionar cambios en los valores reales que se deben de obtener.

Respecto a la ecuación de Grassi - Christiansen que determina la evapotranspiración en base a la evaporación, coeficiente de temperatura, coeficiente del ciclo vegetativo y un factor del cultivo, reporta un 24% de desviación, lo anterior se debió posiblemente a las constantes que se utilizan para obtener el coeficiente de temperatura ( $C_t$ ) y el coeficiente del ciclo vegetativo ( $C_{vc}$ ) ya que estos fueron desarrollados para países de latitudes medias y climas templados. (Grassi, 1968)

Con la ecuación de Blaney - Criddle que emplea la temperatura, por ciento de horas luz, la corrección de temperatura de Phelan y además incluye un coeficiente K que tiene en cuenta el factor individual de cada cultivo, y dado que dicho coeficiente varía a lo largo de la estación de crecimiento, la elección de K para estimaciones de un período dependerá del porcentaje de desarrollo del cultivo, muestra la menor desviación, 7.19% con respecto al método gravimétrico, esto es debido a que esta fórmula fue desarrollada en condiciones ecológicas similares a las de la región de Marín, N.L., por lo tanto, es el método que puede tener mayor éxito en la determinación del uso consuntivo.

Respecto a la evaporación del tanque, la evaporación es un proceso similar a la evapotranspiración ya que la desviación que reporta es de 10.06 %, debido a que este proceso integra la mayor parte de los factores que intervienen en la evapotranspiración y parece ser hasta el momento uno de los procedimientos más confiables para estimar la evapotranspira --



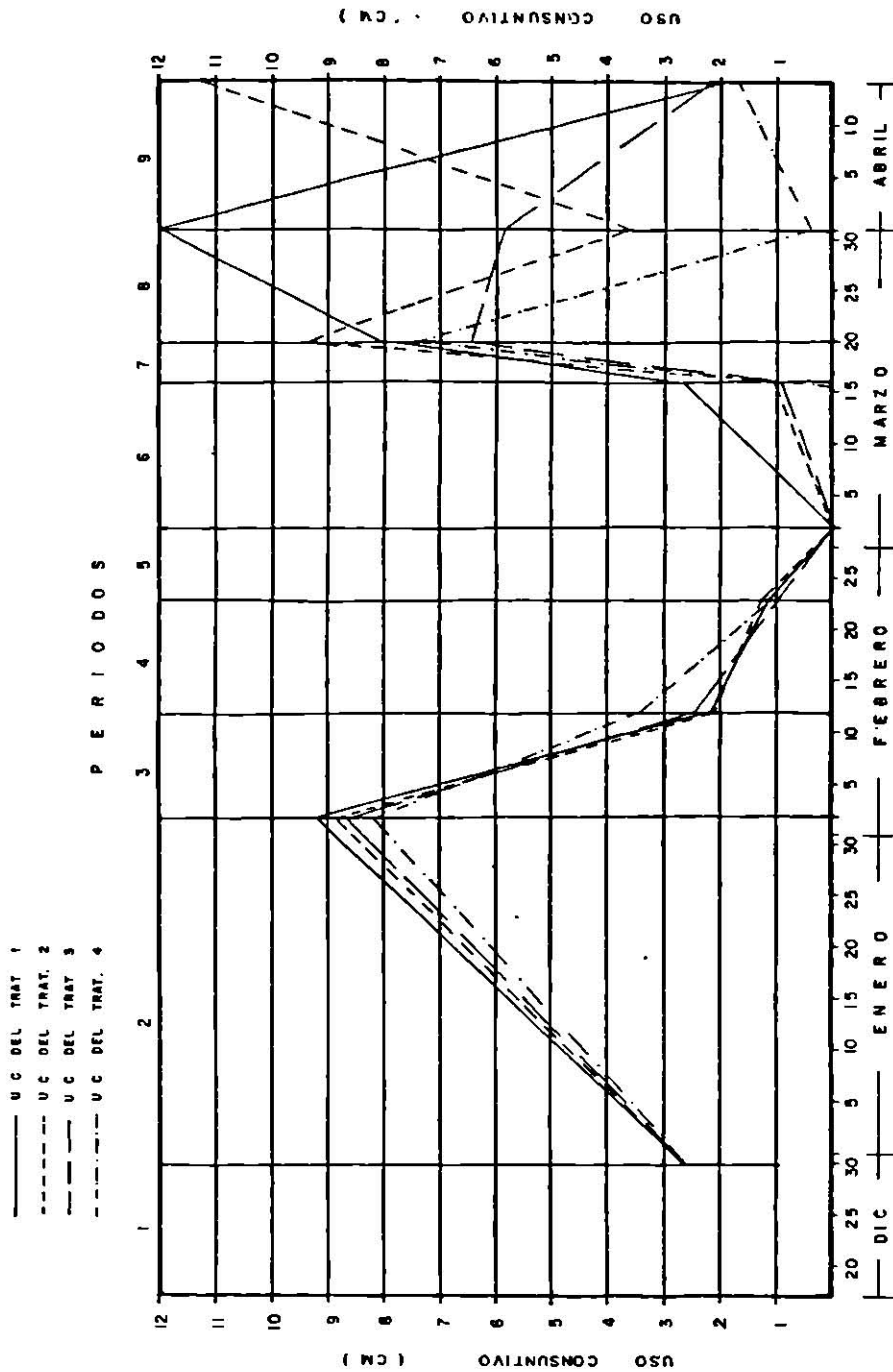
ción para cultivos de cobertura total.

En la fig. 13 se muestran los usos consuntivos de los tratamientos por período; se hace notar que el comportamiento de los usos consuntivos es similar hasta el período 5, en donde el consumo de humedad decae hasta cero; en el período 6 es donde se empieza a notar las diferencias debido a que en este período es donde se aplico el primer riego de auxilio el día 6 de marzo a los tratamientos 1 y 2, notándose un consumo de humedad mayor en tratamiento 1 con respecto a los demás tratamientos; en el período 7 hay un repentino aumento en el consumo de humedad en un lapso muy corto (4 días) por lo que es posiblemente la etapa en donde el cultivo tiene la mayor demanda de humedad, en este período se aplico el riego al tratamiento 3 lo que explica el alto consumo de humedad, el consumo de humedad del tratamiento 4 es debido a las precipitaciones que se presentaron con anterioridad; en el período 8 el tratamiento 1 muestra un consumo más alto que los otros tratamientos debido a la aplicación del segundo riego de auxilio, mientras que en los demás tratamientos disminuye el consumo de humedad exceptuando el tratamiento 4 que registra un leve aumento en el consumo de humedad debido a una precipitación que se registró en este período.

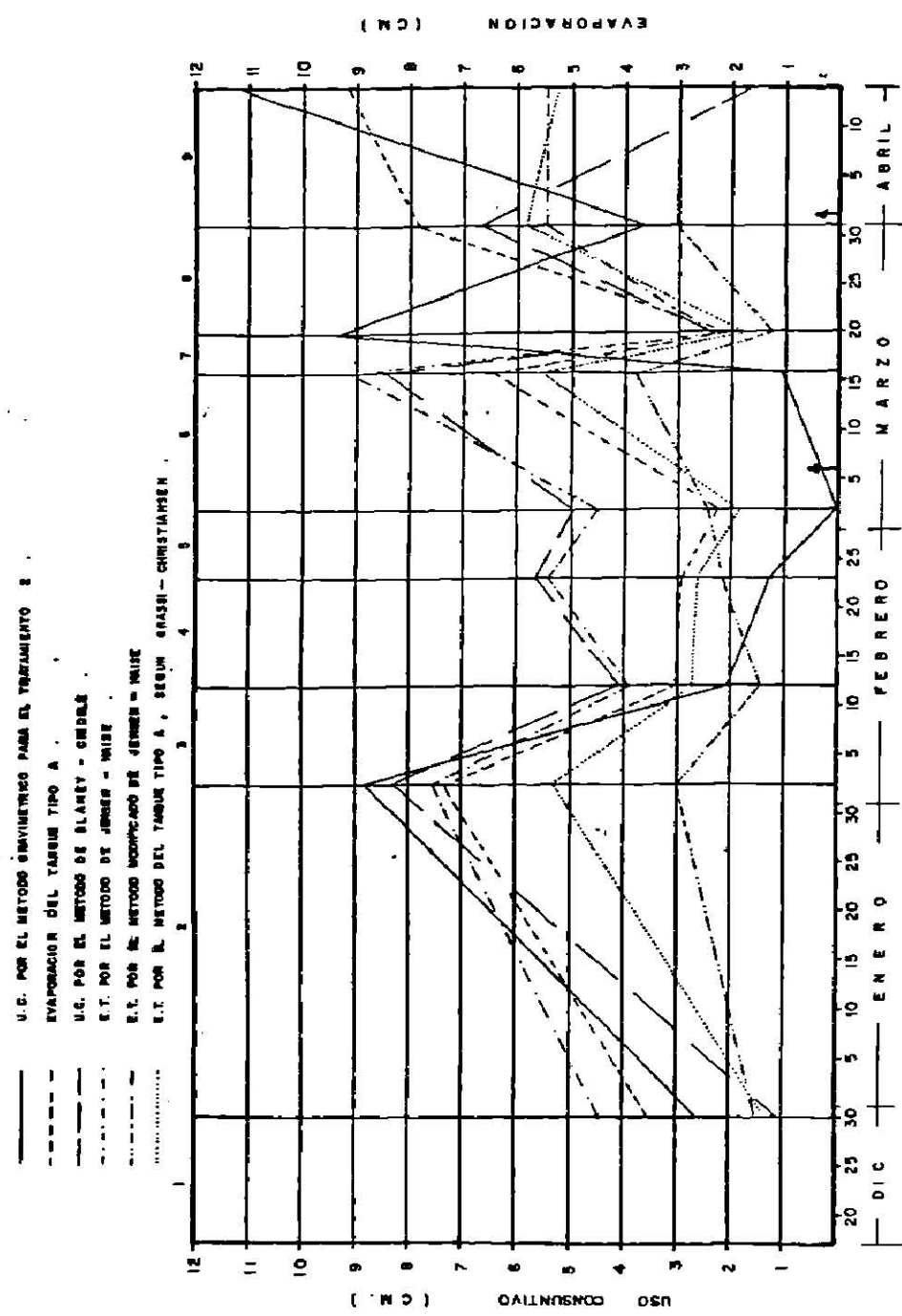
En la fig. 14 también se dan los usos consuntivos de los tratamientos en forma acumulada, en donde se demuestra el mismo comportamiento que en la fig. 13.

En la fig. 15 se muestran los usos consuntivos por período del tratamiento 2 por el método gravimétrico y los obtenidos por los métodos indirectos. El comportamiento que muestran los usos consuntivos obtenidos indirectamente es similar pero con diferentes consumos, comparado con el uso consuntivo del tratamiento 2, obtenido gravimetricamente, notandose que en el período 5 decae a cero de consumo de agua.

Por otra parte se da un contraste muy notorio en el período 7 donde los usos consuntivos obtenidos indirectamente reportan un consumo de humedad bajo, mientras que el obtenido gravimetricamente aumenta considera







MESES Y DIAS DEL CICLO VEGETATIVO

FIGURA No. 15. USO CONSUNTIVO POR PERIODO DE LOS METODOS INDIRECTOS, METODO GRAVIMETRICO DEL TRATAMIENTO 2 Y LA EVAPORACION DEL TANQUE MARIN, N.L. 1980 - 1981.

blemente, esto es debido a que posiblemente sea en este período en el - cual el cultivo tenga una mayor demanda de agua; en el período 8 sucede lo contrario que en el anterior, esto es debido a que el consumo de agua que hubo en el período 7 fué muy alto y el siguiente período no pudo haber más consumo de agua por el abatimiento del contenido de humedad en el suelo; en el período 9 el uso consuntivo obtenido gravimetricamente - aumenta mientras que los métodos indirectos se mantienen estables o decaen, esto es debido a la aplicación del segundo riego de auxilio al tratamiento 2.

El comportamiento de los usos consuntivos por el método de Blaney-Criddle y Jensen - Haise son muy similares, mientras que el de Grassi - Christiansen y la evaporación del tanque son también similares, resultando el método modificado de Jensen - Haise el que reporta la mayor desviación con respecto a los demás.

En la fig. 16 se muestran los usos consuntivos acumulados obtenidos indirectamente y gravimetricamente del tratamiento 2. Se observa que el comportamiento del uso consuntivo obtenido indirectamente de los diferentes métodos tienen una tendencia ascendente y uniforme mientras que el uso consuntivo obtenido gravimetricamente tiene una tendencia ascendente - pero no es uniforme esto es debido posiblemente a la distribución de los riegos o que el cultivo tiene etapas donde tiene mucha demanda hídrica, - por lo que se observa en la figura

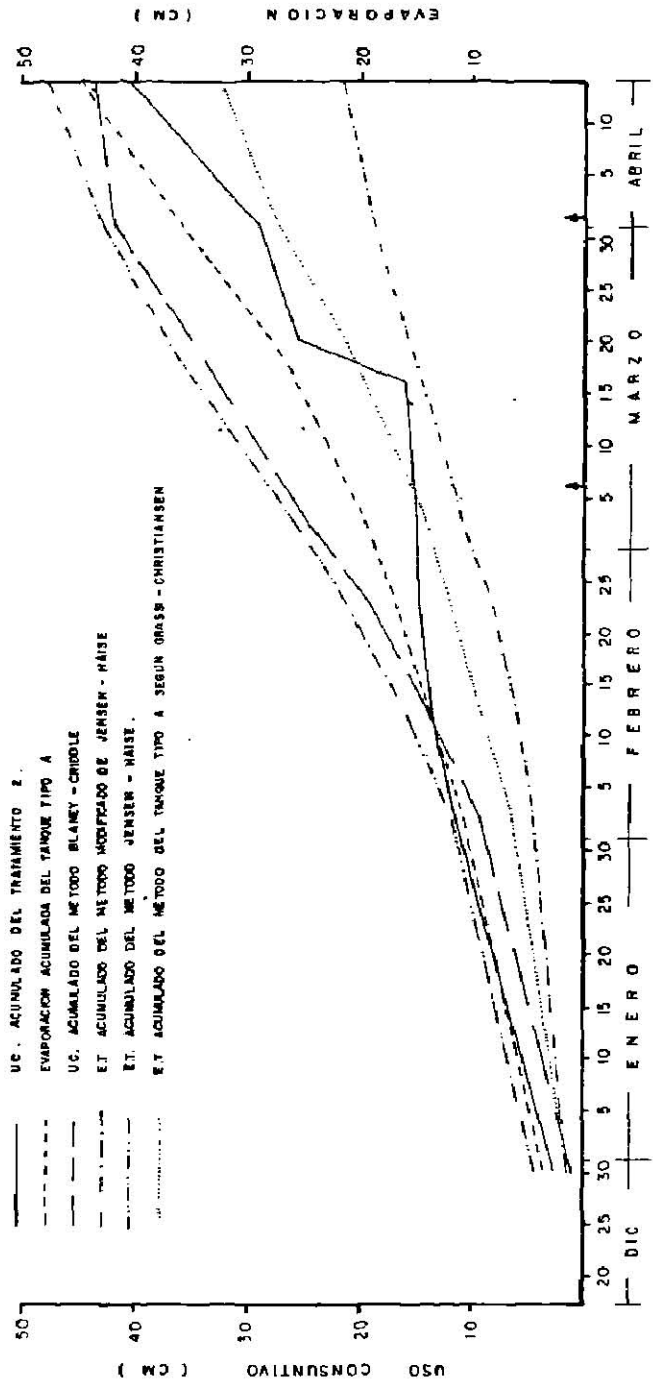


FIGURA No. 16. USO CONSUNTIVO ACUMULADO DE LOS METODOS INDIRECTOS, METODO GRAVIMETRICO DEL TRATAMIENTO 2 Y LA EVAPORACION DEL TANQUE MARIN, N.L. 1980 - 1981

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a la metodología utilizada y los datos obtenidos se concluye lo siguiente:

1.- Respecto a los datos de clima: no es necesario tener aparatos ó instrumentos que determinen los datos de clima en el campo de cultivo - cuando hay una estación meteorológica cerca del punto de referencia que - tenga las condiciones ecológicas similares y la persona que este encargada de la toma de las lecturas este lo suficientemente capacitada para -- desempeñar dicha labor.

En caso de que no se tengan las condiciones anteriores se recomienda el uso de aparatos o instrumentos para obtener los datos climatológicos necesarios para determinar las demandas hídricas del cultivo (s) en donde se desarrollen.

2.- Respecto a los muestreos de contenido de humedad en el suelo se concluye lo siguiente:

a) Frecuencia: la frecuencia del muestreo fué deficiente debido a las condiciones de clima que se presentaron durante el desarrollo del - trabajo, debido a lo anterior, es necesario utilizar otro método que permita hacer la determinación del consumo de humedad en el suelo en tales condiciones, y realizar los muestreos con la frecuencia adecuada como lo indica la literatura revisada. (SARH, 1977) (SARH, 1979)

b) Profundidad: la profundidad de muestreo que se utilizó fué la correcta para determinar el consumo de humedad en el suelo ya que el desarrollo radicular del cultivo fué la misma que la profundidad del muestreo. En suelos donde el nivel freático sea alto y pueda afectar el contenido de humedad del estrato donde exista actividad radicular, la profundidad del muestreo debe de ser mayor para observar la influencia del nivel freático en el contenido de humedad en el suelo. El espesor de los estratos debió ser más reducido para ir de acuerdo al desarrollo radicular del cultivo y obtener los consumos de humedad más exactos. Lo que se

recomienda es muestrear a estratos de 15 cm. hasta una profundidad de -- 60 cm., en condiciones normales de suelo.

3.- Respecto a las ecuaciones utilizadas para la determinación de -- las demandas hídricas, son las que no se limitan debido a la facilidad de la obtención de los parámetros climatológicos que se utilizan en cada una de ellas.

La ecuación de Blaney - Criddle es la más confiable de las que se utilizaron con respecto al método gravimétrico, por esta razón es la que se recomienda para la determinación del uso consuntivo.

Esta ecuación tiene ciertas limitantes de uso práctico ya que se necesita de tablas y cálculo de coeficientes para su uso correcto, pero para diseño y construcción de proyectos de riego es la más recomendable para determinar las demandas hídricas de los cultivos de la zona.

En lo que se refiere a la evaporación del tanque, es el método más práctico para la determinación de las demandas hídricas de los cultivos de cobertura total como el trigo, puesto que la evapotranspiración es un proceso similar a la evaporación, ya que éste integra los factores que influyen en la evapotranspiración. Sin embargo, sería prematuro decir que la evaporación es un método confiable para determinar las demandas hídricas, ya que es un factor muy variable con el clima y esto podría afectar la demanda hídrica de los cultivos.

Las ecuaciones de Jensen - Haise y la de Grassi - Christiansen son ecuaciones que se desvían mucho del método gravimétrico por lo que se recomienda estudiarlas con más detalle para determinar la posibilidad de usarlas en forma confiable en esta zona.



## RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la UANL ubicada en el municipio de Marín, N.L. durante el ciclo de invierno 1980 - 1981.

El objetivo del presente trabajo fué determinar cual de los métodos para calcular el uso consuntivo es el más apropiado para determinar los requerimientos hídricos de las plantas, para posteriormente tratar de recomendar el más aceptable a las necesidades y posibilidades de los cultivos de la región, así como se trata de conjuntar los principales métodos ideados en la revisión de literatura, para que de acuerdo con la localidad dada se defina un criterio para adoptar aquel que reúna la mayoría de los requisitos para la obtención del uso consuntivo del agua.

Para la determinación del mejor método para calcular el uso consuntivo se hizo una prueba de 4 tratamientos en 6 repeticiones en un diseño de bloques al azar, en los cuales los tratamientos consistieron en la distribución y volumen del agua aplicado, determinando las necesidades hídricas del cultivo por el método gravimétrico obteniendo los usos consuntivos de cada uno de los tratamientos.

Se obtuvo el mejor tratamiento en base al rendimiento y se hizo una relación entre los métodos indirectos para calcular el uso consuntivo probados en el presente trabajo y el uso consuntivo obtenido por el método gravimétrico del mejor tratamiento.

En base a esta relación utilizada para determinar el mejor método, resultó el método de Blaney - Criddle y la evaporación del tanque los mejores métodos para calcular el uso consuntivo del agua, lo anterior es debido a que el método de Blaney - Criddle ha sido desarrollado en condiciones similares a las de la región y la evaporación del tanque es un proceso similar a la evapotranspiración.

Los tres métodos restantes, Grassi - Christiansen y los de Jensen - Haise, arrojan resultados muy diferentes al obtenido por el método gravimétrico, debido a que en estos métodos utilizan ecuaciones y coeficientes muy sofisticados y que probablemente no hayan sido desarrollados en condiciones similares a esta región. También los métodos de Jensen - Haise utilizan datos como la radiación solar que no han sido estudiados ampliamente y además de que estos métodos determinan la evapotranspiración potencial que para convertirla a evapotranspiración real se necesitan de coeficientes de suelo y de cultivo que se obtienen por medio de ecuaciones sofisticadas que afectan el resultado real.

Con esto se concluye que el método de Blaney - Griddle es el más apropiado para determinar el uso consuntivo del agua para proyectos y construcción de diseños de riego, y la evaporación del tanque se puede utilizar para determinar las demandas hídricas de los cultivos como el trigo de una forma práctica y agil.

## BIBLIOGRAFIA

1. Aguilera C.M. y Martínez E.R. 1980 Relaciones agua suelo planta atmosfera, Departamento de enseñanza investigación y servicio en irrigación U.A.CH. 2<sup>a</sup> edición Chapingo México.
2. Ibarra R.B. 1978 Manual de uso y manejo del agua, Notas de Clase, Facultad de Agronomía U.A.N.L. Marín, N.L. México.
3. Israelsen W.O. y Hansen E.V. 1965 Principios y aplicaciones del riego ed. Reverteré Barcelona España.
4. García C.I. 1968 Notas de clase diseño y evaluación de sistemas de irrigación presurizados, Depta. de riegos y Drenaje - U.A.A.A.N. Buenavista Saltillo Coahuila México.
5. García M.E. et al 1973 Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para la República Mexicana, Instituto de Geografía de la U.N.A.M. México.
6. Grassi C.J. 1968 Estimación de los usos consuntivos del agua y requerimientos de riego con fines de formulación y diseño de proyectos criterios y procedimientos, C.I.D.I.A.T. Doc. No. 53 Mérida, Venezuela.
7. Oliver H. 1977 Riego y clima ed. C.E.C.S.A. México.
8. Pizzani Z.J.F. 1975 Manual de prácticas de irrigación, Notas de clase Facultad de Agronomía U.A.N.L. Marín, N.L. México.
9. Robles S.R. 1976 Producción de granos y forrajes ed Limosa, S.A. México.
10. Salinas R.A. et al 1980 Efecto de la tensión de la humedad del suelo en tres etapas fenológicas del cultivo del trigo durante el invierno 1979 - 1980 Tesis Profesional FAUANL Ma-

Marín, N.L. México.

11. SARH 1977 El buen uso y manejo del agua de riego, Boletín técnico -  
No. 8 del comite directivo del distrito de riego No. -  
R - 28 - 41 oficina de ingeniería de riego y drenaje -  
Cd. Obregón Sonora México.
12. 1978 Memorandum técnico No. 380, Instructivo para el ma  
nejo y reporte de experimentos agrícolas bajo condicio-  
de riego dirección gral. de distritos y unidades de rie  
go.
13. 1979 Memorandum técnico No. 387 uso y manejo del agua de  
de riego dirección general de distritos y unidades de -  
riego.
14. 1980 Operación de distritos de riego nivel técnico supe  
rior, Subsecretaría de agricultura y operación, direc -  
ción general de distritos y unidades de riego, Departam  
ento de asesoría técnica y capacitación, ingeniería de  
riego y drenaje. Tomo II El carrizo Sinaloa, México.
15. 1980 Circular CIAGON No. 3 INIA guia para cultivar tri  
go en el norte de N.L. y noroeste de Tamaulipas México.
16. SRH 1971 Memorandum técnico No. 290 Metodología para la de  
terminación y cálculo del uso consuntivo del agua, di  
rección general de distritos de riego dirección de es  
tadísticas y estudios económicos, México.
17. Tovar S. L.J. 1974 Uso del agua bajo condiciones de temporal, Uni  
versidad Autonoma de Chapingo departamento de suelos -  
México.
18. U.S.D.A. 1974 Servicio de conservación de suelos manual de inge  
niería de suelos sección 15 relación entre suelo -  
planta - agua ed. Diana, México.

19. Vega G.S. 1976 Curso de uso y manejo del agua I.T.E.S.M. Monterrey,  
N.L. México.

A P P E N D I C E

CUADRO 1. Gasto en litros/minuto, Parshall de 2<sup>m</sup> de diámetro

Q = 5.82

H<sup>1.55</sup>

Ha. cms.	Gasto	Ha. cms.	Gasto
- - - - -	- - - - -	10.25	214.5822
0.25	0.6168	10.50	222.7182
0.50	1.9875	10.75	230.9958
0.75	3.7364	11.00	239.3766
1.00	5.8200	11.25	247.6738
1.25	8.1637	11.50	256.4292
1.50	10.9125	11.75	265.0992
1.75	13.8574	12.00	273.9474
2.00	17.0410	12.25	282.8520
2.25	20.4373	12.50	291.8330
2.50	24.0889	12.75	300.9522
2.75	27.9185	13.00	310.1426
3.00	31.9518	13.25	319.4598
3.25	36.1710	13.50	328.8300
3.50	40.5770	13.75	338.2564
3.75	45.1515	14.00	347.8614
4.00	49.9006	14.25	357.6808
4.25	54.8185	14.50	367.6584
4.50	59.8478	14.75	377.1942
4.75	65.1258	15.00	387.1464
5.00	70.5384	15.25	397.2732
5.25	76.0674	15.50	407.3418
5.50	81.7710	15.75	417.5268
5.75	87.5910	16.00	427.8864
6.00	93.5274	16.25	438.3042
6.25	99.6384	16.50	448.7802
6.50	103.9240	16.75	459.3746
6.75	112.3280	17.00	470.0232
7.00	118.7832	17.25	480.7902
7.25	125.4210	17.50	491.6154
7.50	132.2304	17.75	502.6734
7.75	139.0980	18.00	513.5568
8.00	146.1402	18.25	524.6730
8.25	153.1806	18.50	535.3474
8.50	160.5156	18.75	547.0800
8.75	167.9070	19.00	558.4290
9.00	175.4148	19.25	569.8944
9.25	182.9800	19.50	581.4180
9.50	190.7214	19.75	593.0380
9.75	198.5784	20.00	604.6980
10.00	206.5318	- - -	- - - -

CUADRO 2. Datos de las constantes de humedad: capacidad de campo, C.C., punto de marchitez permanente, P.M.P. y densidad aparente, Da, a las profundidades de 0-25 y -- 25-50 cm. Marín, N.L. 1980 - 1981.

PROFUNDIDAD	CC	PMP	Da
0 - 25	31	15.5	1.41
25 - 50	31	15.5	1.58



CUADRO 3 Contenido de humedad de los tratamientos, por estratos, para cada luna de las fechas de muestreo. Marín, N.L. 1980 - 1981.

FECHA DE ESTRATO MUESTREO ( cm )		CONTENIDO DE HUMEDAD % ( Ps )			
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
FEB - 2	0 - 25	16.61	16.78	18.61	18.24
	25 - 50	20.46	21.20	21.67	21.31
FEB - 12	0 - 25	15.12	16.06	15.77	15.56
	25 - 50	16.68	17.18	16.39	16.35
FEB - 23	0 - 25	12.33	12.66	13.09	12.97
	25 - 50	15.43	16.43	16.48	15.95
MAR - 2	0 - 25	14.95	14.95	15.31	15.04
	25 - 50	16.12	17.21	16.55	16.46
MAR - 16	0 - 25	26.98	28.40	15.34	21.08
	25 - 50	27.84	30.35	14.22	23.17
MAR - 20	0 - 25	15.07	15.47	22.13	11.27
	25 - 50	17.75	18.42	21.64	13.39
MAR - 31	0 - 25	13.84	11.08	13.35	10.65
	25 - 50	16.05	13.35	16.10	12.93
ABR - 14	0 - 25	12.29	15.48	10.62	9.00
	25 - 50	12.63	17.20	12.66	11.55

TEXTURA DEL SUELO	FILTRACION Y PERMEABILIDAD CM/HORA	TOTAL ESPACIO POROSO % W	PESO ESPECIFICO APARENTE A <sub>1</sub>	CAPACIDAD DE CAMPO % FC	MARCHITEZ PERMANENTE % P W	HUMEDAD TOTAL UTILIZABLE			
						PESO SECO %		VOLUMEN %	CM/HORA Pw A.D d = ---100
						P= FC - PW	Pv Pw As		
ARENOSO	5 (2.5-25.5)	38 (32 - 42)	1.65 (1.55-1.80)	9 (6 - 12)	4 (2 - 6)	5 (4 - 6)	8 (6-10)	8 (7-10)	
FRANCO ARENOSO	2.5 (1.3- 7.6)	43 (40 - 47)	1.50 (1.40-1.60)	14 (10 - 18)	6 (4 - 8)	8 (6 - 10)	12 (9-15)	12 (9-15)	
FRANCO	1.3 (0.8 - 20)	47 (43 - 79)	1.40 (1.35-1.50)	22 (18 - 26)	10 (8 -12)	12 (10 - 14)	17 (14-20)	17 (14-19)	
FRANCO	0.8 (0.5-1.5)	49 (47 - 51)	1.35 (1.30-1.40)	27 (23 - 31)	13 (11 -15)	14 (12 - 16)	19 (16-22)	19 (17-22)	
ARCILLOSO	0.25 (0.03-0.5)	51 (49 - 53)	1.30 (1.25-1.35)	31 (27 - 35)	15 (13 -17)	16 (14 - 18)	21 (18-23)	23 (18-23)	
ARCILLOSO	0.5 (0.01-0.1)	53 (51 - 55)	1.25 (1.20-1.30)	35 (31 - 39)	17 (15 -19)	18 (16 - 20)	23 (20-25)	23 (20-25)	

CUADRO 4. RESUMEN DE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO DE ACUERDO A LA TEXTURA

Nota: Los intervalos normales son consignados en paréntesis.

1. Los intervalos filtración real varían mucho con la estructura del suelo y su estabilidad estructural, incluso más aún de lo indicado en esta columna.
2. La humedad fácilmente utilizable representa un 75% de la totalmente utilizable.

CUADRO 5 . Datos diarios sobre temperatura máxima, mínima y media de la estación meteorológica de la FAUANL en -- Marín N.L. y la estación meteorológica del ejido -- Marín N.L. Marín, N.L. 1980 - 1981.

MES	DIA	F.A.U.A.N.L.			EJIDO MARIN N.L.		
		TEMPERATURA (°C)			TEMPERATURA (°C)		
		MAX.	MIN.	MEDIA	MAX.	MIN.	MEDIA
DIC.	17	24.4	6.1	15.3	24.0	11.0	17.5
	18	28.3	6.1	17.2	23.0	10.0	16.5
	19	17.2	7.2	12.2	27.0	8.0	17.5
	20	5.0	4.4	4.7	19.0	6.0	12.5
	21	6.1	2.9	4.4	6.0	3.0	4.5
	22	11.1	3.3	7.2	4.0	2.0	3.0
	23	16.1	10.0	13.1	13.0	5.0	9.0
	24	16.7	14.4	15.6	15.0	12.0	13.5
	25	10.6	3.9	7.2	15.0	5.0	10.0
	26	25.6	3.3	15.6	10.0	4.0	7.0
	27	12.2	3.3	14.4	24.0	3.0	13.5
	28	11.7	2.8	7.2	22.0	5.0	13.5
	29	22.8	5.6	14.2	21.0	6.0	13.5
	30	21.1	10.0	15.6	22.0	8.0	15.0
	31	22.8	-0.6	11.1	19.0	2.0	10.5

CONT. CUADRO 5 .

MES	DIA	F.A.U.A.N.L.			EJIDO MARIN N.L.		
		TEMPERATURA (°C)			TEMPERATURA (°C)		
		MAX.	MIN.	MEDIA	MAX.	MIN.	MEDIA
ENE	1	23.9	0.0	11.9	22.0	2.0	12.0
	2	21.1	1.1	11.1	22.0	4.0	13.0
	3	22.2	3.3	12.8	19.0	5.0	12.0
	4	23.3	5.6	14.4	21.0	6.0	13.5
	5	18.9	7.2	13.1	21.0	7.0	14.0
	6	22.8	14.4	18.6	18.0	14.0	16.0
	7	12.2	10.6	11.4	22.0	10.0	16.0
	8	14.4	9.4	11.9	12.0	10.0	11.0
	9	16.1	11.1	13.6	19.0	11.0	15.0
	10	11.7	4.4	8.1	15.0	11.0	13.0
	11	11.1	8.3	9.7	11.0	10.0	10.5
	12	8.3	7.8	8.1	10.0	9.0	9.5
	13	17.7	6.1	8.9	10.0	7.0	8.5
	14	19.4	5.0	12.2	10.0	6.0	8.0
	15	17.8	3.9	10.8	19.0	6.0	12.5
	16	11.7	6.1	8.9	17.0	7.0	12.0
	17	11.1	5.0	8.1	11.0	4.0	7.5
	18	12.2	10.6	11.4	5.0	1.0	3.0
	19	9.4	1.1	5.3	3.0	2.0	2.5
	20	21.1	1.7	11.4	9.0	2.0	5.5
	21	14.4	4.4	9.4	10.0	3.0	6.5
	22	9.4	5.6	7.5	13.0	6.0	9.5
	23	19.4	1.7	10.6	9.0	2.0	5.5
	24	15.6	0.0	7.8	18.0	3.0	10.5
	25	26.7	2.8	14.7	24.0	7.0	15.5
	26	22.8	3.3	13.1	25.0	5.0	15.0
	27	25.0	6.7	15.8	21.0	8.0	14.5
	28	26.1	5.0	15.6	23.0	8.0	15.5
	29	26.1	6.7	16.4	25.0	9.0	17.7
	30	25.6	8.3	16.9	25.0	11.0	13.0
	31	21.7	11.7	16.7	23.0	12.0	17.5

CONT. CUADRO 5 .

MES	DIA	F.A.U.A.N.L.			EJIDO MARIN N.L.		
		TEMPERATURA (°C)			TEMPERATURA (°C)		
		MAX.	MIN.	MEDIA	MAX.	MIN.	MEDIA
FEB.	1	25.0	14.4	19.7	23.0	13.0	18.0
	2	10.0	3.5	6.8	20.0	4.0	12.0
	3	10.0	6.0	8.0	13.0	3.0	8.0
	4	15.5	5.0	10.3	9.0	7.0	8.0
	5	14.4	10.0	12.2	15.0	10.0	12.5
	6	17.7	10.0	13.9	16.0	11.0	13.5
	7	21.1	8.3	14.7	10.0	10.0	10.0
	8	23.5	6.6	15.1	19.0	9.0	14.0
	9	23.0	9.0	16.0	23.0	10.0	16.5
	10	30.5	11.5	21.0	22.0	12.0	17.0
	11	10.5	1.0	5.8	28.0	2.0	15.0
	12	12.5	-1.5	5.5	9.0	0.0	4.5
	13	8.0	5.0	6.5	11.0	0.0	5.5
	14	9.0	7.0	8.0	8.0	6.0	7.0
	15	15.0	7.0	11.0	10.0	7.0	8.5
	16	15.0	10.0	12.5	12.0	9.0	10.5
	17	19.5	12.0	15.5	16.0 <sup>7</sup>	16.0	16.0
	18	25.0	14.0	18.5	16.0	13.0	14.5
	19	24.0	12.0	18.0	22.0	13.0	17.5
	20	25.0	15.0	20.0	23.0	13.0	18.0
	21	28.0	14.0	21.0	23.0	16.0	19.5
	22	24.5	10.0	12.6	25.0	15.0	20.0
	23	25.0	4.0	14.5	20.0	6.0	13.0
	24	23.5	11.0	17.6	23.0	5.0	14.0
	25	24.5	13.5	19.0	20.0	13.0	16.5
	26	26.0	15.0	20.5	22.0	16.0	19.0
	27	23.0	17.0	20.0	25.0	17.0	21.0
	28	26.0	12.0	19.0	21.0	18.0	19.5

CONT. CUADRO 5 .

MES	DIA	F.A.U.A.N.L.			EJIDO MARIN N.L.		
		TEMPERATURA (°C)			TEMPERATURA (°C)		
		MAX.	MIN.	MEDIA	MAX.	MIN.	MEDIA
MAR.	1	24.5	9.0	16.8	24.0	16.0	20.0
	2	21.0	17.0	19.0	23.0	16.0	19.5
	3	24.5	17.5	21.0	19.0	17.0	18.0
	4	30.5	17.0	23.8	23.0	18.0	20.5
	5	25.5	8.5	17.0	28.0	10.0	19.0
	6	21.0	9.5	15.8	23.0	11.0	17.0
	7	26.0	11.0	18.5	20.0	12.0	16.0
	8	21.5	10.0	15.8	25.0	11.0	18.0
	9	20.0	14.5	17.3	21.0	12.0	16.5
	10	13.5	12.0	12.8	17.0	13.0	15.0
	11	14.0	10.0	12.0	13.0	10.0	11.5
	12	15.0	10.0	12.5	12.0	11.0	11.5
	13	19.0	10.0	14.5	15.0	10.0	12.5
	14	21.0	10.0	15.5	18.0	12.0	15.0
	15	28.0	10.0	19.0	19.0	11.0	15.0
	16	20.5	11.0	15.8	27.0	16.0	21.5
	17	28.5	11.0	19.8	27.0	11.0	14.0
	18	28.0	11.5	19.8	27.0	12.0	19.5
	19	21.0	8.5	14.8	28.0	9.0	18.5
	20	28.0	7.0	17.5	28.0	8.0	18.0
	21	30.0	8.0	19.0	20.0	10.0	15.0
	22	27.5	12.0	19.8	27.0	12.0	18.5
	23	22.1	7.5	14.8	25.0	8.0	16.5
	24	20.5	8.0	14.3	21.0	9.0	15.0
	25	26.5	14.5	20.5	20.0	11.0	15.5
	26	28.0	16.0	22.0	25.0	2.0	13.5
	27	30.0	17.0	23.5	26.0	16.0	21.0
	28	29.0	18.0	23.5	28.0	18.0	23.0
	29	30.5	17.0	23.8	27.0	18.0	22.5
	30	34.0	11.0	22.5	29.0	13.0	21.0
	31	36.5	15.5	26.0	31.0	11.0	21.0

CONT. CUADRO 5

MES	DIA	F.A.U.A.N.L.			EJIDO MARIN N.L.		
		TEMPERATURA (°C)			TEMPERATURA (°C)		
		MAX.	MIN.	MEDIA	MAX.	MIN.	MEDIA
ABR.	1	29.5	15.0	22.3	26.0	17.0	21.5
	2	27.5	20.0	23.8	28.0	20.0	24.0
	3	35.0	20.5	27.8	26.0	20.0	23.0
	4	29.0	18.0	23.5	33.0	20.0	26.5
	5	29.0	18.0	23.5	27.0	12.0	19.5
	6	27.0	10.0	18.5	27.0	14.0	20.5
	7	31.0	15.0	23.0	26.0	14.0	20.0
	8	30.0	20.0	25.0	29.0	17.0	23.0
	9	28.5	19.0	23.8	28.0	20.0	24.0
	10	29.5	17.5	23.5	25.0	20.0	22.5
	11	27.5	20.0	23.8	27.0	18.0	22.5
	12	30.0	19.0	24.5	25.0	18.0	21.5
	13	30.0	19.0	24.5	28.0	20.0	24.0
	14	27.0	20.5	23.8	27.0	21.0	24.0

CUADRO 6 Datos diarios de evaporación, en mm, en el campo, estación meteorológica de la FAUANL en Marín, N.L. y la estación meteorológica del ejido Marín, N.L. Marín, N.L. - 1980 - 1981.

MES	DIA	CAMPO	FAUANL	EJIDO MARIN N.L.
DIC	17		3.53	4.31
	18		2.97	3.19
	19		3.28	2.55
	20		1.02	0.43
	21		0.89	2.70
	22		0.43	1.94
	23		1.70	5.09
	24		2.51	1.77
	25		2.37	0.77
	26		2.79	2.75
	27		2.06	3.10
	28		3.24	3.55
	29		4.49	3.95
	30		4.46	2.41
	31		3.29	3.69



CONT. CUADRO 6 .

---

MES	DIA	CAMPO	FAUANL	EJIDO MARIN N.L.
ENE.	1		3.04	1.48
	2		2.62	2.67
	3		2.52	2.02
	4		2.06	2.63
	5		1.64	0.80
	6		0.97	1.39
	7		1.80	0.26
	8		2.40	0.25
	9		0.78	0.30
	10		0.99	0.20
	11		0.31	0.10
	12		0.36	1.20
	13		1.85	0.30
	14		3.00	1.20
	15		3.16	3.05
	16		0.38	0.65
	17		0.41	0.30
	18		0.29	1.00
	19		0.71	0.20
	20		4.42	2.40
	21		0.70	1.15
	22		0.49	0.55
	23		4.55	2.75
	24		1.90	4.45
	25		2.40	1.70
	26		1.78	1.95
	27		5.22	5.65
	28		4.48	4.80
	29		2.27	1.90
	30		5.03	3.70
	31		2.31	2.20

---

CONT. CUADRO 6 .

---

MES	DIA	CAMPO	FAUANL	EJIDO MARIN N.L.
FEB.	1		5.51	5.30
	2		5.40	5.20
	3		1.29	2.20
	4		0.07	0.67
	5		1.40	0.83
	6		0.37	0.06
	7		0.55	4.67
	8		3.54	3.85
	9	2.34	2.13	4.20
	10	9.38	10.53	7.65
	11	3.12	5.25	4.00
	12	1.20	2.00	1.15
	13	0.00	0.27	0.54
	14	1.95	1.38	1.66
	15		0.25	0.78
	16	1.41	0.54	1.07
	17	2.12	1.33	0.18
	18	2.40	2.35	1.34
	19	0.94	1.54	2.23
	20	2.43	0.82	1.50
	21	10.42	5.90	5.95
	22		6.18	5.08
	23	5.25	5.87	2.92
	24	2.63	2.30	3.30
	25	2.28	3.24	1.60
	26	3.97	3.71	4.23
	27	1.62	2.29	2.00
	28	4.65	2.21	2.30

---

CONT. CUADRO 6 .

---

MES	DIA	CAMPO	FAUANL	EJIDO MARIN N.L.
MAR.	1		1.85	1.15
	2	1.42	0.33	1.60
	3	8.01	3.19	1.85
	4	6.96	12.39	6.52
	5	6.22	11.37	6.12
	6	2.10	5.23	6.61
	7	9.36	3.91	6.15
	8		5.57	5.45
	9	2.96	2.31	4.45
	10	2.13	0.10	1.96
	11	1.13	2.56	0.53
	12	1.00	1.65	1.51
	13	2.12	3.52	1.30
	14	8.30	2.44	1.40
	15		7.13	3.00
	16	2.39	1.47	6.45
	17	4.52	4.68	4.65
	18	8.32	7.54	5.99
	19	5.49	6.59	7.69
	20	2.46	3.32	3.19
	21	13.42	7.73	6.97
	22		8.90	6.16
	23	7.79	4.44	5.50
	24	2.07	5.50	5.30
	25	4.45	7.91	5.00
	26	6.31	1.40	6.25
	27	7.22	4.98	7.20
	28	12.62	8.55	5.85
	29		6.01	5.75
	30	7.40	8.70	8.15
	31	8.79	10.44	8.12

---

A CONT. CUADRO 6 .

---

MES	DIA	CAMPO	FAUANL	EJIDO MARIN N.L.
ABR.	1	5.40	6.22	6.47
	2	4.28	3.72	4.36
	3	5.50	5.59	4.35
	4	5.00	8.54	7.90
	5		7.88	11.00
	6	8.90	2.24	8.20
	7	4.90	7.20	6.55
	8	5.29	5.11	6.70
	9	4.71	5.08	4.20
	10	6.81	5.72	7.03
	11	11.56	4.80	3.98
	12		4.70	7.35
	13	4.63	5.22	5.04
	14			2.87

---

CUADRO 7. Datos diarios de precipitación en mm. registrados en -  
la estación metereológica de la FAUANL en Marín, N.L.  
y la estación meteorológica del ejido Marín, N.L. Ma -  
rín, N.L. 1980 - 1981.

MES	DIA	FAUANL	EJIDO MARIN N.L.
DIC.	17		
	18		
	19		
	20		1.5
	21	3.05	0.5
	22		2.5
	23		
	24		
	25		
	26		
	27		
	28		
	29		
	30		
31			

CONT. CUADRO 7 .

---

MES	DIA	FAUANL	EJIDO MARIN N.L.	
ENE	1			
	2			
	3			
	4			
	5			0.2
	6			
	7		0.6	0.2
	8			0.3
	9		6.0	6.0
	10		6.3	6.5
	11		7.8	8.5
	12		10.4	9.5
	13		0.8	0.1
	14			
	15			
	16			
	17		16.2	14.5
	18		2.1	3.8
	19		10.2	11.9
	20		0.4	0.7
	21			
	22		9.4	9.5
	23		1.0	1.3
	24			
	25			
	26			
	27			
	28			
	29			
	30			
	31			0.1

---

CONT. CUADRO 7 .

---

MES	DIA	FAUANL	EJIDO MARIN N.L.
FEB	1		
	2	2.0	1.5
	3		
	4	9.0	10.0
	5		0.5
	6	1.4	1.9
	7		0.5
	8		
	9		
	10		
	11		
	12		
	13	2.0	2.0
	14	4.0	6.0
	15		
	16		
	17	2.0	2.8
	18		
	19		
	20		
	21		
	22		
	23		
	24	7.8	7.0
	25		
	26		
	27		
	28		

---

CONT. CUADRO 7 .

---

MES	DIA	FAUANL	EJIDO MARIN N.L.	
MAR.	1			
	2	6.2	14.0	
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9		8.6	7.5
	10		9.4	8.5
	11		3.8	6.0
	12			
	13			
	14			
	15		0.8	0.1
	16		3.8	4.0
	17			
	18			
	19			
	20			
	21			
	22			
	23			
	24			
	25			
	26			
	27			
	28			
	29			
	30			
	31			

---



CONT. CUADRO 7

---

MES	DIA	FAUANL	EJIDO MARIN N.L.
ABR.	1	0.6	0.2
	2		
	3		
	4		
	5		
	6		
	7		
	8		
	9		
	10		
	11		
	12		
	13		
	14		

---

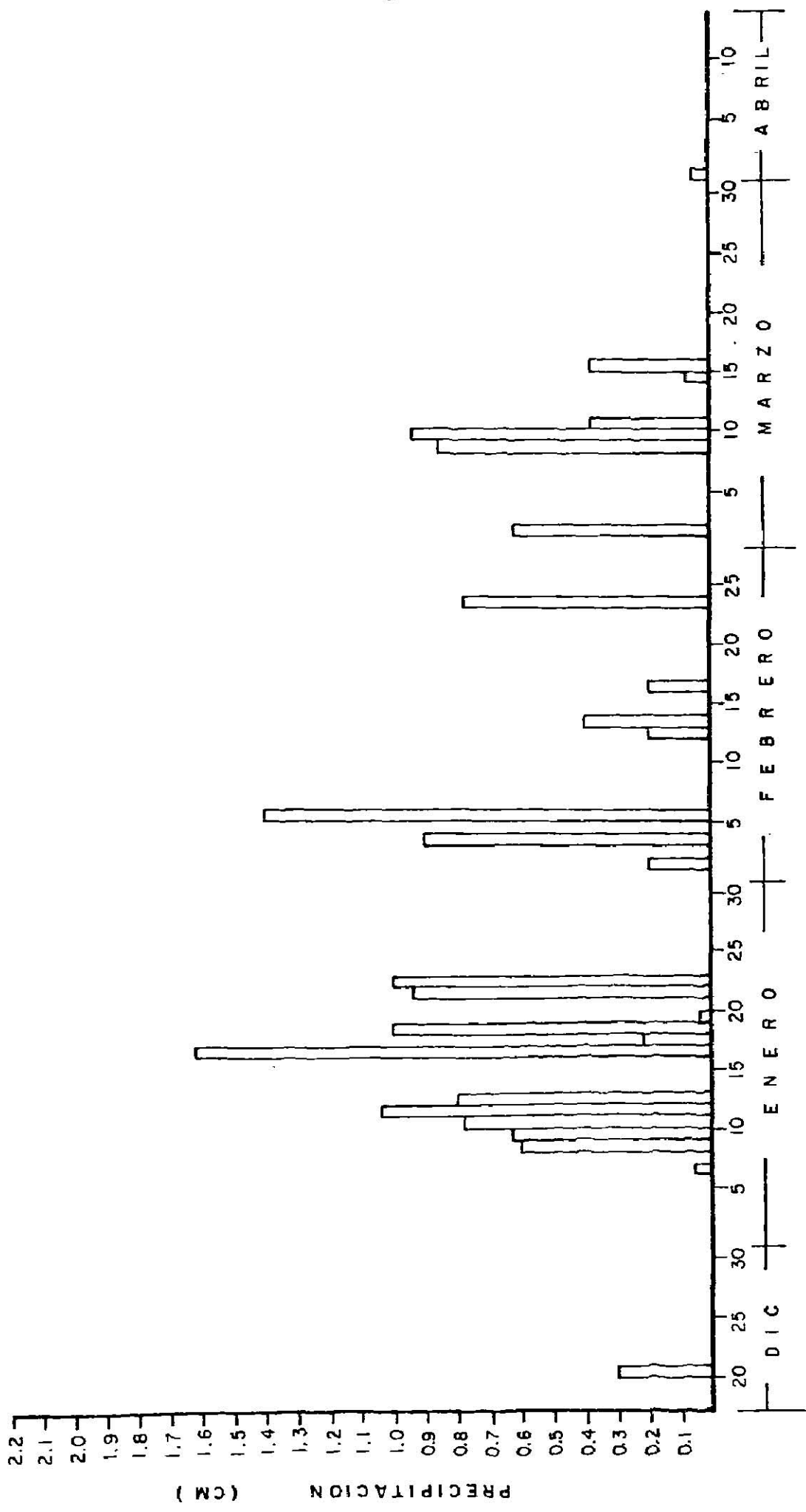


FIGURA No. 1. DISTRIBUCION DE LA PRECIPITACION DURANTE EL DESARROLLO DEL CICLO VEGETATIVO DEL TRIGO. MARIN, N.L. 1980 - 1981

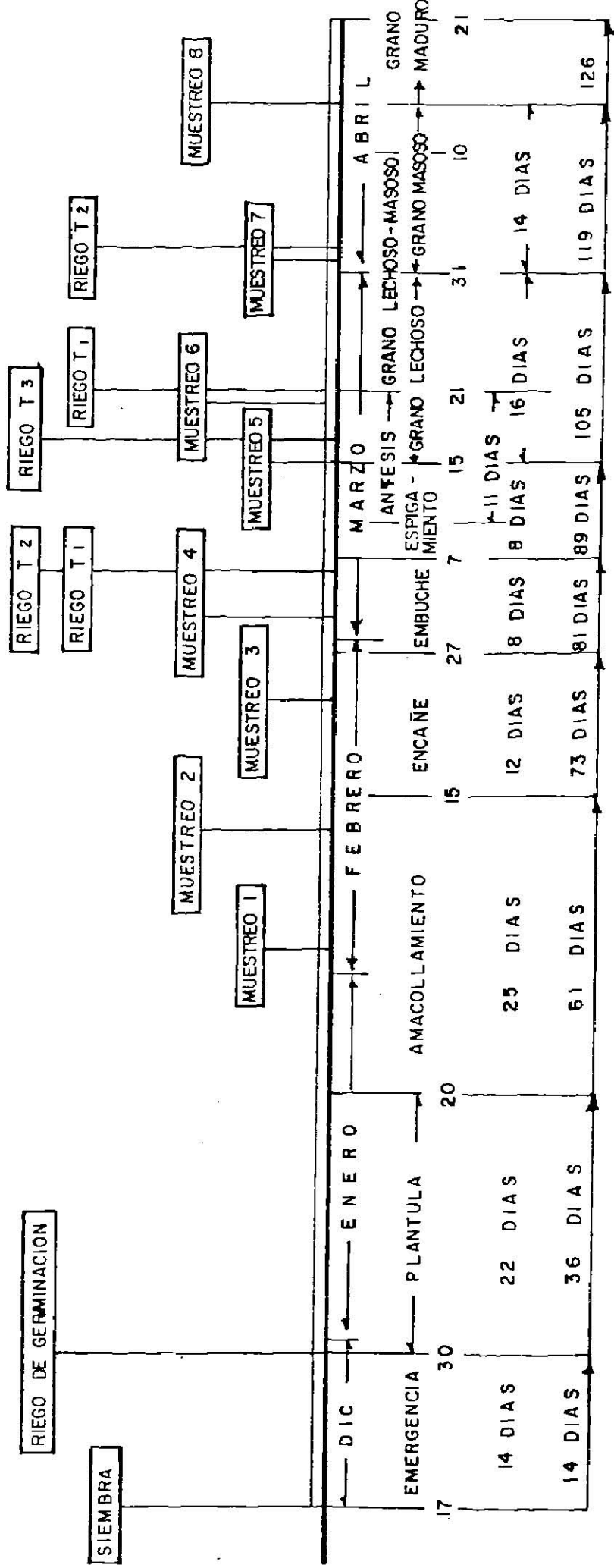
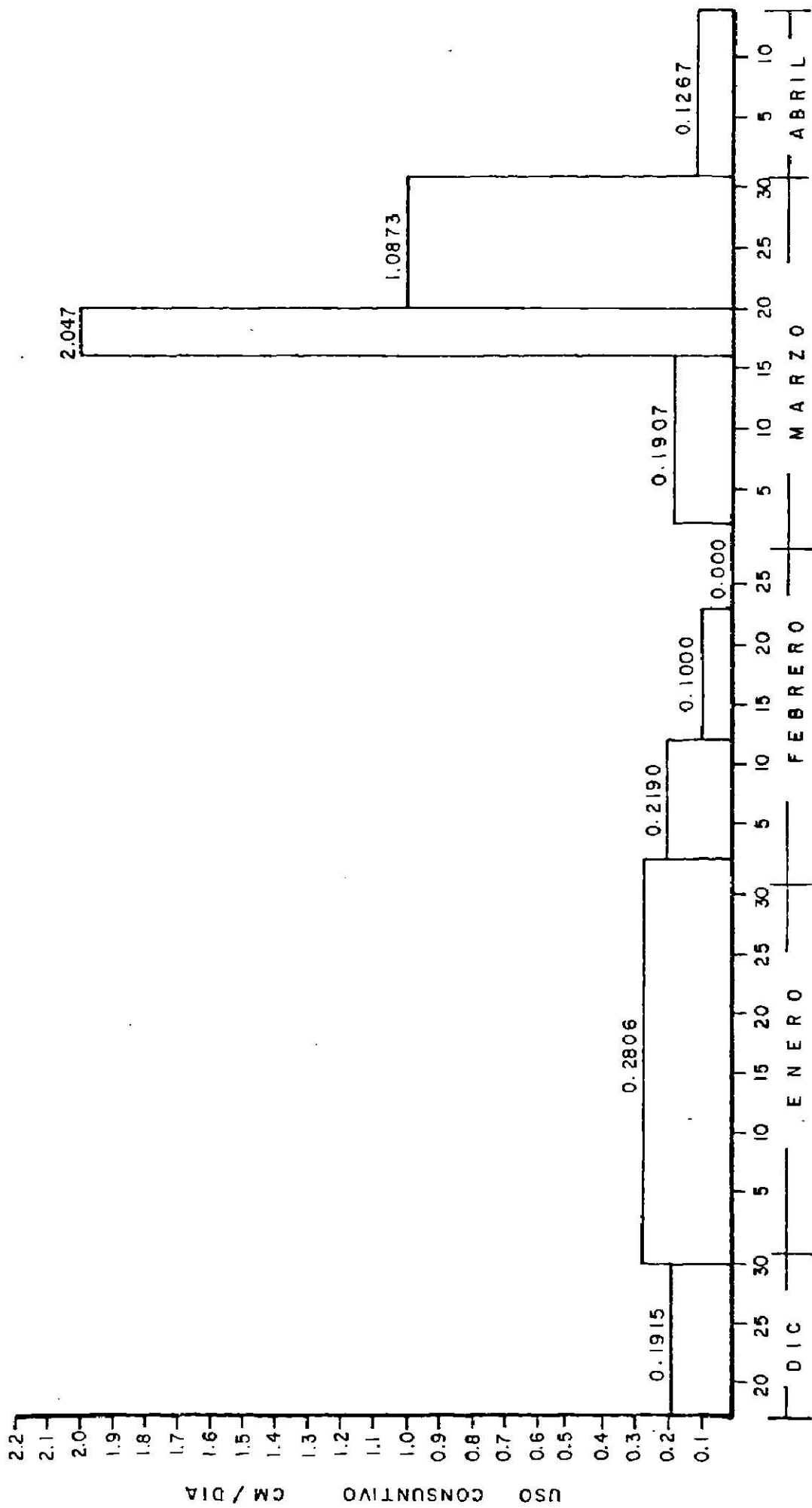


FIGURA 2. DESARROLLO FENOLOGICO DEL CULTIVO DESDE LA SIEMBRA A LA COSECHA, MUESTREOS DE HUMEDAD Y RIEGOS APLICADOS. MARIN, N.L. CICLO INVIERNO 1980 -- 1981

FECHA	No. DE DIAS FOR PERIODO	ESTRATO	% DE HUME - DAD ANTE - RIOR (Ps)	% DE HUME - DAD ACTUAL (Ps)	DIF	Da gr/cm <sup>3</sup>	LAMINA CONSUMIDA (cm)	LAMINA EN LOS ESTRATOS (cm)	LAMINA A CUMULADA (cm)	N.º. PROMEDIO (cm)
Dic-30	14	0 - 25				1.41		2.68	2.68	0.1915
		25 - 50				1.58				
Feb- 2	33	0 - 25	31.00	16.61	14.31	1.41	5.07	9.26	11.94	0.2816
		25 - 50	31.00	20.39	10.61	1.58	4.19			
Feb-12	10	0 - 25	16.61	15.12	1.49	1.41	0.53	2.19	14.13	0.2190
		25 - 50	20.39	16.18	4.21	1.58	1.66			
Feb-23	11	0 - 25	15.12	12.85	2.27	1.41	0.80	1.10	15.23	0.1000
		25 - 50	16.18	15.43	0.75	1.58	0.30			
Mar- 2	7	0 - 25	12.85	14.95	0.00	1.41	0.00	0.00	15.23	0.0000
		25 - 50	15.43	16.12	0.00	1.58	0.00			
Mar-16	14	0 - 25	31.00	26.98	4.02	1.41	1.42	2.67	17.90	0.1907
		25 - 50	31.00	27.84	3.16	1.58	1.25			
Mar-20	4	0 - 25	26.98	15.07	11.91	1.41	4.20	8.19	26.09	2.0470
		25 - 50	27.84	17.75	10.09	1.58	3.99			
Mar-31	11	0 - 25	31.00	13.84	17.16	1.41	6.05	11.96	38.05	1.0830
		25 - 50	31.00	16.05	14.95	1.58	5.91			
Abr-14	15	0 - 25	13.84	12.29	1.55	1.41	0.55	1.90	39.95	0.1267
		25 - 50	16.05	12.63	3.42	1.58	1.35			

CUADRO 9. Cálculo del uso consuntivo por el método gravimétrico para el tratamiento 1.

Marín, N.L. 1980 - 1981



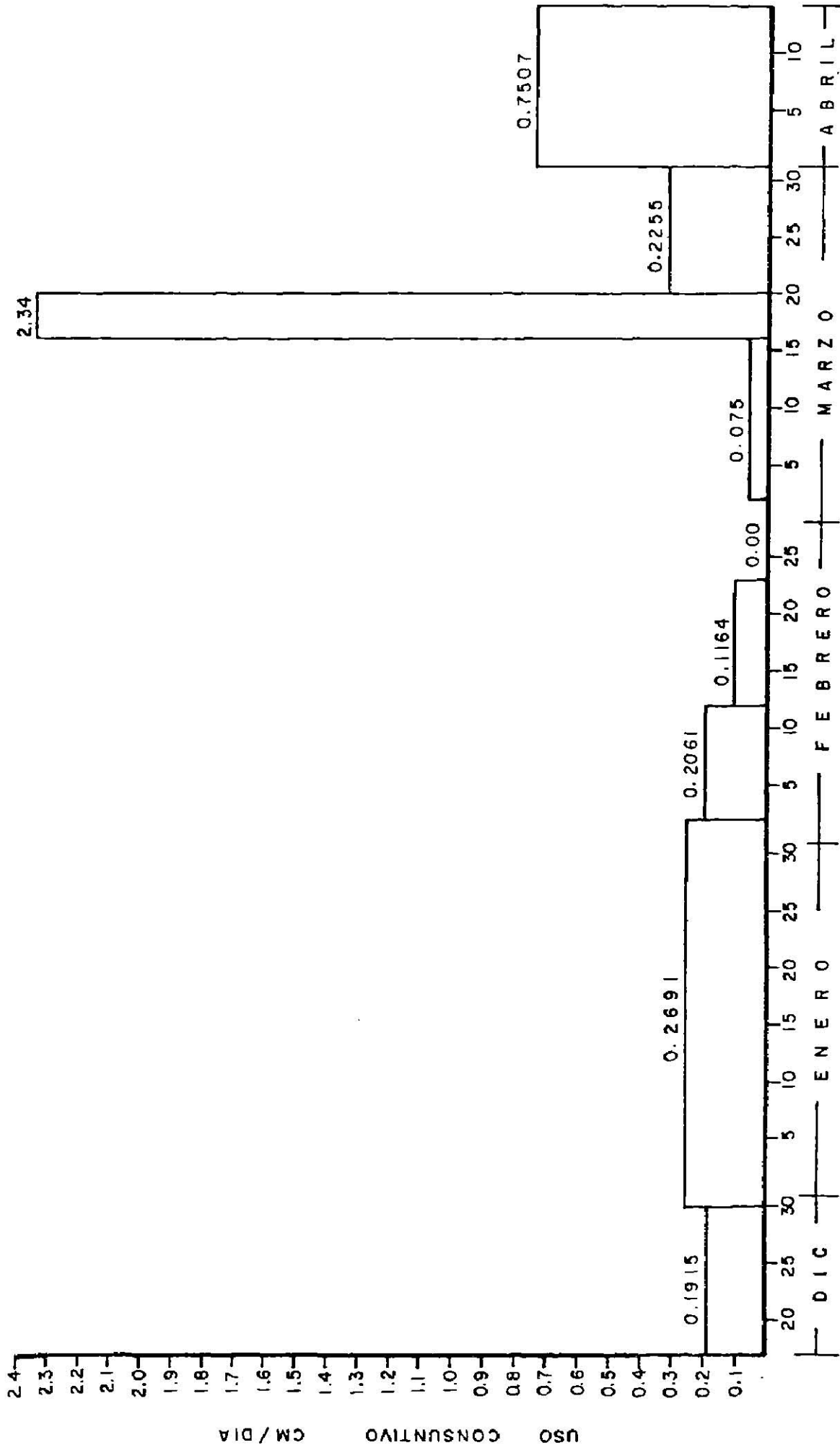
MESES Y DIAS DEL CICLO VEGETATIVO

FIGURA No. 3. USO CONSUNTIVO PROMEDIO DIARIO POR PERIODO DEL TRATAMIENTO I  
MARIN, N.L. 1980 - 1981

FECHA	No DE DIAS POR PERIODO	ESTRATO	% DE HUME - DAD ANTE - RIOR (Ps)	% DE HUME - DAD ACTUAL (Ps)	DIF.	Da gr/cm <sup>3</sup>	LAMINA CONSUMIDA (cm)	LAMINA EN LOS ESTRATOS (cm)	LAMINA ACUMULADA (cm)	U.C. PROMEDIO (cm)
Dic-30	14	0 - 25				1.41		2.68	2.68	0.1915
		25 - 50				1.58				
Feb- 2	33	0 - 25	31.00	16.78	14.22	1.41	5.01	8.88	11.56	0.2691
		25 - 50	31.00	21.20	9.80	1.58	3.87			
Feb-12	10	0 - 25	16.78	16.16	0.72	1.41	0.25	2.06	13.62	0.2060
		25 - 50	21.20	16.62	4.58	1.58	1.81			
Feb-23	11	0 - 25	16.16	12.66	3.40	1.41	1.20	1.28	14.90	0.1164
		25 - 50	16.62	16.43	0.19	1.58	0.08			
Mar- 2	7	0 - 25	12.66	14.95	0.00	1.41	0.00	0.00	14.90	0.0000
		25 - 50	16.43	17.21	0.00	1.58	0.00			
Mar-16	14	0 - 25	31.00	28.40	2.60	1.41	0.92	1.05	15.95	0.0750
		25 - 50	31.00	30.66	0.34	1.58	0.13			
Mar-20	4	0 - 25	28.40	15.56	12.84	1.41	4.53	9.36	25.31	2.3400
		25 - 50	30.66	18.42	12.24	1.58	4.83			
Mar-31	11	0 - 25	15.56	11.08	4.48	1.41	1.58	3.58	28.89	0.3255
		25 - 50	12.24	13.35	5.07	1.58	2.00			
Abr-14	15	0 - 25	31.00	14.52	16.48	1.41	5.81	11.26	40.15	0.7507
		25 - 50	31.00	17.20	13.80	1.58	5.45			

CUADRO 10 Cálculo del uso consuntivo por el método gravimétrico para el tratamiento 2

Marín, N.L. 1980 - 1981.



MESES Y DIAS DEL CICLO VEGETATIVO

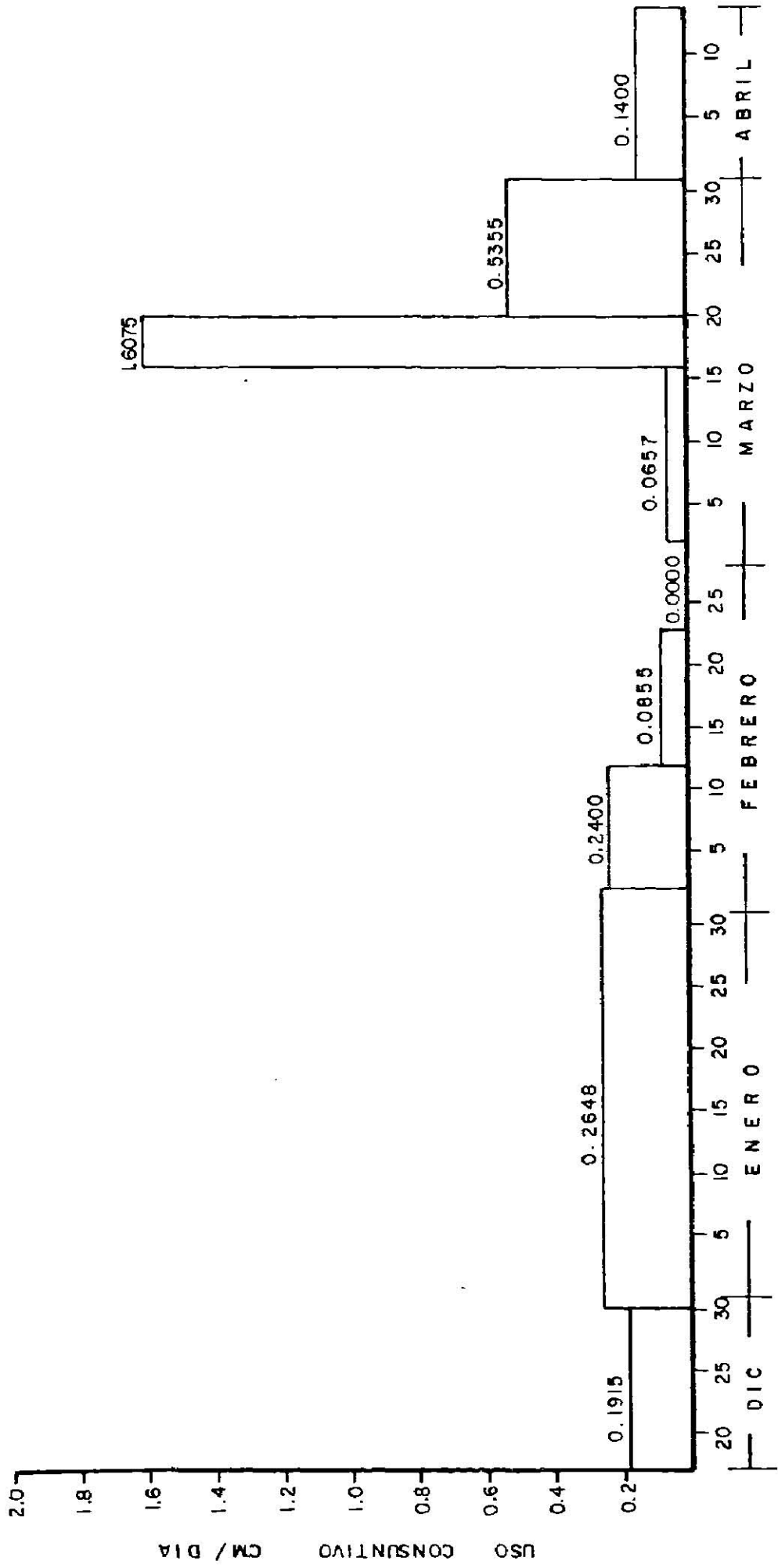
FIGURA No. 4. USO CONSUNTIVO PROMEDIO DIARIO POR PERIODO DEL TRATAMIENTO 2 MARIN, N. L. 1980 - 1981

FECHA	No. DE DIAS POR PERIODO	ESTRATO	% DE HUMEDAD ANTERIOR (Ps)'	% DE HUMEDAD ACTUAL (Ps)	DIF.	Da $\text{gr/cm}^3$	LAMINA CONSUMIDA (cm)	LAMINA EN LOS ESTRATOS (cm)	LAMINA ACUMULADA (cm)	U.C. PROMEDIO (cm)
Dic-30	14	0 - 25				1.41		2.68	2.68	0.1915
		25 - 50				1.58				
Feb-2	33	0 - 25	31.00	16.85	14.15	1.41	4.99	8.74	11.42	0.2648
		25 - 50	31.00	21.50	9.50	1.58	3.75			
Feb-12	10	0 - 25	16.85	15.77	1.08	1.41	0.38	2.40	13.82	0.2400
		25 - 50	21.50	16.39	5.11	1.58	2.02			
Feb-23	11	0 - 25	15.77	13.09	2.68	1.41	0.94	0.94	14.76	0.0855
		25 - 50	16.42	16.55	0.00	1.58	0.00			
Mar-2	7	0 - 25	13.09	15.31	0.00	1.41	0.00	0.00	14.76	0.0000
		25 - 50	16.42	16.55	0.00	1.58	0.00			
Mar-16	14	0 - 25	15.31	15.34	0.00	1.41	0.00	0.92	15.68	0.0657
		25 - 50	16.55	14.22	2.33	1.58	0.92			
Mar-20	4	0 - 25	31.00	22.13	8.87	1.41	3.13	6.43	22.11	1.6075
		25 - 50	31.00	22.64	8.36	1.58	3.30			
Mar-31	11	0 - 25	22.13	13.35	8.78	1.41	3.09	5.89	28.00	0.5355
		25 - 50	22.64	15.54	7.10	1.58	2.80			
Abr-14	15	0 - 25	13.35	10.63	2.73	1.41	0.96	2.10	30.10	0.1400
		25 - 50	15.54	12.66	2.88	1.58	1.14			

CUADRO 11. Cálculo del uso consuntivo por el método gravimétrico para el tratamiento 3

Marín, N.L. 1980 - 1981.





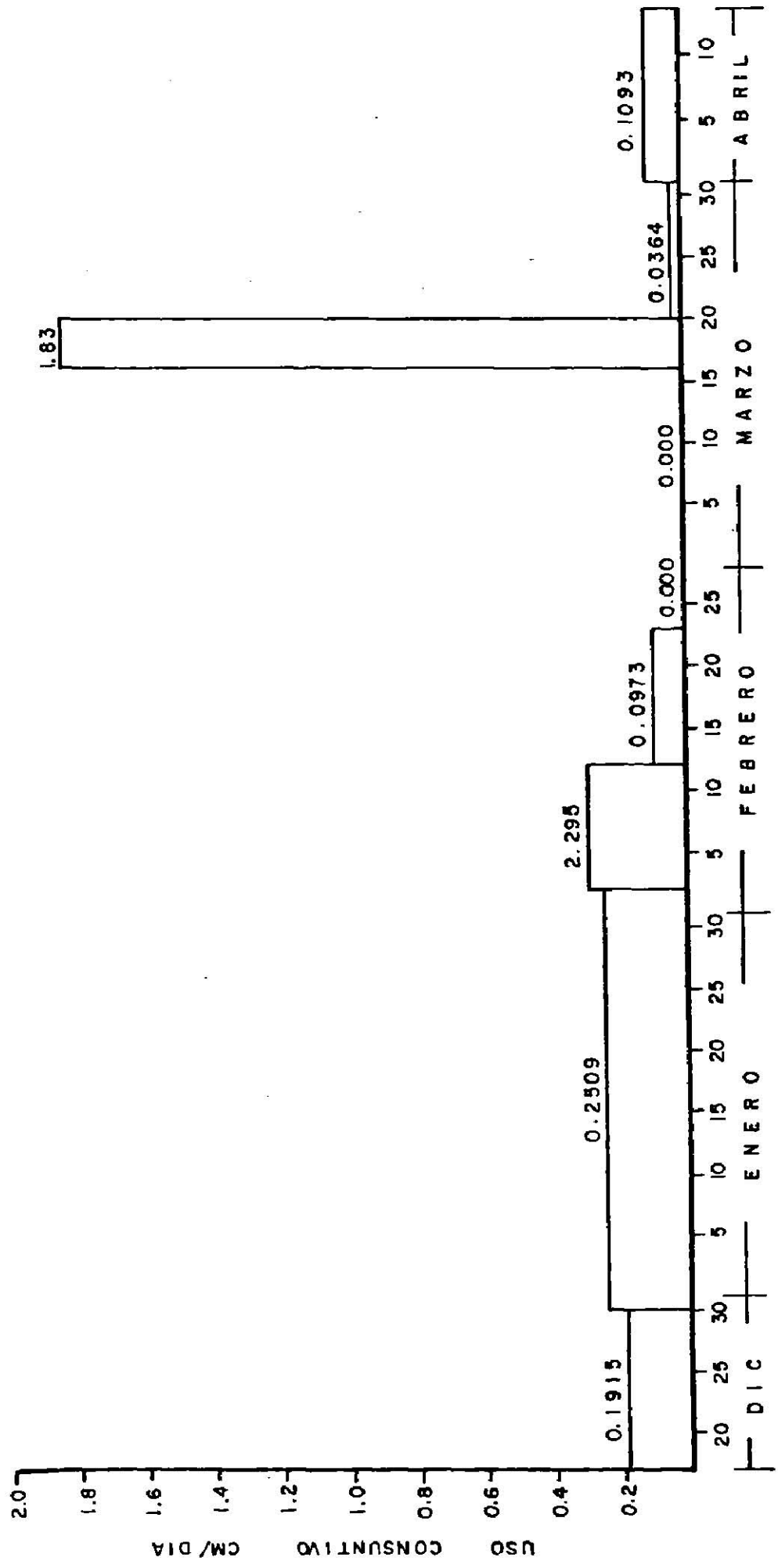
MESES Y DIAS DEL CICLO VEGETATIVO

FIGURA No. 5. USO CONSUNTIVO PROMEDIO DIARIO POR PERIODO DEL TRATAMIENTO 3 MARIN, N.L. 1980 - 1981

FECIA	No. DE DIAS POR PERIODO	ESTRATO	% DE HUMEDAD ANTERIOR (Ps)	% DE HUMEDAD ACTUAL (Ps)	DIF.	Da <sup>3</sup> gr/cm <sup>3</sup>	LAMINA CONSUMIDA (cm)	LAMINA EN LOS ESTRATOS (cm)	LAMINA ACUMULADA (cm)	U.C. PROMEDIO (cm)
Dic-30	14	0 - 25 25 - 50				1.41 1.58		2.68	2.68	0.1915
Feb-2	33	0 - 25 25 - 50	31.00 31.00	18.24 21.43	12.76 9.57	1.41 1.58	4.50 3.78	8.28	10.96	0.2509
Feb-12	10	0 - 25 25 - 50	18.24 21.43	15.56 16.35	2.68 5.08	1.41 1.58	0.94 2.01	2.95	13.91	0.2950
Feb-23	11	0 - 25 25 - 50	15.56 16.35	12.97 15.95	2.59 0.40	1.41 1.58	0.91 0.16	1.07	14.98	0.0973
Mar-2	7	0 - 25 25 - 50	12.97 15.95	15.04 16.46	0.00 0.00	1.41 1.58	0.00 0.00	0.00	14.98	0.0000
Mar-16	14	0 - 25 25 - 50	15.04 16.46	21.08 23.17	0.00 0.00	1.41 1.58	0.00 0.00	0.00	14.98	0.0000
Mar-20	4	0 - 25 25 - 50	21.08 23.17	11.27 13.39	9.81 9.78	1.41 1.58	3.46 3.86	7.32	22.30	1.8300
Mar-31	11	0 - 25 25 - 50	11.27 13.39	10.65 12.93	0.62 0.46	1.41 1.58	0.22 0.18	0.40	22.70	0.0364
Abr-14	15	0 - 25 25 - 50	10.65 12.93	9.00 10.25	1.95 2.68	1.41 1.58	0.58 1.06	1.64	24.34	0.1093

CUADRO 12. Cálculo del uso consuntivo por el método gravimétrico para el tratamiento 4

Marín, N.L. 1980 - 1981.



MESES Y DIAS DEL CICLO VEGETATIVO

FIGURA No. 6. USO CONSUNTIVO PROMEDIO DIARIO POR PERIODO DEL TRATAMIENTO 4 MARIN, N. L. 1980 - 1981 .

PERIODO	No. DE DIAS POR PERIODO	MES	TEMP. MEDIA (°C)	% DE HORAS LIZ (p)	f	K <sub>c</sub>	K <sub>t</sub>	U.C. (cm)	FACTOR DE CORRECCION (J)	U.C. CORREGIDO (cm)	U.C. ACUMULADO (cm)
1	14	DIC.	11.15	3.32	4.3876	0.3352	0.5869	0.8632	1.2864	1.1104	1.1104
2	1	DIC.	11.11	0.24	0.3167	0.3552	0.5856	0.0653	"	0.0840	1.1944
3	15	ENE.	11.78	0.62	4.8833	0.7042	0.6065	2.0878	"	2.6857	3.8801
4	16	ENE.	11.85	3.87	5.2382	1.2098	0.6087	3.8575	"	4.9623	8.8424
5	1	FEB.	19.70	0.25	0.4281	1.2350	0.8531	0.4510	"	0.5802	9.4226
6	10	FEB.	12.36	2.54	3.4972	1.4580	0.6245	3.1843	"	4.0963	13.5189
7	11	FEB.	14.09	2.80	4.0766	1.5914	0.6784	4.4011	"	5.6616	19.1805
8	6	FEB.	18.38	1.53	2.5275	1.6156	0.8120	3.3150	"	4.2654	23.4459
9	1	MAR.	16.55	0.27	0.4259	1.6139	0.7613	0.5233	"	0.6732	24.1191
10	14	MAR.	16.70	3.79	5.9700	1.4542	0.7597	6.5974	"	8.4843	32.6034
11	4	MAR.	17.50	1.08	1.7407	1.3555	0.7846	1.8513	"	2.3815	34.9849
12	11	MAR.	20.09	2.98	5.1557	1.0283	0.8653	4.5875	"	5.9014	40.8863
13	1	MAR.	26.00	0.27	0.5401	1.0028	1.0493	0.5685	"	0.7311	41.6174
14	14	ABR.	23.32	3.90	7.3231	0.6200	9.9659	4.3855	"	1.6548	43.2722
								119	F = 47.8738	36.7373	43.2722

CUADRO 14. Cálculo del uso consuntivo por el método de Blaney - Criddle. Marín, N.L. 1980 - 1981.

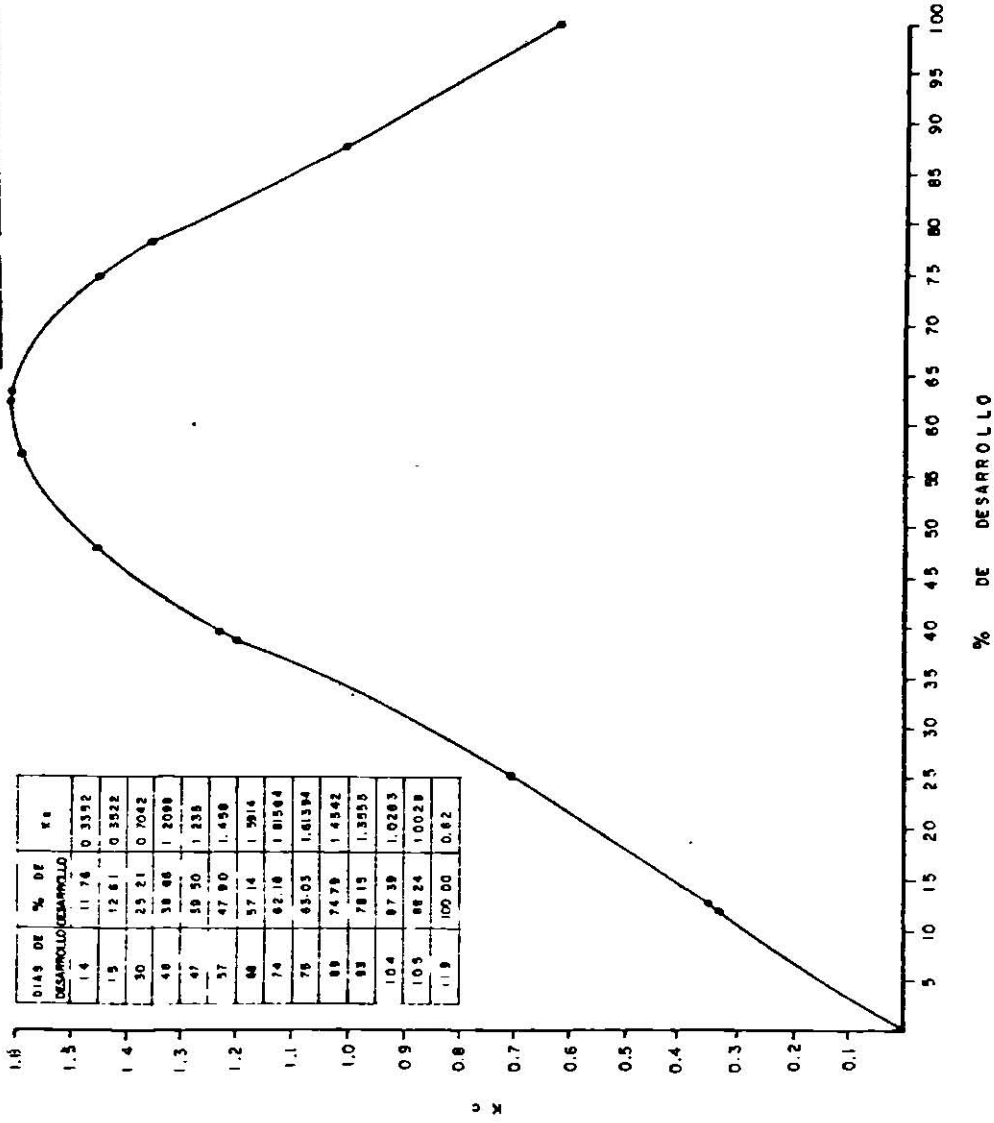
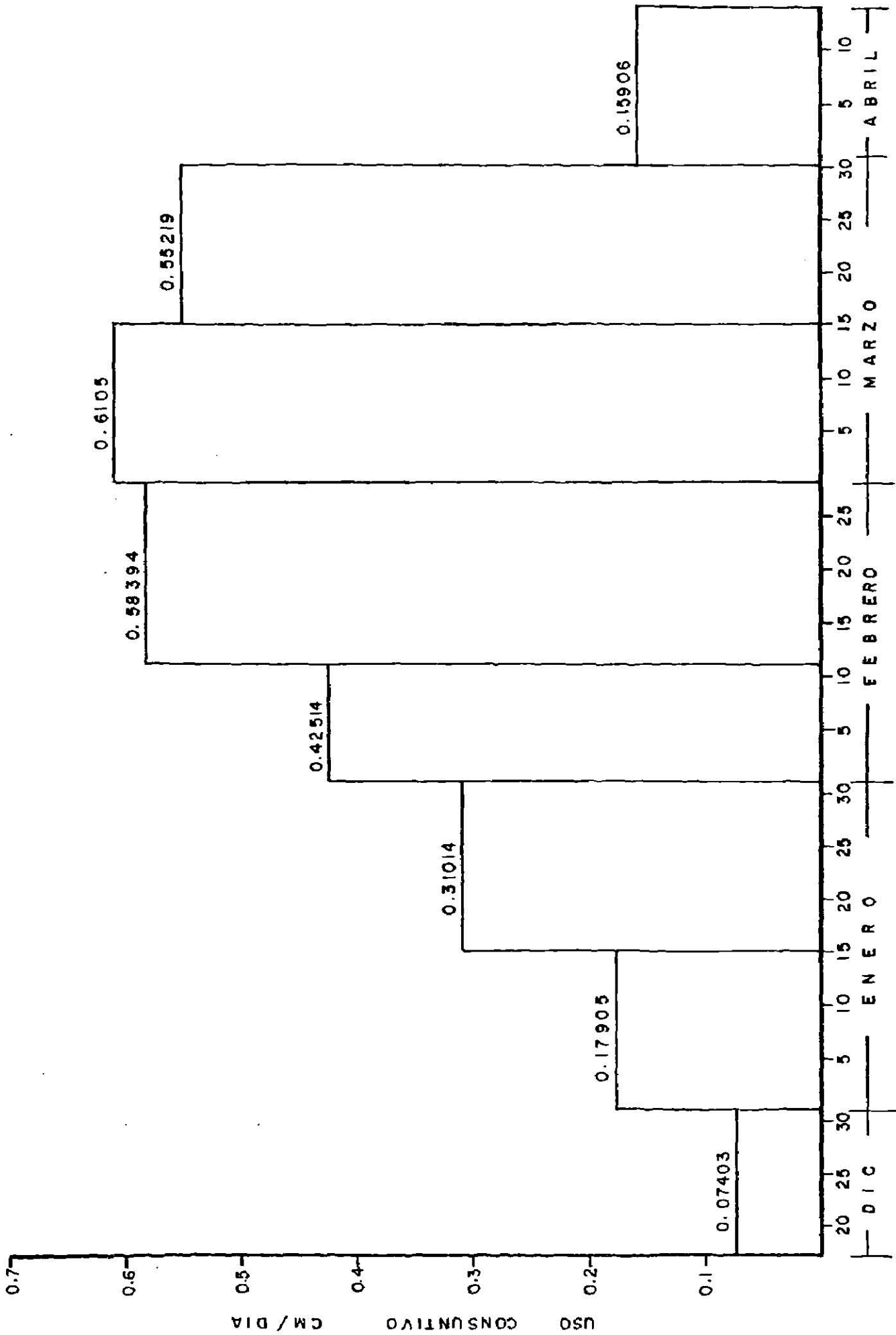


FIGURA No. 7. CURVA DE DESARROLLO DEL TRIGO PARA EL CALCULO DE Kc EN LA FORMULA DE BLANEY - CRIDDLE. MARN, N.L. 1980 - 1981



MESES Y DIAS DEL CICLO VEGETATIVO

FIGURA No. 8. USO CONSUNTIVO PROMEDIO DIARIO POR PERIODO DETERMINADO POR EL METODO BLANEY - CRIDDLE. MARIN, N.L. 1980 - 1981.

PERIODO	NO DE DIAS - POR PERIODO	MES	TEMP. MAX. (°C)	TEMP. MIN. (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	e <sub>2</sub>	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub> e <sub>1</sub>	Tx	CH	C <sub>t</sub>	Rs
1	14	DIC	16.35	5.95	11.15	18.4293	9.3442	9.0851	-0.6681	5.5035	0.0139	413
2	1	DIC	22.78	-0.56	11.11	27.7523	6.0939	21.6584	-0.6713	2.3086	0.0188	413
3	15	ENE	17.00	6.55	11.78	19.2215	9.7165	9.5050	-0.6682	5.2604	0.0132	445
4	16	ENE	18.65	5.04	11.85	21.3772	8.8070	13.2892	-0.6692	3.7625	0.0156	445
5	1	FEB	25.00	14.40	19.70	31.8186	16.2332	15.5854	-0.6698	3.2081	0.0167	586
6	10	FEB	17.62	7.09	12.36	20.0065	10.0645	9.9420	-0.6683	5.0292	0.0135	586
7	11	FEB	18.68	9.50	14.09	21.4163	11.7802	9.6361	-0.6683	5.1888	0.0133	586
8	6	FEB	24.67	12.08	18.38	31.1840	13.9481	17.2359	-0.6702	2.9009	0.0173	586
9	1	MAR	24.50	9.00	16.75	30.8612	11.4012	19.4600	-0.6708	2.5694	0.0181	623
10	14	MAR	21.46	11.93	16.70	25.5531	13.8118	11.7413	-0.6688	4.2585	0.0147	623
11	4	MAR	24.50	10.50	17.50	20.8612	12.5770	18.2842	-0.6705	2.7346	0.0177	623
12	11	MAR	27.83	12.36	20.09	37.7182	14.2062	23.5120	-0.6718	2.1266	0.0194	623
13	1	MAR	36.50	15.50	26.00	61.4964	17.4394	44.0570	-0.6770	1.1349	0.0227	623
14	14	ABR	29.32	17.32	32.32	41.1686	19.6231	21.5455	-0.6713	2.3207	0.0188	718

119

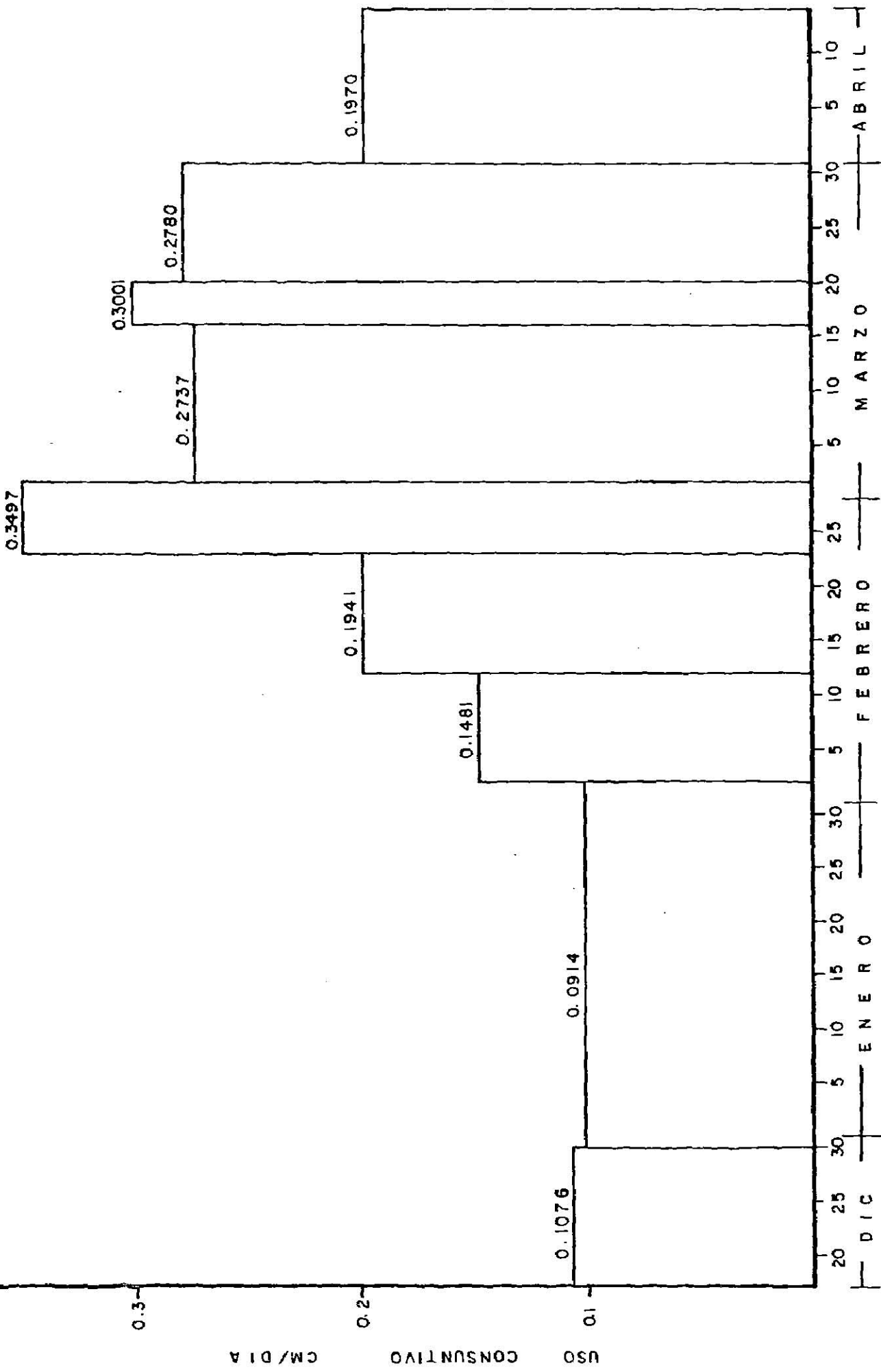
GUADRO 15 Cálculo del uso consuntivo por el método modificado de Jensen - Haise.

Marín, N.L. 1980 - 1981.

PERIODO	EVAPOTRANSPI- RACION POR DIA. (cm)	EVAPOTRANSPI- RACION POR PE- RIODO (cm)	EVAPOTRANSPI- RACION ACUMU- LADA (cm)
1	0.1076	1.5068	1.5068
2	0.1564	0.1564	1.6642
3	0.1250	1.8750	3.4992
4	0.1486	2.3770	5.8762
5	0.3404	0.3408	6.2170
6	0.1693	1.6930	7.9100
7	0.1966	2.1628	10.0728
8	0.3352	2.0112	12.0840
9	0.3358	0.3358	12.4198
10	0.2774	3.8836	16.3034
11	0.3425	1.3700	17.6734
12	0.4289	4.7184	22.3918
13	0.6449	0.6449	23.0367
14	0.5351	7.4900	30.5267
		30.5267	

CONT. CUADRO 15





MESES Y DIAS DEL CICLO VEGETATIVO

FIGURA No. 9. USO CONSUNTIVO PROMEDIO DIARIO POR PERIODO DETERMINADO POR EL METODO MODIFICADO DE JENSEN - HAISE. MARIN, N.L.

1980 - 1981

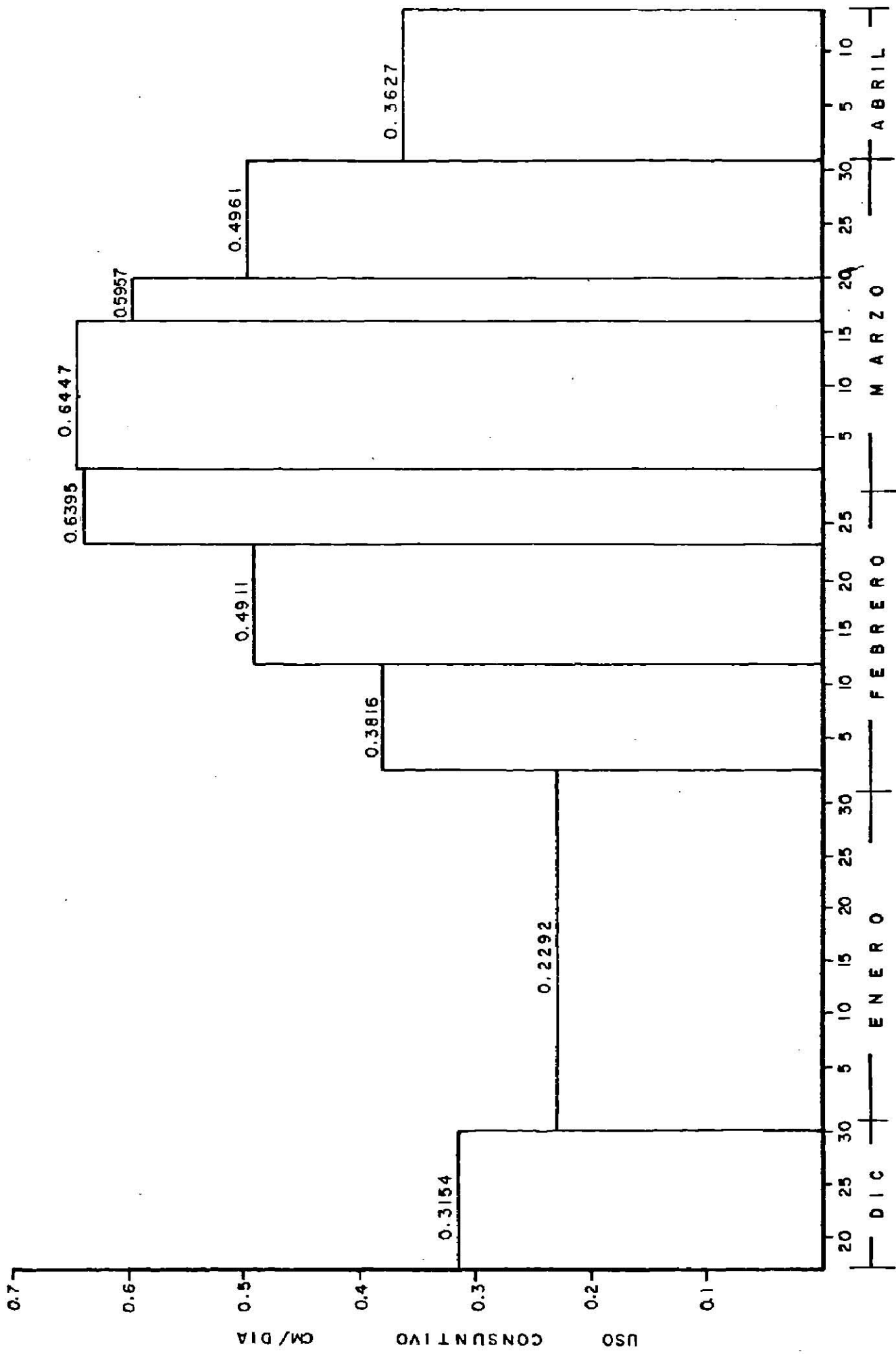
PERIODO	FECHA	No. DE DIAS POR PERIODO	ET <sub>p</sub> (cm)	r	k <sub>co</sub>	DH (cm)	DC (cm)	k <sub>B</sub>	K <sub>C</sub>	ET (cm)	ET ACUMULADA (cm)
1	DIC-30	14	1.5068	0.19	0.1713		23.17			1.5068	1.5068
2	FEB- 2	33	4.7492	0.63	0.7130	9.26	23.17	0.8909	0.6352	3.0167	4.5235
3	FEB-12	10	1.6930	0.76	0.8939	2.19	23.17	0.9787	0.8749	1.4812	6.0047
4	FEB-23	11	2.1628	0.91	1.0230	1.10	23.17	0.9896	1.0124	2.1896	8.1943
5	MAR- 2	7	2.3470	1.00	1.0430	0.00	23.17	1.0000	1.0430	2.4479	10.6422
6	MAR-16	14	3.8836	14.00	1.0130	2.67	23.17	0.9738	0.9865	3.8312	14.4734
7	MAR-20	4	1.3700	18.00	0.9662	8.19	23.17	0.9067	0.8761	1.2003	15.6737
8	MAR-31	11	4.7184	29.00	0.7671	11.96	23.17	0.8450	0.6482	3.0585	18.7322
9	ABR-14	15	8.1349	44.00	0.3700	1.90	23.17	0.9816	0.3632	2.9546	21.6868
										119	30.52657
										21.6868	

CUADRO 16 Transformación de la Evapotranspiración potencial a evapotranspiración Real del Método - modificado de Jensen - Haise. Marín, N.L. 1980 - 1981.

PERIODO	No DE DIAS POR PERIODO	MES	TEMP. MEDIA (°C)	$0.078 + 0.252 (T °C)$	$R_s$	ETP mm/DIA	ETP mm/PERIODO	ETP CM/PERIODO	ETP ACUMULADA (cm)
1	14	DIC	11.15	0.35898	8.8	3.1590	44.2263	4.4226	4.4226
2	1	DIC	11.11	0.35792	8.8	3.1501	3.1501	0.3150	4.7376
3	15	ENE	11.78	0.374856	9.4	3.5236	52.8547	5.2855	10.0231
4	16	ENE	11.85	0.37662	9.4	3.5402	56.6436	5.6644	15.6875
5	1	FEB	19.70	0.57444	11.2	6.4337	6.4337	0.64337	16.3309
6	10	FEB	12.36	0.389472	11.2	4.3621	43.6209	4.3621	20.6920
7	11	FEB	14.09	0.433068	11.2	4.8504	53.3544	5.3354	26.0284
8	6	FEB	18.38	0.541176	11.2	6.0612	36.3670	3.6367	29.6651
9	1	MAR	16.75	0.5001	13.1	6.5513	6.5513	0.6551	30.3302
10	14	MAR	16.70	0.49884	13.1	6.5348	91.4872	9.1487	39.4789
11	4	MAR	17.50	0.519	13.1	6.7989	27.1956	2.7196	42.1985
12	11	MAR	20.09	0.584268	13.1	7.6539	84.1930	8.4193	50.6178
13	1	MAR	26.00	0.7332	13.1	9.6049	9.6049	0.9605	51.5783
14	14	ABR	23.32	0.665664	15.0	9.9850	139.7894	13.9789	65.5572
									65.5572

119

CUADRO 17 Cálculo del uso consuntivo por el método de Jensen-Haise. Marín, N.L. 1980 - 1981.



MESES Y DIAS DEL CICLO VEGETATIVO

FIGURA No. 10. USO CONSUNTIVO PROMEDIO DIARIO POR PERIODO DETERMINADO POR EL METODO DE JENSEN-HAISE MARIN, N.L. 1980 - 1981

PERIODO	FECHA	No DE DIAS POR PERIODO	ETP (cm)	r	k <sub>CO</sub>	DH (cm)	DC (cm)	k <sub>S</sub>	k <sub>C</sub>	ET (cm)	ET ACUMULADA (cm)
1	DIC- 30	14	4.4226	0.19	0.1713		23.17			4.4226	4.4226
2	FEB- 2	33	11.9083	0.63	0.7130	9.26	23.17	0.8909	0.6352	7.5641	11.9867
3	FEB- 12	10	4.3621	0.76	0.8939	2.19	23.17	0.9787	0.8749	3.8164	15.8031
4	FEB- 23	11	5.3354	0.91	1.0230	1.10	23.17	0.9787	0.8749	3.8164	15.8031
5	MAR- 12	7	4.2918	1.00	1.0430	0.00	23.17	1.000	1.0430	4.4763	25.6881
6	MAR- 16	14	9.1467	14.00	1.0130	2.67	23.17	0.9738	0.9865	9.0252	34.7133
7	MAR- 20	4	2.7196	18.00	0.9662	8.19	23.17	0.9067	0.8761	2.3826	37.0959
8	MAR- 31	11	8.4193	29.00	0.7671	11.96	23.17	0.8450	0.6482	5.4554	42.5533
9	ABR- 15	15	14.9787	44.00	0.3700	1.90	23.17	0.9816	0.3632	5.4403	47.9936
										47.9936	

119

CUADRO 18 Transformación de la evapotranspiración potencial a evapotranspiración Real del método de Jensen - Haise. Marín, N.L. 1980 - 1981.

PERIODO	No. DE DIAS POR PERIODO	MES	E <sub>v</sub> (cm)	TEMP. MEDIA (°C)	C <sub>t</sub>	V <sub>c</sub> %	C <sub>Vc</sub>	F	ET POR PERIODO (cm)	ET ACUMULADA (cm)
1	14	DIC	3.574	15.15	1.1770	11.76	0.3892	0.87	1.3532	1.3532
2	1	DIC	0.329	11.11	1.1778	12.61	0.4102	0.87	0.1314	1.4846
3	15	ENE	2.750	11.78	1.1644	25.21	0.6584	0.87	1.7425	3.2271
4	16	ENE	3.734	11.85	1.1630	38.66	0.8489	0.87	3.0469	6.2740
5	1	FEB	0.551	19.70	1.0060	39.50	0.8582	0.87	0.3932	6.6672
6	10	FEB	3.053	12.36	1.1528	47.90	0.9352	0.87	2.7204	9.3876
7	11	FEB	2.930	14.09	1.1182	57.14	0.9851	0.87	2.6675	12.0551
8	6	FEB	2.040	18.38	1.0324	62.18	0.9971	0.87	1.7356	13.7907
9	1	MAR	0.185	16.75	1.0650	63.03	0.9980	0.87	0.1625	13.9532
10	14	MAR	6.441	16.70	1.0660	74.79	0.9797	0.87	5.5596	19.5128
11	4	MAR	2.072	17.50	1.0500	78.15	0.9636	0.87	1.7327	21.2425
12	11	MAR	7.865	20.09	0.9982	87.39	0.8955	0.87	5.8107	27.0532
13	1	MAR	0.879	26.00	0.8800	88.24	0.8866	0.87	0.5668	27.6200
14	14	MAR	8.243	23.32	0.9336	100.00	0.7422	0.87	4.7207	32.3407
	119		44.646						32.3407	

CUADRO 19 Cálculo del uso consuntivo por el método del tanque evaporímetro usando la fórmula de ---  
 Grassi - Christiansen, Marín, N.L. 1980 - 1981.

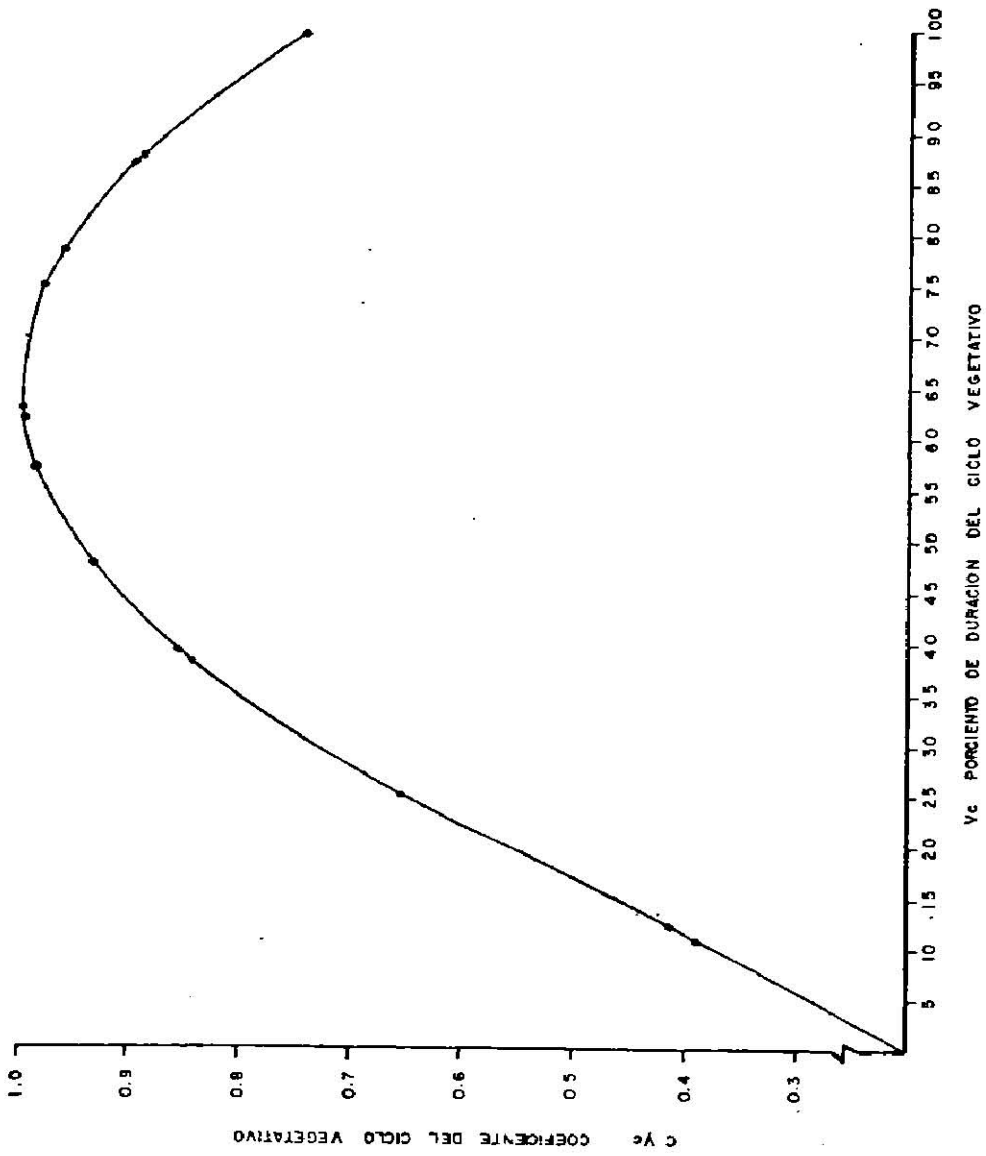
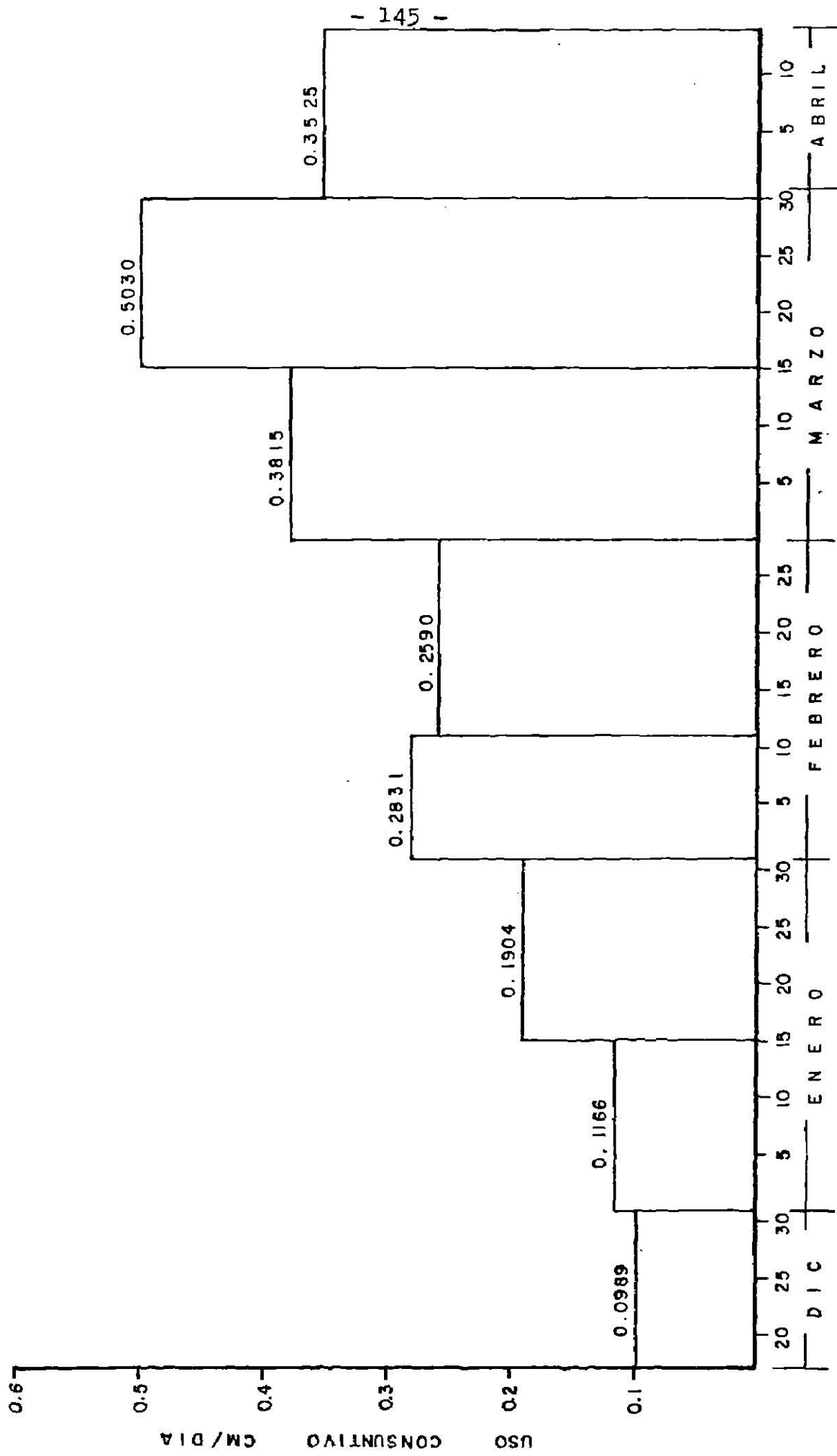


FIGURA No. II. CURVA DE DESARROLLO DEL TRIGO PARA EL CALCULO DE Cv  
EN LA FORMULA DE GRASSI-CHRISTIANSEN. MARIN, N. L.  
1980-1981



MESES Y DIAS DEL CICLO VEGETATIVO

FIGURA No. 12. USO CONSUNTIVO PROMEDIO DIARIO POR PERIODO DETERMINADO POR EL METODO DE GRASSI - CHRISTIANSEN. MARIN, N.L. 1980 - 1981 .



TRATAMIENTOS	REPETICIONES						PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	
I	4195	4267	4303	4353	4575	3782	4245.83
II	4272	4698	4692	4192	4612	4177	4440.83
III	3852	3993	3560	3626	3621	4208	3809.58
IV	2756	2344	2566	2315	2315	2361	2610.83

CUADRO 20 Datos de rendimiento en Kg/Ha. de cada uno de los tratamientos.  
Marín, N.L. 1980 - 1981.

