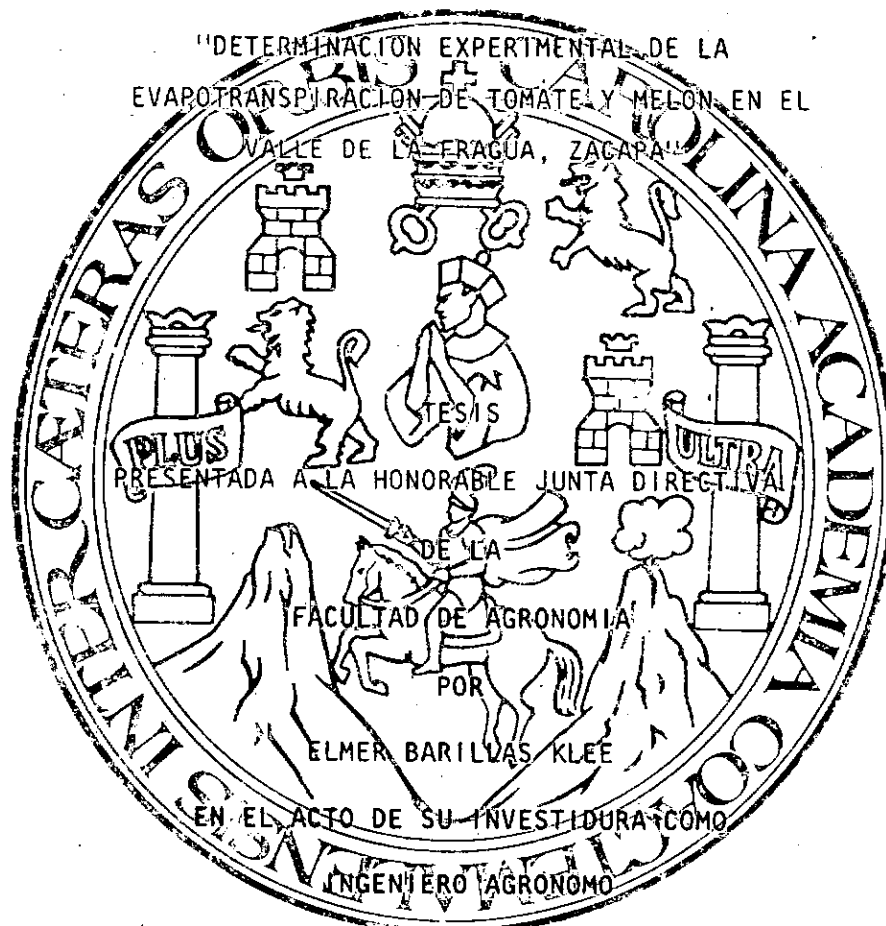


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA



EN EL GRADO ACADEMICO DE
LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 1983.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

DL
01
T (706)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

DR. EDUARDO MEYER MALDONADO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. César Castañeda.
VOCAL 1o.	Ing. Agr. Oscar Leiva R.
VOCAL 2o.	Ing. Agr. Gustavo A. Méndez G.
VOCAL 3o.	Ing. Agr. Rolando Lara.
VOCAL 4o.	Prof. Heber Arana.
VOCAL 5o.	Prof. Francisco Muñoz N.
SECRETARIO:	Ing. Agr. Rodolfo Albizurez Palma.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Dr. Antonio A. Sandoval S.
EXAMINADOR:	Ing. Agr. Carlos O. Arjona.
EXAMINADOR:	Ing. Agr. Ricardo Miyares.
EXAMINADOR:	Ing. Agr. Gustavo Adolfo Méndez G.
SECRETARIO:	Ing. Agr. Carlos N. Salcedo Z.

Guatemala,
5 de septiembre de 1983

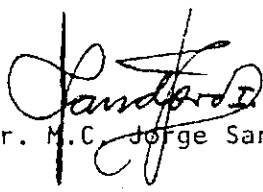
Señor Decano de la
Facultad de Agronomía
Ing. Agr. M.C. César Castañeda
Ciudad Universitaria

Señor Decano:

Por este medio me dirijo a usted, para manifestarle que he asesorado y revisado el trabajo de Tesis titulado "Determinación Experimental de la Evapotranspiración de Tomate y Melón en el Valle - de La Fragua, Zacapa", efectuado por el estudiante Elmer Barillas Klee.

Dicho trabajo de investigación cumple los requisitos establecidos por los reglamentos respectivos para su aprobación, y al mismo tiempo constituye una contribución al estudio de las relaciones - agua-suelo-planta, y al mejoramiento de las prácticas de riego en el país.

Sin otro particular, me es grato suscribirme del señor Decano, - como su atento servidor.

(f) Ing. Agr. M.C.  Jorge Sandoval Illescas
Asesor

Guatemala,
6 de septiembre de 1983

Honorable Junta Directiva
de la Facultad de Agronomía
Ciudad Universitaria

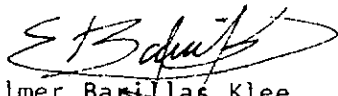
Honorable Tribunal Examinador:

De conformidad con lo establecido por los estatutos que rigen la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de Tesis titulado:

"DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LA EVAPOTRANSPIRACION DE TOMATE Y MELON EN EL VALLE DE LA FRAGUA, ZACAPA".

Presentandolo como requisito previo a optar el Título de INGENIERO AGRONOMO en el Grado Académico de LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS, para su aprobación.

Deferentemente,


(f) Elmer Barillas Klee

ACTO QUE DEDICO

A: DIOS

A: MI PADRE Oscar Augusto Barillas Mérida.

A: LA MEMORIA DE
MI MADRE Perla Aracelly Klee de Barillas.

A: MI ESPOSA Myriam Ninette Beteta de Barillas.

A: MI HIJO Elmer Alejandro Barillas Beteta.

A: MIS HERMANOS Kelba Zurama Barillas de Marroquín.
Oscar Augusto Barillas Klee.
Zaida N. Barillas de Córdoba.

A: LAS FAMILIAS Reyes Barillas
Beteta Sologaistoa

A: La Facultad de Agronomía.

RECONOCIMIENTO

Al Ing. Agr. Jorge Sandoval Illescas, por la asesoría, revisión y corrección del presente trabajo.

Al Laboratorio de Suelos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA), por su valiosa colaboración en el análisis físico de suelos, - requerido para el presente estudio.

Al Prof. Dieter Klee, por su valiosa colaboración en la elaboración de gráficas.

A la señora Ana María Morales, por su dedicada - labor secretarial.

CONTENIDO

INDICE DE CUADROS

INDICE DE FIGURAS

RESUMEN	Página
1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS	4
3. REVISION DE LITERATURA	5
4. MATERIALES Y METODOS	18
4.1 Localización y descripción del sitio experimental.	18
4.2 Cultivos a evaluar	19
4.3 Equipo	20
4.4 Descripción del método para estimar la evapotranspiración.....	20
4.5 Manejo de los cultivos	22
4.6 Estudios de suelos	22
4.7 Toma de datos	24
5. RESULTADOS Y DISCUSION	25
5.1 Tomate	25
5.2 Melón	37
6. CONCLUSIONES	47
7. RECOMENDACIONES	49
8. APENDICE	50
9. BIBLIOGRAFIA	68

INDICE DE CUADROS

Cuadro No. 1	Evaporación total de tomate medida en el campo en dos condiciones de suelos y calculada mediante fórmulas.	28
Cuadro No. 2	Relación de evapotranspiración/evaporación durante el ciclo del cultivo de tomate en dos condiciones de suelo.	35
Cuadro No. 3	Evapotranspiración total de melón medida en el campo en dos condiciones de suelo y calculada mediante fórmulas.	40
Cuadro No. 4	Relación de evapotranspiración/evaporación durante el ciclo del cultivo del melón, en dos condiciones de suelos.	45
Cuadro No. 5	Cálculo de la evapotranspiración - potencial por el método de Thornthwaite. Período del 12-11-81 al 19-02-82.	51
Cuadro No. 6	Determinación de la evapotranspiración quincenal y total por la fórmula de Hargreaves para tomate. Período del 12-11-81 al 19-02-82.	52
Cuadro No. 7	Cálculo de la evapotranspiración - quincenal y total de tomate por el método de Blaney-Criddle modificado por Phelan, en la región del Valle de la Fragua.	53

Cuadro No. 8	Cálculo de la evapotranspiración - potencial por el método de Thornthwaite. Período del 30-01-82 al 22-04-82.	54
Cuadro No. 9	Determinación de la evapotranspiración quincenal y total por la fórmula de Hargreaves para melón. Período del 30-01-82 al 22-04-82.	55
Cuadro No. 10	Cálculo de la evapotranspiración quincenal y total de melón por el método de Blaney-Criddle modificado por Phelan, en la región del Valle de la Fragua.	56
Cuadro No. 11	Características físicas del suelo. Cultivo de tomate.	57
Cuadro No. 12	Cálculo de láminas consumidas por evapotranspiración para tomate en un suelo franco arcillo arenoso.	58
Cuadro No. 13	Láminas consumidas por evapotranspiración y evaporación en tanque para tomate en un suelo franco arcillo arenoso.	59
Cuadro No. 14	Características físicas del suelo. Cultivo tomate y melón.	60
Cuadro No. 15	Cálculo de láminas consumidas por evapotranspiración para tomate en un suelo arcilloso.	61
Cuadro No. 16	Láminas consumidas por evapotranspiración y láminas evaporadas en tanque, cultivo tomate, suelo arcilloso.	62
Cuadro No. 17	Características físicas del suelo. Cultivo melón.	63

Cuadro No. 18	Cálculo de láminas consumidas por evapotranspiración para melón en un suelo franco arcillo arenoso.	64
Cuadro No. 19	Láminas consumidas por evapotranspiración y láminas evaporadas en tanque. Cultivo melón, suelo franco arcillo arenoso.	65
Cuadro No. 20	Cálculo de láminas consumidas por evapotranspiración para melón en un suelo arcilloso.	66
Cuadro No. 21	Láminas consumidas por evapotranspiración y láminas evaporadas en tanque. Cultivo melón, suelo arcilloso.	67

* * * * *

INDICE DE FIGURAS

Figura No. 1	Plano de ubicación de los ensayos.	23
Figura No. 2	Gráfica de control de humedad. Cultivo: Tomate. Suelo franco ar cillo arenoso. Estrato de 0-30 cm.	27
Figura No. 3	Gráfica de control de humedad. Cultivo: Tomate. Suelo arcilloso. Estrato de 0-30 cm.	27
Figura No. 4	Evapotranspiración real de tomate en dos suelos.	32
Figura No. 5	Evapotranspiración real de tomate en dos suelos y evaporación en tan que tipo "A".	32
Figura No. 6	Evapotranspiración real de tomate en dos suelos y evapotranspiración según Hargreaves.	32
Figura No. 7	Evapotranspiración real de tomate en dos suelos y evapotranspiración por la fórmula de Blaney-Criddle.	32
Figura No. 8	Evapotranspiración y evaporación - acumuladas para tomate en un suelo franco arcillo arenoso.	34
Figura No. 9	Evapotranspiración y evaporación - acumuladas para tomate en un suelo arcilloso.	34
Figura No. 10	Relación de evapotranspiración real y evaporación en tanque para tomate en dos tipos de suelos.	36

Figura No. 11	Gráfica del control de humedad. Cultivo: Melón. Suelo franco arcillo arenoso. Estrato de 0-30 cm.	38
Figura No. 12	Gráfica del control de humedad. Cultivo: Melón. Suelo arcilloso. Estrato de 0-30 cm.	38
Figura No. 13	Evapotranspiración real de melón - en dos suelos.	43
Figura No. 14	Evapotranspiración real de melón - en dos suelos y evaporación en tanque tipo "A".	43
Figura No. 15	Evapotranspiración real de melón - en dos suelos y evapotranspiración según Hargreaves.	43
Figura No. 16	Evapotranspiración real del melón - en dos suelos y evapotranspiración real por la fórmula de Blaney-Cridle.	43
Figura No. 17	Evapotranspiración y evaporación - acumuladas para melón en un suelo arcilloso.	44
Figura No. 18	Evapotranspiración y evaporación - acumuladas para melón en un suelo franco arcillo arenoso.	44
Figura No. 19	Relación evapotranspiración real y evaporación en tanque para melón - en dos tipos de suelos.	46

RESUMEN

En el Valle de La Fragua se condujo un experimento para determinar en el campo la lámina de agua consumida por los cultivos de tomate y melón en dos suelos diferentes, durante la época noviembre-abril. La información obtenida sobre el consumo de agua se comparó con las fórmulas de Blaney-Criddle, Thornthwaite, Hargreaves y evaporación de tanque.

El conocimiento de los requerimientos de riego para los principales cultivos de la zona se justifica a fin de aplicar láminas ajustadas a las necesidades reales de las plantas; mejorando en consecuencia la eficiencia de aplicación del agua de riego e integrando una mayor área a los sistemas de irrigación existentes.

La cuantificación del grado de agotamiento del agua por el proceso evapotranspiratorio se realizó utilizando parcelas experimentales, determinando la humedad del suelo por el método de secado al horno. Se utilizó el método de riego por surcos, aplicando el agua cuando la humedad aprovechable descendió hasta el 30% en el estrato de 0-30 cm. Paralelamente a la medición directa de la evapotranspiración se evaluaron las fórmulas de Thornthwaite, Hargreaves, Blaney-Criddle, así como la evaporación en tanque tipo "A", como métodos indirectos de medición.

El tomate variedad UC 82 A de tipo industrial evaluado, reporta un consumo de 49.06 cm en promedio, existiendo una diferencia de 1.57 cm en los dos tipos de suelos considerados.

El melón cultivar Mayan Sweet, de tipo Honey Dew reporta una evapotranspiración de 50.06 cm en el suelo franco arcillo arenoso y 42.74 cm en el suelo arcilloso, con una medida de 46.4 cm para las dos condiciones.

Los datos reportados anteriormente proporcionaron una base sólida para evaluar los métodos indirectos, basados en parámetros climáticos. De éstos el de Blaney-Criddle, considerado globalmente, así como para períodos quincenales es el que más se ajustó a los datos de evapotranspiración real de tomate.

La fórmula de Hargreaves aplicada al cultivo de tomate reporta un exceso de 9.66 cm sobre el método de campo; para períodos cortos, en forma similar, no existe un buen ajuste.

La relación media de evapotranspiración/evaporación para el cultivo de tomate en las dos condiciones de suelo es de 0.70. Se obtuvieron además valores de esta relación de acuerdo al porcentaje de desarrollo del cultivo, por lo que pueden utilizarse preliminarmente para estimar la evapotranspiración en función de la evaporación.

Aplicada al cultivo del melón la fórmula de Blaney-Criddle es la que más coincide con la evapotranspiración real medida en el suelo arcilloso, tanto globalmente como para períodos cortos.

La evapotranspiración total estimada por la fórmula de Hargreaves se ajusta a la evapotranspiración obtenida en el suelo arcilloso, para melón, sin embargo no se ajusta para períodos cortos, arrojando datos en exceso a mediados del ciclo, y datos inferiores al principio y al final del mismo.

La relación media de evapotranspiración/evaporación para el -- cultivo del melón fue de 0.67 en el suelo franco arcillo arenoso y - de 0.57 para el suelo arcilloso. Se obtuvieron valores adicionales de esta relación durante el ciclo y pueden usarse para estimar la -- evapotranspiración en función de la evaporación.

La fórmula de Thornthwaite proporciona datos muy inferiores a - los reales y por tratarse de evapotranspiración potencial se reduce aun más al transformarla a evapotranspiración real, por lo que para el área del valle de la Fragua no es aplicable.

De los métodos evaluados sobresalen el de Blaney-Criddle y el - de la evaporación en tanque tipo "A". Particularmente este último, ya que constituye un método sencillo, práctico y aplicable a la zona en estudio.

* * * * *

1. INTRODUCCION:

Guatemala posee un área de 50,000 hectáreas bajo riego, -- pudiéndose regar desde el punto de vista de clima y suelo --- 630,000 hectáreas, las cuales se reducen a 117,000 en la época de estiaje. Este análisis discutido por Masaya en 1976, indica que el riego en Guatemala se encuentra en fase incipiente (17). Además de esto en las unidades de riego del país aún no se logra cubrir el área real de riego, considerando las áreas máximas mensuales irrigadas, como lo indican las estadísticas agrícolas del ciclo 79-80, (12). Esto es comprensible dado que al inicio de operaciones, en cada unidad de riego se plantean una serie de problemas técnicos y administrativos que determinan una baja eficiencia en el uso del agua, sin embargo, a medida que transcurre el tiempo debe darse un incremento en el área regada como una consecuencia de mayor experiencia en el manejo del agua. Grassi, en 1976, indica que de no darse estos incrementos se estará indicando, paradójicamente, un bajo aprovechamiento de las costosas inversiones en infraestructura y un derroche de recursos a pesar de la creciente presión del incremento demográfico, que demanda cantidades cada vez mayores de fibras y alimentos (6).

Ante esta problemática surge la necesidad de utilizar racionalmente las áreas bajo riego, lo cual unido a un manejo adecuado de los cultivos y a la oportuna aplicación del agua de riego determina altas producciones, que son características de las áreas irrigadas.

Para alcanzar estas metas se requiere que los organismos estatales que tienen ingerencia en lo que concierne a la irrigación dirijan sus esfuerzos hacia una planificación más efectiva y a la generación de información básica adecuada a nuestras condiciones.

En el área del Valle de la Fragua, el recurso agua se constituye en un factor limitante, especialmente en la época de estiaje, comprendida de noviembre-abril, cuando la precipitación efectiva es prácticamente nula. El promedio anual de lluvia es de 500 mm y ocurre entre los meses de mayo-octubre, y aún durante este período, debido a la errática distribución de la lluvia, es necesario aplicar riegos de auxilio para evitar que las plantas mueran por sequía. A pesar de ello el agricultor tiene la tendencia al sobre riego y a utilizar caudales poco manejables que determinan un creciente deterioro del suelo y un desperdicio del vital líquido.

La investigación sobre el consumo de agua por los principales cultivos en los distritos de riego es de suma importancia, ya que es indispensable conocerla para poder aplicar el agua en el momento y cantidad adecuados. Lo anterior contribuirá a mejorar la eficiencia de aplicación del agua pudiendo aumentarse el área de riego.

En el área del Valle de la Fragua se han hecho estimaciones de evapotranspiración por medio de fórmulas basadas en parámetros climáticos, principalmente la de Blaney-Criddle, pero no se ha evaluado su confiabilidad apoyándose en una determinación directa del consumo de agua por la planta.

En la presente investigación se utilizaron parcelas de campo para medir directamente la evapotranspiración, la información así obtenida se comparó con los resultados de métodos que determinan evapotranspiración mediante fórmulas desarrolladas en otros países.

La experiencia se realizó en la época seca, de noviembre-abril, cuando la disponibilidad de agua se reduce drásticamente, coincidiendo con la época en que los agricultores de la región siembran tomate y melón, los cuales se encuentran entre los 8 - cultivos de mayor importancia en la zona. El tomate se produce con fines de procesamiento industrial y el melón tipo Honey Dew para exportación.

2. OBJETIVOS:

- 2.1 Determinar la lámina de agua que consumen los cultivos de tomate y melón durante la época de noviembre-abril - en la región del Valle de la Fragua.
- 2.2 Comparar la información obtenida sobre consumo de agua, con las fórmulas de Blaney-Criddle, Thornthwaite, Har--greaves y evaporación en tanque.

3. REVISION DE LITERATURA:

Grassi , define a la evapotranspiración como el proceso de cambio de estado del agua de líquido a vapor, mediante el cual el agua almacenada en la capa radicular, pasa a la atmósfera al ser usada por el complejo suelo-planta (6).

El término uso consuntivo es muchas veces usada como sinónimo de evapotranspiración, sin embargo, Aguilera define el uso consuntivo como la suma de la evapotranspiración más el agua - que utilizan las plantas en la formación de sus tejidos, durante su ciclo vegetativo. Debido a que la porción de agua utilizada en la formación de los tejidos es aproximadamente el 1% en relación al proceso de evapotranspiración, el uso consuntivo - puede considerarse similar a la evapotranspiración (1). En el presente trabajo se utilizará el término evapotranspiración -- real o actual en lugar del de uso consuntivo usado por otros - autores.

Otro concepto relacionado es el de evapotranspiración potencial, el cual Penman, citado por Grassi en 1976 lo define - como el consumo de agua por un cultivo en activo crecimiento, - que cubre totalmente la superficie del suelo sin ninguna deficiencia de humedad durante su desarrollo (6).

Los dos tipos de evapotranspiración mencionadas pueden relacionarse de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$E_t = (E_{tp}) (K)$$

Donde:

E_t = Evapotranspiración real o actual.

E_{tp} = Evapotranspiración potencial, que incluye efectos de clima.

K = Coeficiente que representa el efecto de las relaciones agua-suelo-planta.

La importancia del conocimiento de la evapotranspiración - es indicado por Aguilera al mencionar las siguientes aplicaciones:

Determinación de áreas a regar con un determinado volumen disponible de agua, elaboración de calendarios teóricos de riego para cultivos, estimación de volúmenes que serán necesarios para auxiliar a los cultivos en caso de que el agua de lluvia - no sea suficiente para el buen desarrollo de los cultivos, determinación en grandes áreas los posibles volúmenes que se requieren drenar y selección de los cultivos más adecuados para - zonas de agricultura de temporal (1).

Los procedimientos para determinar la evapotranspiración - pueden clasificarse en métodos directos y métodos indirectos.

Los métodos directos utilizan aparatos e instrumentos para la medición, entre los principales se encuentra el del lisímetro, atmómetros y el de parcelas experimentales.

Los métodos indirectos proporcionan estimaciones del consumo de agua mediante la utilización de fórmulas basadas en datos

climáticos. A continuación se discuten brevemente los procedimientos indicados.

Destacándolo por su exáctitud Grassi en 1978 indica que - el evapotranspirómetro o lisímetro es un aparato que permite - aislar hidrológicamente un volúmen de suelo, presentando el - mismo propiedades térmicas, mecánicas y de humedad, así como - la vegetación, similares a las condiciones de campo. Los lisí metros se han utilizado para medir evapotranspiración poten-- cial, así como también para medir evapotranspiración real. De vido a la presición que puede lograrse en las mediciones de - evapotranspiración, se ha utilizado el lisímetro para evaluar los otros métodos de medición. De los diferentes tipos de lisí metros existentes Grassi menciona los lisímetros pesantes, - lisímetros flotantes y los de presión, sobresaliendo por su - presición el lisímetro pesante (7).

Aguilera, indica como ventaja de los lisímetros la facili dad de las mediciones y la aplicación de agua; pero a su vez - estos aparatos presentan como desventaja principal su alto cos to, además que se pueden alterar las condiciones normales del suelo (1).

Los atmómetros están formados por dos esferas de céramica porosa, las cuales tienen un vástago barnizado del mismo mate rial que se introduce dentro de un recipiente graduado que con tiene agua, las esferas se encuentran pintadas una de blanco y la otra de negro. Al recibir energía de la atmósfera se produ ce una evaporación en la superficie de la esfera que se tradu ce en una succión en el depósito graduado, el cual mide la can tidad de agua evaporada. El atmómetro presenta el inconvenien te de que no se relaciona con la fisiología de la planta (1).

La medición en parcelas experimentales consiste en realizar experiencias de campo para un cultivo y método de riego en particular, definiendo un umbral de riego adecuado. El control del contenido de humedad se realiza mediante sucesivas determinaciones por el método de secado al horno. Aunque este método es muy laborioso proporciona resultados aceptables, y consiste en determinar las variaciones de humedad en cada una de las capas que forman el perfil del suelo, hasta una profundidad igual a la que tienen las raíces del cultivo considerado. En función de estas variaciones y de las características del suelo se determina la lámina de agua consumida en un tiempo determinado.

Aguilera, indica que para determinar el consumo de humedad por el método de secado al horno debe elegirse el terreno en los suelos dominantes del área en estudio, sin la presencia de mantos freáticos a menos de 3 metros de profundidad de la superficie del terreno (1).

En lo concerniente al muestreo deben tomarse muestras representativas de los diferentes espesores considerando estratos de 0.30 m. hasta la zona de exploración radicular del cultivo. Respecto al número de muestras, se localizan en el terreno o parcela en estudio dos sitios de muestreo y se toma una muestra por cada espesor de 0.30 m. seleccionando el tercio medio de cada estrato, la muestra así obtenida se coloca en un bote con tapa hermética y de peso conocido. Estos muestreos deben realizarse antes de cada uno de los riegos, así también dos, tres

o cuatro días después de las aplicaciones de agua y dos o tres muestreos entre riegos con el fin de controlar el nivel de humedad del suelo al momento de regar. Al utilizar esta modalidad de muestreo es necesario efectuar determinaciones frecuentes. Otra variante consiste en fijar la oportunidad de riego para un número preestablecido de días, en ese caso la lámina de reposición es variable y solo es necesario conocer la humedad antes de riego, a fin de calcular la lámina a reponer.

Otro aspecto importante lo constituye el equipo utilizado en la toma de muestras, o que generalmente se hace con barrenos, siendo los más utilizados el de forma helicoidal de una pulgada de diámetro unido a un tubo que termina en cruceta para maniobrarlo y el de tipo tubular del cual el más conocido es el de Vehimeyer, considerado como el que proporciona datos de mayor exactitud (16).

Los métodos indirectos se basan en datos climáticos y en dispositivos evaporimétricos, en función de estas características y las del cultivo, para una zona en particular se dan estimaciones del valor de la evapotranspiración. La extrapolación de éstos datos plantea efectuar correcciones en las fórmulas o introducir factores de ajuste, ya que las regresiones obtenidas son válidas únicamente para las condiciones particulares en que fueron elaboradas (4).

Aguilera, menciona los siguientes autores y factores usados para estimar la evapotranspiración (1):

AÑO	-	AUTOR	FACTORES USADOS
1928	-	Hedke	Calor disponible.
1942	-	Lowry y Jhonson	Calor efectivo.
1942	-	Blaney y Morin	Temperatura, humedad relativa, duración del día.
1948	-	Thornthwaite	Temperatura y latitud.
1950	-	Blaney y Criddle	Temperatura y porcentaje de horas luz.
1953	-	Turc	Temperatura y radiación.
1956	-	Hargreaves	Temperatura, humedad relativa, duración del día.
1957	-	Makkink	Temperatura y radiación.
1963	-	Jensen y Haise	Radiador solar.
1964	-	Grassi y Cristian sen.	Temperatura, radiación, nubosidad.
1965	-	Brutsaert	Evaporación.
1966	-	Hargreaves	Temperatura, altitud, humedad - relativa, viento, horas luz.
1970	-	Penman (Combinada)	Temperatura, radiación, viento.
1971	-	Hargreaves	Temperatura, radiación, humedad relativa, altitud, velocidad - del viento.
1972	-	García López	Temperatura, humedad relativa.
1976	-	Norero A.	Evaporación y precipitación.

La mayor parte de las fórmulas empíricas que sirven para - estimar la evapotranspiración y que utilizan datos meteorológicos, se basan en una primera estimación de la evapotranspiración potencial y luego se ajustan mediante coeficientes característicos de cada zona, tipo de cultivo y otras condiciones que afectan la evapotranspiración. Grassi en 1978 indica que dicho coeficiente considera el estado vegetativo del cultivo, prácticas de manejos, así como también el suelo y el régimen de reposición de humedad del mismo (7).

A continuación se discuten las fórmulas y procedimientos - más ampliamente difundidos para estimar consumo de humedad por los cultivos.

La fórmula de Penman permite hacer estimaciones de la evaporación de una superficie libre de agua conociendo los valores de radiación neta, temperatura presión de vapor y velocidad del viento (14).

En términos generales los resultados obtenidos con esta - fórmula han arrojado una alta correlación comparados con la -- evapotranspiración potencial obtenida en lisímetros. Una de - las desventajas de su aplicación es la falta de registros de - algunos factores que en ella intervienen y que comunmente solo se encuentran en estaciones meteorológicas de primera categoría (5). Además Gavande en 1979, aclara que al utilizar esta fórmu la en regiones áridas se puede incurrir en errores ya que no - considera la energía advectiva (4).

Otro método ampliamente difundido para estimar el consumo de agua por los cultivos es el de Thornthwaite, éste se basa en la temperatura y en la latitud. Se utiliza para estimar la evapotranspiración potencial y tiene la ventaja de usar datos climatológicos fáciles de obtener. En general la fórmula da buenos resultados en regiones húmedas (1). Su expresión general es:

$$Etp = 1.6 \left(\frac{10 T}{I} \right)^a$$

Donde:

Etp = Evapotranspiración potencial no ajustada en cms.

T = Temperatura media mensual en °C.

I = Índice de eficiencia anual de temperatura.

$$I = \sum_{i=1}^{i=12} i$$

i = Eficiencia de temperatura = $\left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$

a = Constante que depende del lugar y que es función del índice de eficiencia anual de temperatura, - cuyo valor es:

$$a = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.792 \times 10^{-2} I + 0.49239$$

La evapotranspiración potencial no ajustada se corrige por la duración real del día en horas y los días del mes para obtener la evapotranspiración ajustada.

Israelsen en 1965 refiere que el método de Thornthwaite no

ha dado resultados satisfactorios en regiones áridas y semi-áridas, por lo que se recomienda utilizarlo en zonas húmedas con vegetación abundante.

Blaney-Criddle utilizando la temperatura y las horas de iluminación diarias, elaboraron una fórmula basada en datos climáticos calculada por condiciones de aridez. Este método incluye muchas variaciones debido a la transferencia convectiva del calor y a la energía radiante. Gavande en 1975 reporta que la fórmula en mención da una estimación de la evapotranspiración verdadera más que la potencial ya que se basa en correlaciones de prácticas de riego existentes, sin embargo, debido a su simplicidad y a la gran cantidad de datos básicos que aporta, este método se utiliza extensamente para estimar las necesidades de riego (4).

La fórmula general, que permite determinar la evapotranspiración real del mes se escribe:

$$E_t = K.F$$

donde:

E_t = Evapotranspiración real en cms.

K = Coeficiente de ajuste que depende del cultivo.

$$F = \sum_{f=1}^{f=n} f$$

n = Número de meses del ciclo.

f = Factor de evapotranspiración mensual.

$$f = P \left(\frac{T + 17.8}{21.8} \right)$$

T = Temperatura media mensual en grados centígrados.

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

Phelan mencionado por Aguilera en 1979 propone una corrección utilizando el coeficiente térmico Kt, que se calcula en función de la temperatura media mensual en °C:

$$Kt = 0.03144 T + 0.2396$$

Donde:

T = Temperatura media mensual en °C.

El Departamento de Conservación de Suelos de los Estados Unidos sugiere utilizar gráficas que presentan el coeficiente de desarrollo, Kc en función del porciento del ciclo vegetativo. Los coeficientes de desarrollo se aplican a los productos f x Kt, obteniendo así valores para períodos cortos.

Refiriéndose a la confiabilidad de fórmula de Blaney-Cridle, Grassi en 1975 indica que la fórmula ha arrojado valores superiores a los reales en condiciones de bajas exigencias evapotranspiratorias, menores de 5 mm/día y valores inferiores con altas exigencias, mayores de 5 mm/día (5).

Otra fórmula para estimar la evapotranspiración real o actual es la de Hargreaves, proporcionando el consumo de agua en función de la humedad relativa media al medio día, la temperatura media y la duración del día dependiendo de la latitud. La fórmula incluye coeficientes de efecto del cultivo.

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

$$Et = 17.37 K dt (1.0 - 0.01 Hn).$$

Donde:

- K = Coeficiente del cultivo.
- d = Coeficiente mensual de duración del día.
- T = Temperatura media mensual.
- Hn = Humedad relativa media al medio día.

El coeficiente d está relacionado con el P de Blaney-Cridle de modo que $d = 0.12 p$.

Hargreaves, citado por Grassi en 1975 sugiere utilizar las siguientes correcciones, dado que la fórmula ha sido desarrollada para condiciones meteorológicas medias:

Los resultados deben aumentarse o disminuirse en 9% por cada 50 Km/día de aumento o disminución de la velocidad del viento, con respecto a 100 Km/día que corresponden a las condiciones de obtención de la fórmula.

La fórmula se obtuvo con una insolación del 90% para si--tiaciones diferentes se aplican las siguientes correcciones:

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

Los resultados deben aumentarse en 1% por cada 100 m. de elevación a partir de los 150 m., que corresponden a las condiciones de obtención de la fórmula.

Los métodos comentados anteriormente no toman en cuenta todos los datos climáticos que pueden influir en la evaporación del agua. Ya que incluyen observaciones meteorológicas, suposiciones y términos de corrección empíricos. Por consiguiente varios autores, entre ellos Gravande en 1976 sugieren que se mida la evaporación en tanques abiertos de modo que la evaporación así obtenida integre en una sola determinación, todos los factores meteorológicos, que afectan la pérdida de agua en un suelo cultivado, y aplicando factores empíricos de corrección se puede obtener la evapotranspiración real (4).

Grassi en 1975, indica que la evaporación en tanque es un proceso similar a la evapotranspiración, ya que integra la mayor parte de los factores que intervienen en el mismo, por lo que, de acuerdo a este autor, la evaporación en tanque parece ser hasta el presente el procedimiento más confiable (5).

Por lo indicado en los párrafos anteriores puede resumirse que las medidas de evaporación de una superficie libre de agua integran el efecto de los diferentes factores meteorológicos -- que influyen en la evapotranspiración.

Grassi, en 1975 refiere que 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, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Et_p = EV.K$$

$$Et_p = \text{Evapotranspiración potencial.}$$

$$EV = \text{Evaporación en tanque.}$$

$$K = \text{Coeficiente de ajuste, adimensional.}$$

Para las condiciones del trópico López y Mathison citados por Grassi en 1975 encontraron una relación media $E_t_p/ET=0.75$ (5).

De los tanques para medir la evaporación, el tipo "A" es el más utilizado. Este evaporímetro mide 1.20 m. de diámetro por 0.25 m. de profundidad se constituye de lámina galvanizada y se instala con su fondo a 0.15 m. por sobre el nivel del terreno.

La evaporación se calcula como la diferencia entre dos -- lecturas diarias consecutivas haciendose ajustes por cualquier precipitación medida en pluviómetro adyacente (3).

4. MATERIALES Y METODOS:

4.1 Localización y Descripción del sitio experimental:

La experiencia se realizó en el Centro de Producción el "Oasis", Estanzuela, Zacapa, en el Valle de la Fragua. Este está localizado en la zona nor-oriental de la república en las coordenadas geográficas siguientes: 14° 57.5' latitud norte y a una longitud oeste de 89° 32.5'. El valle queda a 140 Kms. de la ciudad de Guatemala por la ruta C.A.-9.

En la región ocurre la menor precipitación de la república, llegando a un promedio de 500 mm anuales, - prácticamente todas las lluvias caen del primero de mayo al treinta de octubre, pero aún durante estos meses no se puede depender de la lluvia, y es necesario aplicar agua para auxiliar a los cultivos. De noviembre-abril la precipitación efectiva puede considerarse nula. La fluctuación de la temperatura es de 18°C a 40°C.

El valle se encuentra a una altura promedio de 230 msnm, y está rodeado casi en su totalidad por montañas, lo que ocasiona vientos provenientes del mar caribe y - el océano pacífico lleven las nubes saturadas de vapor de agua y las hagan precipitar en las partes montañosas sin alcanzar el Valle.

Holdridge, en 1976 clasifica la zona de vida como monte espinoso sub-tropical. La vegetación natural esta constituida mayormente para arbustos y plantas espinosas; entre las principales están los Cactus sp; ---

Guaiacum sp; Pereskia sp; Jaquinia sp; Bucida macrostachys; Acacia forneciana; Cordia alba (9).

El autor citado anteriormente indica que la evapotranspiración potencial puede estimarse en promedio de 130% mayor que la cantidad de lluvia total anual, de aquí que las tierras de esta zona de vida solamente pueden ser utilizadas bajo irrigación (15).

Simmons en 1959 indica que, los suelos de la Fragua, desde el punto de vista edafológico son relativamente jóvenes y las diferencias existentes se basan principalmente en el material de origen y el drenaje. Las series prodominantes en la región son Chiquimula, Teculután, Chicaj, Chirrum, Cortí, Sinaneque y Tempisque (19).

De acuerdo a las estadísticas de riego en 1979, el área se caracteriza por poseer una agricultura intensiva que en su mayor parte se desarrolla por irrigación. En el Valle existen las unidades de riego el Guayabal, La Fragua, y Llano de Piedras del distrito de riego número 7.

Los principales cultivos de la región son el maíz, tomate, melón, sandía, pepino, chile, okra y tabaco.

4.2 Cultivos a Evaluar:

Los materiales evaluados fueron los siguientes:

Tomate variedad UC-82 A, de tipo compacto para con

sumo industrial, y que se procesa en la zona, y melón - tipo Honey Dew, cultivar Mayan Sweet, que se cultiva - con fines de exportación, constituyéndose en uno de los cultivos de mayor importancia en el área.

La determinación de la evapotranspiración de tomate se efectuó de noviembre-febrero y la de melón de febrero-abril; cada período corresponde a la época de -- siembra utilizada en la región.

4.3 Equipo:

- a. Botes de aluminio para muestreo de suelos -- con capacidad de 100 gramos de muestra.
- b. Balanza con aproximación de 0.1 gramos.
- c. Barreno helicoidal.
- d. Barreno tabular.
- e. Horno eléctrico.
- f. Sifones.
- g. Cilindro y martillo (Uhland)

4.4 Descripción del método para estimar la evapotranspiración:

Para determinar el consumo de humedad de los cultivos se utilizó el método de parcelas de campo ubicando en cada uno de los dos tipos de suelos considerados cuatro parcelas experimentales. Para tomate se utilizaron parcelas de 7.20 x 8 m con surcos de 8 m de largo - separados 0.90 m y 0.25 m.entre plantas, dejando una - planta por postura para una población de 44,444 plantas/Ha.

Para melón se utilizarán parcelas de 14.4 x 9 m - con mesas de 1.8 m de ancho y 9 mts de largo, con una -

distancia de 0.3 m entre plantas obteniéndose una densidad de 18,518 plantas/Ha.

Para ambos cultivos se trató de utilizar un umbral de riego de 30% de humedad aprovechable, en el estrato de 0-30 cm. de modo que en cada riego se aplicaron láminas constantes. El riego se dió por surcos, con pendiente de 0.2% sin salida al final, a fin de que la lámina aplicada se infiltrara uniformemente. La aplicación de agua en cada surco se realizó con sifones de una pulgada previamente calibrados.

Dentro de cada parcela se efectuaron dos muestreos de suelo obteniéndose dos muestras en el tercio medio - del estrato de 0-30 cm. y dos muestras en el estrato de 30-60 cm., completando 8 muestras por parcela experimental.

Los muestreos se realizaron antes de cada riego y después de riego cuando el suelo está aproximadamente a capacidad de campo, y dos o tres muestreos entre riego.

El contenido de humedad de las muestras se determinó en base a peso, mediante el desecado del suelo a 110°C, durante 24 horas hasta peso constante, el porcentaje de humedad se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$P_p = \left(\frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{ss}} \right) (100)$$

Donde:

P_p = Porcentaje de humedad en base a peso del suelo seco.

P_{sh} = Peso del suelo humedo.

P_{ss} = Peso del suelo seco.

De cada grupo de muestras, se determinó el promedio de humedad para cada estrato. Analizando cada parcela por separado, para promediar los datos de las cuatro parcelas al final.

Los datos así obtenidos se registraron en la gráfica de control de humedad, para aplicar el riego cuando se reportara 30% de humedad aprovechable en el estrato de 0-30 cms.

La evapotranspiración se obtiene por diferencia de porcentajes utilizando la siguiente ecuación:

$$Li = Ppi \times Dai \times pe$$

Donde:

Li = Lámina en cms consumida durante el período considerado.

Pe = Espesor de capa de muestreo (0.30 m.)

Ppi = Variación del porcentaje de humedad antes y después de riego.

Dai = Densidad aparente relativa del estrato.

La evapotranspiración total se obtiene con la ecuación siguiente:

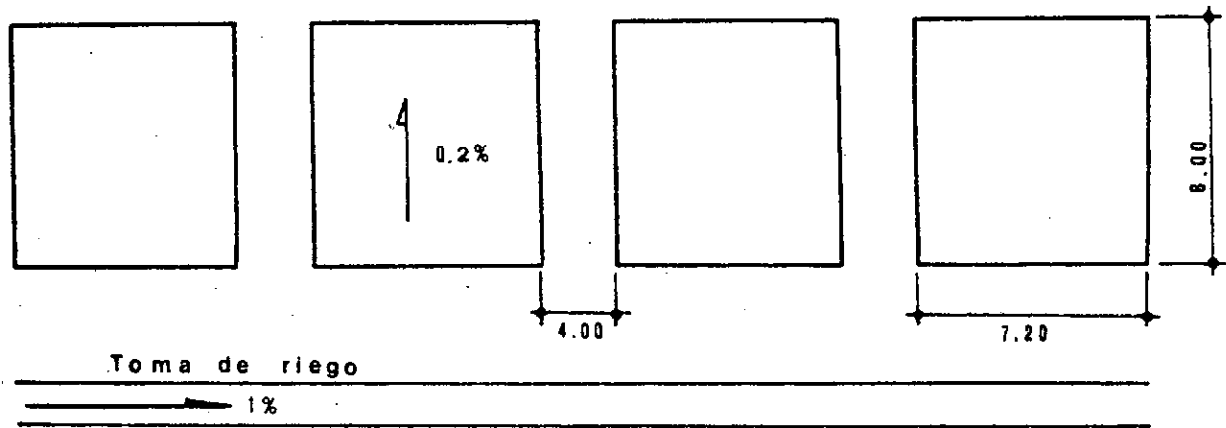
$$Et = \sum_{i=1}^{i=n} Li$$

En la figura 1 se presenta la ubicación de las parcelas en el campo.

4.5 Manejo de los cultivos:

Se utilizaron las recomendaciones del programa de hortalizas de I.C.T.A., para tomate y melón.

TOMATE



MELÓN

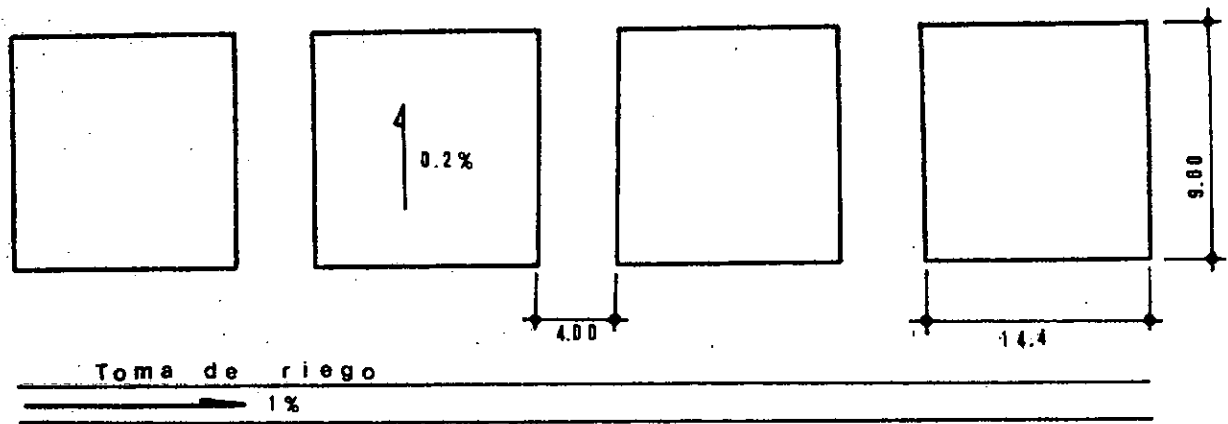


FIGURA No. 1

Plano de ubicación de los ensayos

4.6 Estudios de suelos:

Previamente a la instalación del ensayo, se efectuaron las determinaciones de análisis mecánico, por el método de Bouyoucos, capacidad de campo, a $1/3$ de atmósfera, y en condiciones de campo; punto de marchitez permanente, método de la olla de presión; densidad aparente con equipo Uhland y método del plástico.

Estos resultados son básicos para el cálculo de láminas, y definición de umbrales de riego.

4.7 Toma de datos:

Los datos tomados a lo largo del ciclo del cultivo fueron:

El porcentaje de humedad por el método de secado - horno de las muestras extraídas y se registraron en la gráfica de control de humedad. Se registraron datos - diarios de evaporación en tanque, así como temperatura, horas luz, humedad relativa, duración del ciclo y rendimiento.

5. RESULTADOS Y DISCUSION:

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada cultivo en los suelos franco arcillo arenoso y arcilloso. El resumen de las características físicas de éstos se indica en los cuadros 11, 14 y 17 del apendice.

5.1 Tomate:

Datos agronómicos

Variedad:	UC-82 A
Densidad:	44,444 plantas Ha.
Siembra:	Surco simple.
Fecha de siembra:	12-11-81
Fecha de cosecha:	19-02-82
Ciclo:	99 días.

Los rendimientos obtenidos fueron de 30.44 T.M./Ha en el suelo franco arcillo arenoso y de 56.9 T.M./Ha en el suelo arcilloso. El rendimiento promedio general de región es de 23.21 T.M./Ha, por lo que fue superado en 7.23 y en 33.69 T.M./Ha, en los suelos franco arcillo arenoso y arcilloso respectivamente. Por lo indicado - puede inferirse un gran potencial de producción utilizando tecnología adecuada.

Es notoria la diferencia del rendimiento en las condiciones de suelo, ya que los rendimientos en el suelo arcilloso exceden de 23.43 T.M./Ha a los obtenidos en el suelo franco arcillo arenoso. Lo anterior puede atribuirse a los diferentes niveles de humedad disponible -

que se dieron durante la experiencia. Así, en la figura No. 2 se presenta la gráfica de control de humedad del suelo franco arcillo arenoso, para el estrato de 0.30 cm puede apreciarse que en 4 ocasiones a lo largo del ciclo, el agua no estuvo disponible, por encontrarse a tensiones mayores que la del punto de marchitez permanente, y cuando estuvo disponible reporta 8.58% en promedio de humedad aprovechable antes de riego.

La gráfica de control de humedad del suelo arcilloso, figura No. 3 indica que el agua estuvo disponible para la planta a lo largo del ciclo, así, durante los primeros 35 días después del transplante se tuvo 55% de humedad aprovechable antes de riego; de los 35 días hasta el final del ciclo la humedad aprovechable antes de riego fue de 40%. Por lo que no existe déficit de humedad durante el ciclo. Inicialmente se planeó dejar 30% de humedad aprovechable antes del riego, sin embargo, debido al método utilizado para el control de humedad y a su laboriosidad fue difícil llevar un control estricto de la disponibilidad del agua, particularmente afectó el tiempo requerido para sacar las muestras, ya que se logra obtener el porcentaje de humedad del suelo transcurridos al menos 24 horas después del muestreo y pesado.

En el cuadro No. 1 se presenta la evapotranspiración total medida en el campo y la estimada mediante fórmulas para el cultivo de tomate.

Los calculos de evapotranspiración utilizando las fórmulas de Thornthwaite, Hargreaves y Blaney-Criddle aparecen en el apéndice en los cuadros 5, 6 y 7.

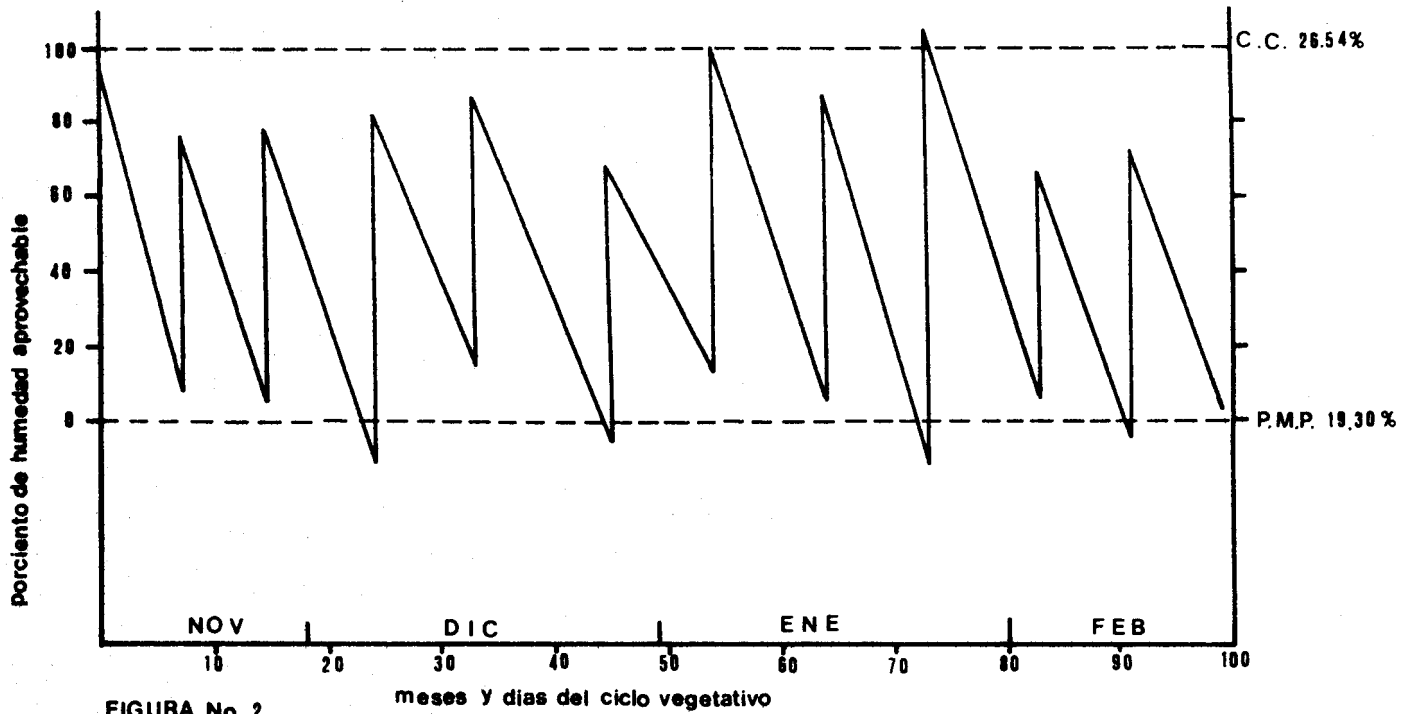


FIGURA No. 2

Gráfica de control de humedad. Cultivo: tomate. Suelo franco arcillo arenoso. Estrato de 0-30 cms.

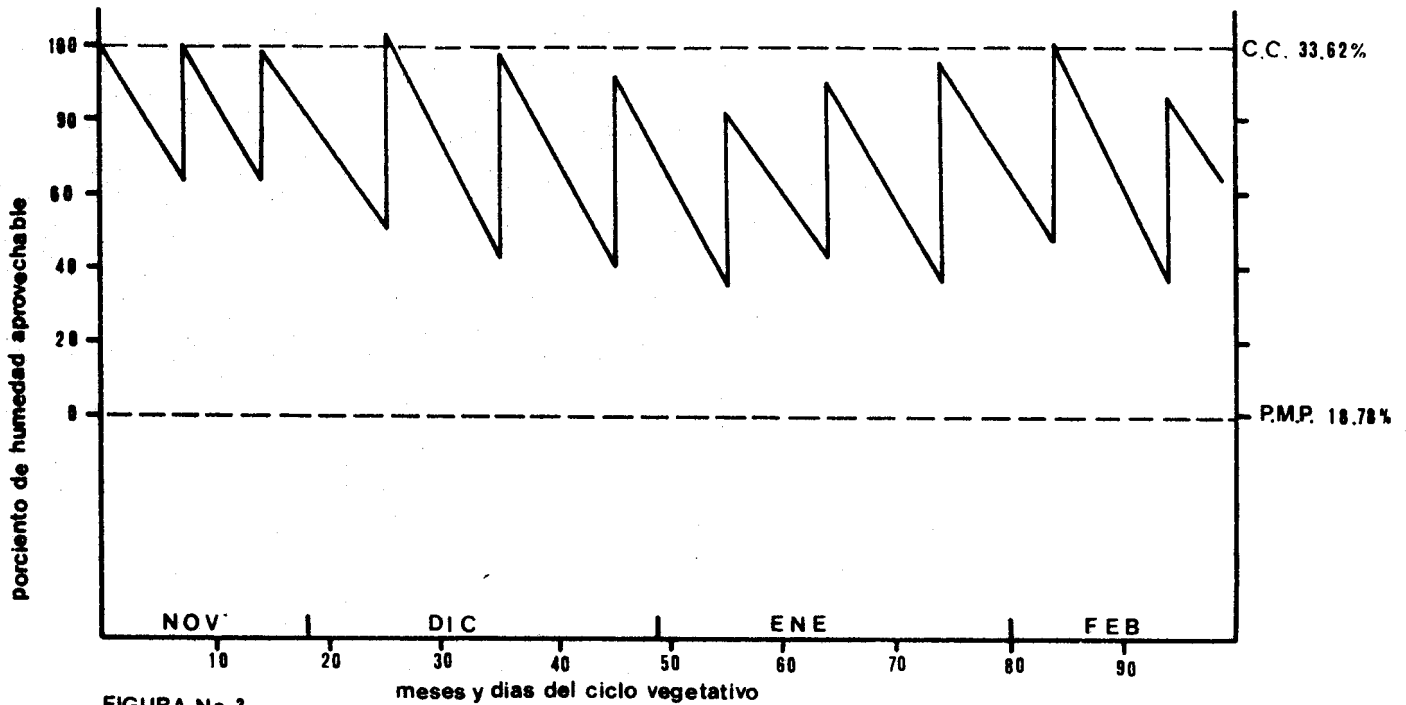


FIGURA No. 3

Gráfica de control de humedad. Cultivo: tomate. Suelo arcilloso. Estrato de 0-30 cms.

CUADRO 1: Evapotranspiración total de tomate medida en el campo en dos condiciones de suelo y calculada - mediante fórmulas

Textura del suelo	Evapotranspiración medida (cm)	Evapotranspiración Blaney-Cridle. (cm)	Evapotranspiración Hargreaves. (cm)	Evapotranspiración potencial Thornthwaite. (cm)	Evaporación Tanque "A" (cm)
Franco Arcillo Arenoso	50.63	45.25	58.72	37.53	64.75
Arcilloso	49.06	45.25	58.72	37.53	64.75

De los resultados obtenidos se deduce que la evapotranspiración medida por el método de campo es practicamente igual en las dos condiciones de suelo, difiriendo en solamente 1.57 cms. De el mismo cuadro se deduce - que la fórmula de Thornthwaite para estimar evapotranspiración potencial proporciona datos muy bajos: 37.33 cms, ante aproximadamente 50 cms de evapotranspiración real medida por el método de parcelas de campo. Lo anterior confirma que la fórmula de Thornthwaite no es - aplicable a condiciones de aridez y semi-aridez, de -- acuerdo a lo expresado por Grassi en 1975, por lo que - no se seguirá considerando.

La fórmula de Hargreaves, aplicable a condiciones meteorológicas medias, fue afectada por los factores de corrección sugeridos por su autor, tal y como se expuso en la revisión de literatura,obteniendose así un total de 58.72 cms de evapotranspiración, durante el ciclo del cultivo. Este resultado supera en 8.9 cms aproximada-- mente a los obtenidos por el método de campo. El resultado obtenido por la fórmula de Hargreaves equivale al 90.69% de la evaporación en tanque estándar, por lo que se considera que dicha fórmula proporciona para las condiciones evaluadas datos altos de evapotranspiración.

La evapotranspiración total obtenida con la fórmula de Blaney-Criddle reporta 4 cms menos aproximadamente, que la evapotranspiración total medida por el método de campo. Por lo que de las fórmulas consideradas - globalmente ésta es la que más se adapta, lo cual está acorde a las condiciones climáticas donde fue desarrollada.

La evaporación en tanque para el período reporta 64.75 cms ante 50 cms en promedio de la evapotranspiración real por lo que la relación evapotranspiración/evaporación es de 0.77 lo cual coincide con lo indicado por Grassi en 1975, quien promediando un gran número de datos experimentales en el oeste de los Estados Unidos, obtuvo una relación evapotranspiración/evaporación en tanque de 0.75 (5).

Los resultados discutidos anteriormente proporcionan información general del consumo de humedad durante el ciclo por lo que en las figuras números 4, 5, 6 y 7 se presentan los datos para períodos más cortos a lo largo del ciclo. Aquí aparecen las tasas de consumo de humedad medidas en el campo para las dos condiciones de suelo, la evaporación en tanque tipo "A" y datos obtenidos a partir de las fórmulas de Hargreaves y Blaney-Cridle. La fórmula de Thornthwaite no se considera, ya que los valores de evapotranspiración potencial son los más bajos que se obtuvieron. La evapotranspiración real, obtenida por el método de campo para las dos condiciones es similar, como puede apreciarse en la figura No. 4. En la figura No. 5 se observa que prácticamente durante todo el ciclo la tasa de evaporación en tanque supera a la tasa de evapotranspiración, lo cual es lógico en vista de que una superficie libre de agua evapora una mayor lámina en comparación con la utilizada por las plantas en el proceso evapotranspiratorio.

Los resultados de la fórmula de Hargreaves aparecen en la figura No. 6 comparativamente con la evapotranspiración real, medida por el método de campo, aquí puede notarse que la fórmula de Hargreaves coincide con

la evapotranspiración real, particularmente con la obtenida en el suelo arcilloso los primeros 40 días después del transplante. A mediados del ciclo se sobrepasan incluso los valores de evaporación en tanque, por lo que para este período reporta un consumo en exceso respecto al real. Los últimos 20 días del ciclo indican una buena aproximación.

La gráfica No. 7 obtenida por la metodología de Blaney-Criddle presenta un buen ajuste, aunque para los primeros 40 días del ciclo del cultivo reporta datos ligeramente inferiores a los obtenidos por el método de campo.

De acuerdo a lo anterior la fórmula de Blaney-Criddle considerada globalmente, así como para períodos quincenales es la que más se adapta a las condiciones y ofrece una buena alternativa para el cálculo del consumo de agua en el Valle de la Fragua.

La fórmula de Hargreaves reporta datos en exceso particularmente a mediados del ciclo del cultivo, por lo que esta fórmula desarrollada para condiciones meteorológicas medias no se adaptó a las condiciones de semi-aridez de la zona de estudio. Es posible que afinando los coeficientes del cultivo sugeridos por el autor pueda lograrse una mejor aproximación, lo cual requiere una investigación específica, que esta fuera de los alcances del presente trabajo.

La evaporación en tanque es un fenómeno afectado por los mismos factores que afectan la evapotranspiración, excepción del factor planta, por lo que los valores de evaporación son normalmente diferentes cuantita-

tasa de evapotranspiración mm/día

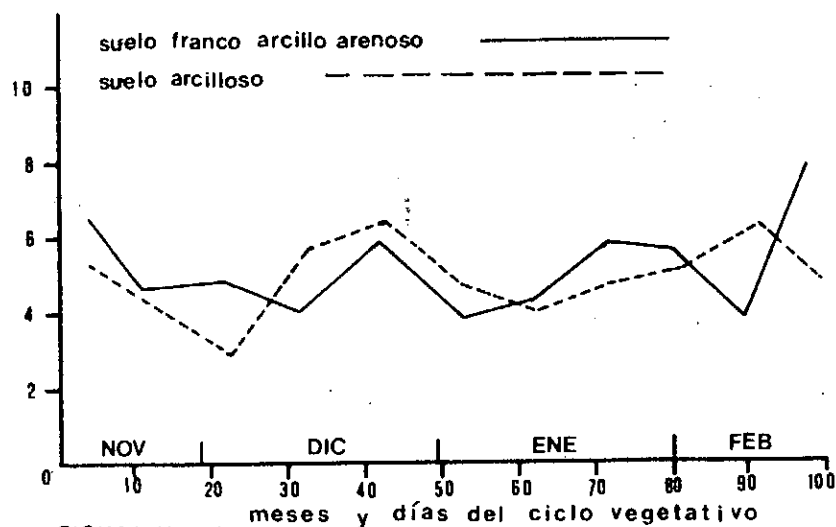


FIGURA No. 4

Evapotranspiración real de tomate en dos suelos.

tasa de evaporación y evapotranspiración mm/día

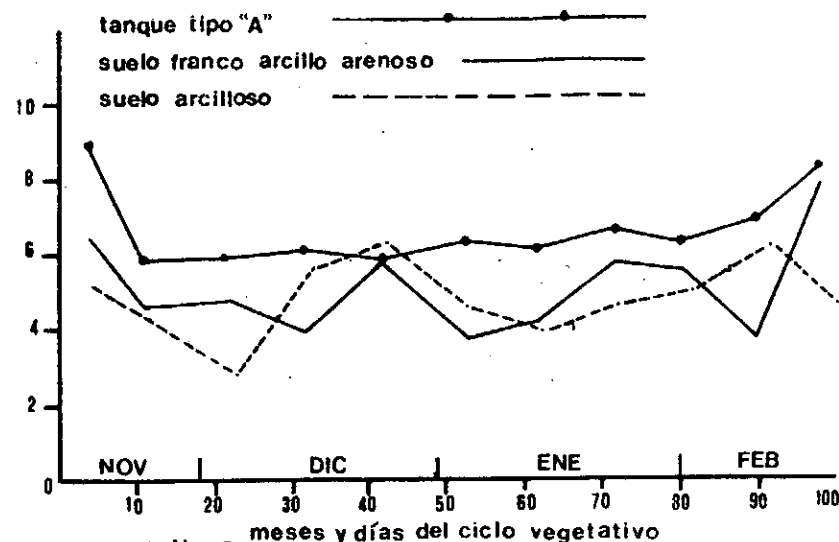


FIGURA No. 5

Evapotranspiración real de tomate en dos suelos y evaporación en tanque tipo "A".

tasa de evapotranspiración mm/día

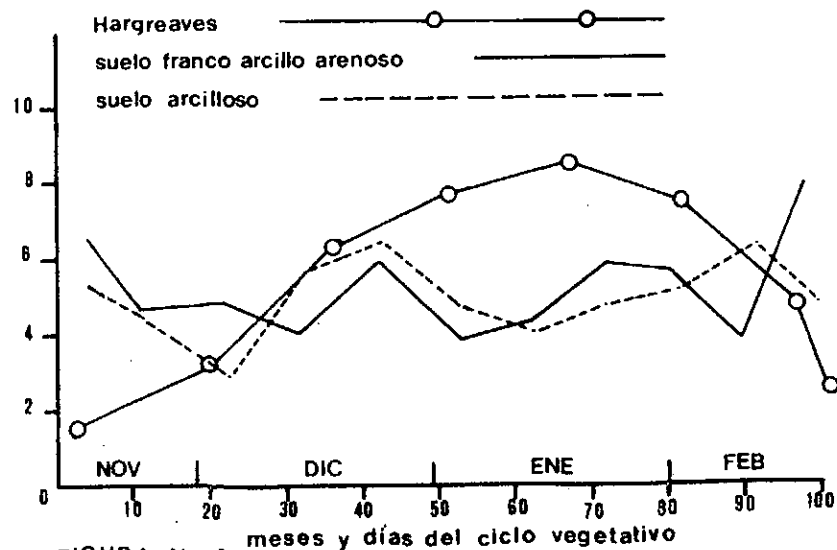


FIGURA No. 6

Evapotranspiración real de tomate en dos suelos y evapotranspiración según Hargreaves.

tasa de evapotranspiración mm/día

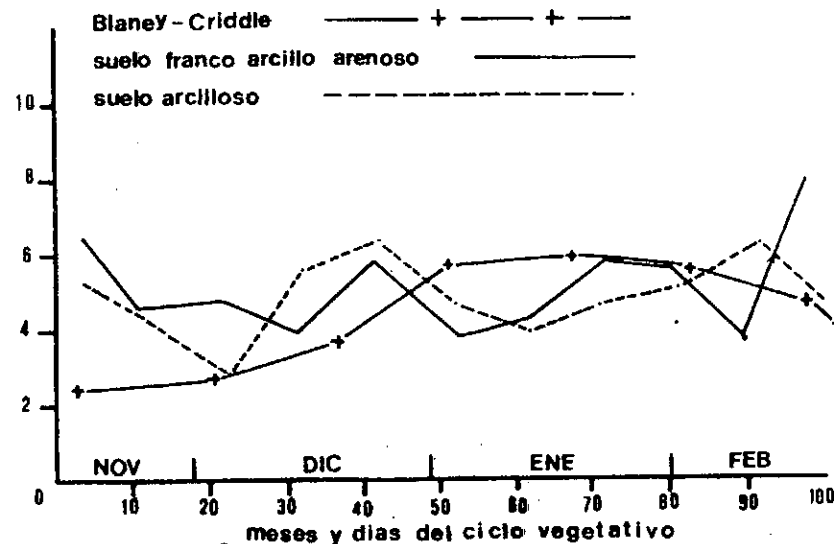


FIGURA No. 7

Evapotranspiración real de tomate en dos suelos y evapotranspiración por la fórmula de Blaney-Criddle.

tivamente a los de evapotranspiración pudiendo ajustarse por medio un factor. Para la presente experiencia, este factor considerando los resultados totales de evapotranspiración y evaporación es de aproximadamente -- 0.77, e indica que la evapotranspiración total es aproximadamente un 77% de la evaporación. El anterior factor es global, aplicable a todo ciclo del cultivo, sin embargo, la relación evapotranspiración/evaporación varía a lo largo del ciclo del cultivo y fue calculada en períodos de 10 días. En base a el control de humedad - en el suelo se elaboraron las gráficas de evapotranspiración acumulada medida en el campo las cuales se presentan en las figuras No. 8 y 9 conjuntamente con la - evaporación acumulada medida en tanque. En base a estas figuras se obtuvo el cuadro No. 2 en el que se presentan las relaciones de evapotranspiración/evaporación, para períodos de 10 días a lo largo del ciclo.

Los valores de E_t/E_v varían desde 0.57 hasta 1.1 - para el suelo franco arcillo arenoso, con un promedio - de 0.79. Para el suelo arcilloso los valores van de - 0.62 hasta 1.1 con un promedio de 0.78. En base al cuadro No. 2 se elaboró la figura No. 10 en la cual se presentan los valores de evapotranspiración/evaporación a lo largo del ciclo de tomate en dos condiciones de suelos, puede apreciarse que la curva de desarrollo definida es similar en los dos suelos. Los coeficientes representados en el eje de las ordenadas pueden utilizarse para estimar la evapotranspiración en función de la evaporación en tanque tipo "A", de acuerdo al % de desarrollo del cultivo. Evidentemente estos datos deben afinarse con determinaciones futuras, hasta obtener valores más consistentes.

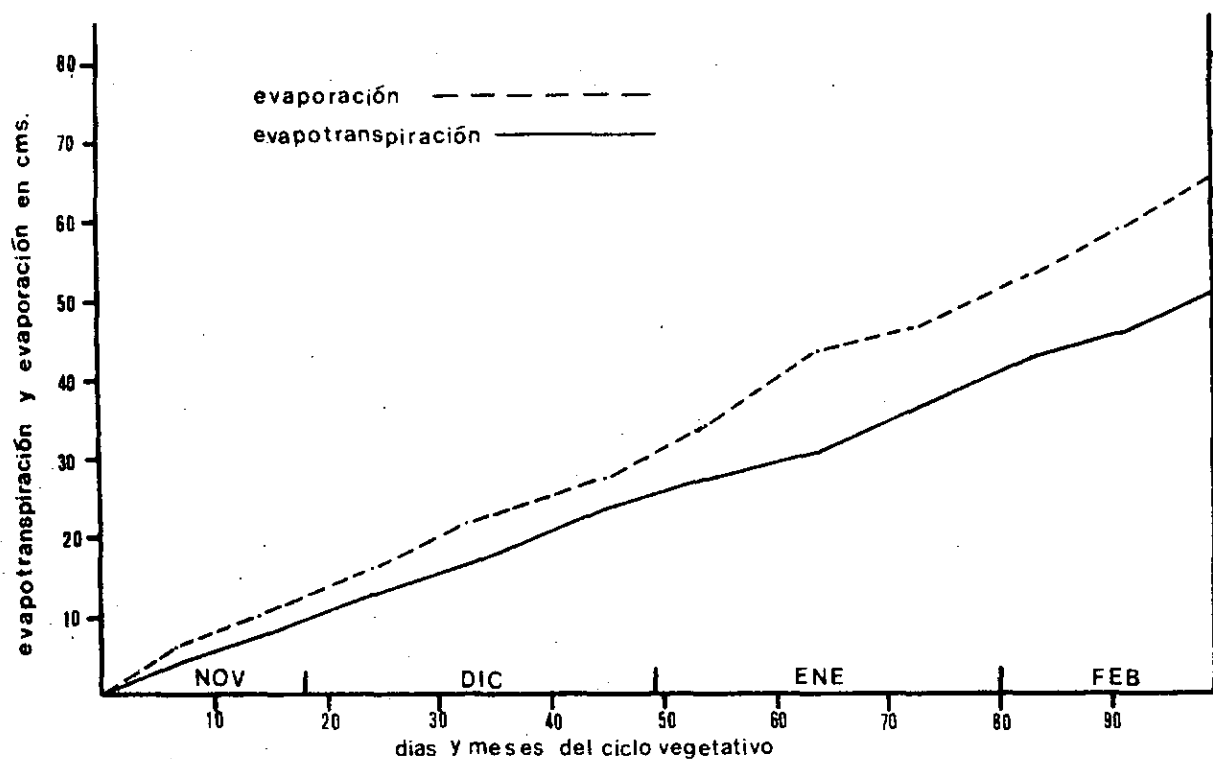


FIGURA No. 8

Evapotranspiración y evaporación acumuladas
para tomate en un suelo franco arcillo arenoso.

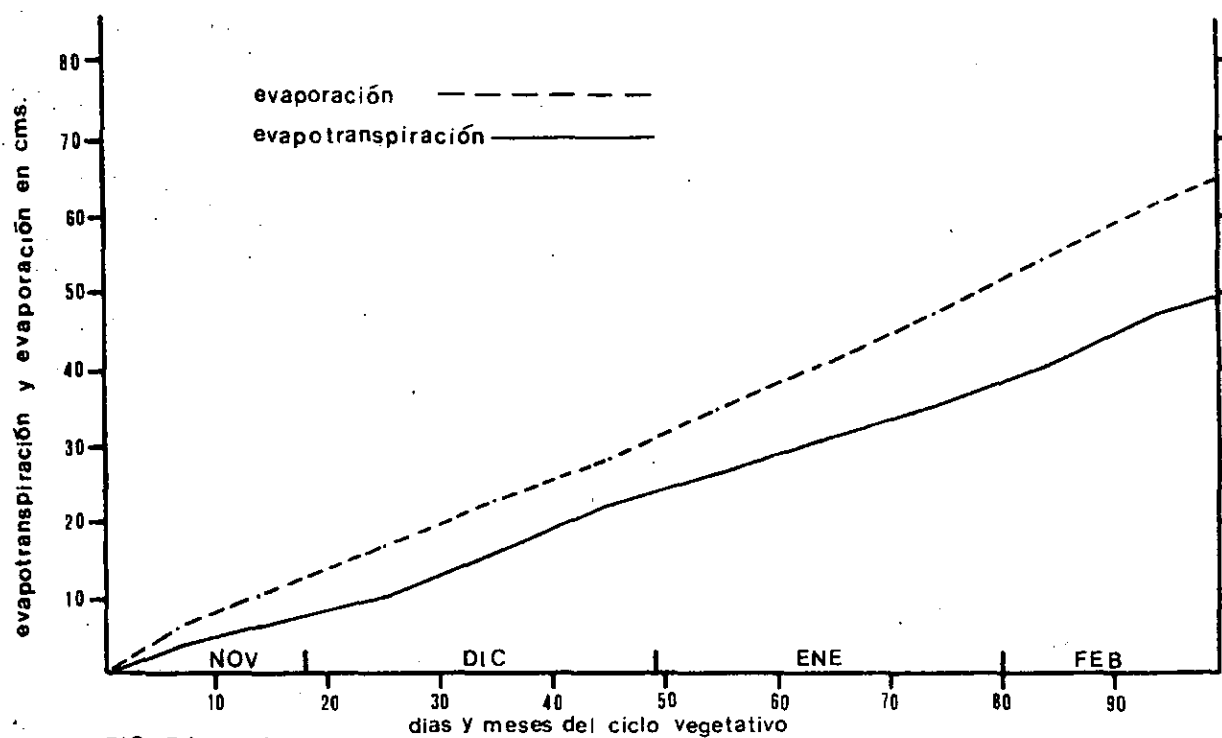


FIGURA No. 9

Evapotranspiración y evaporación acumuladas
para tomate en un suelo arcilloso.

CUADRO 2: Relación de Evapotranspiración/Evaporación durante el ciclo del Cultivo de Tomate, en dos condiciones de suelos.

SUELO FRANCO ARCILLO ARENOSO				SUELO ARCILLOSO			
Desarrollo del cultivo %	ET (cm)	EV (cm)	K = ET/EV	Desarrollo del cultivo %	ET (cm)	EV (cm)	K = ET/EV
10	6	8	0.75	10	5	6.5	0.77
20	5	6	0.83	20	3.5	5.5	0.64
30	4	6	0.67	30	4.5	6.5	0.69
40	5.3	6	0.88	40	6	5.5	1.1
50	5	5.5	0.91	50	5.5	6	0.92
60	4.5	8.5	0.53	60	4.0	6.5	0.62
70	5.5	5	1.1	70	4.5	6.5	0.69
80	5.5	5.5	1.0	80	5.5	7.0	0.79
90	4	7	0.57	90	6	7.0	0.86
100	5	7	0.71	100	4.5	6.0	0.75

$\bar{X} = 0.79$

$\bar{X} = 0.78$

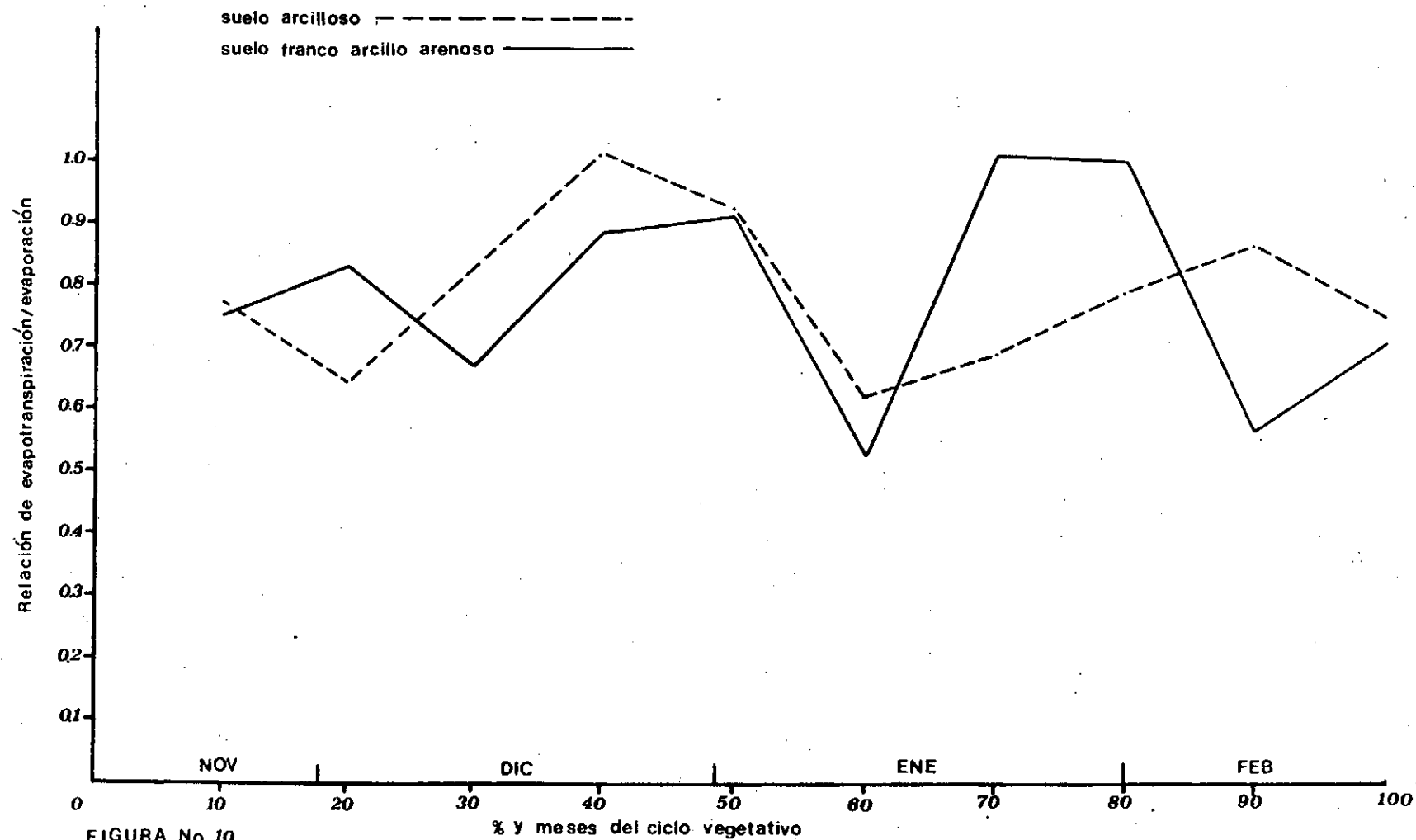


FIGURA No 10

Relacion de evapotranspiracion real y evaporacion en tanque para tomate en dos tipos de suelos.

5.2 Melón:

Datos Agronómicos:

Cultivar:	Mayan Sweet.
Densidad:	18,518 Plantas/Ha.
Siembra:	Camas de 1.8 mts.
Fecha de siembra:	30-01-82
Fecha de cosecha:	22-04-82
Ciclo vegetativo:	82 días

Los rendimientos de melón comercial obtenidos en el suelo franco arcillo arenoso fueron de 21 TM/Ha y de 23 TM/Ha en el suelo arcilloso. El rendimiento general de la región para la época considerada es de 19.3 TM/Ha, por lo que fué ligeramente superado y los rendimientos obtenidos, pueden considerarse como normales. El suelo arcilloso excede en 3 TM/Ha al rendimiento obtenido en el suelo franco arcillo arenoso. La figura No. 11 presenta la gráfica de control de humedad del suelo franco arcillo arenoso, aquí puede apreciarse que durante los primeros 40 días la humedad aprovechable antes de riego fue de aproximadamente 38.6%, para el resto del ciclo se tiene un promedio de 46.5 de humedad disponible antes de riego.

La gráfica de control de humedad del suelo arcilloso, figura No. 12 indica que la humedad aprovechable fue de 60% en promedio durante la primera mitad del ciclo, mientras que para la segunda mitad esta fué de 32.8% en promedio. De aquí se deduce que el suelo arcilloso tuvo mayor disponibilidad de agua durante el ciclo, es posible que a eso se deba el rendimiento lige--

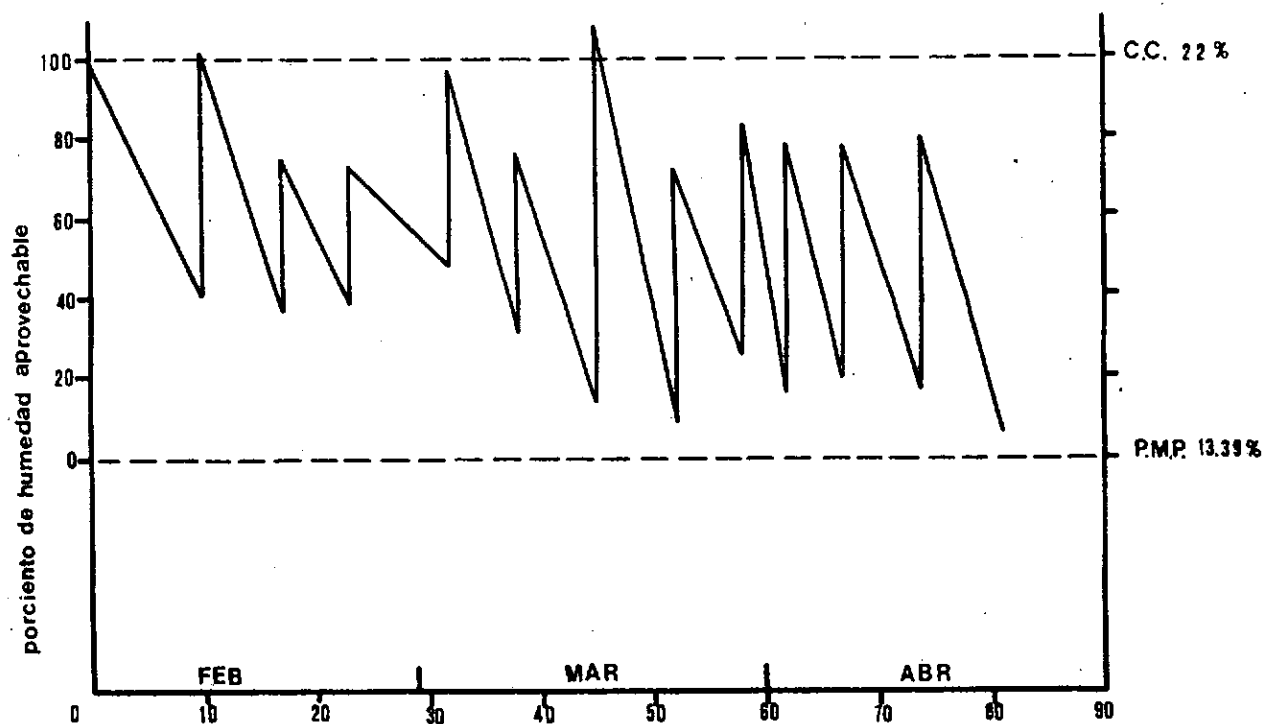


FIGURA No. 11

meses y días del ciclo vegetativo

Gráfica de control de humedad. Cultivo: melón. Suelo franco arcillo arenoso.
Estrato de 0-30 cms.

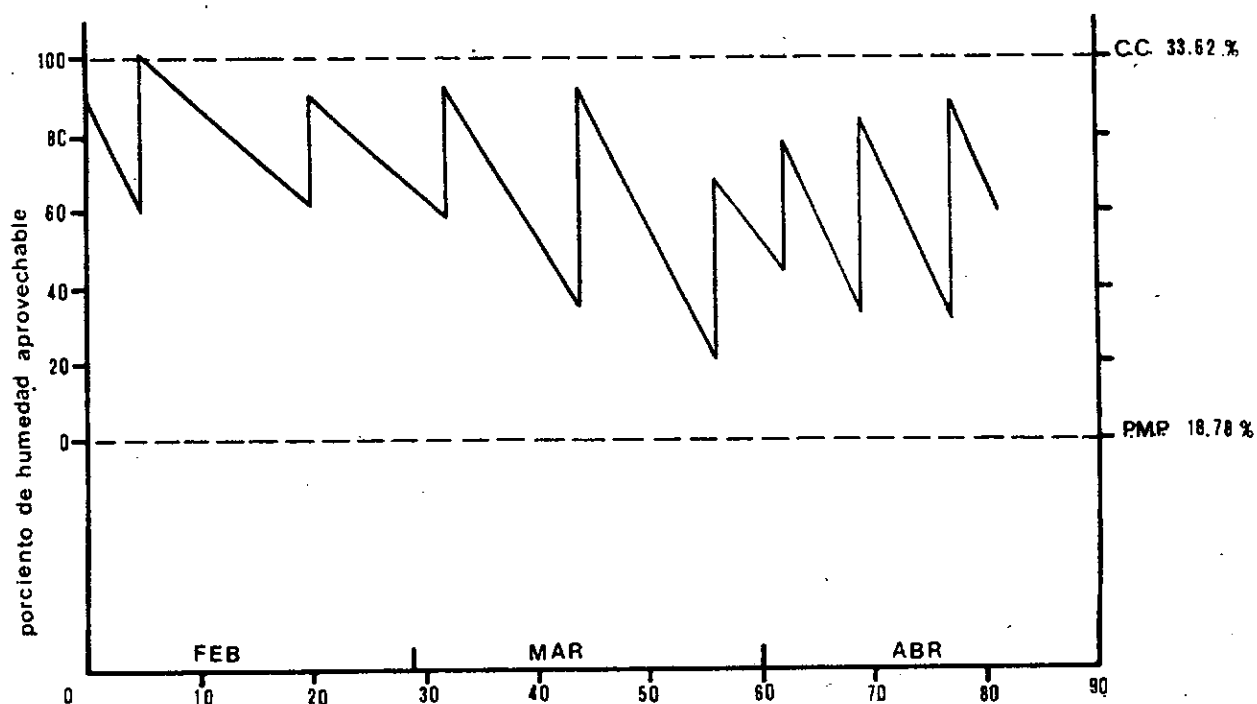


FIGURA No. 12

meses y días del ciclo vegetativo

Gráfica de control de humedad. Cultivo: melón. Suelo arcilloso.
Estrato de 0-30 cms.

ramente superior en este suelo. En el cuadro No. 3 se aprecia la evapotranspiración total medida en el campo y la estimada por medio de fórmulas para el cultivo del melón. Aquí aparece el resumen global de los métodos de Thornthwaite, Hargreaves y Blaney-Criddle así como la evaporación en tanque. Los calculos en detalle aparecen en el apéndice, en los cuadros 8, 9 y 10.

En el cuadro No. 3 puede apreciarse que la evapotranspiración total determinada por el método de campo es mayor en el suelo franco arcilloso arenoso con 50.06 cms, excediendo en 7.32 cms a la obtenida en el suelo arcilloso. En vista que el índice de evaporación es más alto en suelos arcillosos donde el proceso capilar del agua a la superficie es rápido, es necesario aclarar que el melón que se cultivó en el suelo arcilloso presentó un mayor desarrollo vegetativo, con follaje abundante que cubrió la cama en su totalidad; en comparación el suelo franco arcillo arenoso presentó un menor desarrollo vegetativo, y por tanto es posible que la mayor cobertura en el primer caso favoreció que se redujera el proceso de evaporación del agua del suelo.

La metodolôgia de Thornthwaite presenta 41.25 cms de evapotranspiración potencial, la cuál es inferior a la evapotranspiración real medida en el suelo franco arcillo arenoso en 7.97 cms, y muy similar a la evapotranspiración real medida en el suelo arcilloso. La evapotranspiración potencial aquí indicada se reduciría al transformarla a evapotranspiración real, y de aquí, que la formula de Thornthwaite arroja datos bajos para las condiciones de la experiencia.

CUADRO 3: Evapotranspiración total de melón medida en el campo en dos condiciones de suelo y calculada mediante fórmulas.

Textura del suelo	Evapotranspira- ción medida (cm)	Evapotranspira- ción Blaney-Crid- dle. (cm)	Evapotranspira- ción Hargreá- ves. (cm)	Evapotranspira- ción potencial Thornthwaite. (cm)	Evaporación Tanque "A" (cm)
Franco Arcilloso Arenoso	50.06	42.09	43.02	41.25	73.35
Arcilloso	42.74	42.09	43.02	41.25	73.35

La fórmula de Hargreaves reporta 43 cms de evapotranspiración total estimada, lo cual coincide notablemente con el dato de evapotranspiración real medido en el suelo arcilloso; sin embargo, es inferior en 7.97 cms respecto a la evapotranspiración medida en el suelo franco arcillo arenoso.

La fórmula de Blaney-Criddle indica 42.09 cms de evapotranspiración total, por lo que en este caso tiene un comportamiento similar al de Hargreaves.

El factor de ajuste global para estimar la evapotranspiración en función de la evaporación es de 0.67 para el suelo franco arcillo arenoso y de 0.57 para el suelo arcilloso.

En las figuras Nos. 13, 14, 15 y 16 se presentan las tasas de evapotranspiración diaria medida en el campo y la estimada por las metodologías en estudio, así como la evaporación en tanque tipo "A". Los datos se dan en mm/día para períodos cortos durante el ciclo del melón.

El suelo franco arcillo arenoso mantiene mayores consumos de humedad que los reportados en el suelo arcilloso como puede apreciarse en la figura No. 13.

En la figura 14 se presenta la evaporación en tanque tipo "A" comparada con la evapotranspiración real en las dos condiciones de suelo consideradas. Puede notarse que la evaporación coincide solamente con la evapotranspiración en el suelo franco arcillo arenoso a mediados del ciclo.

La fórmula de Hargreaves reporta una tasa de evapotranspiración mayor que la medida en el suelo arcilloso a mediados del ciclo, pero a la vez se ajusta a la evapotranspiración real medida en el suelo franco arcillo arenoso, indicando valores ligeramente inferiores, como se presenta en la figura No. 15.

La evapotranspiración obtenida por la metodología de Blaney-Criddle es la que más se ajusta a la evapotranspiración medida en el suelo arcilloso, desviándose ligeramente, reportando datos inferiores, al inicio y al final del ciclo, como se aprecia en la figura No. 16.

La relación de evapotranspiración/evaporación se determinó a partir de las figuras Nos. 17 y 18 donde aparecen la evapotranspiración y evaporación acumuladas para el ciclo del melón en las dos condiciones de suelo, el ciclo se dividió en 10 partes iguales y se estimó la relación de evapotranspiración/evaporación para cada período, tal como se presentan en el cuadro No. 4. En el mismo se aprecia que los valores varían de 0.3 a 1.4 con un promedio de 0.67 en el suelo franco arcillo arenoso y de 0.36 a 0.71 con un promedio de 0.57 en el suelo arcilloso. En base a los datos del cuadro No. 4, se elaboró la figura No. 19 donde se presenta la relación evapotranspiración/evaporación para el cultivo de melón en dos condiciones de suelos. Definiendo la curva de desarrollo del cultivo.

Los factores en el eje de las ordenadas pueden utilizarse para estimar la evapotranspiración en función de la evaporación, en forma preliminar y pueden afinarse con mediaciones posteriores.

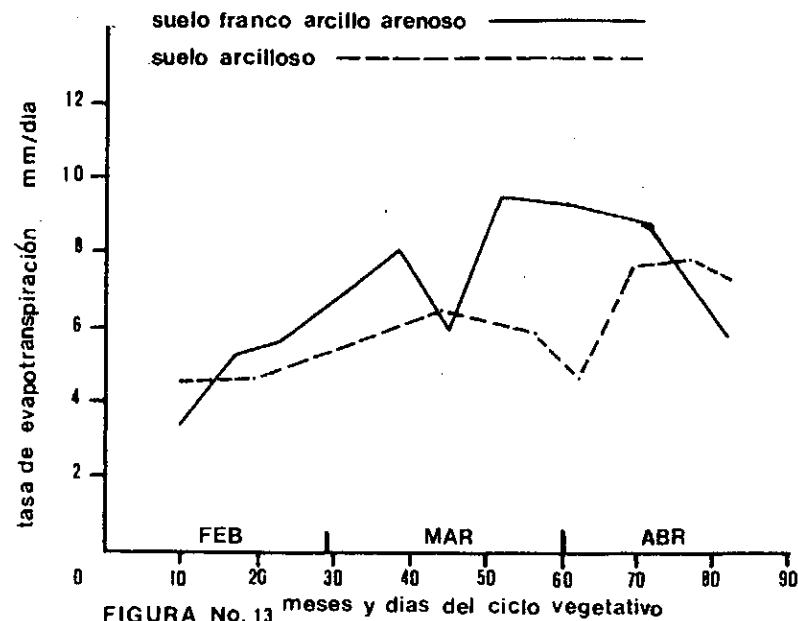


FIGURA No. 13 meses y días del ciclo vegetativo

Evapotranspiración real de melón en dos suelos.

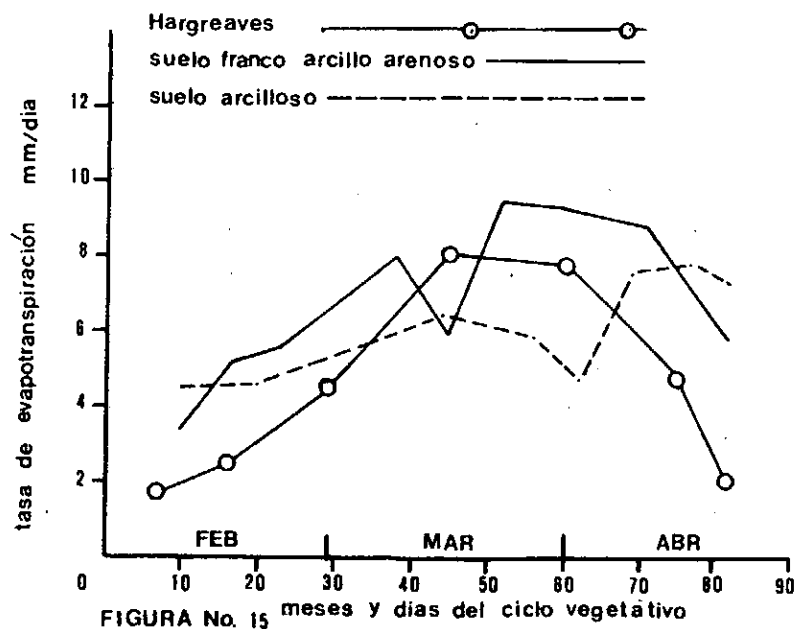


FIGURA No. 15 meses y días del ciclo vegetativo

Evapotranspiración real de melón en dos suelos y evapotranspiración según Hargreaves.

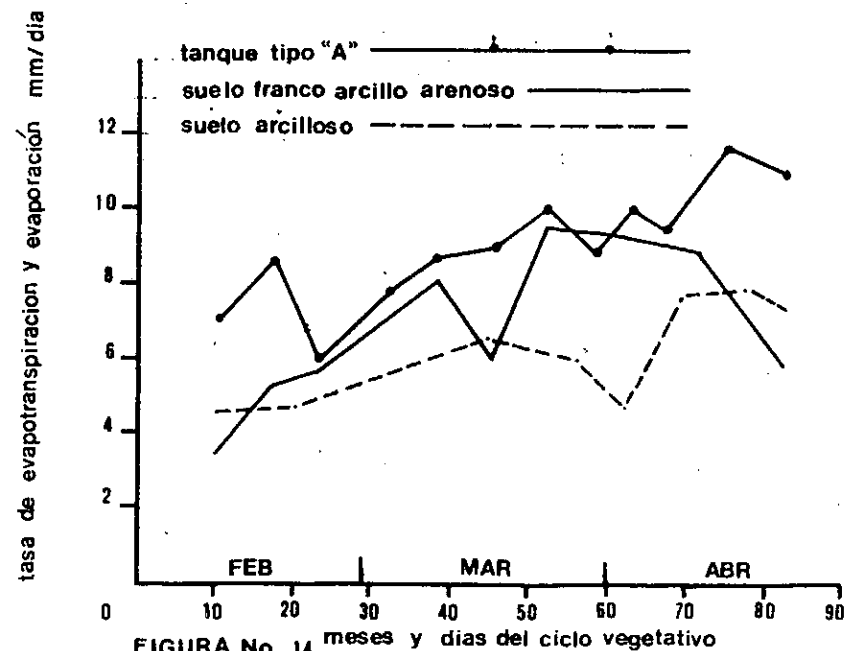


FIGURA No. 14 meses y días del ciclo vegetativo

Evapotranspiración real de melón en dos suelos y evaporación en tanque tipo "A".

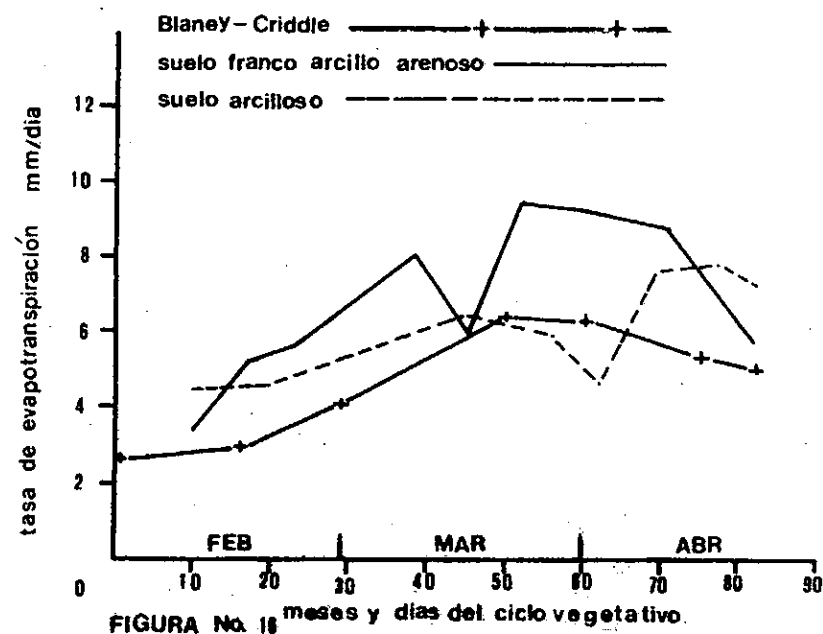


FIGURA No. 16 meses y días del ciclo vegetativo

Evapotranspiración real de melón en dos suelos y evapotranspiración real por la fórmula de Blaney-Criddle.

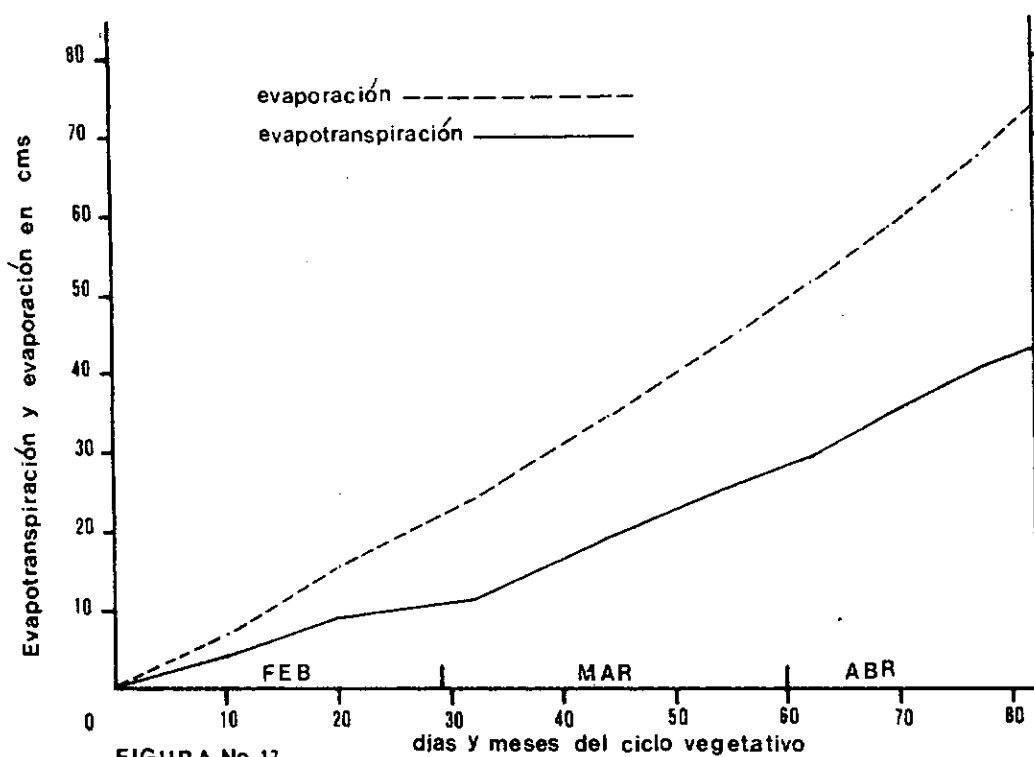


FIGURA No. 17

Evapotranspiración y evaporación acumuladas
para melón en un suelo arcilloso.

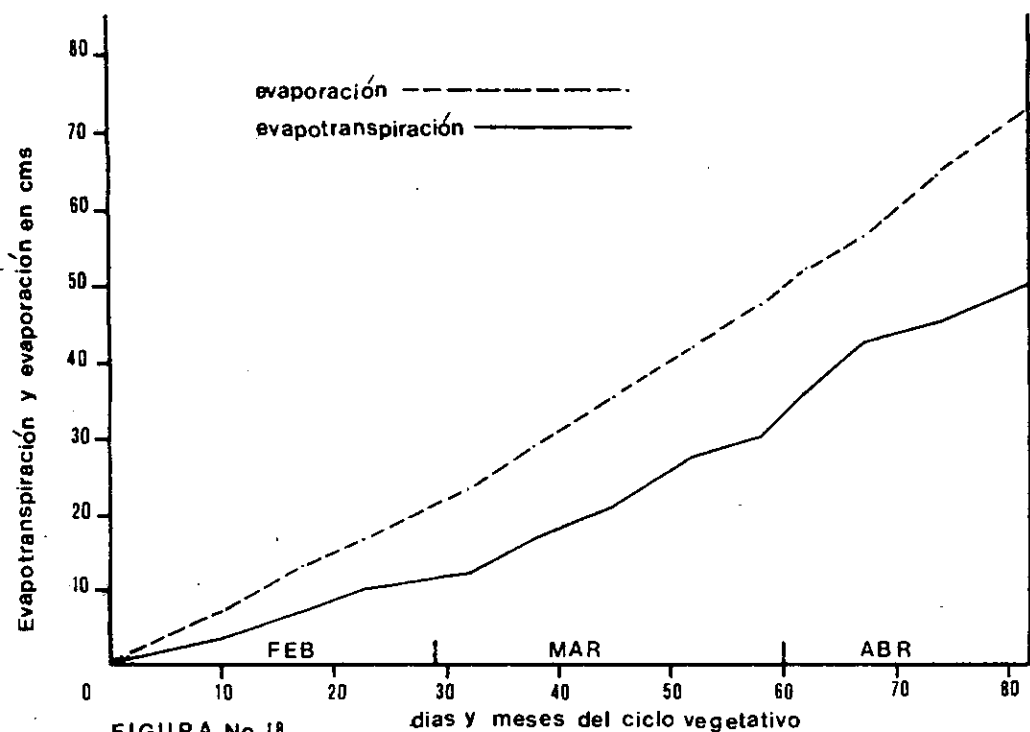


FIGURA No. 18

Evapotranspiración y evaporación acumuladas
para melón en un suelo franco arcillo arenoso.

CUADRO 4: Relación de Evapotranspiración/Evaporación durante el ciclo del Cultivo del Melón, en dos condiciones de suelos.

SUELO FRANCO. ARCILLO ARENOSO				SUELO ARCILLOSO			
Desarrollo del cultivo %	ET (cm)	EV (cm)	K = ET/EV	Desarrollo del cultivo %	ET (cm)	EV (cm)	K = ET/EV
10	2.5	6.0	0.42	10	3.5	6.0	0.58
20	4.0	6.5	0.62	20	4.0	6.5	0.60
30	4.0	5.0	0.80	30	2.5	6.5	0.38
40	2.0	7.0	0.30	40	2.0	5.5	0.36
50	6.0	7.0	0.86	50	5.0	7.0	0.71
60	6.5	8.0	0.81	60	5.0	7.5	0.67
70	4.5	7.5	0.60	70	4.5	8.0	0.56
80	10.5	7.5	1.4	80	5.0	8.0	0.63
90	5.5	9.5	0.58	90	6.0	9.0	0.67
100	4.5	9.0	0.50	100	4.5	9.5	0.47

$\bar{X} = 0.67$

$\bar{X} = 0.57$

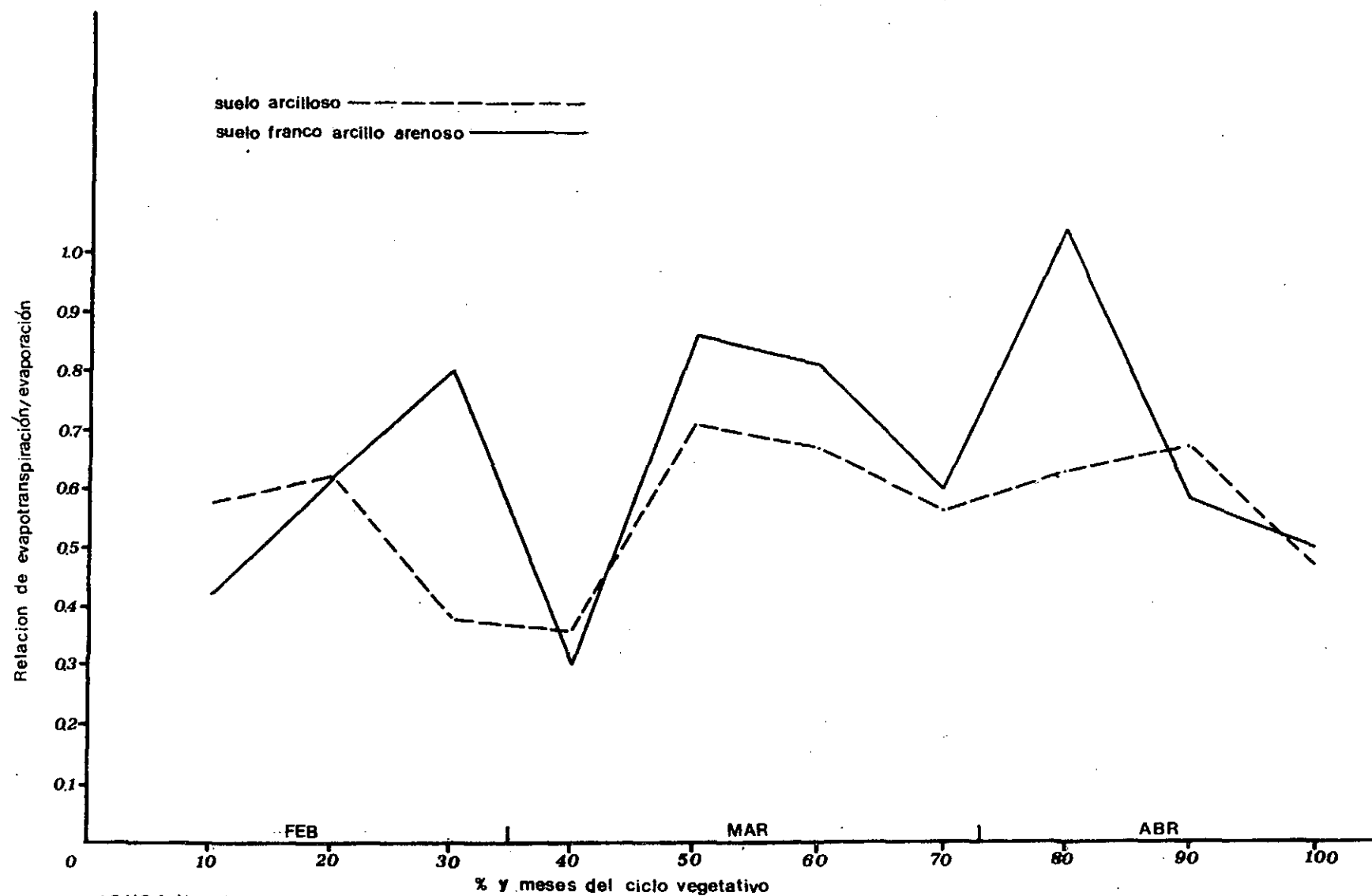


FIGURA No. 19

Relacion de evapotranspiración real y evaporación en tanque para melón en dos tipos de suelos.

6. CONCLUSIONES:

1. La evapotranspiración medida en parcelas de campo para el cultivo de tomate variedad UC-82 A, evaluado en el Valle de la Fragua es de 49.06 cms en promedio. Existiendo una diferencia mínima de 1.57 cms en los dos tipos de suelos evaluados.
2. La fórmula de Blaney-Criddle considera globalmente, así como para períodos quincenales es la que más se ajusta a los datos de evapotranspiración real del tomate, determinada en el campo, reportando 45.25 cm de evapotranspiración total para la época de noviembre a febrero.
3. La fórmula de Hargreaves para el cultivo de tomate durante la época de noviembre a febrero indica que evapotranspiración total de 58.72 cm, lo cual representa 9.66 cm en exceso, sobre el dato obtenido por el método de campo. Además para períodos cortos la fórmula en mención no ajusta a la evapotranspiración real medida en el campo.
4. La relación media de evapotranspiración/evaporación para el cultivo de tomate en las condiciones de suelo es de 0.79.
5. El melón Mayan Sweet del tipo Honey Dew evaluado de enero-abril reporta una evapotranspiración real total medida por el método de parcelas de campo de 50.06 cms, en el suelo arcilloso.
6. La fórmula de Blaney-Criddle es la que más coincide con la evapotranspiración real medida en el suelo arcilloso para el cultivo de melón, considerada globalmente y por períodos cortos.

7. La evapotranspiración total calculada con la fórmula de Hargreaves dió resultados similares a los medidos en el suelo arcilloso para melón, sin embargo, para períodos cortos no se adaptó, arrojando datos en exceso a mediados del ciclo.
8. La relación media de evapotranspiración/evaporación para el cultivo de melón fue de 0.67 para el suelo franco arcillo arenoso y de 0.57 para el suelo arcilloso.
9. La fórmula de Thornthwaite proporciona datos inferiores a los reales y por tratarse de evapotranspiración potencial se reduce aún más al transformarla a evapotranspiración real, por lo que para la zona en estudio no es aplicable.

7. RECOMENDACIONES:

1. Debido a que la metodología empleada requiere que el número de muestras de suelo a tomar sea muy elevado, lo cual implica un alto costo del experimento, se recomienda emplear la metodología de frecuencia de riego fija y lámina variable.
2. Se sugiere continuar con los experimentos de medición de la evapotranspiración en el campo y su comparación con las fórmulas basadas en datos climáticos, con el objeto de afinar los resultados obtenidos en el presente experimento y poder dar recomendaciones más consistentes. Es importante extender este tipo de experiencias a los cultivos y suelos de importancia en la zona.
3. En base a los resultados obtenidos en esta experiencia se recomienda usar la fórmula Blaney-Criddle, para calcular la evapotranspiración real en la región. Estos resultados pueden aplicarse en el cálculo de requerimientos de riego y definición de calendarios de riego.
4. Los coeficientes obtenidos para estimar la evapotranspiración en función de la evaporación en tanque tipo "A" pueden utilizarse como datos preliminares. Se recomienda seguir afinando estos coeficientes ya que constituyen un método sencillo, práctico y aplicable a la región.

8.

A P E N D I C E

RESUMEN DE LOS CALCULOS DE EVAPOTRANSPIRACION

CUADRO 5: Cálculo de la evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite. Período del 12-11-81 al 19-02-82.

MES	DURACION (días)	T °C	$(\frac{T}{5})^{1.514}$	a	$Et=1.6 (\frac{10T}{T})^a$	DURACION DEL FOTOPERIODO	EVAPOTRANSPIRA CION AJUSTADA SEGUN LATITUD (cm)
Noviembre	18	25.70	11.92	3.89	11.96	0.95	7.20
Diciembre	31	26.27	12.33	"	13.03	0.97	13.06
Enero	31	24.86	11.34	"	10.51	0.97	10.54
Febrero	19.00	25.54	11.81	"	11.67	0.91	6.73
Marzo	----	28.04	13.60	"			
Abril	----	28.66	14.06				
Mayo		28.95	14.28				
Junio		27.12	12.93				
Julio		27.02	12.86				
Agosto		26.99	12.84				
Septiembre		26.76	12.68				
Octubre		26.63	12.58				

I = 153.23

Evapotranspiración potencial = 37.53 cm.

CUADRO 6: Determinación de la evapotranspiración quincenal y total por la fórmula de Hargreaves para tomate. Período del 12-11-81 al 12-02-82.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)		Correcciones		Evapo- trans- pira- ción quince- nal. (mm)
MES	Frac- ción quince- nal..	T °C	* d	Humedad relativa media al medio día. (Hn)	17.37 (1-.01 Hn)	** K	Productos de las columnas: 1x2x3x5x6	Viento + 24%	Insola- ción. - 17.6%	
Nov.	0.20	25.70	0.47	51.71	8.39	0.20	4.05	00.972	00.713	4.31
Nov.	1.00	25.7	0.47	51.71	8.39	0.43	43.58	10.46	7.67	46.37
Dic.	1.033	26.27	0.46	47.64	9.09	0.79	89.65	21.52	15.78	95.39
Dic	1.033	26.27	0.46	47.64	9.09	0.97	110.07	26.42	19.37	117.12
Ene.	1.033	24.86	0.51	45.76	9.42	0.99	122.14	29.31	21.50	129.95
Ene.	1.033	24.86	0.51	45.76	9.42	0.87	107.33	25.76	18.89	114.20
Feb.	1.00	25.54	0.50	43.08	9.89	0.52	65.68	15.76	11.56	69.88
Feb.	0.267	25.54	0.50	43.08	9.89	0.28	9.44	2.27	1.66	10.05

Evapotranspiración total = 587.27 mm

* d = Coeficiente mensual de duración del día y equivale al 12% del porcentaje mensual de horas luz con respecto al total anual.

** K = Coeficiente del cultivo. Fuente: Grassi, 1975.

CUADRO 7: Cálculo de la evapotranspiración quincenal y total de tomate por el método del Blaney-Criddle modificado por Phelan, en la región del Valle de la Fragua.

MES	Fracción quince--nal.	T° C	P %	$\frac{T=17.8}{21.8}$	f	Kt	fKt	* Kc	Et	Et' quincenal (cm)	Et' acumulada (cm)
Noviembre	.2	25.7	3.92	1.995	1.564	1.04	1.627	.43	.7	.74	.74
Noviembre	1.00	25.7	3.92	1.995	7.82	1.04	8.133	.45	3.66	3.868	4.608
Diciembre	1.033	26.27	3.855	2.035	8.053	1.058	8.52	.65	5.538	5.852	10.46
Diciembre	1.033	26.27	3.855	2.035	8.053	1.058	8.52	.95	8.094	8.553	19.013
Enero	1.033	24.86	4.27	1.957	8.634	1.014	8.755	1.02	8.93	9.437	28.45
Enero	1.033	24.86	4.27	1.957	8.634	1.014	8.755	.90	7.879	8.326	36.776
Febrero	1.00	25.54	4.16	1.988	8.27	1.035	8.559	.75	6.419	6.783	43.559
Febrero	.267	25.54	4.16	1.988	2.208	1.035	2.285	.7	1.60	1.69	45.25

$K = 0.85$; $K' = 42.82/53.24 = 0.804$ 53.236

$K/K' = 1.057$; $Et' = 1.057 Et$

* Kc = Coeficiente del cultivo. Fuente: Aguilera (1979).

42.82 45.25

CUADRO 8: Cálculo de la evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite.

MES	DURACION (días)	T° C	1.514 $(\frac{T}{5})$	a	$Et=1.6(\frac{10T}{1})^a$	DURACION DEL FOTOPERIODO.	EVAPOTRANSPIRA- CION AJUSTADA (cm)
Enero	1	24.86	11.34	3.86	10.344	.97	.33
Febrero	28	25.54	11.81		11.48	.91	9.75
Marzo	31	28.04	13.60		16.46	1.03	17.51
Abril	22	28.66	14.06		17.90	1.04	13.66
Mayo		28.95	14.28				
Junio		27.12	12.93				
Julio		27.02	12.86				
Agosto		26.99	12.84				
Septiembre		26.76	12.68				
Octubre		26.63	12.58				
Noviembre		25.7	11.92				
Diciembre		26.27	12.33				

$\Sigma = 153.23$

Evapotranspiración potencial = 41.25 cms.

CUADRO 9: Determinación de la evapotranspiración quincenal y total por la fórmula de Hargreaves para melón. Período del 30-01-82 al 22-04-82.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)		Correcciones		Evapo-transpiración quincenal. (mm)
MES	Frac--ción quincenal.	T °C	* d	Humedad relativa media al medio día. (Hn)	17.37 (1-.01 Hn)	** K	Producto de las columnas: 1x2x3x5x6	Viento +30%	Insolación -15.3%	
Ene.	0.067	24.86	0.512	45.76	9.42	0.12	0.96	0.29	0.15	1.1
Feb.	1.00	25.54	0.499	43.08	9.89	0.26	32.77	9.83	5.01	37.59
Feb.	0.87	25.54	0.499	43.08	9.89	0.47	51.54	15.46	7.88	59.12
Mar.	1.033	28.04	0.606	40.46	10.34	0.60	108.90	32.67	16.66	124.91
Mar.	1.033	28.04	0.606	40.46	10.34	0.58	105.27	31.58	16.11	120.74
Abr.	1.00	28.66	0.554	42.98	9.904	0.40	62.90	18.87	9.62	72.15
Abr.	0.47	28.66	0.554	42.98	9.904	0.17	12.56	3.77	1.92	14.41

Evapotranspiración total 430.02 mm

* d = Coeficiente mensual de duración del día que equivale al 12% del porcentaje mensual de horas luz con respecto al total anual.

** K = Coeficiente del cultivo. Fuente: Grassi, 1975.

CUADRO 10: Cálculo de la evapotranspiración quincenal y total de melón por el método de Blaney-Criddle modificado por Phelan, en la región del Valle de la Fragua.

MES	Fracción quince-- nal.	T° C	P %	$\frac{T+17.8}{21.8}$	f	Kt	fKt	* Kc	Et	Et' quincenal (cm)	Et' Ac. (cm)
Enero	.067	24.86	4.27	1.95	.558	1.014	.566	.45	.255	.265	.265
Febrero	1.00	25.54	4.16	1.988	8.27	1.035	8.56	.53	4.537	4.714	4.979
Febrero	.87	25.54	4.16	1.988	7.195	1.035	7.45	.7	5.215	5.415	10.394
Marzo	1.033	28.04	5.05	2.103	10.974	1.113	12.214	.82	10.015	10.406	20.8
Marzo	1.033	28.04	5.05	2.103	10.974	1.113	12.214	.76	9.283	9.645	30.445
Abril	1.00	28.66	4.62	2.131	9.845	1.132	11.146	.7	7.802	8.106	38.551
Abril	.47	28.66	4.62	2.131	4.627	1.132	5.238	.65	3.405	3.538	42.09

$K = 0.80$; $K' = 40.51/52.44 = 0.77$ 52.44

$K/K' = 1.039$; $Et' = 1.039 Et$

* Kc = Coeficiente del cultivo. Fuente: Aguilera, 1979.

40.51 42.09

CUADRO 11: Características físicas del suelo. Cultivo tomate.

Espesor del estrato (cms)	Textura	* Densidad aparente gr/cc	Capacidad de campo 1/3 ATM %	Punto de marchitez permanente. 15 ATM %	Humedad aprovechable. %
0-30	Franco arcillo arenoso	1.785	26.54	19.30	7.24
30-60	Franco arcillo arenoso	1.751	27.94	17.36	10.58
60-90	Arcilla	1.699	33.44	22.89	10.55

* La densidad aparente se determinó con equipo Uhland.

Los datos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente se expresan con % de humedad en base a peso del suelo seco y fueron determinados en el laboratorio de suelos del I.C.T.A.

Nivel mínimo de humedad:

$$NMH = PMP_{30} + 30\% HA = 19.30 + 2.72 = 21.47\%$$

CUADRO 12: Cálculo de láminas consumidas por evapotranspiración para tomate en un suelo franco arcillo arenoso.

Profundidad (cms)	Densidad aparente	P _p DR	P _p AR	P _p DR-AR	Lámina consumida (cms)	Lámina total consumida (cms)
0-30	1.785	26.54	19.86	6.68	3.58	
30-60	1.751	22.69	20.80	1.89	0.99	4.57
0-30	1.785	24.80	19.65	5.15	2.76	
30-60	1.751	22.33	21.40	0.93	0.49	3.25
0-30	1.785	24.92	18.51	6.41	3.43	
30-60	1.751	22.52	19.77	2.75	1.45	4.88
0-30	1.785	25.23	20.37	4.86	2.60	
30-60	1.751	22.86	20.92	1.94	1.02	3.62
0-30	1.785	25.63	18.87	6.76	3.62	
30-60	1.751	25.94	19.30	6.64	3.49	7.11
0-30	1.785	24.23	20.24	3.99	2.14	
30-60	1.751	22.93	20.24	2.69	1.41	3.55
0-30	1.785	26.61	19.65	6.96	3.73	
30-60	1.751	23.15	22.10	1.05	0.55	4.28
0-30	1.785	25.62	18.45	7.17	3.84	
30-60	1.751	24.56	21.82	2.74	1.44	5.28
0-30	1.785	26.89	19.72	7.17	3.84	
30-60	1.751	24.59	21.19	3.40	1.79	5.63
0-30	1.785	24.09	19.58	4.51	2.42	
30-60	1.751	23.55	22.34	1.21	0.64	3.06
0-30	1.785	24.16	19.50	4.66	2.50	
30-60	1.751	25.59	20.07	5.52	2.90	5.40

Evapotranspiración del ciclo = 50.63 cms

P_p = Porcentaje de humedad en peso

AR = Antes de riego

Dr = Después de riego

CUADRO 13: Láminas consumidas por evapotranspiración y evaporación en tanque para tomate en un suelo franco arcillo arenoso.

Tiempo acumulado (días)	fecha	Evapotranspiración cms		Evaporación (cms)	
		p/fecha	acumulada	p/fecha	acumulada
-	Nov. 12	-	-	-	-
7	Nov. 19	4.57	4.57	6.22	6.22
14	Nov. 26	3.25	7.82	4.04	10.26
24	Dic. 6	4.88	12.70	5.85	16.11
33	Dic. 15	3.62	16.32	5.46	21.57
45	Dic. 27	7.11	23.43	6.94	28.51
54	Ene. 5	3.55	26.98	5.65	34.16
64	Ene. 15	4.28	31.26	6.15	40.31
73	Ene. 24	5.28	36.54	5.95	46.26
83	Feb. 3	5.63	42.17	6.30	52.46
91	Feb. 11	3.05	45.22	5.63	58.09
99	Feb. 19	5.40	50.62	6.66	64.75

CUADRO 14: Características físicas del suelo. Cultivo tomate y melón.

Espesor del estrato (cms)	Textura	* Densidad aparente gr/cc	Capacidad de campo 1/3 ATM %	Punto de marchitez permanente. 15 ATM %	Humedad aprovechable. %
0-30	Arcilla	1.5	** 33.62	18.78	14.84
30-60	Franco arcilloso	1.472	35.34	21.74	13.60
60-90	Franco	1.607	20.11	10.32	9.79

* Se determinó con equipo Uhland.

** Se determinó por el método de campo.

Las determinaciones se efectuaron en el laboratorio de suelos del I.C.T.A.

Nivel mínimo de humedad:

$$\text{NMH} = \text{PMP}_{30} + 18.78 + 4.45 = 23.23\%$$

CUADRO 15: Cálculo de láminas consumidas por evapotranspiración para tomate en un suelo arcilloso.

Profundidad (cms)	Densidad aparente	P _p DR	P _p AR	P _p DR-AR	Lámina consumida (cms)	Lámina total consumida (cms)
0-30	1.500	33.62	28.21	5.41	2.44	
30-60	1.472	30.50	28.18	2.32	1.25	3.69
0-30	1.500	33.49	28.14	5.35	2.41	
30-60	1.472	29.62	28.13	1.49	0.66	3.07
0-30	1.500	33.31	26.12	7.19	3.24	
30-60	1.472	27.15	27.52	-	-	3.24
0-30	1.500	33.94	24.99	8.95	4.03	
30-60	1.472	29.78	26.00	3.78	1.67	5.70
0-30	1.500	33.26	24.83	8.43	3.79	
30-60	1.472	29.03	23.02	6.01	2.65	6.44
0-30	1.500	32.31	24.04	8.27	3.72	
30-60	1.472	28.76	26.66	2.10	0.93	4.65
0-30	1.500	30.88	25.16	5.72	2.57	
30-60	1.472	28.32	26.02	2.30	1.02	3.59
0-30	1.500	32.10	24.30	7.80	3.51	
30-60	1.472	28.32	25.32	3.00	1.33	4.84
0-30	1.500	32.88	25.69	7.19	3.24	
30-60	1.472	29.90	25.51	4.30	1.94	5.18
0-30	1.500	33.14	24.26	8.88	4.00	
30-60	1.472	28.39	23.26	5.13	2.27	6.27
0-30	1.500	31.55	28.31	3.24	1.46	
30-60	1.472	28.39	26.29	2.10	0.93	2.39

Evapotranspiración del ciclo = 49.06 cms

P_p = Porcentaje de humedad en peso

AR = Antes de riego

Dr = Después de riego

CUADRO 16: Láminas consumidas por evapotranspiración y láminas evaporadas en tanque. Cultivo tomate, suelo arcilloso.

Tiempo acumulado (días)	fecha	Evapotranspiración cms		Evaporación cms	
		p/fecha	acumulada	p/fecha	acumulada
-	Nov. 12	-	-	-	-
7	Nov. 19	3.69	3.69	6.22	6.22
14	Nov. 26	3.07	6.76	4.04	10.26
25	Dic. 7	3.24	10.00	6.39	16.65
35	Dic. 17	5.70	15.70	6.26	22.91
45	Dic. 27	6.44	22.14	5.60	28.51
55	Ene. 6	4.65	26.79	6.47	34.98
64	Ene. 15	3.59	30.38	5.33	40.31
74	Ene. 25	4.84	35.22	6.60	46.91
84	Feb. 4	5.18	40.40	7.27	54.18
94	Feb. 14	6.27	46.67	7.42	61.60
99	Feb. 19	2.39	49.06	3.14	64.74

CUADRO 17: Características físicas del suelo. Cultivo melón.

Espesor del estrato (cms)	Textura	*Densidad aparente gr/cc	Capacidad de campo 1/3 ATM %	Punto de marchitez permanente. 15 ATM %	Humedad aprovechable. %
0-30	Franco arcillo arenoso	1.64	** 22.00	13.39	8.61
30-60	Franco arcillo arenoso	1.85	17.05	11.84	5.21

* Se determinó con equipo Uhland.

** Se determinó por el método de campo.

Las determinaciones físicas se efectuaron en el laboratorio de suelos de I.C.T.A.

Nivel mínimo de humedad:

$$NMH = PMP_{30} + 30\% HA = 13.39 + 2.58 = 15.97\%$$

CUADRO 18: Cálculo de láminas consumidas por evapotranspiración para melón en un suelo franco arcillo arenoso.

Profundidad (cms)	Densidad aparente	P _P DR	P _P AR	P _P DR-AR	Lámina consumida (cms)	Lámina total consumida (cms)
0-30	1.64	22.00	18.54	3.46	1.70	
30-60	1.85	17.40	14.41	2.99	1.66	3.36
0-30	1.64	22.10	16.47	5.63	2.77	
30-60	1.85	16.16	14.62	1.54	0.85	3.62
0-30	1.64	19.87	16.66	3.21	1.58	
30-60	1.85	17.24	14.07	3.17	1.17	3.35
0-30	1.64	19.66	17.50	2.16	1.06	
30-60	1.85	14.74	13.89	0.85	0.47	1.53
0-30	1.64	21.31	16.01	5.30	2.61	
30-60	1.85	18.69	14.53	4.16	2.31	4.92
0-30	1.64	19.98	14.50	5.48	2.70	
30-60	1.85	18.51	15.80	2.71	1.50	4.20
0-30	1.64	22.84	14.05	8.79	4.32	
30-60	1.85	17.83	13.66	4.17	2.31	6.63
0-30	1.64	19.48	15.49	3.99	1.96	
30-60	1.85	14.97	14.37	0.60	0.33	2.29
0-30	1.64	20.50	14.77	5.73	2.82	
30-60	1.85	18.84	13.30	5.54	3.07	5.89
0-30	1.64	20.19	15.09	5.10	2.51	
30-60	1.85	20.42	12.79	7.63	4.23	6.74
0-30	1.64	20.20	14.82	5.38	2.65	
30-60	1.85	13.34	12.95	0.39	0.22	2.87
0-30	1.64	20.30	13.96	6.34	3.12	
30-60	1.85	16.45	13.68	2.77	1.54	6.66

Evapotranspiración del ciclo = 50.06 cms

P_P = Porcentaje de humedad en peso

AR = Antes de riego

DR = Después de riego

CUADRO 19: Láminas consumidas por evapotranspiración y láminas evaporadas en tanque. Cultivo melón, suelo franco arcillo arenoso.

Tiempo acumulado (días)	fecha	Evapotranspiración cms		Evaporación cms	
		p/fecha	acumulada	p/fecha	acumulada
-	Ene. 30	-	-	-	-
10	Feb. 9	3.36	3.36	7.16	7.16
17	Feb. 16	3.62	6.98	6.00	13.16
23	Feb. 22	3.35	10.33	3.58	16.74
32	Mar. 3	1.53	11.86	7.00	23.74
38	Mar. 9	4.92	16.78	5.24	28.98
45	Mar. 16	4.20	20.98	6.40	35.38
52	Mar. 23	6.63	27.61	7.05	42.43
58	Mar. 29	2.29	29.90	5.34	47.77
62	Abr. 2	5.89	35.79	4.03	51.80
67	Abr. 7	6.74	42.53	4.76	56.56
74	Abr. 14	2.87	45.40	7.93	64.49
82	Abr. 22	4.66	50.06	8.86	73.35

CUADRO 20: Cálculo de láminas consumidas por evapotranspiración para melón en un suelo arcilloso.

Profundidad (cms)	Densidad aparente *	P _p DR	P _p AR	P _p DR-AR	Lámina consumida (cms)	Lámina total consumida (cms)
0-30	1.500	31.70	27.58	4.12	1.85	
30-60	1.472	31.70	23.14	5.90	2.61	4.46
0-30	1.500	33.79	27.95	5.84	2.63	
30-60	1.472	31.12	26.85	4.27	2.02	4.65
0-30	1.500	32.33	27.55	4.78	2.15	
30-60	1.472	28.29	28.11	0.18	0.08	2.23
0-30	1.500	32.59	24.00	8.59	3.86	
30-60	1.472	29.96	21.07	8.89	3.93	7.78
0-30	1.500	32.60	21.88	10.72	4.82	
30-60	1.472	29.68	25.09	4.59	2.27	7.09
0-30	1.500	28.81	25.37	3.44	1.55	
30-60	1.472	27.98	25.13	2.85	1.26	2.81
0-30	1.500	30.50	23.64	6.86	3.09	
30-60	1.472	28.75	23.63	5.12	2.26	5.35
0-30	1.500	31.28	23.38	7.90	3.56	
30-60	1.472	27.53	21.49	6.04	2.67	6.23
0-30	1.500	32.07	27.84	4.23	1.90	
30-60	1.472	27.49	26.95	0.54	0.24	2.14

Evapotranspiración del ciclo = 42.74 cms

P_p = Porcentaje de humedad en peso

AR = Antes de riego

DR = Después de riego

* Datos del cuadro 14

CUADRO 21: Láminas consumidas por evapotranspiración y láminas evaporadas en tanque. Cultivo melón, suelo arcilloso.

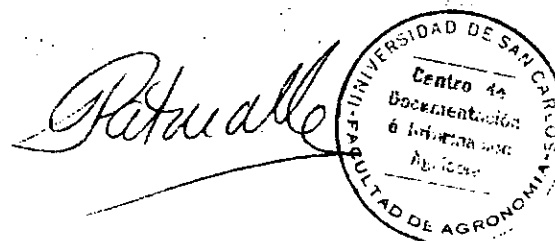
Tiempo acumulado (días)	fecha	Evapotranspiración cms		Evaporación cms	
		p/fecha	acumulada	p/fecha	acumulada
-	Ene. 30	-	-	-	-
10	Feb. 9	4.46	4.46	7.16	7.16
20	Feb. 19	4.65	9.11	8.33	15.49
32	Mar. 3	2.23	11.34	8.25	23.74
44	Mar. 15	7.78	19.12	10.81	34.55
56	Mar. 27	7.09	26.21	11.01	45.56
62	Abr. 2	2.81	29.02	6.27	51.83
69	Abr. 9	5.35	34.37	6.77	58.60
77	Abr. 17	6.23	40.60	9.04	67.64
82	Abr. 22	2.14	42.74	5.71	73.35

9. BIBLIOGRAFIA:

1. AGUILERA CONTRERAS, M. Relaciones agua - suelo - planta - atmósfera. Tesis Ing. Agr. Chapingo, México, Universidad de Chapingo, Facultad de Agronomía, 1979. 321 p.
2. ADORENBOS, J. et al. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, -- 1979. pp. 163 - 166 (Riego y drenaje).
3. ESTADOS UNIDOS DE AMERICA, DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA SERVICIO DE CONSERVACION DE SUELOS. Relación entre suelo - planta - agua. Traducido por Emilio Avila de la Torre. México, Diana, 1972. pp. 54 - 60.
4. GAVANDE, S.A. Física de suelos principios y aplicaciones. México, Limusa, 1976. 352 p.
5. GRASSI, C.J. Estimación de los usos consuntivos de agua y requerimientos de riego con fines de formulación y - diseño de proyectos. Mérida, Venezuela, CIDIAT, 1975. 88 p. (Material de enseñanza No. 53).
6. -----. Operación y conservación de sistemas de riego. Mérida, Venezuela, CIDIAT, 1976. 230 p.
7. -----. Aspectos metodológicos para la determinación - experimental de la evapotranspiración y la frecuencia de riego. Mérida, Venezuela, CIDIAT, 1978. 110 p. - (Material didáctico RD-26).
8. -----. Métodos de riego. Mérida, Venezuela, CIDIAT, - 1978. 265 p.
9. GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL FORESTAL. Clasificación de zona de vida de Guatemala basado en el sistema Holdridge. Guatemala, 1976. 24 p.
10. -----. DIRECCION DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES. -- Determinación del uso consuntivo por el método gravimétrico. Guatemala, 1979. 16 p.
11. -----. INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS. - Condiciones agro-socioeconómicas del proyecto de riego - Zacapa, informe de un sondeo. Guatemala, 1979. 26 p.

12. -----, DIRECCION DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES. --
Estadísticas agrícolas de las unidades de riego, ciclo agrícola 1979-80. Guatemala, 1980 335 p. ----
(Boletín No. 7).
13. GUERRA, G. Manual de administración de empresas agrope---
cuarias. San José, Costa Rica, IICA, 1980 pp. 326 -
337. (Material educativo No. 30).
14. GUTIERREZ, O. Introducción a la evaporación y evapotrans-
piración. Mérida, Venezuela, CIDIAT, 1975. 13 p.
15. HOLDRIDGE, L.R. Ecología basada en zonas de vida. San -
José, Costa Rica, IICA, 1979. pp. 1 - 107 (Mate-
rial educativo No. 34).
16. ISRAELSEN, O.W. y HANSEN, V.E. Principios y aplicaciones
del riego. Traducida por Alberto García. 2a ed, Bar-
celona, España. Reverté, 1965. 396 p.
17. MASAYA ANDRADE, R. Deficiencias en la operación de unida-
des de riego de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala,
Universidad San Carlos, Facultad de Agronomía, 1979.
108 p.
18. PALACIOS VELEZ, E. Cuanto, cuando y como regar. México,
Dirección General de Distritos de Riego. Memorandum
Técnico No. 195, 1963. 138 p.
19. SIMMONS, C.S. TARANO, J.M. y PINTO, J.H. Clasificación
de reconocimiento de los suelos de la república de -
Guatemala. Guatemala, José de Pineda Ibarra, 1959.
pp. 445 - 470.

* * * * *



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia

Asunto

"IMPRIMASE"



ING. AGR. CESAR A. CASTAÑEDA S.
D E C A N O