

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

"EVALUACION DEL RENDIMIENTO DE SEIS FRECUENCIAS DE RIEGO  
SOBRE EL CULTIVO DEL BROCOLI (*Brassica oleraceae* Var.  
*itálica* L.), USANDO EL METODO DEL BALANCE HIDRICO, TIPO  
FAO/OMM, EN LA UNIDAD DE RIEGO LAGUNA EL HOYO, MONJAS,  
JALAPA".

T E S I S

Presentada a la Honorable Junta Directiva de la  
Facultad de Agronomía de la  
Universidad de San Carlos de Guatemala

P O R

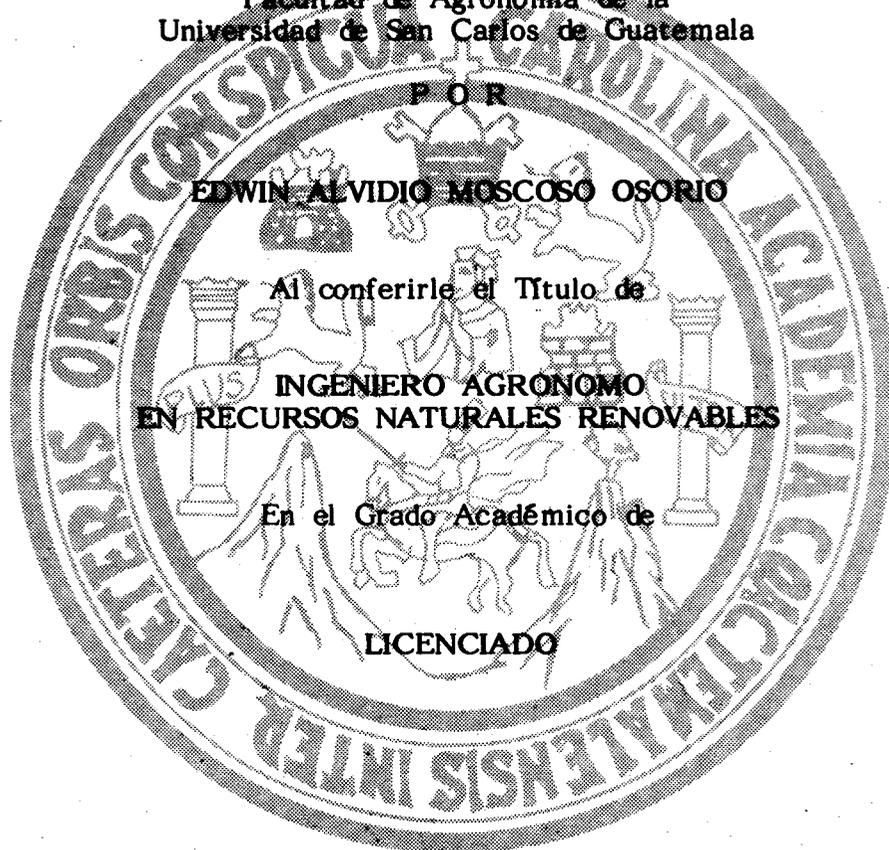
EDWIN ALVIDIO MOSCOSO OSORIO

Al conferirle el Título de

INGENIERO AGRONOMO  
EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

En el Grado Académico de

LICENCIADO



Guatemala, mayo de 1990

DL  
01  
T(1193)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Lic. Roderico Segura Trujillo

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

- DECANO: Ing. Agr. Anibal B. Martínez M.
- VOCAL PRIMERO: Ing. Agr. Gustavo Adolfo Méndez G.
- VOCAL SEGUNDO: Ing. Agr. Efraín Medina G.
- VOCAL TERCERO: Ing. Agr. Wotzbelí Méndez Estrada
- VOCAL CUARTO: P. A. Hernán Perla González
- VOCAL QUINTO: P. A. Julio López Maldonado
- SECRETARIO: Ing. Agr. Rolando Lara Alecio.



Referencia .....
Asunto .....
.....

FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

28 de marzo de 1990.

Ingeniero Agrónomo  
Hugo A. Tobias Velásquez  
Director del Instituto de  
Investigaciones Agronómicas, IIA  
Facultad de Agronomía.

Ingeniero Tobias:

De manera atenta informamos a usted que hemos revisado el trabajo de tesis del estudiante EDWIN ALVIDIO MOSCOSO OSORIO, Carnet 8312396, titulado: "EVALUACION DEL RENDIMIENTO DE SEIS FRECUENCIAS DE RIEGO SOBRE EL CULTIVO DEL BROCOLI (Brassica oleraceae var. itálica L.), USANDO EL METODO DEL BALANCE HIDRICO TIPO FAO/OMM, EN LA UNIDAD DE RIEGO LAGUNA EL HOYO, MONJAS, JALAPA, el cual reúne los requisitos científicos para ser aceptado como tal.

Cordialmente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Agr. M. S. Jorge Sandoval  
ASESOR

Ing. Agr. M. A. Jorge Sánchez  
ASESOR

Guatemala, marzo de 1990.

Honorable Junta Directiva  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala.

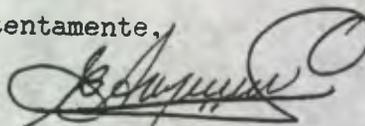
Señores Miembros:

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

"EVALUACION DEL RENDIMIENTO DE SEIS FRECUENCIAS DE RIEGO SOBRE EL CULTIVO DEL BROCOLI (Brassica oleraceae var. itálica L.), USANDO EL METODO DEL BALANCE HIDRICO, TIPO FAO/OMM EN LA UNIDAD DE RIEGO LAGUNA EL HOYO, MONJAS, JALAPA"

Al presentarlo como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Atentamente,



Edwin Alvidio Moscoso Osorio

TESIS QUE DEDICO

A mi patria Guatemala

A la aldea Tobar San José La Arada

A la Universidad de San Carlos de Guatemala

A la Facultad de Agronomía

A la unidad de Riego "Laguna El Hoyo"

ACTO QUE DEDICO

A MI MADRE:

Sra. María Bertila Osorio

Por todo el esfuerzo y sacrificio realizados para que yo me encaminara por el sendero de la superación.

A MIS HERMANOS:

Faber Andino y Mariano Efraín.

A MIS ABUELOS:

Sr. Mariano Osorio Q.E.D.

Sra. Virginia Lemus De Osorio Q.E.D.

Por su sacrificio y por su gran deseo hacia mi superación.

A MI TIA:

Sra. Ilma Rosa Osorio

A MIS AMIGOS Y COMPANEROS DE ESTUDIO:

## AGRADECIMIENTOS

A MIS ASESORES:

Ing. Agr. Jorge Sandoval  
Ing. Agr. Jorge Sánchez

Por su ayuda desinteresada en la tarea de estructuración y revisión de la presente tesis.

A MIS COMPANEROS UNIVERSITARIOS, en especial a los que forman parte de la Subárea de Matemática y Física de la Facultad de Agronomía, por toda la ayuda y comprensión brindada en la búsqueda de mejores derroteros.

A LOS INGENIEROS AGRONOMOS:

Fernando Garrido y Alvaro Orellana

Por su colaboración en el establecimiento y conducción del trabajo de campo.

A todos aquéllos que de alguna manera colaboraron en la realización del presente trabajo.

## I N D I C E

Página

DESCRIPCION	
Resumen	1
1. Introducción	4
2. Hipótesis	6
3. Objetivos	7
4. Revisión de Literatura	8
4.1 Generalidades del brócoli	8
4.2 Factores que afectan los requerimientos de agua de los cultivos	10
4.3 Necesidades hídricas de los cultivos	10
4.4 Necesidades de agua del brócoli y sus efectos sobre el desarrollo del mismo	11
4.5 Frecuencia y Programación del riego	13
4.6 Evapotranspiración	14
4.6.1 Evapotranspiración Potencial	14
4.6.2 Evapotranspiración Real (Etr)	17
4.6.3 Evapotranspiración máxima (Etm)	18
4.7 El Balance Hídrico	18
5. Metodología	21
5.1 Ubicación y descripción del área experimental	21
5.2 Análisis y determinaciones previas del experimento	22
5.3 Manejo del Cultivo	24
5.4 Diseño estadístico, área del experimento y variables respuesta	26
5.5 Manejo del Experimento	27
5.5.1 Trazo del experimento	27

5.5.2 Método de Riego	28
5.5.3 Lámina de agua a reponer en cada riego	28
5.6 Método de análisis de resultados	32
6. Resultados y Discusión	33
6.1 Variables Respuesta	33
6.2 Uso del Agua	35
7. Conclusiones	40
8. Recomendaciones	42
9. Bibliografía	43
10. Apéndice	45

## Indice de Cuadros

	DESCRIPCION	Página
Cuadro 1.	Requerimientos nutricionales del brócoli según diferentes fuentes bibliográficas.....	9
Cuadro 2.	Resultados del análisis químico del suelo.....	23
Cuadro 3.	Propiedades físicas del suelo.....	24
Cuadro 4.	Rendimiento promedio de inflorescencia exportable en tm/ha.....	33
Cuadro 5.	Láminas de agua, tiempo de riego y totales de los mismos.....	35
Cuadro 6.	Rendimiento de inflorescencia exportable en tm/ha.....	58
Cuadro 7.	Análisis de varianza para el rendimiento de florescencia en tm/ha.....	58
Cuadro 8.	Prueba de tukey para el rendimiento de inflorescencia en tm/ha.....	58
Cuadro 9.	Insolación máxima posible (N).....	62
Cuadro 10.	Presión de vapor (ea) expresada en milibares como función de la temperatura.....	63
Cuadro 11.	Radiación extraterrestre en mm/día.....	64
Cuadro 12.	Radiación en cuerpo negro en mm de agua en función de la temperatura (F(t)).....	65
Cuadro 13.	Valores del factor de ponderación (w) del efecto de la radiación sobre Etp para distintas temp. y altit.....	66
Cuadro 14.	Factor de ajuste (c) en la ecuación de Penman Modificada.....	67
Cuadro 15.	Fracción de agotamiento del agua del suelo para grupos de cultivos y evapotranspiración máxima.....	68
Cuadro 16.	Cálculo de lámina a aplicar en cada riego, utilizando el balance hídrico.....	70

## Indice de Figuras

Fig. 1.	Plano del experimento y asignación aleatoria de los tratamientos.....	46
Fig. 2.	Agotamiento de la humedad aprovechable en el tratamiento F-7.....	47
Fig. 3.	Agotamiento de la humedad aprovechable en el tratamiento F-V.....	48
Fig. 4.	Agotamiento de la humedad aprovechable en el tratamiento F-10.....	49
Fig. 5.	Agotamiento de la humedad aprovechable en el tratamiento F-14.....	50
Fig. 6.	Agotamiento de la humedad aprovechable en el tratamiento F-17.....	51
Fig. 7.	Agotamiento de la humedad aprovechable en el tratamiento F-21.....	52
Fig. 8.	Distribución gráfica de la humedad relativa máxima.....	53
Fig. 9.	Distribución gráfica del brillo solar.....	54
Fig. 10.	Distribución gráfica de la temperatura máxima.....	55
Fig. 11.	Distribución gráfica de la temperatura mínima.....	56
Fig. 12.	Distribución gráfica de la evaporación en tanque tipo "A" .....	57

"EVALUACION DEL RENDIMIENTO DE SEIS FRECUENCIAS DE RIEGO SOBRE EL CULTIVO DEL BROCOLI (*Brassica oleraceae* var. *italica*), USANDO EL METODO DEL BALANCE HIDRICO TIPO FAO/OMM, EN LA UNIDAD DE RIEGO "LAGUNA EL HOYO", MONJAS, JALAPA".

"YIELD EVALUATION OF SIX IRRIGATION FREQUENCIES IN BROCOLI (*Brassica oleraceae* var. *italica* L.), USING THE FAO/WMO WATER BALANCE METHOD, IN THE "LAGUNA EL HOYO", MONJAS, JALAPA IRRIGATION DISTRICT.

#### RESUMEN

El presente trabajo de investigación, sobre la evaluación de seis frecuencias de riego en el rendimiento del cultivo del brócoli (*Brassica oleraceae* var. *italica*), se realizó en la unidad de riego Laguna El Hoyo, Monjas, Jalapa, durante el periodo comprendido del 30 de octubre de 1988 al 13 de febrero de 1989, en un suelo de textura franco arcillosa.

El objetivo general de esta investigación fue evaluar el efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento del cultivo del brócoli, para la época y condiciones del área, basándose en el método del Balance Hídrico.

Los tratamientos utilizados fueron frecuencias de 7, 10, 14, 17 y 21 días, así como una frecuencia variable que se regaba cuando el balance hídrico diario mostraba que ya se había consumido el 50% de la humedad aprovechable. Estos fueron arreglados en un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones, teniendo un total de 24 parcelas, en ellas se estimó diariamente el consumo de agua por parte del cultivo, tomándose en cuenta la evapotranspiración potencial (calculada por la fórmula de Penman), el coeficiente de cultivo recomendado por FAO y la lámina de agua disponible en el suelo después de cada día.

El método de Balance Hídrico que se utilizó es el llamado Agrícola Acumulado tipo FAO/OMM, con la variante de considerar los cambios de profundidad radicular a nivel diario.

La evaluación del efecto de las diferentes frecuencias de riego sobre el rendimiento se midió a través de las variables respuesta: producción de inflorescencia exportable y no exportable y plantas vivas al final del ciclo del cultivo. Los rendimientos más altos fueron para las frecuencias de 7 y 10 días, así como para la frecuencia variable; obteniéndose 13.1, 11.54 y 11.22 TM/ha, respectivamente, no existiendo diferencia estadísticamente significativa entre sus rendimientos. Mientras que los tratamientos de 17 y 21 días arrojaron el rendimiento más bajo, siendo de 8.06 y 7.75 TM/ha, respectivamente; existiendo una diferencia significativa entre éstos y aquéllos.

Respecto al rendimiento de inflorescencia no exportable y número de plantas vivas al final del ciclo del cultivo, se encontró que todo el producto obtenido llenó los requisitos de exportación y el número de plantas se mantuvo invariable en cada tratamiento.

En cuanto al consumo de agua, se observó claramente que la cantidad de agua evapotranspirada disminuyó conforme se alargó el intervalo de riego, siendo los valores de 21.09, 20.43, 20.65, 17.77, 17.64 y 14.96 cm para las frecuencias de 7 días, variable, 10, 14, 17 y 21 días, respectivamente.

Se determinó que el agotamiento de la humedad aprovechable del suelo para las frecuencias de 7 y 10 días, así como para la frecuencia variable, fue uniforme en todo el ciclo del cultivo.

no llegándose a consumir más del 50% de la misma, mientras que para las frecuencias de 14, 17 y 21 días ocurrió el agotamiento más alto de la humedad aprovechable en las etapas de mediados de cultivo hasta la cosecha, llegando ese valor hasta un 70%. En ningún tratamiento la humedad del suelo alcanzó valores de punto de marchitez permanente.

Finalmente se recomienda continuar este tipo de investigaciones experimentales, en la misma región y cultivo para confirmar los resultados obtenidos. Mientras se confirman estos datos con más experimentación, se recomienda también que bajo condiciones de poca disponibilidad de agua en la Laguna El Hoyo, se riegue cada 14 días, ya que se observó que con este tratamiento se puede lograr el rendimiento promedio alcanzado por los agricultores.

## 1. INTRODUCCION

En Guatemala existen áreas donde la producción agrícola depende del riego, entre éstas puede mencionarse el área que maneja la unidad de riego Laguna El Hoyo, ubicada en el municipio de Monjas del departamento de Jalapa. Sin embargo, en ésta se hace una subutilización del recurso agua debido a que no hay información técnica para el lugar que recomiende la cantidad más adecuada de agua y la frecuencia con que debe aplicarse en cada cultivo.

En esta unidad, los cultivos principales son brócoli (Brassica oleraceae var. italica L.), tomate (Lycopersicon esculentum L.) y cebolla (Allium cepa L.); ocupando el primero el 50% del área de cultivo. Siendo, entonces, el brócoli el cultivo que ocupa la mayor parte del área de riego, se hace necesario realizar estudios que permitan contribuir a conocer aspectos que ayuden a la optimización del uso del agua, tales como frecuencia de riego a utilizar y la lámina de riego que se debe aplicar.

Actualmente se utiliza el agua de riego con frecuencias de 7 a 10 días, las cuáles han sido determinadas empíricamente por parte del personal de la unidad, por no contar con información técnica que indique las mejores frecuencias que deben utilizarse en función de la demanda del cultivo y disponibilidad de agua en la laguna.

Se trabajó con el cultivo de brócoli, híbrido Green Valiant, tomando como variables principales de estudio la frecuencia de riego y el rendimiento. Se utilizaron 5 tratamientos fijos de 7, 10, 14, 17 y 21 días y uno variable que dependió del requerimiento del cultivo en cada etapa de su desarrollo,

midiéndose las láminas de agua consumida y aplicadas en cada tratamiento, mediante el método de Balance Hídrico Acumulado.

El trabajo de campo se realizó durante el período comprendido del 30 de octubre de 1988 al 13 de febrero de 1989, en un suelo de textura franco arcillosa.

## 2. HIPOTESIS

2.1 Los rendimientos obtenidos en el cultivo del brócoli, serán diferentes con la aplicación de las frecuencias de riego de 7, 10, 14, 17 y 21 días, así como con la frecuencia variable, aplicada cuando el 50% de la humedad aprovechable en el suelo haya sido consumida.

2.2 El consumo de agua del cultivo será diferente en los tratamientos regados con distinto intervalo de riego.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo General

Evaluar el efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento del cultivo del brócoli para la época y condiciones edáficas y climáticas del área, basándose en el método del Balance Hídrico.

#### 3.2 Objetivos Generales

3.2.1. Determinar la frecuencia de riego más adecuada para el cultivo y las condiciones del área.

3.2.2. Determinar la lámina total de agua consumida por el cultivo en cada tratamiento.

3.2.3. Establecer el grado de agotamiento de la humedad aprovechable.

#### 4. REVISION DE LITERATURA

##### 4.1 Generalidades del brócoli

La hortaliza denominada brócoli (Brassica oleraceae var. itálica) pertenece a la familia de las crucíferas, del grupo de las coles. Produce brotes o inflorescencias en forma de cabezas aéreas de color verde azulado, su ciclo vegetativo fluctúa entre 120 y 150 días, es de crecimiento erecto, alcanzando alturas que oscilan entre 50 y 70 cms., la inflorescencia es granulada finamente, con un diámetro de 12 a 15 cms.

El producto comercial principal es la inflorescencia o brote de la primera cosecha, pudiéndose obtener una segunda cosecha de brotes laterales que se desarrollan después del corte de la cosecha principal, éstos pueden llegar a medir desde 2.5 a 7.5 cms de diámetro en su estado de madurez. La planta emite entre 9 y 11 hojas grandes que contienen nutrientes para uso en la alimentación de ganado. (4)

El brócoli es una hortaliza de clima fresco o templado, la temperatura óptima es de 16 a 18 grados centígrados (C), tolera temperaturas entre 15 y 23 C; a temperaturas mayores de 24 C la planta permanece latente sin florecer, continúa formando más follaje o las inflorescencias se pigmentan de un color púrpura. (3)

Para la siembra, el terreno se prepara arando y volteando el suelo a una profundidad de 20 a 30 cms, para lograr un adecuado grado de humedad, evitar la compactacion y formacion de terrones, después de haber arado el terreno se dan dos pasadas de rastra.

Las densidades de siembra más recomendadas en brócoli son:

Distancia entre surcos	Distancia entre plantas	No. de plantas por ha.
45	45	49381
45	30	74073
50	25	80000
60	25	66665
70	20	71429

Las recomendaciones que hace ICTA para el cultivo de brócoli, en cuanto a fertilización, consiste en una primera aplicación de 8 a 9 quintales de 15-15-15, a los 10 días después del trasplante y una segunda aplicación de 2 a 3 qq./mz de urea al 46% de N a los 30 días después del trasplante, para que de resultados satisfactorios. (14)

En el cuadro 1 se incluyen los requerimientos nutricionales del brócoli, según varias fuentes bibliográficas.

Cuadro 1. Requerimientos nutricionales del cultivo de Brócoli según diferentes fuentes bibliográficas.

Nutrimiento	Niveles Kg/ha	Fuente Bibliográfica
N	303	Thompson
	195	Gudiel
	197	Limongelli
P O 2 5	70	Thompson
	78	Gudiel
K O 2	280	Thompson
	247	Gudiel
B	5.6 a 33.6 44% B	Edmond, Senn y Andrews
	11.2 a 56 borax	Tisdale y Nelson

Fuente: VEGA GONZALEZ, FRANCISCO, 1987. (17)

4.2 Factores que afectan los requerimientos de agua de los cultivos.

En términos generales, los factores que afectan las necesidades de agua de los cultivos son: radiación, horas de brillo solar, temperatura del aire, precipitación, humedad relativa, velocidad del viento y período libre de heladas. (9)

Otros factores muy importantes son la fertilidad y salinidad, la fertilización aumenta el desarrollo de las plantas con lo que las necesidades se reducen proporcionalmente, es decir, a mayor fertilidad menor necesidad de agua, pues ésta se usa más eficientemente. (9)

#### 4.3 Necesidades hídricas de los cultivos

Muchos procesos que ocurren en las plantas son afectados por el agua, sin embargo, la relación entre ellas no es simple, varía con las características de la planta, estado de desarrollo, condiciones del suelo y condiciones climáticas.

Estas relaciones se hacen más complejas bajo condiciones de estrés hídrico. Así por ejemplo, las deficiencias de agua no solamente reduce el rendimiento, sino que afecta el patrón de crecimiento. En general, la profundidad efectiva de raíces disminuye cuando aumentan los niveles de humedad en el suelo, esas raíces son más gruesas, menos ramificadas y más cortas. La relación raíz/tallo generalmente aumenta con el estrés hídrico. La calidad del rendimiento económico, formación de flores y producción de semillas son todos influenciados por las

condiciones de humedad.

Los efectos de la escasez de agua sobre los rendimientos resultan muy importantes durante ciertos periodos de crecimiento de algunos cultivos. Para la mayoría de los cultivos extensivos, las fases más críticas son el establecimiento o germinación y los cambios del estado vegetativo al reproductivo, incluyendo la floración y formación de la cosecha.

En cuanto a la obtención de rendimientos altos, los cultivos tienen diferentes necesidades, en términos del grado de agotamiento de la humedad del suelo que pueden tolerar. La evidencia experimental indica que cultivos como la mayoría de las hortalizas producen el máximo rendimiento cuando la humedad del suelo es mantenida a un nivel superior del 50% de la humedad disponible. (5,6)

#### 4.4 Necesidades de agua del brócoli y sus efectos sobre el desarrollo del mismo.

Las necesidades de agua de las crucíferas, donde se incluye el brócoli, varía de 300 a 500 mms, dependiendo del clima y de la duración de la estación vegetativa. La transpiración del cultivo aumenta durante el periodo de desarrollo llegando a su tasa máxima al final de la estación. El coeficiente Kc, de acuerdo a la fase de desarrollo es la siguiente:

Fase	Kc	Duración en días
Inicial	0.4 - 0.5	20 - 30
Desarrollo	0.7 - 0.8	30 - 35
Mediados periodo	0.95- 1.1	20 - 30
Finales periodo	0.90- 1.0	10 - 20
Recolección	0.80- 0.95	- -

En donde, el estado inicial comprende la germinación y el crecimiento inicial del cultivo hasta que llega a cubrir aproximadamente un 10% del suelo.

El estado de desarrollo comprende desde el fin del estado previo hasta que el cultivo cubre cerca del 80% del suelo.

El estado de mediados de periodo comprende desde el fin del estado anterior hasta la iniciación de la inflorescencia.

El estado de finales de cultivo abarca desde el inicio de la inflorescencia hasta la recolección.

A medida que aumenta el desarrollo del cultivo el requerimiento de agua es mayor. Durante el desarrollo lento del periodo vegetativo, el deficit de agua influye poco en el rendimiento del cultivo; en tanto que el suministro limitado de agua sobre la disminución de la cosecha se hace cada vez más notable hasta el final del periodo vegetativo. (5)

La cosecha de brócoli con deficit de agua provoca sobremadurez de la inflorescencia tornándose de un color amarillo, lo que la hace inaceptable para ser comercializada.

La falta de humedad, un drenaje deficiente, un ataque de insectos o alguna deficiencia de algún elemento nutritivo, ocasiona un detenimiento súbito del desarrollo y dá por resultado el apareamiento de pequeñas inflorescencias o botones. (13)

Quando se riega después de un largo periodo seco, es posible que las cabezas se revienten por la repentina absorción de agua. (4)

El brócoli tiene un sistema radical extendido y somero. La

mayoría de las raíces se encuentran en la capa exterior del suelo de 0.4 a 0.5 m de profundidad, con una disminución rápida de la densidad de raíces al aumentar la profundidad del suelo. (6)

#### 4.5 Frecuencia y programación del riego.

En términos generales los factores que influyen sobre el momento más oportuno para regar son: factores edáficos, climáticos, época de siembra, necesidades de agua de los cultivos, disponibilidad de agua y capacidad de la zona radicular para el almacenamiento. Los cultivos de zona radicular superficial requieren de riegos más frecuentes que aquéllos de sistema radicular más profundo. (9,10)

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

Aunque, la aplicación de agua sea en forma adecuada, un riego muy frecuente reduce la eficiencia de aplicación al aumentarse algunas pérdidas por conducción y distribución. Sin embargo, cuando el riego es tardío, especialmente cuando la planta es muy sensible a la tensión de humedad del suelo, puede tener efectos negativos muy significativos sobre los rendimientos, no importando que el volumen de agua aplicado durante todo el ciclo vegetativo sea aproximadamente el mismo. (9)

## 4.6 Evapotranspiración

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

La evapotranspiración puede ser potencial ( $E_{tp}$ ), real ( $E_{tr}$ ) ó máxima ( $E_{tm}$ ). (6)

### 4.6.1 Evapotranspiración Potencial

Penman la define como la cantidad de agua transpirada en una unidad de tiempo por un cultivo verde y de corta altura, el cual cubre completamente la superficie del suelo, de altura uniforme y sin limitaciones de agua en ningún momento.

Este mismo científico comprobó que la evapotranspiración potencial depende del poder evaporante del aire, el cual a su vez es determinado por la radiación solar, la temperatura, el viento y la humedad del aire.

Existen diferencias apreciables entre la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración de los cultivos, esta última es la que determina las necesidades hídricas de los cultivos. Las principales diferencias tienen que ver fundamentalmente con el tipo de cultivo y el estado de desarrollo del mismo.

Considerando que existe una evidente relación entre la evapotranspiración potencial ( $E_{tp}$ ) y la evapotranspiración de los cultivos ( $E_{tc}$ ), la cual puede expresarse como  $E_{tc}/E_{tp} = K_c$  para un cultivo determinado, se deduce que  $E_{tc}$  se puede estimar

multiplicando Etp por un coeficiente de cultivo Kc, el cual fluctúa con el cultivo y su estado de desarrollo. (2)

Existen varios métodos para calcular la evapotranspiración potencial, sin embargo, en aquellas zonas en las que se disponga de datos medidos sobre la temperatura, la humedad del viento y horas de fuerte insolación o la radiación, se sugiere el empleo del método de Penman Modificado, ya que es probable que proporcione resultados más satisfactorios al predecir los efectos del clima sobre las necesidades de agua de los cultivos.

La ecuación de Penman tiene dos términos a saber: el de la energía (radiación), y el aerodinámico (viento y humedad).

En condiciones meteorológicas de calma, el término aerodinámico suele ser más pequeño que el energético. En condiciones ventosas, y especialmente en las regiones más áridas, el término aerodinámico pasa a ser relativamente más importante.

Los procedimientos de cálculo para obtener Etp pueden ser bastante complicados. Eso se debe a que la fórmula contiene más elementos que pueden derivarse de datos climáticos conocidos y relacionados cuando no se dispone de mediciones directas.

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

$$Etp = c*(w* Rn + (1-w) *f(u) * (ea - ed)) \dots\dots\dots(1)$$

Descripción de las variables de al Etp por la fórmula de Penman

Presión de Vapor (ea):

La Etp es función de la humedad del aire. Con este método

los valores de la humedad vienen expresados como deficit de la presión de saturación del vapor ( $e_a$ ), la diferencia existente entre la presión del vapor de agua media  $e_a$  y la presión real de vapor de agua media  $e_d$ .

Los datos sobre la humedad del aire se presentan de diversas formas, principalmente como humedad relativa (RH max. y RHmin en porcentajes), como mediciones psicrométricas (temp. en C en psicrómetro húmedo y seco) obtenidas con termómetros secos y húmedos, ventilados o como temperatura en el punto de rocío (t punto de rocío en C).

Función del Viento  $F(u)$ :

El término  $f(u)$  es una función relacionada con el viento. Esta función se define como:

$$f(u) = 0.27 * (1 + U / 100) \dots\dots\dots(2)$$

en donde:

U es la velocidad total del viento en km/día a una altura de 2 m.

Cuando no se compilan datos del viento a la altura de 2 metros, las correcciones aproximadas para las mediciones del viento tomadas en distintas altitudes seran las siguientes:

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

Valor medicion	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
Valor correc.	1.35	1.15	1.06	1.00	0.93	0.88	0.95	0.83	0.77

Factor de Ponderación (w):

w es un factor de ponderación correspondiente a los efectos de la radiación sobre Etp.

Radiación Neta:

La radiación neta  $R_n$ , o sea, la diferencia entre toda la radiación entrante y la saliente se puede medir, pero rara vez se dispone de estos datos. Se puede calcular  $R_n$  si se cuenta con datos medidos sobre la radiación solar, las horas de insolación, la temperatura y la humedad. Los cálculos son más sencillos y más seguros si se conoce la radiación solar.

La radiación neta total es igual a la diferencia entre la radiación solar neta de ondas cortas  $R_{ns}$  y la radiación neta de ondas largas  $R_{nl}$ , o sea,  $R_n = R_{ns} - R_{nl}$  y se expresa en mm/día.

Factor de Corrección (c):

Este factor es el que se encarga de ajustar la Etp calculada con la Etp verdadera, toma en cuenta la relación de la velocidad del viento del día y de la noche. (6)

#### 4.6.2 Evapotranspiración Real (Etr)

Se le define como la cantidad de agua que se pierde por la evapotranspiración desde la superficie del suelo y la transpiración de las plantas, bajo condiciones actuales o reales de tiempo, suelo y vegetación. La evapotranspiración real y la potencial pueden ser iguales solo cuando el suelo está a capacidad de campo y los cultivos han llegado a una fase de desarrollo en que cubren completamente el suelo. (6)

#### 4.6.3 Evapotranspiración máxima (Etm)

La evapotranspiración máxima (Etm) en mm/día del período considerado es el producto del coeficiente de cultivo y la evapotranspiración potencial (Etp) en mm/día. La Etm se refiere a aquellas condiciones en que el agua es la conveniente para un crecimiento y desarrollo sin limitaciones; Etm representa la tasa de evapotranspiración máxima de un cultivo sano, que crece en grandes campos y en condiciones óptimas de ordenación agronómica y de riego. (7)

#### 4.7 El Balance Hídrico

El término balance hídrico fue usado en 1944 por el meteorólogo C. Warren Thornwaite para referirse al balance entre el ingreso de precipitación y nieve y las salidas de agua por evapotranspiración, cantidad de humedad del suelo y escorrentía.

El balance puede ser llevado a cabo desde un simple perfil de suelo hasta en una cuenca. (7)

El balance hídrico es una técnica que permite establecer las ganancias y las pérdidas de agua que se registran en un área dada, lo cual es útil para:

- Planeación y operación adecuada del riego y el drenaje de los campos agrícolas.
- Planeación y manejo de los recursos hídricos de una región.
- Estudios de predicción de rendimientos agrícolas
- Elaboración de Calendarios Agrícolas
- Estudios de predicción de inundaciones y sequías
- La predicción de incendios forestales

- Las clasificaciones climáticas y agroclimáticas.
- Los estudios sobre lixiviación o lavado de nutrientes químicos.

Los cálculos de los balances hidricos se facilitan si se posee información de campo sobre las fluctuaciones de la humedad del suelo y la evapotranspiración, sin embargo por ser su medición difícil se debe proceder a estimarlos a través de datos meteorológicos. (2)

Los balances hidricos se pueden computar para periodos diarios, semanales, mensuales o anuales, de acuerdo a las necesidades del caso. Para fines operativos a corto plazo o mediano plazo se suelen utilizar los balances diarios y semanales, mientras que para el manejo de los recursos hidricos a largo plazo se requieren los balances mensuales. (2,7)

La esencia del balance hidrico comprende, entonces, el estudio de los aportes, el movimiento y las salidas de agua de una determinada zona, lo cual puede sintetizarse en la siguiente ecuación general:

$$P = E_{tr} + H_s + I + E \dots\dots\dots(3)$$

donde:

P= precipitación

E<sub>tr</sub>= Evapotranspiración real

H<sub>s</sub> = Cambios de humedad que se dan en el suelo

I = Infiltración que se da en las capas profundas

E = Escorrentia (2,11,12)

Sin embargo, esta ecuación se simplifica cuando el balance se lleva a cabo en una estación seca y donde haya necesidad de aplicar riegos, quedando la misma de la siguiente manera:

$$L = E_{tr} + H_s \dots\dots\dots(4)$$

donde L = lamina neta de riego aplicada (1,2,9)

## 5. METODOLOGIA

### 5.1 Ubicación y descripción del área experimental

El experimento se llevó a cabo en el área de riego de la unidad "Laguna El Hoyo", en el valle de Monjas, del departamento de Jalapa. Sus coordenadas geográficas son 14° 29' 34" de latitud y una longitud de 89° 52' 32". Su elevación es de 970 msnm.

Según Holdrige, el clima corresponde a la zona de vida Bosque Seco subtropical. La estación lluviosa para la agricultura dura unos 155 días que van desde la segunda quincena de mayo hasta la tercera semana de octubre. Cuantitativamente, en Monjas se reciben entre 950 y 1100 mm durante el año, de los cuales el 90% corresponde al período ya aludido y el resto a los meses secos, de noviembre a abril. La temperatura media anual es de 22° C, oscilando los valores extremos promedios entre 15 y 28 °C. Las máximas absolutas han llegado a 40° C en abril y mayo. Las mínimas absolutas han descendido a 1 °C en enero. La evaporación a la intemperie en tanque clase "A" es de 1800 mm al año, de los cuales el 39% corresponde a la época seca y el resto a la época lluviosa. El número de horas de brillo solar es de unas 2500 al año, registrándose un 55% en la época seca y el resto en la época lluviosa. La velocidad media del viento es de 6.5 km/h, presentando los valores más altos enero y febrero con 9 km/h, mientras que septiembre registra el valor más bajo con 5 km/h.

La topografía del área de la unidad es bastante plana, con pendientes no mayores del 5%, sus suelos pertenecen a las clases

agrológicas I y III, ocupando 302 y 147 has. respectivamente.

Cabe mencionar que dentro del área del distrito de riego existen áreas anegadas que presentan mucha dificultad para ser trabajadas.

La fuente de abastecimiento de la unidad de riego está constituida por un vaso de almacenamiento (Laguna El Hoyo). Esta fuente es surtida, por el personal de la unidad, a través de un canal que conduce agua derivada de las presas Quintanilla y Guirila.

Los principales cultivos de la temporada de riego son: brócoli (Brassica oleraceae var. italica L.), tomate (Lycopersicon esculentum L.) y cebolla (Allium cepa L.), ocupando el 50%, 17% y 16%, respectivamente del área de cultivo.

## 5.2 Análisis y determinaciones previas al experimento

Previo al establecimiento del experimento, se efectuaron análisis químicos (contenido de macronutrientes), físicos (textura, densidad aparente), así como capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Para el análisis químico se tomaron varias submuestras para luego formar una muestra compuesta del área experimental y se envió al laboratorio de suelos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, para poder contar posteriormente con recomendaciones en cuanto a fertilización.

Los resultados obtenidos en el análisis químico se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 2. Resultados del análisis químico del suelo

pH	Microgramos/ml		meq/100ml de suelo	
	P	K	Ca	Mg
6.5	23.68	143	10.00	3.73

Para el análisis físico se tomaron también varias submuestras del área experimental, del estrato 0-40 cms, se homogenizaron y se enviaron al laboratorio de suelos de la Dirección de Riego y Avenamiento (DIRYA) para la determinación de textura. El resultado obtenido fue franco arcilloso.

La Capacidad de campo y la densidad aparente se determinaron por métodos de campo. La primera se calculó haciendo uso de un cuadro de 1 metro, al cual se le hicieron dos bordos de 0.2 m de altura. Luego se procedió saturar con agua toda el área del cuadrado, así como el espacio entre los bordos. Veinticuatro horas después se empezó a tomar muestras a cada 12 horas a una profundidad comprendida entre 0-40 cms, continuando de esta manera hasta completar 72 horas. La humedad de cada muestra se obtuvo por el método gravimétrico y luego estos datos, expresados en porcentajes, se graficaron en un plano coordenado, colocando el porcentaje de humedad en las ordenadas y el tiempo en horas en las abscisas. Cuando se observó en la gráfica que el porcentaje de humedad se hizo constante, se consideró dicho valor como el de la capacidad de campo.

La densidad aparente se determinó por medio del barreno de densidades, el cual consiste de un cilindro de volumen conocido.

Se tomaron varias muestras a las cuales se les calculó la densidad aparente por la fórmula:

$$Da = 100 * Psh / (Vt * (100 + Pa)) \dots\dots\dots (5)$$

donde

Da = densidad aparente en gr/cm cúbico

Psh = peso de suelo humedo en Kg

Vt = Porcentaje de humedad

Pa= Peso de suelo seco en kg

Los resultados obtenidos fueron capacidad de campo 24%, densidad aparente 1.30 gr/cc, punto de marchitez permanente 12%.

El punto de marchitez permanente se calculó considerándolo como el 50% de la capacidad de campo.

Los resultados obtenidos tanto en laboratorio como por métodos de campo se resumen en el cuadro 3.

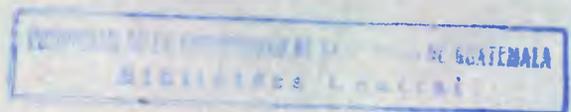
Cuadro 3. Propiedades Físicas del Suelo.

MUESTRA (CMS)	LABORATORIO Textura	CAMPO Da(g/cc)	%CC	CALCULADO %PMP
0-40	Francoarcilloso	1.3	24	12

### 5.3 Manejo del Cultivo

Se utilizó la Variedad Green Valiant, por ser ésta la que cultivan los agricultores del área.

El trabajo experimental dió inició con la preparación del semillero, el 30 de octubre de 1988. Para la realización de éste, se construyó un tablón de 1 m de ancho x 12 m de largo x 0.2 m de alto, aplicándose 3 libras de fertilizante triple quince. Una semana después de germinadas las semillas se hizo la primera aplicación del fungicida Captan para prevenir el ataque



de hongos del suelo, principalmente, el mal del talluelo. Las aplicaciones de este fungicida se repitieron cada 6 días durante toda la etapa de semillero. Para prevenir el ataque de insectos se hicieron fumigaciones con Metamidofos usando dosis de 25 cc/bomba de 4 galones.

El trasplante se hizo el 30 de noviembre, cuatro semanas después del establecimiento del semillero, se llevó a cabo en horas frescas (por la tarde), considerándose una distancia de siembra de 0.45 m entre surcos y 0.35 m entre plantas.

A las plántulas trasplantadas, previamente se les introdujo las raíces en una solución de Captan y PCNB para prevenir el ataque de hongos del suelo.

La fertilización del cultivo se realizó de acuerdo a los requerimientos del mismo, que recomienda Del Valle (16) y en base a resultados reportados en el análisis químico; aplicándose 10 quintales de 15-15-15 por ha, 5 quintales de urea al 46% de N por ha, 3 quintales de Muriato de Potasio/ha y 10 Kg/ha de borax.

El control de plagas se llevó a cabo aplicando alternadamente los insecticidas Metomil, oxidometon metilico, decametrina y flucitrinato, en dosis de 40 cc/ bomba de 4 galones, regularmente cada 6 días desde el trasplante hasta la cosecha.

El control de malezas se hizo en forma manual, realizándose únicamente una limpia, la cuál se hizo 25 días después del trasplante.

La cosecha se inició el 1 de febrero de 1989, se hicieron 7 cortes, realizando 3 semanalmente y cuantificando en TM/ha la inflorescencia exportable de cada parcelá útil.

5.4 Diseño estadístico, área del experimento y variables respuesta.

Se utilizó el diseño estadístico de bloques al azar. Se evaluaron 6 frecuencias de riego que fueron determinadas cada 7, 10, 14, 17 y 21 días, así como una frecuencia variable regada cuando se consumía el 50% de la humedad aprovechable. Todas las frecuencias se distribuyeron al azar para cada una de las repeticiones y en este documento se identifican de la siguiente manera:

TRATAMIENTO (Frec. riego)	IDENTIFICACION
7 días	F-7
10 días	F-10
Variable	F-V
14 días	F-14
17 días	F-17
21 días	F-21

En el tratamiento Variable se consideró un consumo de la humedad aprovechable, de acuerdo a lo recomendado por Doorembos y Pruitt. Ver cuadro 15.

Datos Utilizados en el Experimento:

Area total del experimento:	1570.35 m <sup>2</sup>
Area neta del experimento:	604.8 m <sup>2</sup>
Area por unidad experimental:	25.2 m <sup>2</sup>
Area util por unidad experimental:	17.01 m <sup>2</sup>
Dimensiones de la unidad experim:	3.6 m x 7 m
Dimensiones de la parcela util	2.7 m x 6.3 m

Numero de unidades experimentales	24
Distancia entre unidades experim:	1.80 m
Distancia entre bloques:	4.0 m
Numero de surcos por unidad exper.:	9
Numero de hileras por surco:	1
Densidad de siembra:	180 plantas/parcela bruta
	126 plantas/parcela util

El diseño de campo puede observarse en la figura 1, así como también su asignación aleatoria y ubicación de la infraestructura de riego a utilizar.

Para poder evaluar el efecto de los diferentes tratamientos se tomó en cuenta las siguientes variables respuesta:

- Rendimiento en TM/ha de inflorescencia de brócoli exportable y no exportable. Considerándose como exportable la inflorescencia si reúne los siguientes requisitos: que carezca de tallo hueco, que no presente color amarillo por excesiva madurez y que esté libre de insectos y enfermedades; mientras que la no exportable incluye el producto que aún puede ser consumido en el mercado interno.

- Número de plantas por parcela útil para cada tratamiento al final del ciclo del cultivo.

## 5.5 Manejo del experimento

### 5.5.1 Trazo del experimento

Después de haber preparado el terreno mediante dos pasadas de

rastra, se procedió a realizar el surqueado en forma manual, ya que se quería que los surcos quedaran con pendiente cero, previamente se realizó un levantamiento altimétrico en el área experimental.

El tamaño de las parcelas fue de 3.6 m x 7 m dejando 4 m entre bloques y 1.80 m entre parcelas. Se construyeron 5 tomas, utilizándose cuatro de ellas para regar las cuatro repeticiones y una como desagüe, pasando cada una de ellas a 1.6 m de los bloques, siendo su ancho de 0.8 m.

#### 5.5.2 Método de Riego

Se utilizó el método de riego por gravedad en surcos conduciendo el agua de las tomas a los mismos por medio de sifones, los cuales permiten estimar el volumen de agua aplicado en cada surco si se hace previamente una calibración. Se evitó el escurrimiento al final de cada surco. Los sifones utilizados para este experimento fueron de Pvc de 0.5 pulgadas de diámetro y 1.5 m de largo. Se evitó el escurrimiento al final de cada surco por medio de bordos que rodeaban a la parcela.

#### 5.5.3 Lámina de Agua a Reponer en cada Riego

Para poder calcular la lámina de agua a reponer en cada tratamiento, se hizo necesario conocer los datos siguientes:

- porcentaje de humedad de capacidad de campo (%CC)
- porcentaje de humedad de punto de marchitez permanente (%PMP)
- Densidad aparente (Da)

- Profundidad radical diaria del cultivo ( $Z_i$ )
- Cantidad de agua disponible en el suelo en un momento dado ( $A_d$ )

Los datos %CC, %PMP,  $D_a$  y  $Z_i$  se utilizan para calcular la cantidad máxima de agua que el cultivo puede retener en su zona radicular, en el día  $i$ , calculándose con la siguiente fórmula:

$$A_{d_i} = (\%CC - \%PMP) * D_a * Z_i / 100 \dots \dots \dots (6)$$

El valor de  $Z$  se determina mediante la fórmula propuesta por Norero, citado por Grassi (9), la cual es la siguiente:

$$Z_i = 1.8 * (t/t_c) * (1.5 - t/t_c) * Z_m \dots \dots \dots (7)$$

donde:

$t$ = tiempo en días a partir de fecha de trasplante,  
varía de  $t=0$  a  $t=t_c$ .

$t_c$ = Período de tiempo en días que dura el ciclo vegetativo, para este caso se tomó  $t_c=80$ .

$Z_m$ = Profundidad radical del cultivo sin impedimento pedogenético de acuerdo a Grassi. (8)

El valor de  $A_d$  se calcula mediante el Balance Hídrico Agrícola Acumulado tipo FAO/OMM. A continuación se desarrolla el procedimiento de este balance.

Los valores de  $Z$  y  $A_{d_i}$  se colocan en un cuadro, para el cálculo del Balance Hídrico, escribiéndose  $Z$  en la columna 2 y  $L$  en la columna 11. El formato de dicho cuadro se presenta en la página siguiente:

FORMATO CALCULO DE BALANCE HIDRICO, METODO AGRICOLA  
 ACUMULADO, Municipio de Monjas, Elevacion 980 m.  
 Latitud: 14 29'N, Longitud 89 52'34" O. Cultivo:  
 Broc6li, variedad: Green Valiant.

=====											
Mes											
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Día	Z	Etp	Kc	Etm	Ad-1/Adp-1	Etr/Etm	Etr	EtrA	Lr	Adp	Adp
-----											
1											
2											
3											
.											
.											
29											
30											
31											
=====											

La columna (1) indica el número de días a partir de cuando se empieza a computar el balance hídrico.

En la columna (2) se escribe la profundidad radicular diaria cultivo (en mms).

En la columna (3) se escribe la evapotranspiración potencial, la cuál se calcula por la fórmula de Penman, el procedimiento para su cálculo, mediante un formato, se presenta en el apéndice.

En la columna (4) se escribe el coeficiente del cultivo, el cual se toma de las recomendaciones hechas por FAO.

La columna (5) es el resultado de la fórmula:  $E_{tm} = K_c * E_{tp}$

En la columna (6) se calcula la relación del agua disponible el día anterior ( $a_{d-1}$ ) y la cantidad máxima de agua que el suelo puede retener en la zona radicular un día anterior ( $a_{dp-1}$ )

En la columna (7) se calcula la relación  $E_{tr}/E_{tm}$  mediante la fórmula recomendada por la Organización Meteorológica Mundial (OMM):

$$E_{tr} / E_{tm} = 1.03 - e^{-3.5 * (a_{d-1} / a_{dp-1})} \dots\dots\dots(8)$$

Los valores que se escriben en la columna (8) se calculan de la siguiente manera:

$$E_{tr} = (E_{tr} / E_{tm}) * E_{tm} \dots\dots\dots(9)$$

En la columna 9 se escribe la Evapotranspiración real acumulada.

En la columna 11 se escribe la cantidad de agua disponible en mm.

En la columna 12 se escribe la cantidad máxima de agua que el suelo puede retener en la zona radicular en el día  $i$  ( $A_{dp}$ )

La lámina a aplicarse en cada riego ( $L_r$ ) se determinaba de la siguiente manera:

$$L_r = A_{dp} - A_d \dots\dots\dots(10)$$

Para dejar más claro el procedimiento del balance hídrico, en la página 69 se desarrolla un ejemplo numérico con datos del tratamiento regado cada 7 días.

El volumen de agua que se aplicó en cada riego, se determinó usando la fórmula:

$$\text{Vol} = A \times Lr \times 1000 \dots\dots(11)$$

Donde:

Vol= Volumen de agua requerido en litros

A = Area de cada unidad experimental (m. cuad)

Lr = Lámina de riego aplicada.

1000 = Constante que transforma m<sup>3</sup> a litros

Conociendo el caudal de entrada a cada toma secundaria se calculó el tiempo de riego (Tr), para parcela:

$$\text{Tr} = \text{Vol}/(\text{Q} \times 60) \dots\dots (12)$$

Donde:

Tr = Tiempo de riego (minutos)

Q = Caudal del sifón que provee al surco (litros/segundo)

60 = Constante que transforma segundos a minutos.

### 5.6 Método de análisis de resultados

A los resultados obtenidos de las variables respuesta medidas, se les aplicó un análisis de varianza con niveles de significancia de 1 y 5%. También se hicieron pruebas de Tukey con un nivel de significancia de 5% por haberse encontrado diferencias entre tratamientos.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos en el presente trabajo experimental y la discusión de los mismos, se presentan a continuación de la manera siguiente: primero los resultados y análisis de las variables respuesta por medio de las cuales se evaluó el efecto de los diferentes tratamientos y luego el uso del agua por las plantas.

### 6.1 Variables Respuesta

Los promedios de rendimiento de inflorescencia exportable en TM/ha, se presentan en el cuadro 4, como puede observarse el rendimiento más alto corresponde al tratamiento F-7 (riego cada 7 días), mientras que el tratamiento F-21 (riego cada 21 días) fue el que produjo el rendimiento más bajo.

Puede observarse también que los tratamientos F-V y F-10 dieron resultados casi iguales, lo cual se explica por el hecho de que el tratamiento variable se mantuvo con intervalo de riego de alrededor de 10 días. El tratamiento variable (F-V) se regaba cada vez que se consumía el 50% de la humedad aprovechable.

Cuadro 4. Rendimiento promedio de inflorescencia exportable en TM/ha.

Tratamiento	Rendimiento en TM/ha de inflorescencia exportable
F-7	13.099
F-V	11.220
F-10	11.539
F-14	10.144
F-17	8.063
F-21	7.751

Los resultados por tratamiento y repetición, análisis de varianza y prueba de Tukey se presentan en los cuadros del 6 al 8 del apéndice.

El análisis de varianza para el rendimiento de inflorescencia exportable en TM/ha, que se presenta en el cuadro 7 ( en el apéndice), indica que estadísticamente existen diferencias significativas entre los tratamientos.

Al realizar la comparación de medias por la prueba de Tukey (ver cuadro 8) se determina que los tratamientos F-7, F-10 y F-V son iguales, ya que la diferencia entre ellos no es estadísticamente significativa, esto mismo ocurre entre los tratamientos F-17 y F-21. Los primeros produjeron los rendimientos más altos, mientras que los segundos arrojaron los rendimientos más bajos.

Aún cuando se produjeron inflorescencias más pequeñas en los tratamientos F-17 y F-21, estas llenaron los requisitos mínimos de exportación, sin embargo, sus rendimientos no llenan las expectativas económicas de los agricultores del lugar debido a que la producción se disminuye entre un 40 y 45% respecto de los mejores tratamientos.

Vale la pena hacer notar que el rendimiento promedio obtenido en este año en la región fue de 10 TM/ha lo cual puede lograrse regando cada 14 días.

El número de plantas vivas al final del ciclo fue de 500 por parcela útil en todos los tratamientos, por lo que se concluye que las frecuencias de riego utilizadas no afecta la mortalidad de las plantas.

En cuanto al rendimiento de inflorescencia no exportable se encontró que todo el producto obtenido llenó los requisitos mínimos de exportación.

### 6.2 Uso del Agua

Aquí se hace referencia a la lámina de agua consumida y al agotamiento de la humedad aprovechable por cada uno de los tratamientos.

En el cuadro 5, puede observarse las láminas parciales y totales de agua consumida para cada uno de los tratamientos, estas láminas fueron calculadas a través del método de Balance Hídrico. En cada riego se aplicó la lámina de agua consumida en el intervalo respectivo.

En ese mismo cuadro se observa que el tratamiento que consumió más agua fue el F-7, seguido muy de cerca por los tratamientos F-V y F-10, mientras que el consumo más bajo se dió en el tratamiento F-21.

Cuadro 5. Lamina de agua, tiempos de riego y totales de los mismos para cada uno de los tratamientos.

No. de Riego	T r a t a m i e n t o s												
	F-7	Tr	F-V	Tr	F-10	Tr	F-14	Tr	F-17	Tr	F-21	Tr	
1													
2	Riegos generales (42.41mm.)												
3													
4	26.69	5.6	29.49	6.2	32.71	6.9	41.58	8.7	49.39	10.4	51.3	10.8	
5	22.58	4.7	34.23	7.2	37.34	7.8	50.68	10.6	56.12	11.8	55.84	11.7	
6	28.12	5.9	40.90	8.6	41.19	8.6	42.99	9.0	32.45	6.8			
7	30.84	6.5	32.96	6.9	34.21	7.2							
8	26.85	5.6	24.30	5.1	18.67	3.9							
9	24.39	5.1											
10	8.98	1.9											
TOTAL	210.86	35.3	204.29	34	206.53	34.4	177.66	28.3	176.37	29	149.5	22.5	

Los riegos generales fueron en total 3, aplicándose con una frecuencia de 7 días. Las láminas aplicadas fueron de 9.68 mm, 11.32 mm y 21.41 mm para el primero, segundo y tercer riego, respectivamente; los cuales suman una lámina de 42.41 mm. La finalidad de los riegos generales fue establecer el cultivo.

En el cuadro 5 también puede observarse que invariablemente la lámina total consumida aumenta cuando el intervalo de riego es más corto, esto es razonablemente lógico ya que las plantas al tener bastante agua retenida a baja tensión tenderán a consumir mayor cantidad. Además se observa que el número de riegos aplicados en cada tratamiento durante todo el ciclo de vida del cultivo varía desde 10 en el tratamiento regado cada 7 días hasta 5 en el tratamiento regado cada 21 días. Estos dos factores influyen en que el costo de riego para las frecuencias más cortas sea relativamente mayor que para las frecuencias más largas.

Los tiempos de riego también aparecen en el cuadro 5, en él puede verse que el tiempo total de riego para la frecuencia de 7 días es de 35.3 minutos, mientras que para la frecuencia de 21 días es de 22.5 minutos (para un caudal de sifón de 0.25 litros/segundo). Puede notarse también que a medida que la frecuencia es más larga el tiempo de riego es también más largo. Estos tiempos más largos pueden influir en el suelo, provocando lavado de los nutrientes, por lo cual se considera que son más adecuados los tiempos cortos que se usan en las frecuencias cortas.

En las figuras del 1 al 6, se presenta el comportamiento que tuvo el agotamiento de la humedad aprovechable del suelo, lo cual

se estimó a nivel diario mediante la técnica del Balance Hidrico.

En estas figuras puede observarse que durante los primeros 14 días (período de establecimiento de todos los tratamientos regados de la misma manera), el agotamiento de la humedad aprovechable llegó a ser de 56%. Puede observarse, además, que en ningún tratamiento el contenido de humedad del suelo descendió hasta el punto de marchitez permanente, a pesar de que los tratamientos F-17 y F-21 estuvieron sometidos a tensiones altas.

En el tratamiento F-V se dejaba bajar el contenido de humedad hasta un 50% y luego se aplicaba el riego, reponiendo la lámina necesaria, de esta manera se comprobó que la frecuencia de 10 días responde en buena forma a esta condición.

En la figura 1, correspondiente al tratamiento F -7, puede observarse que no se agotó más de un 56% de la humedad aprovechable. Por eso se considera que el cultivo no fue sometido en ningún momento a altas tensiones y por lo mismo fue el tratamiento que dió los mejores rendimientos.

La figura 2, que corresponde al tratamiento F-V, muestra que el cultivo tampoco fue sometido a altas tensiones. El consumo de la humedad aprovechable se mantuvo a lo largo del ciclo del cultivo en un 50%, ya que era un requisito necesario para poder aplicar cada riego en este tratamiento. El rendimiento obtenido se considera bastante bueno, lo cual se explica porque no hubo escasez de agua disponible.

En la figura 3, que corresponde al tratamiento F-10, se

puede observar que el agotamiento de la humedad aprovechable fue de 60% en el ciclo del cultivo, es decir, que la planta no estuvo sometida a una tensión alta, por lo que las plantas respondieron arrojando un rendimiento estadísticamente igual al de los tratamientos F-7 y F-V.

La figura 4 corresponde al tratamiento F-14, en ella se observa que el agotamiento de la humedad aprovechable descendió hasta un 56% durante los primeros días del ciclo del cultivo y un 66% de los últimos días hasta el final del ciclo. La tensión aunque mayor que en el tratamiento F-10 se considera no muy alta, por lo que el tratamiento produjo un rendimiento aceptable, es decir, similar al promedio obtenido por los agricultores de la región.

La figura 5, muestra el comportamiento del agotamiento de la humedad aprovechable para el tratamiento F-17, notándose en la misma que bajó en la etapa de mediados de la cosecha hasta un 83%, lo cual significa que la planta estuvo sometida a una alta tensión, lo que a su vez explica que el rendimiento de este tratamiento haya sido bajo en relación con los que fueron regados a intervalos más cortos.

Por último en la figura 6, correspondiente al tratamiento F-21, se muestra que el agotamiento de la humedad aprovechable fue superior al 85%, al final del ciclo, es decir, que las plantas estuvieron sometidas a una alta tensión, lo cual explica que su rendimiento haya sido el más bajo de todos los tratamientos.

Como una referencia que puede ser de utilidad a futuras investigaciones, se incluye en el cuadro 17 (en el apéndice), los datos medidos de evaporación de tanque tipo "A" y datos de evapotranspiración potencial calculados con la fórmula de Penman.

## 7. CONCLUSIONES

7.1 Los tratamientos de frecuencia fija de 7 y 10 días, así como el tratamiento de intervalo variable, regado cuando se consumía el 50% de la humedad aprovechable, fueron los que rindieron las mayores producciones de inflorescencia comercial exportable, obteniéndose 13.1, 11.54 y 11.22 TM/ha, respectivamente.

7.2 Los tratamientos de frecuencias de 17 y 21 días fueron los que produjeron los rendimientos más bajos, 8.063 y 7.751 TM/ha, respectivamente, no presentando ningún interés económico para su cosecha.

7.3 El número de plantas vivas al final del experimento no se vio afectado por las frecuencias de riego utilizadas.

7.4 La lámina de agua consumida disminuye a medida que aumenta el intervalo de riego, siendo de 21.09, 20.65, 20.43, 17.77, 17.64 y 14.95 cms para los intervalos de riego de 7, 10, variable, 14, 17 y 21 días, respectivamente.

7.5 En los tratamientos regados cada 7 y 10 días, así como en el regado con intervalo variable, el agotamiento de la humedad aprovechable fue de un 50 a 60% en todo el ciclo del cultivo. En la etapa de mediados de cultivo a la cosecha de los tratamientos regados cada 17 y 21 días se alcanzaron valores de agotamiento de la humedad aprovechable de 66.83 y 85%, respectivamente. En ningún tratamiento el agotamiento de la humedad aprovechable alcanzó el punto de marchitez permanente.

7.6 La frecuencia de 10 días es la que más se asemeja al tratamiento de aplicar riego cuando se ha agotado un 50% de la humedad aprovechable.

## 8. RECOMENDACIONES

1. Debido a que los resultados obtenidos fueron para una época específica, se recomienda que este tipo de investigaciones se siga realizando en la misma región, época y cultivo para confirmar los resultados obtenidos.

2. Mientras se confirman estos datos, con más experimentación, se recomienda que bajo condiciones de poca disponibilidad de agua en la Laguna El Hoyo, se riegue cada 14 días, ya que pudo comprobarse que con este tratamiento se puede lograr el rendimiento promedio alcanzado por los agricultores.

## 9. BIBLIOGRAFIA

1. BEDIKENT, P.B.; HUBER, W.C. 1988. Hidrology and flood plain analysis. Colorado, EE.UU., Addison Wesley. 650 p.
2. BOSHEL, F. 1982. Curso de agrometeorología. Montevideo, Uruguay, s.n. 245 p.
3. BURGOS O., S. 1983. Producción de hortalizas para el altiplano; cultivo de brócoli. Quetzaltenango, Guatemala, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola. 60 p.
4. CASSERES, E. 1966. Producción de hortalizas. San José, Costa Rica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 245 p.
5. DOOREMBOS, J.; KASSAN, A.H. 1964. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma, Italia, FAO. Serie de Riego y Drenaje no. 33. 212 p.
6. DOOREMBOS, J.; PRUIT, W.O. 1976. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, Italia, FAO. Serie de Riego y Drenaje no. 24. 110 p.
7. DUNN, T.; LEOPOLD, L.B. 1978. Water in environmental planning. Colorado, EE.UU., Freeman. 818 p.
8. GRASSI, C. J. 1975. Estimación de los usos consuntivos de agua y requerimientos de riego con fines de formulación y diseño de proyectos; criterios y procedimientos. Merida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 88 p.
9. ISRAELSEN, O. E.; HANSEN, V. E. 1976. Principios y aplicaciones de riego. Traducido por Alberto García Palacios. Barcelona, España, Reverté. 276 p.
10. KRAMER, J. P. 1974. Relaciones hídricas de suelos y plantas; una síntesis moderna. México, D.F., Edutex. 382 p.
11. LINSLEY, R.; *et al.* 1978. Hidrología para ingenieros 2 ed. Bogotá, Colombia, Mc-Graw-Hill. 382 p.
12. LINSLEY, B.J. 1982. Ingeniería de los Recursos hídricos. México, D.F., CECSA. 788 p.

13. LOPEZ, B. J. 1982. Cultivo de coles, coliflores y brócolis. Barcelona, España, Sintesis. 140 p.
14. SAMAYOA ALTAN, R. A. 1975. Evaluación del control de malezas en el cultivo de brócoli sembrado en 6 densidades y efecto en su rendimiento. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 51 p.
15. TELLO SAMAYOA, C. A. 1983. Efecto de cinco frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración del chile pimiento (Capsicum annuum) en la Unidad de Riego El Jicaro. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 70 p.
16. VALLE, J. M. DEL 1988. El cultivo de las crucíferas. Quetzaltenango, Guatemala, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. 77 p.
17. VEGA GONZALEZ, F. A. 1987. Evaluación del efecto de niveles de fósforo, potasio y boro sobre rendimiento y calidad del brócoli (Brassica oleraceae var. Italica L.) en la aldea Pacal, Santiago, Sacatepéquez. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 39 p.

Vo. Bo.  
*Patualle*



10. APENDICE



FIG. 7 PLANO DEL EXPERIMENTO Y ASIGNACION ALEATORIA DE LOS TRATAMIENTOS

TRASPLANTE

APARICION  
INFLORESCENCIA

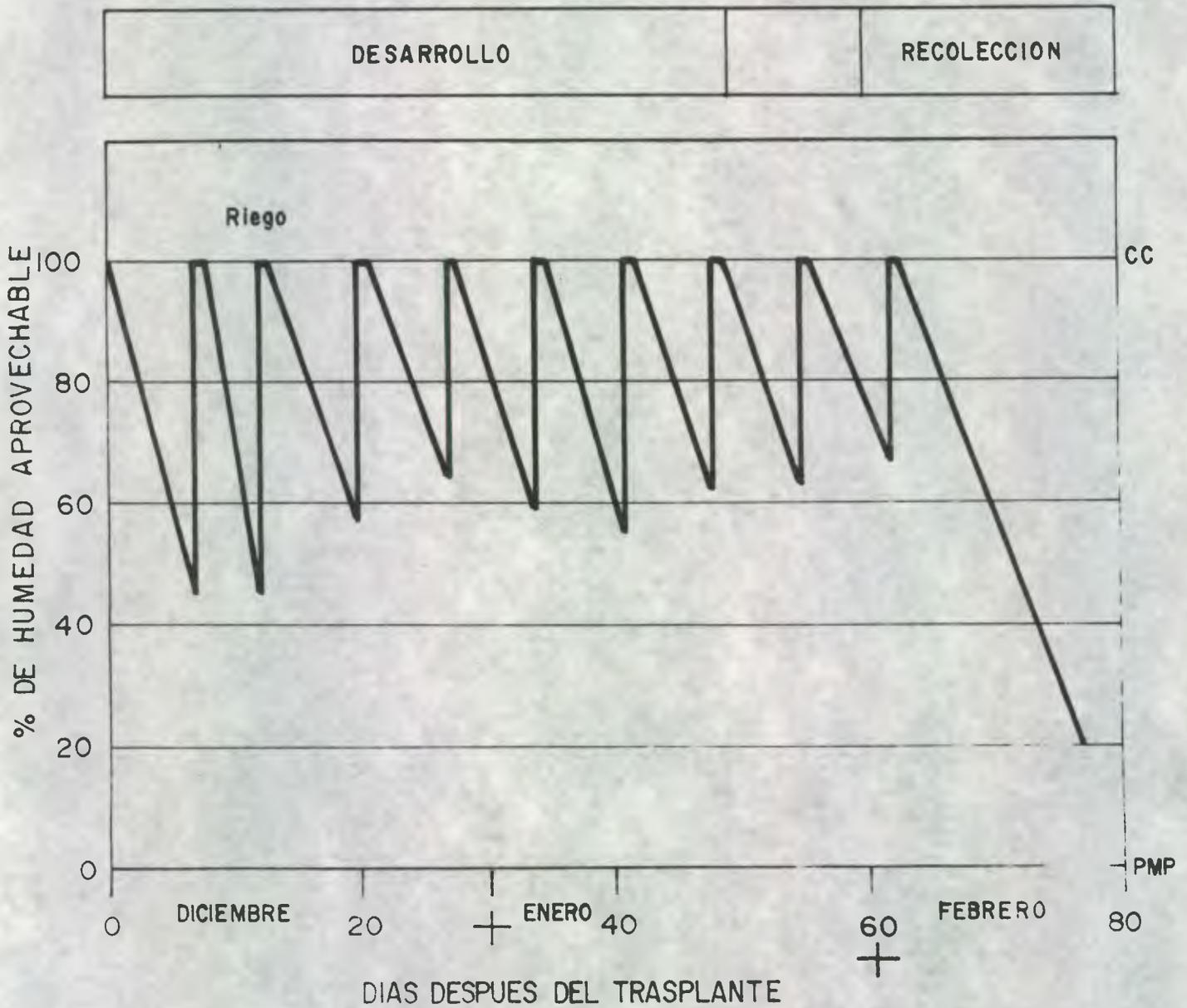


FIG. 1 AGOTAMIENTO DE LA HUMEDAD APROVECHABLE  
EN EL TRATAMIENTO F-7



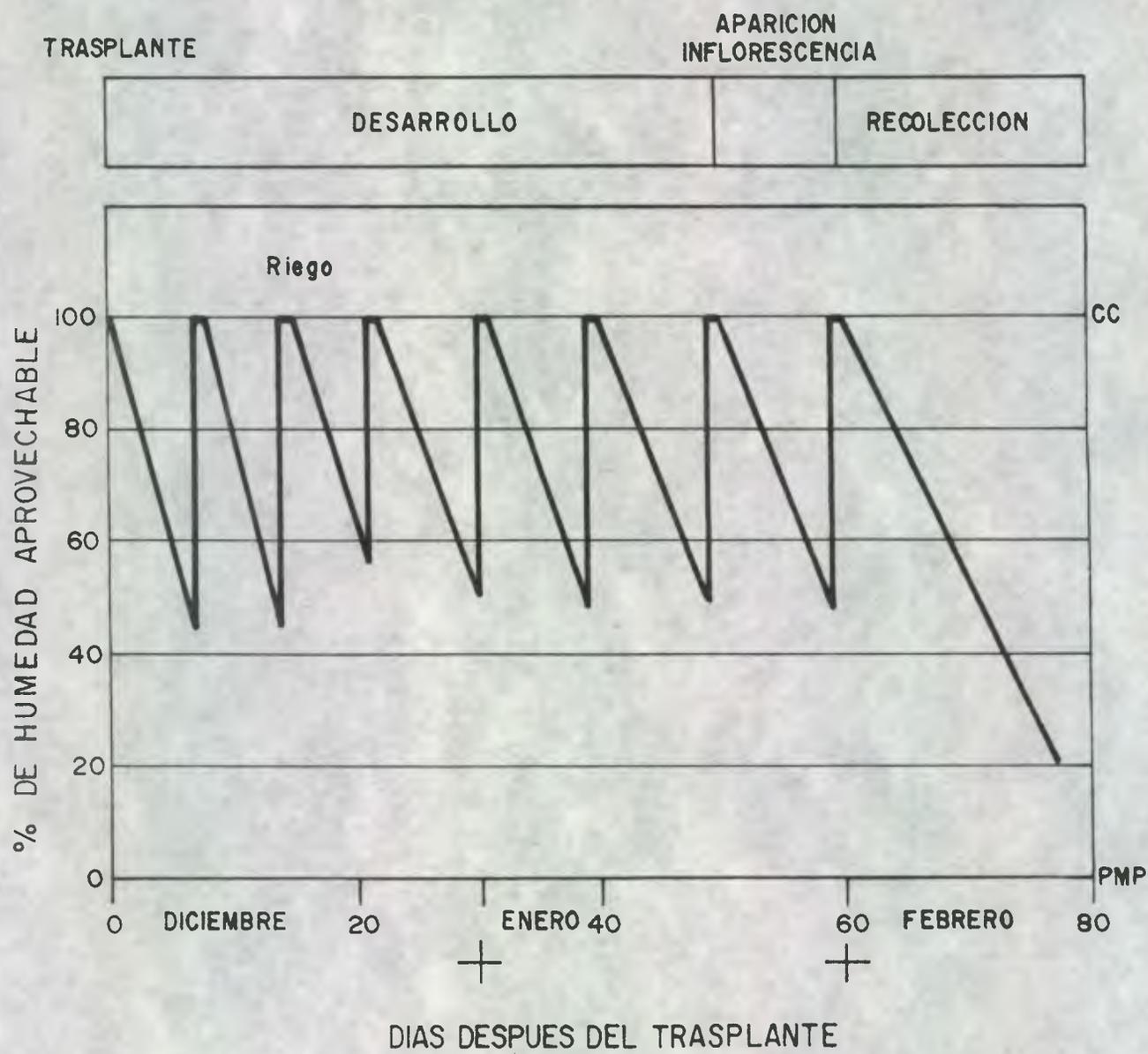


FIG. 2 AGOTAMIENTO DE LA HUMEDAD APROVECHABLE  
 EN EL TRATAMIENTO F-V

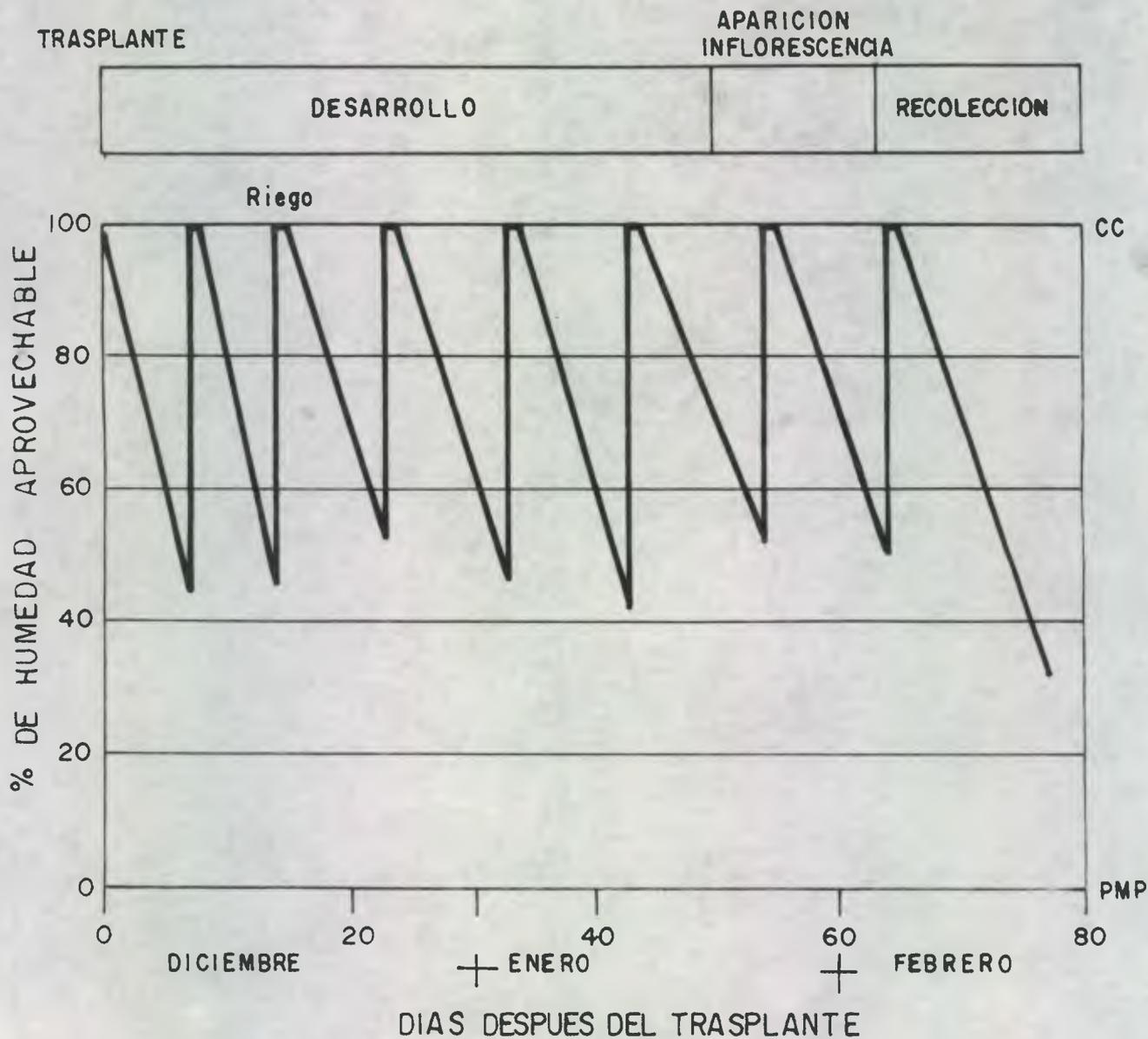


FIG. 3 AGOTAMIENTO DE LA HUMEDAD APROVECHABLE EN EL TRATAMIENTO F-10

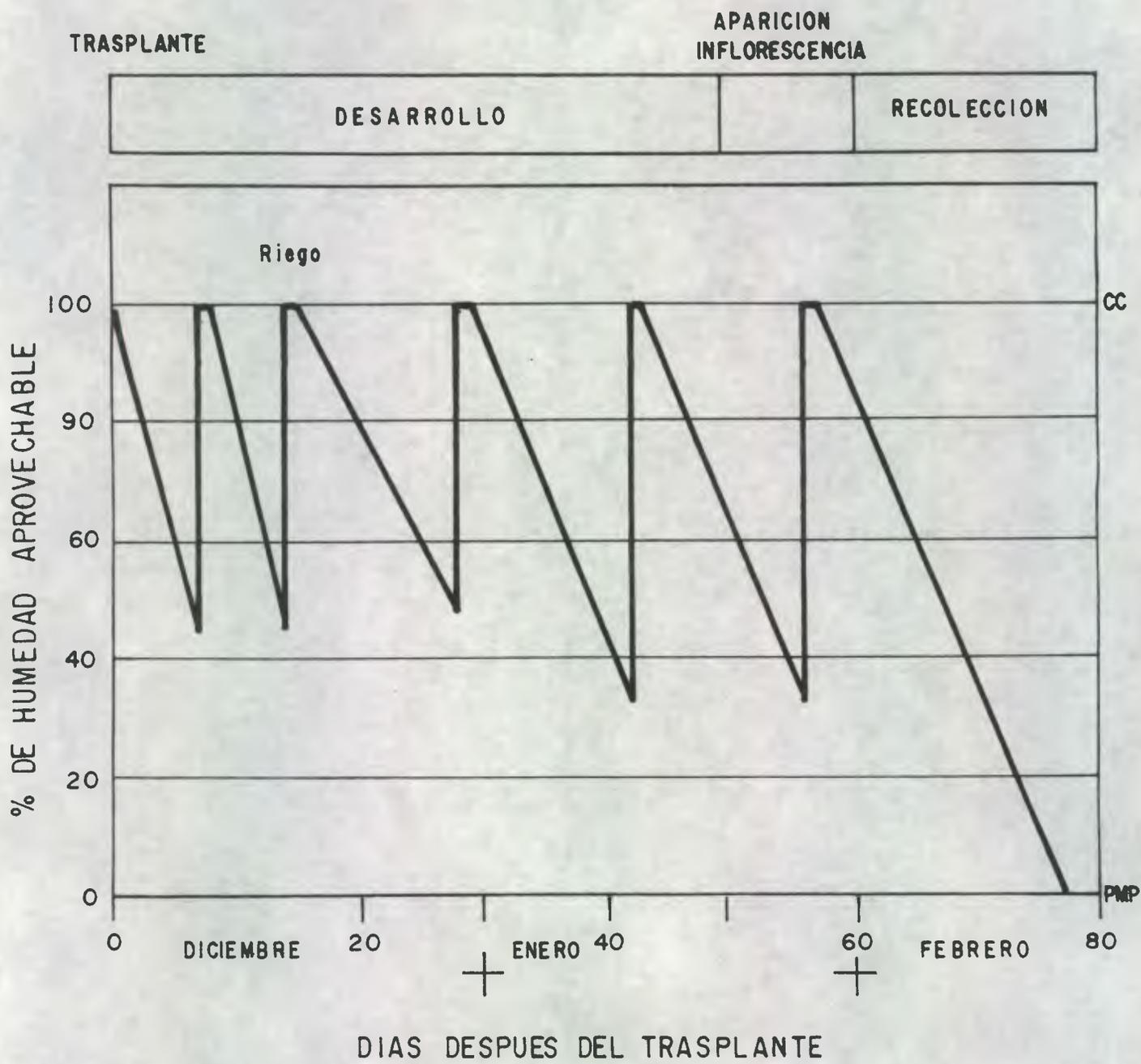


FIG. 4 AGOTAMIENTO DE LA HUMEDAD APROVECHABLE EN EL TRATAMIENTO F-14

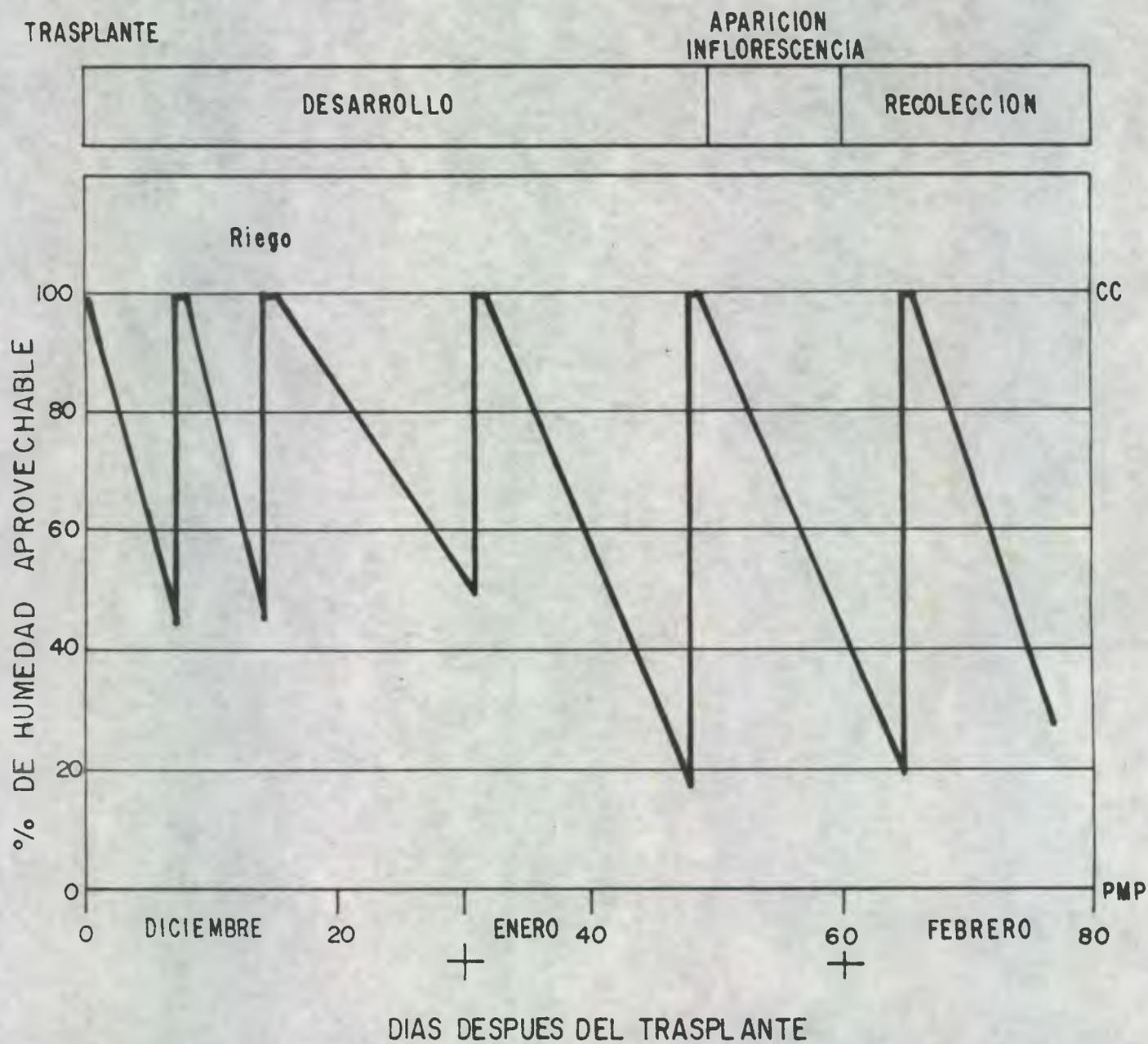


FIG. 5 AGOTAMIENTO DE LA HUMEDAD APROVECHABLE  
EN EL TRATAMIENTO F-17

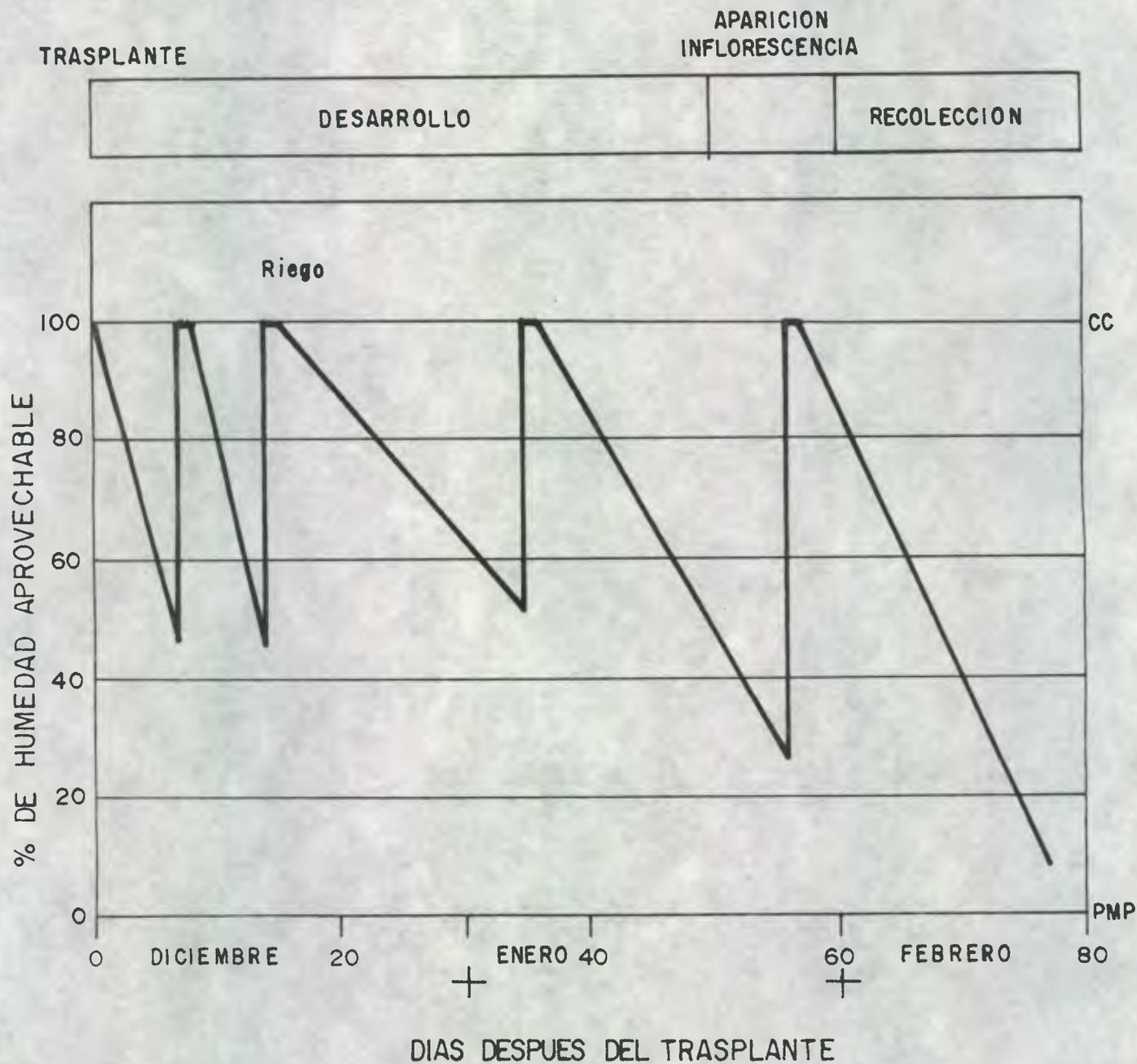
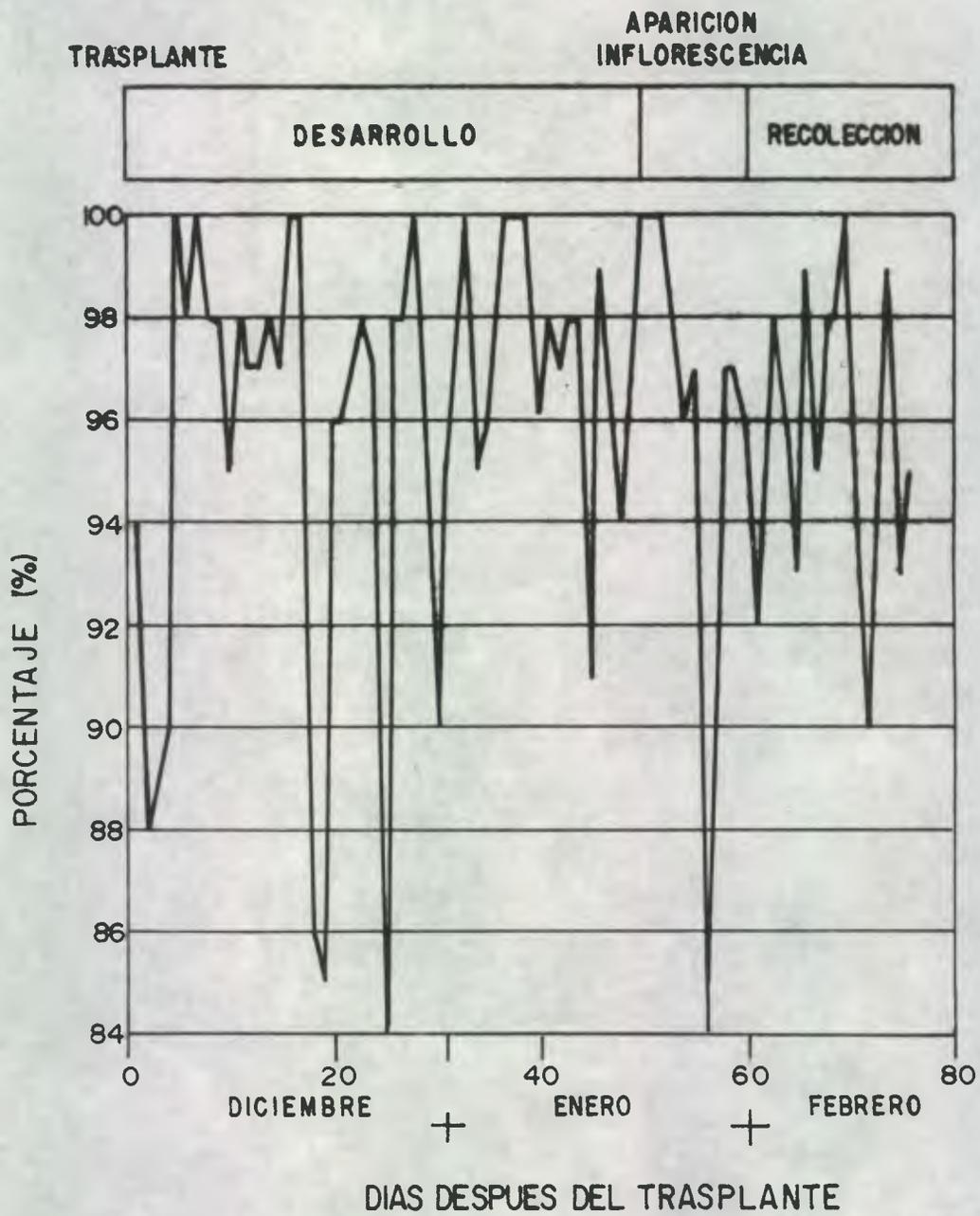


FIG. 6 DISTRIBUCION DE LA HUMEDAD APROVECHABLE EN EL TRATAMIENTO F-21



**FIG. 8**      **DISTRIBUCION GRAFICA DE LA HUMEDAD  
RELATIVA MAXIMA**

**Fuente:**    **Estación Meteorológica, Monjas, Jalapa.  
INSIVUMEH**

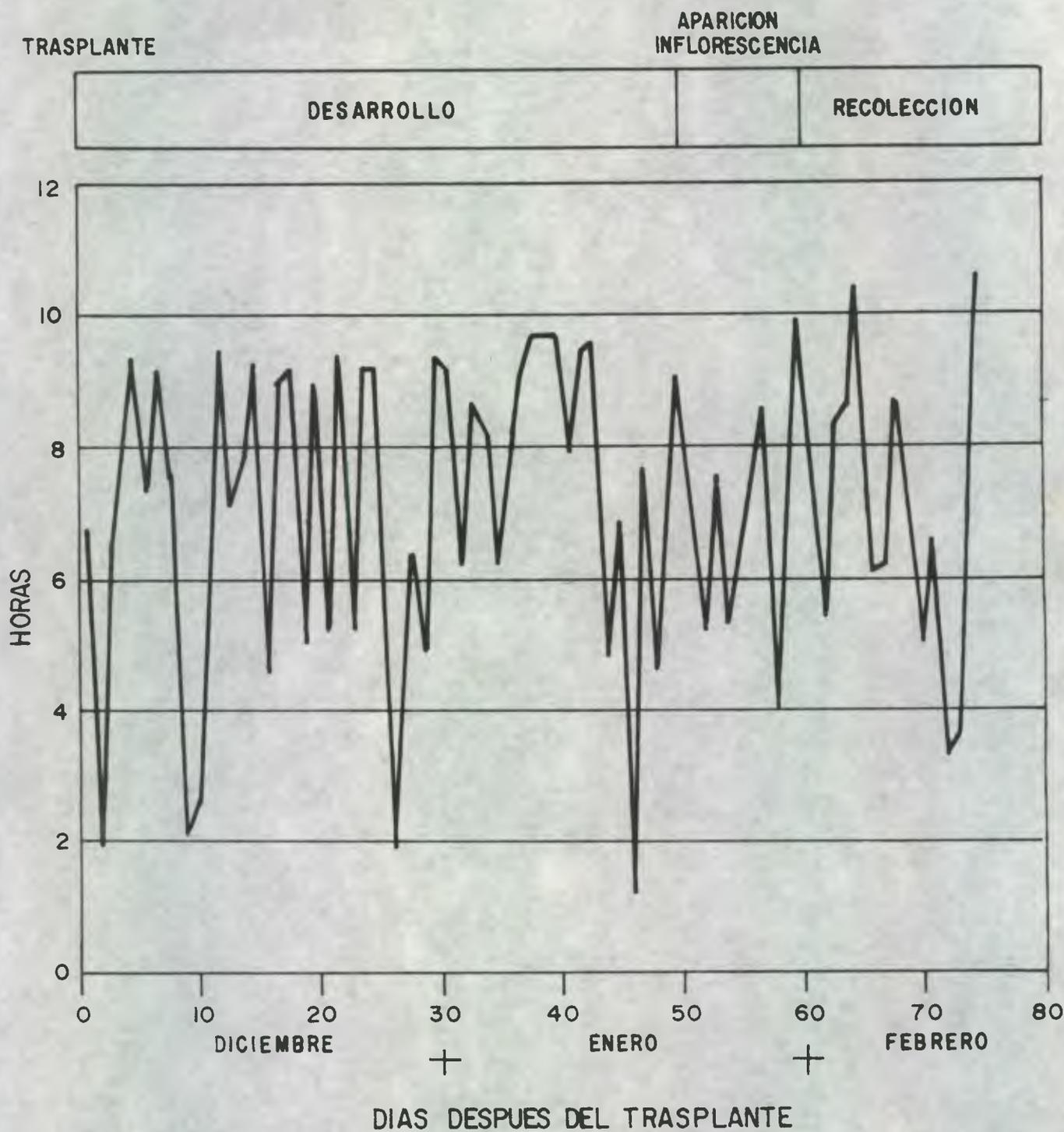


FIG. 9 DISTRIBUCION GRAFICA DEL BRILLO SOLAR

Fuente: Estación Meteorológica, Monjas, Jalapa.  
INSIVUMEH.

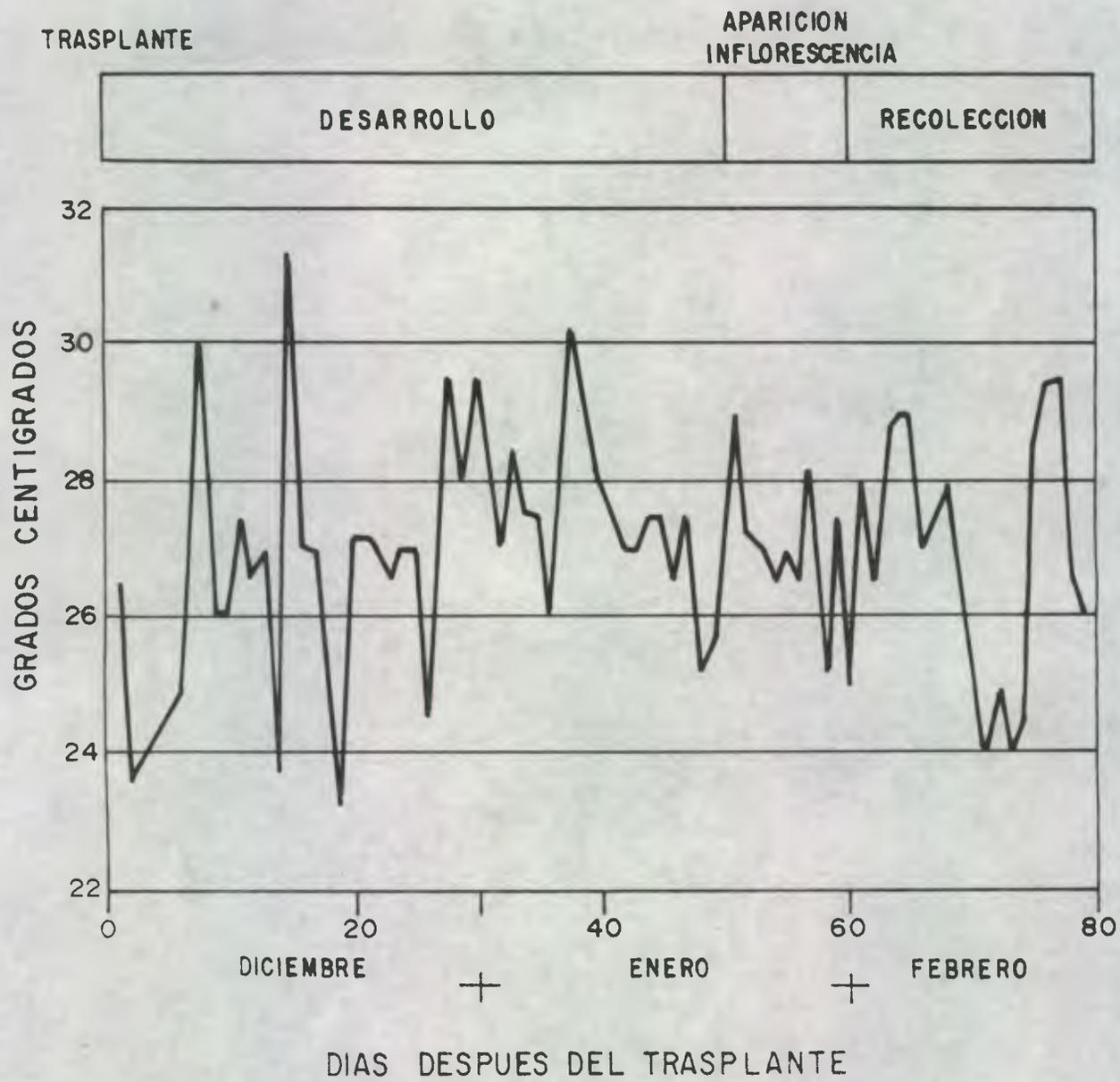


FIG. 10 DISTRIBUCION GRAFICA DE LA TEMPERATURA MAXIMA

Fuente: Estación Meteorológica, Monjas, Jalapa.  
INSIVUMEH

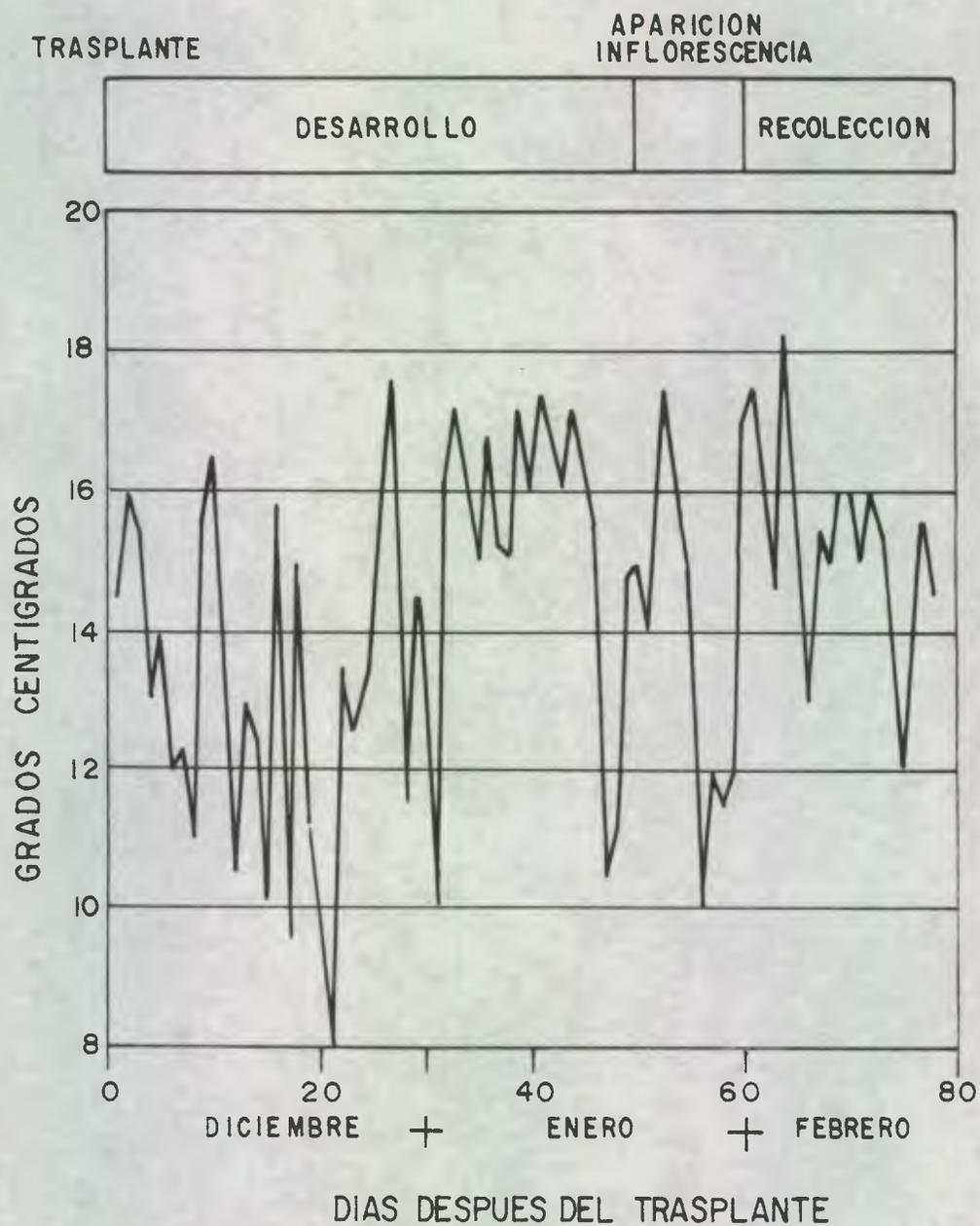


FIG. 11 DISTRIBUCION GRAFICA DE LA TEMPERATURA MINIMA

Fuente: Estación Meteorológica, Monjas, Jalapa.  
INSIVUMEH

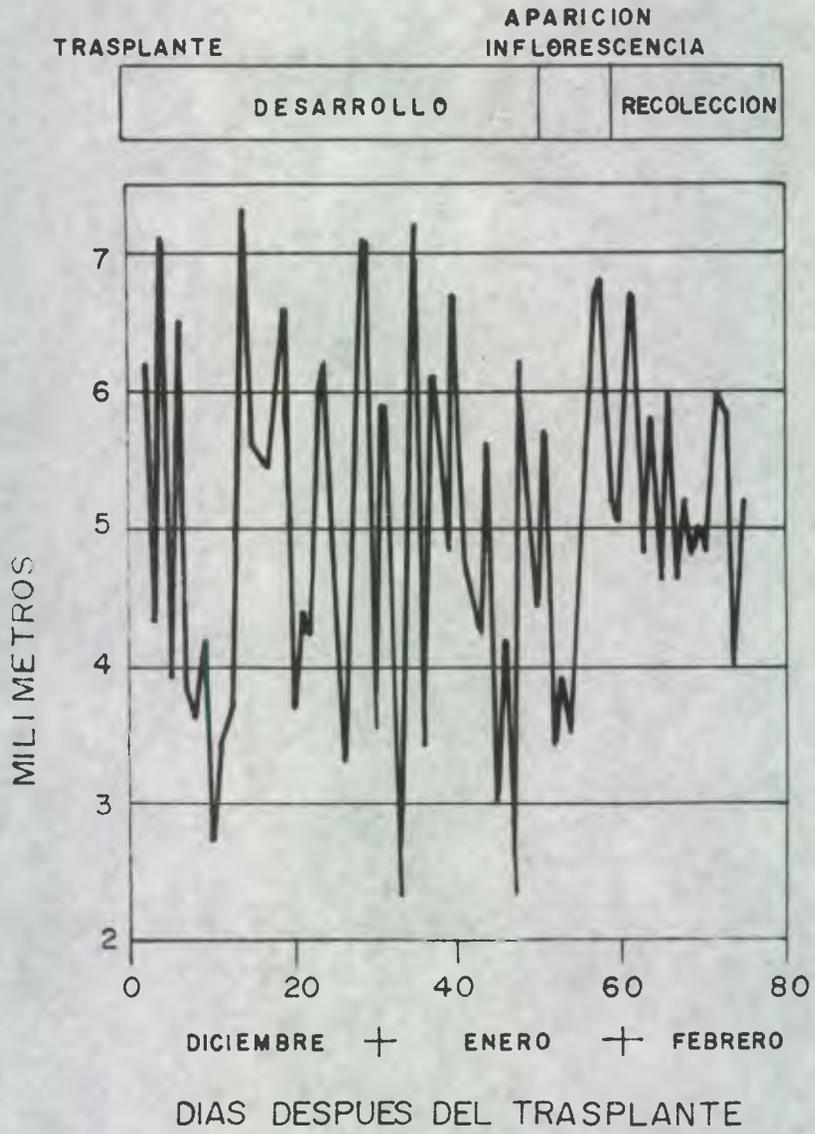


FIG. 12 DISTRIBUCION GRAFICA DE LA  
EVAPORACION DEL TANQUE TIPO "A"

Fuente: Estación Meteorológica, Monjas, Jalapa.  
INSIVUMEH

10. APENDICE

Cuadro 6. Rendimiento de inflorescencia exportable en TM/ha

TRATAMIENTOS	REPETICIONES				TOTAL	PROMEDIOS
	I	II	III	IV		
F-7	10.6699	11.8674	16.0333	13.8267	52.3972	13.0993
F-V	9.5833	10.1178	13.4701	11.7070	44.8782	11.2196
F-10	10.9060	11.1412	11.1718	13.0363	46.1552	11.5388
F-14	8.3186	9.6707	10.9114	11.6743	40.5752	10.1438
F-17	6.3312	7.4996	8.8698	9.5532	32.2536	8.0634
F-21	6.6973	7.5407	8.5030	8.2640	31.0048	7.7512
<b>TOTAL</b>	<b>52.5063</b>	<b>57.8374</b>	<b>68.8594</b>	<b>68.0615</b>	<b>247.2642</b>	

Cuadro 7. Análisis de Varianza para el Rendimiento de inflorescencia en TM/ha.

F.V.	G L	S. C	C.M	Fc	Ft 5%
Bloques	3	31.8523	10.617	13.759	0.0003
Tratamientos	5	86.9554	17.391	22.537	0.0000
Error	15	11.5750	0.772		
Total	23	130.3838			

Coefficiente de Variacion: 8.53%

Cuadro 8. Prueba de Tukey para el Rendimiento de inflorescencia en TM por ha.

TRATAMIENTO	MEDIAS
F-7	13.099 a
F-V	11.539 a b
F-10	11.220 a b
F-14	10.144 b
F-17	8.063 c
F-21	7.751 c

Los tratatamientos con igual letra se consideran estadísticamente iguales.

## CALCULO DE LA ETP USANDO LA FORMULA DE PENMAN

$$Etp = c \cdot (w \cdot Rn \cdot (1-w) \cdot F(u) \cdot (ea-ed))$$

donde:

$ea-ed$  = deficit de presión del vapor, es la diferencia entre la presión y la temperatura media, en milibares y la presión real de vapor (para  $ea$  ver cuadro 10)

$$ed = ea \cdot Hr/100.$$

$F(U)$  = Función del viento de  $F(u) = 0.27(1+U/100)$ , con  $U$  en kpd, medido a 2 metros de altura.

$$Rnl = 0.75 Rs - Rn \quad \text{y}$$

$$Rs = (0.25 + 0.5 n/N) \cdot Ra$$

$Ra$  = Radiación extraterrestre en mm/día ver cuadro número 11.

$n$  = duración media real de insolación en horas/día.

$N$  = Duración máxima posible de insolación en horas/día (ver cuadro 9).

$Rnl$  = Radiación neta de onda larga en mm/día y es función de  $T$  ed y de  $n/N$ , es decir,

$$Rnl = F(t) \cdot F(ed) \cdot F(n/N)$$

$w$  = Factor de ajuste o ponderación dependiente de la temperatura y la altitud. Ver cuadro 13.

c = Factor de ajuste para la relación  
U<sub>dia</sub>/U<sub>noche</sub>, para R<sub>H</sub>máx. y para  
R<sub>s</sub>, ver cuadro 14.

En la siguiente página se presenta el formato del cuadro que se usó para el cálculo de la Evapotranspiración, por la fórmula de Penman:



Cuadro 9. INSOLACION MAXIMA POSIBLE MENSUAL HORAS (N)

LAT N	ENE.	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
20	11.00	11.50	12.00	12.60	13.10	13.30	13.20	12.80	12.30	11.70	11.20	10.90
19	11.10	11.50	12.00	12.60	13.00	13.30	13.20	12.80	12.30	11.70	11.20	11.00
18	11.20	11.50	12.00	12.60	13.00	13.20	13.10	12.70	12.30	11.70	11.30	11.10
17	11.20	11.50	12.00	12.50	12.90	13.10	13.00	12.70	12.20	11.70	11.30	11.10
16	11.30	11.60	12.00	12.50	12.90	13.10	13.00	12.60	12.20	11.80	11.40	11.20
15	11.30	11.60	12.00	12.50	12.80	13.00	12.90	12.60	12.20	11.80	11.40	11.20
14	11.40	11.60	12.00	12.40	12.80	12.90	12.80	12.60	12.20	11.80	11.50	11.30
13	11.40	11.70	12.00	12.40	12.70	12.90	12.80	12.50	12.20	11.80	11.50	11.40
12	11.50	11.70	12.00	12.40	12.70	12.80	12.70	12.50	12.10	11.80	11.60	11.40
11	11.50	11.80	12.00	12.30	12.60	12.70	12.60	12.50	12.10	11.80	11.60	11.50
10	11.60	11.80	12.00	12.30	12.60	12.70	12.60	12.40	12.10	11.80	11.60	11.50
9	11.60	11.80	12.00	12.30	12.50	12.60	12.50	12.40	12.10	11.80	11.70	11.60
8	11.70	11.80	12.00	12.30	12.50	12.50	12.40	12.40	12.10	11.90	11.70	11.60
7	11.70	11.90	12.00	12.20	12.40	12.50	12.40	12.30	12.10	11.90	11.80	11.70
6	11.80	11.90	12.00	12.20	12.40	12.40	12.30	12.30	12.10	12.00	11.80	11.70
5	11.80	11.90	12.00	12.20	12.30	12.40	12.30	12.30	12.10	12.00	11.90	11.80
4	11.90	11.90	12.00	12.20	12.30	12.30	12.30	12.20	12.10	12.00	11.90	11.80
3	11.90	12.00	12.00	12.20	12.20	12.20	12.20	12.20	12.10	12.10	12.00	11.90
2	11.90	12.00	12.10	12.10	12.20	12.20	12.20	12.20	12.10	12.10	12.00	11.90
1	12.00	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.00
0	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10

LAT S JUL. AGO. SEPT. OCT. NOV. DIC. ENE. FEB. MAR. ABR. MAYO JUN.

Fuente: Doorembos, J. y Pruit, W. 1976.

Cuadro 10. PRESION DE VAPOR (ea) EXPRESADA EN MILIBARES COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA

T. C	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
-5	4.21	4.18	4.15	4.12	4.09	4.06	4.03	4.00	3.97	3.94
-4	4.55	4.51	4.48	4.44	4.41	4.38	4.34	4.31	4.28	4.25
-3	4.90	4.86	4.83	4.79	4.75	4.72	4.68	4.65	4.61	4.58
-2	5.28	5.24	5.20	5.16	5.12	5.08	5.05	5.01	4.97	4.93
-1	5.68	5.64	5.60	5.55	5.51	5.47	5.43	5.39	5.35	5.31
0	6.11	6.06	6.02	5.98	5.93	5.89	5.85	5.80	5.76	5.72
0	6.11	6.15	6.20	6.24	6.29	6.33	6.38	6.43	6.47	6.52
1	6.57	6.61	6.66	6.71	6.76	6.81	6.86	6.90	6.95	7.00
2	7.05	7.11	7.16	7.21	7.26	7.31	7.36	7.42	7.47	7.52
3	7.58	7.63	7.68	7.74	7.79	7.85	7.90	7.96	8.02	8.07
4	8.13	8.19	8.24	8.30	8.36	8.42	8.48	8.54	8.60	8.66
5	8.72	8.78	8.84	8.90	8.97	9.03	9.09	9.15	9.22	9.28
6	9.35	9.41	9.48	9.54	9.61	9.67	9.74	9.81	9.88	9.94
7	10.01	10.08	10.15	10.22	10.29	10.36	10.43	10.51	10.58	10.65
8	10.72	10.80	10.87	10.94	11.02	11.09	11.17	11.24	11.32	11.40
9	11.47	11.55	11.63	11.71	11.79	11.87	11.95	12.03	12.11	12.19
10	12.27	12.36	12.44	12.52	12.61	12.69	12.78	12.86	12.95	13.03
11	13.12	13.21	13.30	13.38	13.47	13.56	13.65	13.74	13.83	13.93
12	14.02	14.11	14.20	14.30	14.39	14.49	14.58	14.68	14.77	14.87
13	14.97	15.07	15.17	15.27	15.37	15.47	15.57	15.67	15.77	15.87
14	15.98	16.08	16.19	16.29	16.40	16.50	16.61	16.72	16.83	16.94
15	17.04	17.15	17.26	17.38	17.49	17.60	17.71	17.83	17.94	18.06
16	18.17	18.29	18.41	18.53	18.64	18.76	18.88	19.00	19.12	19.25
17	19.37	19.49	19.61	19.74	19.86	19.99	20.12	20.24	20.37	20.50
18	20.63	20.76	20.89	21.02	21.16	21.29	21.42	21.56	21.69	21.83
19	21.96	22.10	22.24	22.38	22.52	22.66	22.80	22.94	23.09	23.23
20	23.37	23.52	23.66	23.81	23.96	24.11	24.26	24.41	24.56	24.71
21	24.86	25.01	25.17	25.32	25.48	25.64	25.79	25.95	26.11	26.27
22	26.43	26.59	26.75	26.92	27.08	27.25	27.41	27.58	27.75	27.92
23	28.09	28.26	28.42	28.60	28.77	28.95	29.12	29.30	29.48	29.65
24	29.83	30.01	30.19	30.37	30.56	30.74	30.92	31.11	31.30	31.48
25	31.67	31.86	32.05	32.24	32.43	32.63	32.82	33.02	33.21	33.41
26	33.61	33.81	34.01	34.21	34.41	34.62	34.82	35.03	35.23	35.44
27	35.65	35.86	36.07	36.28	36.50	36.71	36.92	37.14	37.36	37.58
28	37.80	32.08	38.24	38.46	38.69	38.91	39.14	39.37	39.59	39.82
29	40.06	40.29	40.52	40.76	40.99	41.23	41.47	41.71	41.95	42.20
30	42.43	42.67	42.92	43.17	43.41	43.66	43.91	44.17	44.42	44.67
31	44.93	45.18	45.44	45.70	45.96	46.22	46.49	46.75	47.02	47.28
32	47.55	47.82	48.09	48.36	48.64	48.91	49.19	49.47	49.65	50.03
33	50.31	50.59	50.87	51.16	51.45	51.74	52.03	52.32	52.61	52.90
34	53.20	53.50	53.80	54.10	54.40	54.70	55.00	55.31	55.62	55.93
35	56.24	56.55	56.86	57.18	57.49	57.81	58.13	58.45	58.77	59.10
36	59.42	59.75	60.08	60.41	60.74	61.07	61.41	61.74	62.08	62.42
37	62.76	63.11	63.45	63.80	64.14	64.49	64.84	65.20	65.55	65.91
38	66.26	66.62	66.99	67.35	67.71	68.08	68.45	68.82	69.19	69.56
39	69.93	70.31	70.69	71.07	71.45	71.83	72.22	72.61	73.00	73.39

Fuente: Organizacion Meteorologica Mundial, 1974.

Cuadro 11. RADIACION EXTRATERRESTRE EN MM/DIA (Ra).

LATITUD GRADOS	ENE	FEBR.	MAR.	ABR.	MAYO	JUN.	JUL.	AGOS.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
20 N	11.2	12.7	14.4	15.6	16.3	16.4	16.3	15.8	14.8	13.3	11.6	10.7
19 N	11.4	12.9	14.5	15.6	16.2	16.2	16.2	15.8	14.9	13.4	11.8	10.9
18 N	11.6	13.0	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.8	14.9	13.6	12.0	11.1
17 N	11.8	13.2	14.6	15.6	16.0	16.0	16.0	15.7	15.0	13.7	12.2	11.3
16 N	12.0	13.3	14.7	15.6	16.0	15.9	15.9	15.7	15.0	13.8	12.4	11.6
15 N	12.2	13.5	14.8	15.6	15.9	15.8	15.8	15.7	15.1	14.0	12.6	11.8
14 N	12.4	13.6	14.9	15.6	15.8	15.7	15.7	15.6	15.1	14.1	12.8	12.0
13 N	12.6	13.8	15.0	15.6	15.7	15.6	15.6	15.6	15.2	14.2	13.0	12.2
12 N	12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	13.2	12.5
11 N	13.0	14.1	15.2	15.7	15.6	15.4	15.4	15.5	15.3	14.5	13.4	12.7
10 N	13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.6	12.9
9 N	13.4	14.4	15.3	15.6	15.4	15.1	15.2	15.4	15.3	14.7	13.7	13.1
8 N	13.6	14.5	15.3	15.6	15.3	15.0	15.1	15.4	15.3	14.8	13.9	13.3
7 N	13.8	14.6	15.4	15.5	15.2	14.8	15.0	15.3	15.3	14.9	14.0	13.5
6 N	13.9	14.8	15.4	15.5	15.1	14.7	14.8	15.2	15.3	15.0	14.2	13.7
5 N	14.1	14.9	15.5	15.5	15.0	14.6	14.7	15.1	15.3	15.0	14.3	13.9
4 N	14.3	15.0	15.5	15.5	14.8	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.0
3 N	14.5	15.1	15.5	15.4	14.7	14.3	14.5	15.0	15.3	15.2	14.6	14.2
2 N	14.6	15.3	15.6	15.3	14.6	14.2	14.3	14.9	15.3	15.3	14.8	14.4
1 N	14.8	15.4	15.6	15.3	14.5	14.0	14.2	14.8	15.3	15.3	14.9	14.6
0 EC	15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.7	15.3	15.4	15.1	14.8
1 S	15.1	15.6	15.7	15.1	14.2	13.7	13.9	14.7	15.3	15.5	15.2	15.0
2 S	15.3	15.7	15.6	15.0	14.1	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.3	15.1
3 S	15.4	15.7	15.6	14.9	13.9	13.3	13.6	14.4	15.2	15.5	15.4	15.3
4 S	15.5	15.8	15.6	14.8	13.8	13.1	13.4	14.2	15.1	15.6	15.5	15.4
5 S	15.7	15.9	15.6	14.7	13.6	13.0	13.2	14.1	15.1	15.6	15.6	15.5
6 S	15.8	16.0	15.6	14.6	13.4	12.8	13.0	14.0	15.0	15.7	15.7	15.7
7 S	15.9	16.0	15.6	14.5	13.3	12.6	12.9	13.9	15.0	15.7	15.9	15.8
8 S	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16.0	16.0
9 S	16.2	16.2	15.5	14.3	13.0	12.2	12.5	13.6	14.9	15.8	16.1	16.1
10 S	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12.0	12.4	13.5	14.8	15.8	16.2	16.3

Fuente: Organizacion Meteorologica Mundial (OMM), 1974.

Cuadro 12. RADIACION EN CUERPO NEGRO EXPRESADA EN MM DE AGUA EN FUNCION DE LA TEMPERATURA (F(T)).

TEMP. C	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
0	11.02	11.01	11.08	11.08	11.90	11.10	11.12	11.14	11.15	11.17
1	11.18	11.20	11.22	11.24	11.25	11.28	11.28	11.30	11.31	11.33
2	11.36	11.37	11.39	11.41	11.42	11.43	11.45	11.47	11.48	11.50
3	11.51	11.53	11.55	11.57	11.58	11.59	11.61	11.63	11.64	11.66
4	11.68	11.70	11.72	11.74	11.75	11.76	11.78	11.80	11.81	11.83
5	11.85	11.87	11.89	11.90	11.92	11.94	11.96	11.97	11.98	12.00
6	12.02	12.04	12.06	12.08	12.09	12.10	12.12	12.14	12.16	12.18
7	12.20	12.22	12.24	12.26	12.27	12.29	12.31	12.32	12.34	12.36
8	12.37	12.39	12.41	12.43	12.44	12.46	12.48	12.50	12.51	12.53
9	12.55	12.57	12.59	12.60	12.62	12.64	12.66	12.67	12.69	12.71
10	12.73	12.75	12.77	12.79	12.80	12.81	12.83	12.85	12.87	12.89
11	12.91	12.93	12.95	12.97	12.99	13.01	13.02	13.04	13.06	13.08
12	13.09	13.11	13.13	13.14	13.16	13.18	13.20	13.23	13.25	13.27
13	13.28	13.30	13.32	13.34	13.35	13.37	13.39	13.41	13.43	13.45
14	13.46	13.48	13.50	13.52	13.54	13.55	13.57	13.59	13.61	13.63
15	13.66	13.67	13.69	13.71	13.73	13.74	13.76	13.78	13.80	13.82
16	13.84	13.86	13.88	13.90	13.92	13.94	13.95	13.97	13.99	14.01
17	14.03	14.05	14.07	14.09	14.11	14.13	14.15	14.17	14.19	14.21
18	14.23	14.25	14.27	14.29	14.31	14.33	14.35	14.37	14.39	14.41
19	14.43	14.45	14.47	14.49	14.51	14.53	14.54	14.56	14.58	14.60
20	14.62	14.64	14.66	14.68	14.70	14.73	14.75	14.77	14.79	14.81
21	14.83	14.85	14.87	14.89	14.91	14.93	14.95	14.97	14.99	15.01
22	15.03	15.05	15.07	15.09	15.11	15.13	15.15	15.17	15.19	15.21
23	15.23	15.25	15.27	15.29	15.31	15.34	15.36	15.38	15.40	15.42
24	15.44	15.46	15.48	15.50	15.52	15.55	15.57	15.59	15.61	15.63
25	15.65	15.67	15.69	15.71	15.73	15.76	15.78	15.80	15.82	15.84
26	15.86	15.88	15.90	15.92	15.94	15.97	15.99	16.01	16.03	16.05
27	16.07	16.09	16.11	16.14	16.16	16.18	16.20	16.22	16.25	16.27
28	16.29	16.31	16.33	16.35	16.37	16.40	16.42	16.44	16.46	16.48
29	16.50	16.52	16.54	16.57	16.59	16.61	16.63	16.65	16.68	16.70
30	16.72	16.74	16.77	16.79	16.81	16.84	16.86	16.88	16.90	16.93
31	16.95	16.97	16.99	17.02	17.04	17.06	17.08	17.10	17.13	17.15
32	17.17	17.19	17.22	17.24	17.26	17.29	17.31	17.33	17.35	17.38
33	17.40	17.42	17.45	17.47	17.49	17.52	17.54	17.56	17.58	17.61
34	17.65	17.68	17.70	17.72	17.75	17.77	17.79	17.81	17.84	17.86
35	17.88	17.90	17.93	17.95	17.97	18.00	18.02	18.04	18.07	18.09

Fuente: Organización Meteorológica Mundial (OMM), 1974.

Cuadro 13. VALORES DEL FACTOR DE PONDERACION (W) DEL EFECTO DE LA RADIACION SOBRE ETP PARA DISTINTAS TEMP. Y ALT.

T(C)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
W(m)																				
0	0.43	0.46	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.78	0.8	0.82	0.83	0.84	0.85
500	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.6	0.62	0.65	0.67	0.7	0.72	0.74	0.76	0.78	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86
1000	0.46	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.8	0.82	0.83	0.85	0.86	0.87
2000	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88
3000	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86	0.88	0.88	0.89

T(C)= Temperatura en grados centigrados

W(m)= W con altitud en metros

Fuente: Doorembos, J. y Pruit, W., 1976.

BIBLIOTECA  
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Cuadro 14.

## FACTOR DE AJUSTE (C) EN LA ECUACION DE PENMAN MODIFICADA

Rs(mm/día)	RHmax = 30%				RHmax = 60%				RHmax = 90%			
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
Udía m/seg:	Udía/Noche= 4.0											
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.79	0.84	0.92	0.97	0.92	1.00	1.11	1.19	0.99	1.10	1.27	1.32
6	0.68	0.77	0.87	0.93	0.85	0.96	1.11	1.19	0.94	1.10	1.26	1.33
9	0.55	0.65	0.78	0.90	0.76	0.88	1.02	1.14	0.88	1.01	1.16	1.27
	Udía/Noche= 3.0											
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.76	0.81	0.88	0.94	0.87	0.96	1.06	1.12	0.94	1.04	1.18	1.28
6	0.61	0.68	0.81	0.88	0.77	0.88	1.02	1.10	0.86	1.01	1.15	1.22
9	0.46	0.56	0.72	0.82	0.67	0.79	0.88	1.05	0.78	0.92	1.06	1.16
	Udía/Noche= 2.0											
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.69	0.76	0.85	0.92	0.83	0.91	0.99	1.05	0.89	0.98	1.10	1.14
6	0.53	0.61	0.74	0.84	0.70	0.80	0.94	1.02	0.79	0.92	1.05	1.12
9	0.37	0.48	0.65	0.76	0.59	0.70	0.84	0.95	0.71	0.81	0.96	1.06
	Udía/Noche= 1.0											
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.64	0.71	0.82	0.89	0.78	0.86	0.94	0.99	0.85	0.92	1.01	1.05
6	0.43	0.53	0.68	0.79	0.62	0.70	0.84	0.93	0.72	0.82	0.95	1.00
9	0.27	0.41	0.59	0.70	0.50	0.60	0.75	0.87	0.62	0.72	0.87	0.96

Fuente: Doorembos, J. y Pruitt, W. 1976.

Cuadro 15.  
Fraccion de agotamiento del agua del suelo para grupos de cultivos  
y evapotranspiracion maxima.

Grupo de Cultivo	Rta mm/dia								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.5	0.425	0.35	0.3	0.25	0.225	0.2	0.2	0.175
2	0.675	0.575	0.475	0.4	0.35	0.325	0.275	0.25	0.225
3	0.8	0.7	0.6	0.5	0.45	0.425	0.375	0.35	0.3
4	0.875	0.8	0.7	0.6	0.55	0.5	0.45	0.425	0.4

Identificacion de los grupos de cultivos

Grupo	Cultivos
1	cebolla, chile pimiento, papa
2	banano, col, uva, arveja, tomate
3	alfalfa, frijol, citricos, mania, pina, sandia, trigo
4	algodon, maiz, olivo, cartamo, sorgo, soya, remolacha azucarera cana de azucar, tabaco.

Fuente: Doorembos y Pruitt. 1976.

CALCULO DE BALANCE HIDRICO - METODO AGRICOLA ACUMULADO  
EJEMPLO PARA F-7

En el cuadro 16 se presentan los datos originales y los calculados.

Empezaremos a partir del día 14, que fue la fecha en que se realizó el último riego general.

Columna 2:

Aquí se escribe la profundidad radicular en m, se calcula con la fórmula:

$$Z_i = 1.8 * (t/t_c) * (1.5 - t/t_c) * D_x$$

DONDE:

t = Edad de la planta en el día i

t<sub>c</sub> = Período completo del cultivo en días (para brócoli en Monjas 80 días)

D<sub>x</sub> = Profundidad radicular cuando el cultivo está bien desarrollado (para brócoli 40-50 cm, en este caso se usó 40 cm.).

$$\text{Entonces, } Z_{14} = 1.8 * (14/80) * (1.5 - 14/80) * 40 \text{ cm}$$

$$Z_{14} = 16.7 \text{ cm.}$$

Toda esta columna se puede calcular desde el inicio porque es independiente de factores climáticos y de riego.

Vale la pena corroborar como se comporta el crecimiento real de la raíz para verificar la fórmula.

Columna 3. La evapotranspiración potencial, Etp. de la columna 3 se calcula con la fórmula de Penman, si se desea una mejor estimación y si se tiene estación meteorológica tipo "A" cuando

Cuadro 16. CALCULO DE LAMINA A APLICAR EN CADA RIEGO, UTILIZANDO EL BALANCE HIDRICO

(1) Dia	(2) Z	(3) Ktp	(4) Kc	(5) Ktm	(6) Ad-1/Adp-1	(7) Ktr/Ktm	(8) Ktr	(9) KtrA	(10) Lr	(11) Ad	(12) Adp
13	15.65	3.48							24.41	24.41	24.41
14	16.70	3.34	0.66	2.20	1.00	1.00	2.20	2.20		22.21	26.05
15	17.70	3.55	0.68	2.41	0.85	0.98	2.36	4.56		19.85	27.64
16	18.70	2.73	0.69	1.88	0.72	0.95	1.79	6.35		18.06	29.20
17	19.70	3.71	0.71	2.63	0.62	0.92	2.42	8.77		15.64	30.70
18	20.70	3.69	0.73	2.69	0.51	0.86	2.31	11.08		13.33	32.20
19	21.60	2.65	0.74	1.96	0.41	0.79	1.55	12.63		11.78	33.70
20	22.50	3.51	0.76	2.67	0.35	0.74	1.98	14.61		9.81	35.10
21	23.40	3.00	0.77	2.31	1.00	1.00	2.31	2.31	26.69	34.19	36.50
22	24.20	3.96	0.79	3.13	0.94	0.99	3.11	5.42		31.08	37.80
23	25.10	3.19	0.81	2.58	0.82	0.97	2.50	7.92		25.00	39.20
24	25.90	3.91	0.82	3.21	0.73	0.95	3.06	10.98		28.58	40.40
25	26.70	3.98	0.84	3.34	0.63	0.92	3.07	14.05		25.52	41.60
26	27.50	2.25	0.85	1.91	0.54	0.88	1.03	15.08		22.45	42.90
27	28.20	3.46	0.87	3.01	1.00	1.00	3.01	3.01	22.58	21.42	44.00
28	29.00	3.12	0.89	2.78	0.93	0.99	2.76	5.77		40.99	45.10
29	29.70	2.89	0.90	2.60	0.85	0.98	2.55	8.32		38.23	46.30
30	30.40	4.01	0.92	3.69	0.77	0.96	3.55	11.87		35.68	47.40
31	31.00	3.85	0.93	3.58	0.68	0.94	3.35	14.22		32.13	48.40

Fuente: Elaboracion Propia.

se tiene una estación meteorológica tipo "B", entonces se recomienda usar la fórmula de Hargreaves.

Columna 4 En ésta se escribe el coeficiente de cultivo  $K_c$ , el cual se toma de la publicación FAO (Doorembos y Pruitt 1976, Las necesidades de agua de los cultivos).

Columna 5. La evapotranspiración máxima del cultivo,  $E_{tm}$ , resulta de multiplicar  $E_{tp} * K_c$ , o sea:

$$E_{tm} = E_{tp} * K_c$$

$$E_{tm} = 3.34 * 0.66 = 2.20$$

Columna 6. Es la relación que existe entre el agua disponible en un día anterior del considerado ( o sea el día 13 en este caso).

$Ad-1/Adp-1 = 24.41/24.41 = 1$  (debido a que este día se regó, la relación es igual a uno)

Columna 7. Representa la relación entre la evapotranspiración real ( $E_{tr}$ ) y la evapotranspiración Máxima ( $E_{tm}$ ) o sea  $E_{tr}/E_{tm}$ , la cual se calcula por la fórmula dada por la Organización Meteorológica Mundial (OMM):

$$E_{tr}/E_{tm} = 1.03 - e^{-3.5 * Ad-1/Adp-1}$$

$$\text{Entonces para el día 14 } E_{tr}/E_{tm} = 1.03 - e^{-3.5 * 1}$$

Columna 8 Se determina  $E_{tr}$ , usando la relación conocida:

$$E_{tr} = E_{tr}/E_{tm} * E_{tm}$$

$$\text{Para este caso } E_{tr} = 1 * 2.2 = 2.20$$

Columna 9: En esta columna se acumulan los valores de evapotranspiración real, es de utilidad cuando se calculan los porcentajes de agotamiento de la humedad aprovechable.

Columna 10. El agua disponible en el suelo (Ad) se calcula restándole a el agua disponible el día anterior (Ad-1) el agua consumida por evapotranspiración o sea Etr:

$$Ad = Ad-1 - Etr$$

Para el ejemplo:

$$Ad = 24.41 - 2.2 = 22.21$$

Columna 11. Es la cantidad máxima de agua que puede retener la zona radicular en el día considerado  $Adp_i$ , y se calcula con la fórmula:

$$Adp_i = (cc - pmp) * Da * Zi / 100$$

DONDE:

cc = Capacidad de campo (%)

pmp = Punto de marchitez permanente (%)

Da = Densidad aparente del suelo (gr/cc)

$Z_i$  = Profundidad radicular en el día i de la columna 2

La columna 11 puede calcularse desde el inicio ya que no depende de datos meteorológicos.

Para el ejemplo:

$$Adp_{14} = (24 - 12) * 1.3 * 16.7 = 26.05 \text{ cm.}$$

Para el día 15 continuamos de la misma manera:

Columna 2:

$$Z_{15} = 1.8 * (15/80) * (1.5 - 15/80) * 40 = 17.7 \text{ cms}$$

Columna 5:

$$Etm = 3.55 * 0.68 = 2.41 \text{ mms}$$

Columna 6:

$$Ad-1/Adp-1 = 22.21/26.05 = 0.85$$

Columna 7:

$$Etr/Etm = 1.03 - e^{-3.5 * 0.85} = 0.98$$

Columna 8:

$$Etr = (0.98) * 2.41 = 2.36$$

Columna 9:

$$EtrA = 2.2 + 2.36 = 4.56 \text{ mm}$$

Columna 10:

$$Ad = 22.21 - 2.36 = 19.85 \text{ mm}$$

etc.

Cuando llega el día a regar, se debe considerar el agua disponible el día anterior al riego y el agua máxima que puede retener el suelo. La diferencia entre estos valores es la lámina que hay que reponer.

Para el presente caso, el agua máxima que puede retener el suelo se tomó el valor del día de riego, es decir, que para el día 22 que se hizo riego, la lámina a reponer se calculó así:

$$Lr = 35.5 - 9.81 = 26.69 \text{ mms}$$

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

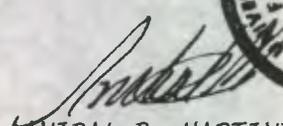
GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia \_\_\_\_\_  
Asunto \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

9 de mayo de 1,990

"IMPRIMASE"



  
ING. AGR. ANIBAL B. MARTINEZ M.  
DECANO