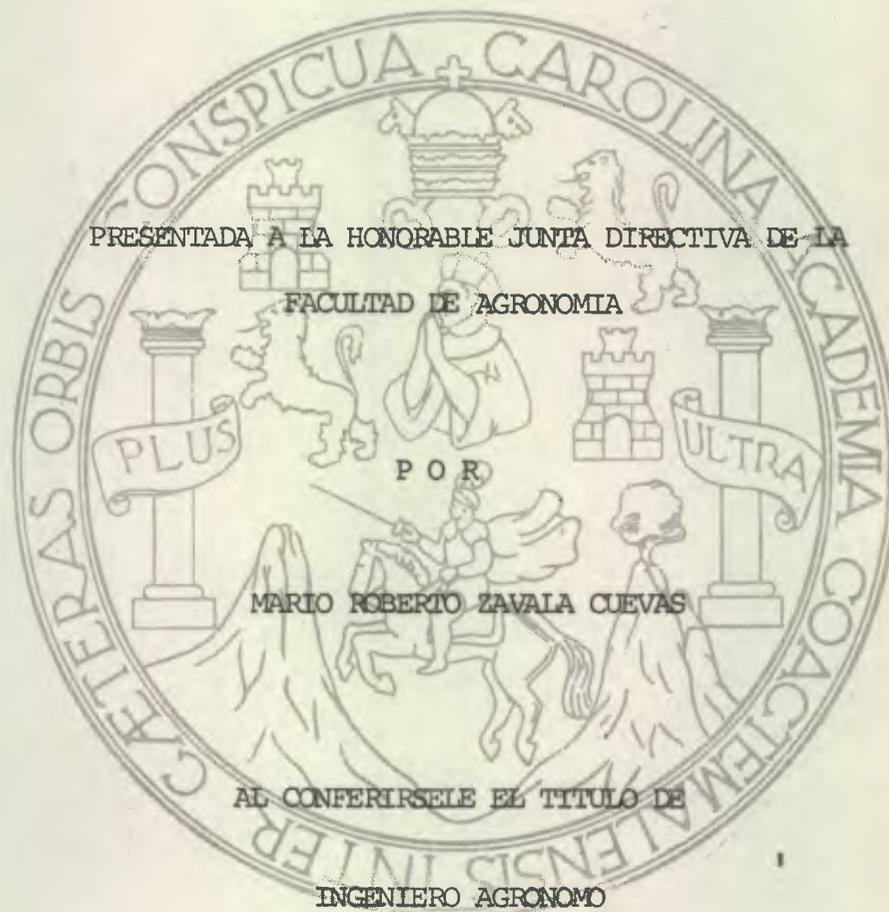


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

BIBLIOTECA CENTRAL-USAC  
DEPOSITO LEGAL  
PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO

"EFECTO DE SIETE FRECUENCIAS DE RIEGO EN EL RENDIMIENTO Y  
EVAPOTRANSPIRACION EN CEBOLLA (Allium cepa L.), PARA  
LA ZONA DE BARCENA, VILLIA NUEVA"



EN SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA  
EN EL GRADO ACADEMICO DE  
LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala, febrero de 1989

Du  
01  
T(1186)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

R E C T O R

Lic. RODERICO SEGURA TRUJILLO

JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE AGRONOMIA

- |            |                                 |
|------------|---------------------------------|
| DECANO     | ING. AGR. ANIBAL B. MARTINEZ M. |
| VOCAL I    | ING. AGR. GUSTAVO A. MENDEZ     |
| VOCAL II   | ING. AGR. JORGE SANDOVAL I.     |
| VOCAL III  | ING. AGR. MARIO MELGAR M.       |
| VOCAL IV   | Br. MARCO A. HIDALGO            |
| VOCAL V    | P. A. BYRON MILIAN              |
| SECRETARIO | ING. AGR. JOSE R. LARA ALECIO   |



Referencia IA-002-89  
Asunto .....

FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

11 de enero de 1989

Ingeniero Agrónomo  
Aníbal Martínez  
Decano, Facultad de Agronomía.

Señor Decano:

En atención al nombramiento recibido de ésa Decanatura, me permito manifestar a usted que he asesorado y revisado el trabajo de tesis titulado: "EFECTO DE SIETE FRECUENCIAS DE RIEGO EN EL RENDIMIENTO Y EVAPOTRANSPIRACION EN CEBOLLA (Allium cepa L.) PARA LA ZONA DE BARCENA, VILLA NUEVA", desarrollado por el estudiante Mario Roberto Zavala Cuevas.

Considero que dicho trabajo de investigación cumple con los requisitos para ser presentado como Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo, y constituye además un valioso aporte al desarrollo de la Agricultura bajo riego en Guatemala.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Agr. M.S. Jorge Sandoval I.  
A S E S O R

JSI/eqded.



GUATEMALA, S. A.

Guatemala, 11 de Enero de 1,989

Ingeniero Agrónomo:  
ANIBAL MARTINEZ  
Decano, Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos

Distinguido Sr. Decano:

En atención al nombramiento recibido de ésa Decanatura, me permito manifestar a usted que he asesorado y revisado el trabajo de tesis titulado: ' EFECTO DE SIETE FRECUENCIAS DE RIEGO EN EL RENDIMIENTO Y EVAPOTRANSPIRACION EN CEBOLLA (Allium cepa L.) PARA LA ZONA DE BARCENA, VILLA NUEVA ' desarrollado por el estudiante Mario Roberto Zavala Cuevas.

Considero que dicho trabajo de investigación cumple con los requisitos para ser presentado como Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo, y constituye además un valioso aporte al desarrollo de la Agricultura bajo riego en Guatemala.

Atentamente,

... ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Agr. Mario B. Sebastune Garza

A S E S O R

Guatemala, Enero de 1989

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos  
Ciudad de Guatemala

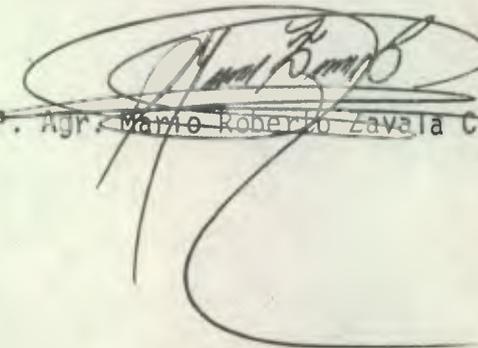
Señores Miembros:

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:

"EFECTO DE SIETE FRECUENCIAS DE RIEGO EN EL RENDIMIENTO Y EVAPOTRANSPIRACION EN CEBOLLA (Allium cepa L.), PARA LA ZONA DE BARCENA, VILLA NUEVA"

Como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Atentamente,

  
P. Agr. Mario Roberto Zavala Cuevas

## ACTO QUE DEDICO

- A: DIOS                                      CREADOR DEL UNIVERSO QUE ILUMINÓ MI MENTE  
PARA QUE ESTE SUEÑO HERMOSO SE CONVIRTIE-  
RA EN REALIDAD.
- A: MI PADRE                                    ARMANDO ZAVALA G. (Q.E.P.D.)  
QUE SUSPENDA POR UN MINUTO EL SUEÑO ETER-  
NO Y QUE EL TRIUNFO QUE HOY OBTENGO, SEA  
COMO UNA SIEMPRE VIVA EN SU TUMBA.
- A: MI MADRE                                   ARGELIA CUEVAS VDA. DE ZAVALA  
COMO UNA PEQUEÑA RECOMPENSA A SU GRAN ES-  
FUERZO, CARIÑO Y DEDICACIÓN.
- A: MI HIJO                                    CARLOS ARMANDO  
COMO UN EJEMPLO DE ESFUERZO Y SUPERACIÓN  
PARA SU FUTURA VIDA.
- A: MIS HERMANOS                            ARMANDO, JULIO, GUSTAVO (Q.E.P.D.), OSCAR,  
CARLOS, LETICIA Y NORMA  
CON MUCHO CARIÑO.
- A: MI TÍA                                      ESTELA ZAVALA VDA. DE ARDON (Q.E.P.D.)  
UNA FLOR SOBRE SU TUMBA
- A: MIS SOBRINOS, PRIMOS Y FAMILIARES EN GENERAL  
CON APRECIO.
- A: MIS AMIGOS                                RESPETUOSAMENTE

TESIS QUE DEDICO

A: GUATEMALA

A: AMATITLÁN

A LA: UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

A LA: FACULTAD DE AGRONOMÍA

A LA: ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA

## AGRADECIMIENTOS

A:                   ING. AGR. MSC. JORGE ENRIQUE SANDOVAL ILLESCAS  
                      ING. AGR. MARIO BOANERGES SAGASTUME GARZA  
                      POR SU VALIOSA ASESORÍA, SUPERVISIÓN Y REVISIÓN  
                      AL TRABAJO DE TESIS PRESENTADO.

A:                   ING. AGR. ADOLFO HORACIO ACOSTA  
                      ING. AGR. VICTOR MANUEL CABRERA  
                      POR SU VALIOSA COLABORACIÓN Y APOYO EN EL  
                      EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO

A:                   SEÑOR MIGUEL CARRERA  
                      SEÑOR JUAN ANTONIO GODOY  
                      AGRICULTORES QUE COLABORARON EN LOS TRABAJOS  
                      DE CAMPO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN Y EN EL  
                      EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO.

## INDICE GENERAL

	PAGINA
RESUMEN . . . . .	i
1. INTRODUCCION . . . . .	1
2. HIPOTESIS . . . . .	3
3. OBJETIVOS . . . . .	4
3.1 Objetivo General . . . . .	4
3.2 Objetivos Específicos . . . . .	4
4. REVISION DE LITERATURA . . . . .	5
4.1 Generalidades sobre el cultivo de cebolla . . . . .	5
4.2 Estudios realizados sobre frecuencias de riego en cebolla. . . . .	6
4.3 Otros estudios sobre frecuencias de riego en Guatemala . . . . .	9
4.4 Evapotranspiración . . . . .	11
4.5 Métodos para determinar la Evapotranspiración . . . . .	11
4.6 Descripción de los métodos a utilizar . . . . .	12
4.6.1 Método de parcelas experimentales . . . . .	12
4.6.2 Método de Hargreaves modificado en 1983 . . . . .	13
4.6.3 Método basado en la Evapotranspiración del tanque . . . . .	14
5. METODOLOGIA . . . . .	17
5.1 Ubicación y Descripción de área experimental . . . . .	17
5.2 Determinación de características físicas y químicas del suelo . . . . .	17
5.3 Manejo del Cultivo . . . . .	18
5.4 Manejo del Experimento . . . . .	19
5.4.1 Nivelación del terreno y trazo del experimento . . . . .	19
5.4.2 Método de riego . . . . .	20
5.4.3 Control de la humedad del suelo y Aplicación de los riegos . . . . .	21
5.4.4 Mediciones en el tanque Evaporímetro . . . . .	24

	PAGINA
5.4 5 Diseño estadístico y Area del experimento . . . . .	24
5.4.6 Variables respuesta . . . . .	25
5.4.7 Métodos de análisis de resultados . . . . .	25
6. RESULTADOS Y DISCUSION . . . . .	29
6.1 Variables respuesta . . . . .	29
6.1.1 Rendimiento de bulbos en toneladas métricas por Hectárea . . . . .	30
6.1.2 Rendimiento de plantas completas en toneladas métricas por Hectárea . . . . .	31
6.1.3 Número de plantas vivas por parcela útil al final del ciclo . . . . .	32
6.2 Uso de Agua por el Cultivo . . . . .	33
6.2.1 Número de riegos y Láminas consumidas . . . . .	33
6.2.2 Agotamiento de la humedad aprovechable del suelo . . . . .	34
6.3 Comparación de la Evapotranspiración medida con la calculadora por la fórmula de Hargreaves modificada en 1983 . . . . .	36
6.4 Cálculo del coeficiente "C" de la relación Evapotranspiración/Evaporación . . . . .	38
7. CONCLUSIONES . . . . .	41
8. RECOMENDACIONES. . . . .	43
9. BIBLIOGRAFIA . . . . .	44
10. APENDICE . . . . .	47

	PAGINA	
5.4.5	Diseño estadístico y Area del experimento . . . . .	24
5.4.6	Variabes respuesta . . . . .	25
5.4.7	Métodos de análisis de resultados . . . . .	25
6.	RESULTADOS Y DISCUSION . . . . .	29
6.1	Variabes respuesta . . . . .	29
6.1.1	Rendimiento de bulbos en toneladas métricas por Hectárea . . . . .	30
6.1.2	Rendimiento de plantas completas en toneladas métricas por Hectárea . . . . .	31
6.1.3	Número de plantas vivas por parcela útil al final del ciclo . . . . .	32
6.2	Uso de Agua por el Cultivo . . . . .	33
6.2.1	Número de riegos y Láminas consumidas . . . . .	33
6.2.2	Agotamiento de la humedad aprovechable del suelo . . . . .	34
6.3	Comparación de la Evapotranspiración medida con la calculadora por la fórmula de Hargreaves modificada en 1983 . . . . .	36
6.4	Cálculo del coeficiente "C" de la relación Evapotranspiración/Evaporación . . . . .	38
7.	CONCLUSIONES . . . . .	41
8.	RECOMENDACIONES. . . . .	43
9.	BIBLIOGRAFIA . . . . .	44
10.	APENDICE . . . . .	47

## INDICE DE CUADROS

		Página
CUADRO 1	Propiedades físicas del suelo . . . . .	18
CUADRO 2	Resultados del análisis químico del suelo . . . . .	18
CUADRO 3	Resultados promedio de las variables respuesta . . . . .	30
CUADRO 4	Número de riegos y láminas consumidas . . . . .	33
CUADRO 5	Relación evapotranspiración/evaporación para las diferentes etapas fenológicas del cultivo . . . . .	39
CUADRO 6	Resultado de rendimiento de bulbos en toneladas métricas, por Hectárea, para cada tratamiento y repetición . . . . .	48
CUADRO 7	Análisis de varianza por el rendimiento de bulbos en toneladas métricas por hectárea . . . . .	49
CUADRO 8	Prueba de Tukey para rendimiento de bulbos en toneladas métricas por hectárea. . . . .	49
CUADRO 9	Resultados de rendimiento de plantas completas en toneladas métricas por hectárea, para cada trata- miento y repetición . . . . .	50
CUADRO 10	Análisis de varianza para el rendimiento de plantas completas en toneladas métricas por hectárea . . . . .	51
CUADRO 11	Prueba de Tukey para rendimiento de plantas completas en toneladas métricas por hectárea . . . . .	51
CUADRO 12	Control de la humedad antes y despues del riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento f-8 . . . . .	52
CUADRO 13	Control de la humedad antes y despues del riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento f-12 . . . . .	53

CUADRO 14	Control de la humedad antes y después del riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento f-16 . . . . .	54
CUADRO 15	Control de la humedad antes y después del riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento f-20 . . . . .	55
CUADRO 16	Control de la humedad antes y después del riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento f-24 . . . . .	56
CUADRO 17	Control de la humedad antes y después del riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento f-28 . . . . .	57
CUADRO 18	Control de la humedad antes y después del riego y Cálculo de la lámina consumida para el tratamiento f-32 . . . . .	58
CUADRO 19	Número de riegos y láminas de agua aplicadas para los siete tratamientos, incluyendo el período de establecimiento (cms.) . . . . .	59
CUADRO 20	Cálculo de evapotranspiración por la fórmula de Hargreaves modificada en 1983 para todo el ciclo del cultivo . . . . .	60
CUADRO 21	Valores de tasa de evapotranspiración semanal y total en milímetros para los diferentes tratamientos, Hargreaves y evaporación del tanque. . . . .	61
CUADRO 22	Valores de pendiente, intercepto, pruebas de hipótesis, correlación y coeficientes de determinación $r^2$ de la evapotranspiración semanal de los tratamientos versus fórmula de Hargreaves modificada en 1983. . . . .	62
CUADRO 23	Relación entre evapotranspiración semanal de los tratamientos y evaluación del tanque evaporímetro . . . . .	63

FIGURA 12 Plano general del experimento, ubicación de la  
infraestructura y asignación aleatoria de los  
tratamientos . . . . . 75

FIGURA 13 Ubicación del área donde se efectuó el experi-  
mento . . . . . 76

## INDICE DE FIGURAS

		Página
FIGURA 1	Porcentaje de humedad aprovechable y del suelo para el tratamiento f-8 . . . . .	64
FIGURA 2	Porcentaje de humedad aprovechable y del suelo para el tratamiento f-12 . . . . .	65
FIGURA 3	Porcentaje de humedad aprovechable y del suelo para el tratamiento f-16 . . . . .	66
FIGURA 4	Porcentaje de humedad aprovechable y del suelo para el tratamiento f-20 . . . . .	67
FIGURA 5	Porcentaje de humedad aprovechable y del suelo para el tratamiento f-24 . . . . .	68
FIGURA 6	Porcentaje de humedad aprovechable y del suelo para el tratamiento f-28 . . . . .	69
FIGURA 7	Porcentaje de humedad aprovechable y del suelo para el tratamiento f-32 . . . . .	70
FIGURA 8	Relación de la evapotranspiración semanal medida en campo y la calculada por la fórmula de Hargreaves modificada en 1983, para el tratamiento f-8 . . . . .	71
FIGURA 9	Relación de la evapotranspiración semanal medida en el campo y la calculada por la fórmula de Hargreaves modificada en 1983, para el tratamiento f-12 . . . . .	72
FIGURA 10	Relación de la evapotranspiración semanal medida en campo y la calculada por la fórmula de Hargreaves modificada en 1983, para el tratamiento f-16 . . . . .	73
FIGURA 11	Evapotranspiración semanal acumulada de los diferentes tratamientos, Hargreaves modificada en 1983 y evaporación del tanque. . . . .	74

EFFECTO DE SIETE FRECUENCIAS DE RIEGO EN EL RENDIMIENTO Y EVAPOTRANSPIRACION  
EN CEBOLLA (Allium cepa L.) PARA LA ZONA DE BARCENA, VILLA NUEVA

EFFECT OF SEVEN IRRIGATION FREQUENCIES IN THE YIELD AND EVAPOTRANSPIRATION  
OF ONION (Allium cepa L.) IN THE REGION OF BARCENA, VILLA NUEVA

RESUMEN

El presente estudio se realizó en la Escuela Nacional de Agricultura, Barcena, Villa Nueva, el cual consistió en la evaluación del efecto de siete frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración de la cebolla (Allium cepa L.). Empleándose intervalos de riego de 8, 12, 16, 20, 24, 28 y 32 días, arreglados bajo un diseño experimental de bloques al azar con 4 repeticiones y un total de 28 unidades experimentales, en las cuales se determinó el consumo de agua en forma directa y se comparó con el estimado por la fórmula de Hargreaves modificada en 1,983. Adicionalmente se obtuvieron coeficientes "C" de la relación evapotranspiración medida en el campo con la evaporación del agua en el evaporímetro Rossbach modelo Fv-122-R, para poder calcular la evapotranspiración a través de ellos.

Para determinar la humedad, se empleó el método gravimétrico, tomando muestras en el estrato de 0-30 centímetros con un barreno tipo helicoidal, después del riego y antes de aplicar el siguiente. Con el porcentaje de humedad a capacidad de campo, profundidad radicular y densidad aparente, se determinó la cantidad de agua a aplicar en cada riego y el agua consumida por el cultivo entre un riego y el siguiente.

El efecto de las diferentes frecuencias de riego se midió a través de las variables respuesta: Rendimiento de bulbos en toneladas métricas por

hectárea, rendimiento de plantas completas en toneladas métricas por hectárea y número de plantas vivas por parcela útil al final del experimento.

Evaluando los diferentes tratamientos, se determinó que en los regados cada 8 y 12 días, se obtuvieron los mayores rendimientos tanto de bulbos como de plantas completas, mientras que en los demás tratamientos a medida que el intervalo de riego fue más largo, el rendimiento disminuyó significativamente. Al medir la evapotranspiración, se estableció que la cantidad de agua consumida tiende a disminuir conforme se alarga el intervalo de riego, alcanzando valores de 26.82 Cms. para la frecuencia de 8 días, hasta 11.50 Cms. para la frecuencia de 32 días. Determinándose además que en los tratamientos regados con intervalos de 24 y 32 días, la humedad aprovechable del suelo alcanzó valores correspondientes al punto de marchitez permanente.

Comparando estadísticamente los valores de evapotranspiración medida y calculada, se determinó que el valor de la evapotranspiración medida en los tratamientos regados cada 8, 12 y 16 días es igual a la calculada por la fórmula de Hargreaves modificada en 1,983, manifestando además un alto coeficiente de correlación para los tratamientos regados cada 20 y 24 días, por lo que se puede realizar un ajuste de este método indirecto de determinar la evapotranspiración.

Los coeficientes "C" obtenidos para estimar la evapotranspiración en función de la evaporación del tanque, pueden ser utilizados como datos preliminares. Se recomienda seguirlos afinando a través de esta misma línea de investigación ya que constituyen un método sencillo, práctico y funcional.

## 1. INTRODUCCION

El área de tierras cultivables bajo riego aumentó considerablemente en todo el mundo durante la década de los años 70, en una época en la que la energía y los combustibles eran relativamente baratos y abundantes. - Hoy sin embargo, la situación ha cambiado completamente. El riego de los cultivos requiere una inversión considerable en equipo, combustible, mantenimiento y mano de obra, pero ofrece la posibilidad de aumentar la producción y los ingresos netos. El agricultor se enfrenta al problema de determinar cuando regar y cuanta agua aplicar para obtener los mejores resultados.

Manejo del agua es un término usado, para describir el proceso destinado a conservar el agua y energía, y al mismo tiempo suministrar la humedad adecuada a las plantas. Es imposible lograr un manejo total de agua sin conocer las características del suelo, el agua y las plantas. La programación del riego es un aspecto del manejo del agua, consiste en la entrega oportuna del agua en cantidad suficiente para mantener el desarrollo óptimo de la planta durante el ciclo de crecimiento.

Lo anterior se logra a través de investigaciones precisas que llevan un fin primordial, hacer más eficiente la utilización del recurso agua, debido a que, cada año que pasa se hace más difícil la obtención de este líquido vital. El Instituto de Investigaciones Agrónomas (IIA) de la Facultad de Agronomía, preocupado por esta situación, se ha interesado, y a incluido en su línea de investigaciones, estudios relacionados con el uso eficiente del agua en las distintas unidades de riego de la República.

El presente ensayo fue realizado en la Sección de Hortalizas de la Escuela Nacional Central de Agricultura, Barcena, Villa Nueva, evaluando el efecto de siete frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración del cultivo de la cebolla (Allium cepa L.), debido a la importancia que este cultivo tiene en la región y para obtener resultados definitivos y confiables ya que dos trabajos de investigación han sido realizados en este mismo terreno y cultivo.

Se tomaron frecuencias de riego de 8, 12, 16, 20, 24, 28 y 32 días, realizando la medición de la evapotranspiración en el campo, también se analizó la verificación de la adaptabilidad de la Fórmula de Hargreaves modificada en 1983. Adicionalmente a ello se obtuvieron coeficientes "C" de la relación evapotranspiración medida entre la evaporación del tanque evaporímetro "Rossbach" Modelo Fv-122-R, con el objeto de determinar indirectamente la evapotranspiración del cultivo en las diferentes etapas de desarrollo.

## 2. HIPOTESIS

- 2.1 Los rendimientos obtenidos en el cultivo de cebolla, serán diferentes con la aplicación de las frecuencias de riego de 8, 12, 16, 20, 24, 28 y 32 días.
- 2.2 Las frecuencias de riego de 28 y 32 días, producirán mortalidad de plantas.
- 2.3 El valor de la evapotranspiración o consumo de agua por el cultivo será diferente en los tratamientos regados con distinto intervalo de riego.
- 2.4 La evapotranspiración medida en el campo durante todo el ciclo del cultivo para cada una de las frecuencias de riego, será diferente del valor de la evapotranspiración estimada con la fórmula de Hargreaves modificada en 1983.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto de siete frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración del cultivo de cebolla, para la época y condiciones del área.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 3.2.1 Determinar la frecuencia de riego más adecuada para el cultivo y condiciones del área.
- 3.2.2 Determinar la lámina de agua consumida en cada riego y la total en el ciclo del cultivo.
- 3.2.3 Establecer el grado de agotamiento de la humedad aprovechable del suelo.
- 3.2.4 Verificar la adaptabilidad de la Fórmula de Hargreaves modificado en 1983 para el área en la estimación de la evapotranspiración.
- 3.2.5 Establecer la relación evapotranspiración/evaporación del tanque para diferentes etapas de desarrollo del cultivo en los tratamientos con mayores rendimientos.

#### 4. REVISION DE LITERATURA

##### 4.1 GENERALIDADES SOBRE EL CULTIVO DE CEBOLLA

Las cebollas cultivadas en mayor escala en nuestro medio, corresponden al genero y especie (Allium cepa L.); es probable que se haya originado en el sur oeste de Asia. Su aprovechamiento por el hombre data de tiempos remotos, se conocia en Egipto unos 3,000 años A.C. (10),

La planta de cebolla desarrolla bien en regiones montano bajo, sub-tropicales y tropicales; las temperaturas ideales fluctúan entre los 12 y 24°C , soportando temperaturas mínimas de 8°C y máximas de 30°C . La duración de días luz, tienen marcada influencia sobre el desarrollo del bulbo; existen variedades de días cortos - que requieren 10 a 12 horas de luz, variedades intermedias requieren de 12 a 13 horas luz y variedades de día largo requieren 14 o más horas diarias de exposición al sol. (10).

Las temperaturas bajas, alrededor de 4-10°C, por períodos prolongados de tiempo, producen floración prematura en las plantas, - afectando el desarrollo y calidad del bulbo. (10).

Gudiel (7), menciona que la cebolla, pertenece a la familia de las liliaceas. Es planta bianual, posee bulbo tunicado con tallo - erguido, hojas largas, redondas y acanaladas, se le cultiva para el

aprovechamiento de sus bulbos, que se forman en la base de las hojas que envuelven el tallo floral. El valor nutritivo de la cebolla es muy bajo, siendo sus principales fuentes vitamina A y C. Su principal valor como cultivo ampliamente extendido en la mayor parte de países del mundo es por su uso como condimento, que se remonta a más de 4,000 años

#### 4.2 ESTUDIOS REALIZADOS SOBRE FRECUENCIAS DE RIEGO EN CEBOLLA

Sandoval (19), indica que se han efectuado tres experimentos en cebolla variedad chata mexicana, dos de ellos en Bárcena, Villa Nueva y el otro en Monjas, Jalapa. Hace notar la gran similitud de los resultados obtenidos en los dos experimentos para la zona de Bárcena e indica que regando con una frecuencia de 8 días se producen 29.8 TM/Ha. y regando cada 12 y 16 días se obtienen cerca de 25.5 TM/Ha., rendimiento que es considerado bueno. Para la zona de Monjas, regando cada 8 días produjo 27.1 TM/Ha., rendimiento que si presenta diferencia estadísticamente significativa con la regada cada 12 días, que es de 23.7 TM/Ha.

Sanchez (18) al evaluar frecuencias de 4, 8, 12, 16, 20 y 24 días en Bárcena, Villa Nueva, obtuvo rendimientos para plantas completas de 51, 55, 41, 39, 31 y 35 TM/Ha. y para bulbos 25, 30, 25, 25, 21 y 17 TM/Ha. respectivamente, concluyendo que el rendimiento en peso se ve afectado por las diferentes frecuencias de riego utilizadas, pero en ninguno de los tratamientos se observó plantas muertas. Observó que en la frecuencia de riego de 24 días el con-

tenido de humedad del suelo llega a punto de marchitez permanente, pero aún así, se obtiene una producción satisfactoria y no se observa muerte de plantas por sequía. Reporta además, que el rendimiento obtenido con riegos a cada 4 días se reducen en un 6% con relación al obtenido al regar cada 8 días. Al comparar el rendimiento de bulbos obtenidos con frecuencias de 4, 8, 12 y 16 días, determinó que tenían pequeñas diferencias, debido a lo cual recomienda utilizar la frecuencia de riego de 16 días.

Sagastume (17) trabajando también en el área de Bárcena, Villa Nueva, evaluó frecuencias de riego de 8, 12, 16, 20, 24, 28 y 32 días, obteniendo resultados para plantas completas de 56, 43, 38, 32, 25, 22 y 19 TM/Ha. y para bulbos 30, 26, 25, 20, 10, 15 y 14 TM/ha. respectivamente. Estableciendo que las frecuencias de riego evaluadas afectaron los rendimientos de la cebolla, pero en ningún tratamiento se observó plantas muertas. Concluyó además, que las láminas de riego aplicadas, son menores en los riegos iniciales y mayores en los riegos aplicados en las etapas más avanzadas de desarrollo del cultivo. En cuanto a la evapotranspiración del cultivo indica, que disminuye mientras mayor sea el intervalo de riego, así determinó que en la frecuencia de riego de cada 8 días el cultivo evapotranspiró 34.62 centímetros y con 32 días 14.5 centímetros. En cuanto al agotamiento de la humedad aprovechable determinó que, esta fue variando y generalmente aumentó conforme era mayor el intervalo de riego, indicando que únicamente los tratamientos regados cada 8 y 12 días nunca consumieron el total de la humedad aprovechable, en el resto de

tratamientos la humedad del suelo alcanzó valores de punto de marchitez permanente, manifestándose así la resistencia que la cebolla presentó a la sequía a la que fue sometida, ya que las plantas no murieron. También concluyó que los valores de tasa de evapotranspiración calculados por la Fórmula de Hargreaves modificada en 1983 y los medidos con el intervalo de riego de 12 días son iguales. Por último, obtuvo el coeficiente "C" promedio, de la relación evapotranspiración medida entre la evaporación del tanque, para los tratamientos regados cada 8, 12 y 16 días, los cuales fueron: 0.36 para la etapa inicial, 0.56 para el desarrollo del cultivo, 0.88 para mediados del cultivo y 0.43 para la etapa final.

Pineda (15) trabajó en la unidad de riego "Laguna El Hoyo", Monjas, Jalapa, evaluando siete frecuencias de riego de 8, 12, 16, 20, 24, 28 y 32 días, obtuvo rendimientos para bulbos de 27, 23, 22, 17, 15, 13 y 12 TM/Ha. respectivamente, determinando que las frecuencias de riego utilizadas, si tienen efecto sobre el rendimiento, pero no así para el número de plantas vivas al final del experimento, debido a que no se vieron afectados. En lo que respecta a la lámina de agua consumida por el cultivo indica, que esta disminuye mientras mayor es el intervalo de riego. Determinó que el agotamiento de la humedad aprovechable se incrementa a medida que la edad del cultivo de cebolla avanza, acentuándose más en las etapas fenológicas que van de mediados a finales del período, manifestando que para todos los tratamientos el agotamiento de la humedad aprovechable en ningún momento alcanzó valores de punto de marchitez permanente. Determinó además, que los valores de tasa de evapotranspiración calculada por la Fórmula de Hargreaves modificada en 1983 y los medidos en el campo con el intervalo de

riego de 8 días, son estadísticamente iguales. Por último concluye que el coeficiente "C" promedio obtenido de la relación evapotranspiración medida entre la evaporación del tanque, para los tratamientos de mayor rendimiento son los siguientes: 0.25 para la etapa inicial, 0.31 para el desarrollo del cultivo, 0.49 para mediados del período y 0.55 para finales del período.

Sandoval (19), al referirse a la relación evapotranspiración entre evaporación del tanque, menciona que es necesaria más experimentación para poder usar los coeficientes "C" en el cálculo de la evapotranspiración a partir de datos de evaporación.

#### 4.3 OTROS ESTUDIOS SOBRE FRECUENCIAS DE RIEGO EN GUATEMALA

Sandoval (19), manifiesta que durante los años de 1982 a 1987, se han ejecutado 20 experimentos en 6 regiones de Guatemala, en los cultivos de tomate, melón, cebolla, chile pimiento, pepino, maíz, - frijol, tabaco y remolacha; habiendo sido todos ellos trabajados a través de investigaciones de tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

Méndez (12) trabajando en el cultivo del melón, determinó que frecuencias de riego de 8, 12, 20, 24 y 28 días, no afectan el número de frutos, pero si su tamaño, forma, peso y calidad. También comprobó que un suministro adecuado de agua durante el período de floración, al inicio de la cosecha, produce frutos de buena calidad y que un déficit riguroso en el período mencionado, ocasiona frutos de forma irregular.

Según Orozco (13) la aplicación de diferentes frecuencias de riego, no tienen influencia estadísticamente significativa sobre los rendimientos en toneladas métricas por hectárea de frutos comerciales y no comerciales de tomate; así mismo indica que las diferentes frecuencias de riego no tienen efecto estadísticamente significativo sobre la calidad industrial del fruto.

Orozco (14) al evaluar seis frecuencias de riego en pepino, manifiesta que es recomendable regar cada ocho días, debido a que este tratamiento fue el que rindió la mayor producción. También recomienda que los valores de tasa de evapotranspiración calculados por la Fórmula de Blaney-Criddle modificada por Phelan, para el intervalo de riego de 12 días pueden ser utilizadas para estimar la evapotranspiración en la región.

Según Figueroa (5), las etapas fenológicas del cultivo de mayor agotamiento de humedad aprovechable del suelo se centran en la floración y fructificación, sin llegar nunca al porcentaje de humedad del suelo correspondiente al punto de marchitez permanente.

Zea (20) trabajó en el cultivo de tomate, comprobando que la evapotranspiración si se vé afectada por diferentes frecuencias de riego, confirmando que el tratamiento más humedo (8 días), fue el que más evapotranspiró, además esa frecuencia no afectó la humedad aprovechable, ya que no llegó a consumir ni el 50% en el estrato 0-30 Cm., mientras que la frecuencia más seca (24 días), -- llegó a agotar más del 80% de humedad aprovechable.

#### 4.4 EVAPOTRANSPIRACION

Según Israelsen y Hansen (9), la evapotranspiración es la suma de la evaporación y transpiración del agua, así mismo afirman-- que las condiciones que afectan la evapotranspiración del agua, de penden de la temperatura, las prácticas de riego, duración del pe ríodo de crecimiento, de las precipitaciones y otros factores. El volumen de agua evapotranspirada por las plantas, depende del agua que tienen a su disposición, de la humedad del aire, del régimen - de vientos, de la intensidad luminosa del sol, del estado de desa- rrollo de la planta, de su follaje y naturaleza de las hojas.

Grassi (6), menciona dos tipos de evapotranspiración, los cu les son: Evapotranspiración potencial y evapotranspiración real o uso consuntivo, la primera es la pérdida de agua que ocurriría en- una superficie cubierta totalmente de vegetación de escasa altura- y en activo crecimiento y que no tiene restricciones de humedad - edáfica. La evapotranspiración real es igual a la evapotranspira- ción potencial modificada por un coeficiente "K" que toma en cuen- ta el efecto de la relación agua-suelo-planta.

#### 4.5 METODOS PARA DETERMINAR LA EVAPOTRANSPIRACION

Peña citado por Pineda (15), menciona los siguientes métodos di rectos para calcular la evapotranspiración: Tanques y lisímetros, - evapotranspirómetro de Thornthwaite, método de integración, método - de parcelas experimentales, método de entradas y salidas para gran- des extensiones, estudios de la humedad del suelo.

Los métodos indirectos, son todos aquellos que calculan la - evapotranspiración a través de fórmulas empíricas, las cuales han sido desarrollados tomando en cuenta diferentes variables climáti- cas. Entre los métodos indirectos más usados están: Método de Lowry-Johnson, Método de Blaney-Criddle, Método de Hargreaves mo- dificado en 1966 y 1983, Método de Evaporación del Tanque.

#### 4.6 DESCRIPCION DE LOS METODOS A UTILIZAR

##### 4.6.1 Método de Parcelas Experimentales

Israelsen y Hansen (9) menciona que este método propor- ciona datos más reales que los lisímetros y que para la ob- tención de la humedad del suelo se recurre al Método Gravi- métrico, que aunque laborioso y costoso es de gran valor. - La práctica consiste en barrenar hasta las profundidades de- seadas, extraer las muestras de suelo húmedo, colocarlas en cajas de aluminio con tapa hermética y llevarlas al labora- torio para su posterior desecación y pesado. Este método - está limitado por el tiempo que transcurre entre la toma de muestras y su desecado en el horno, que por lo regular es - de 24 horas. El porcentaje de humedad de la muestra lo ca- culamos con la siguiente expresión:

$$Ps = \frac{Psh - Pss}{Pss} \times 100$$

Donde:

Ps = Porcentaje de humedad de la muestra

Psh = Peso de suelo húmedo

Pss = Peso de suelo seco

Según Grassi (6), existen dos variantes para determinar los tratamientos a aplicar a un complejo de cultivo-suelo y son:

- a) Frecuencia fijada por el umbral de riego electo para ca da tratamiento, en donde la lámina de reposición es - constante.
- b) El intervalo de riego en número preestablecido de días- constante para cada tratamiento, en donde la lámina de reposición es variable.

En el caso de la lámina de reposición constante, se requiere de determinaciones frecuentes a fin de regar al nivel de humedad preestablecido. En cambio en la lámina variable solo es necesario conocer la humedad antes del riego a fin - de calcular la lámina a reponer.

#### 4.6.2 Método de Hargreaves modificado en 1983

Hargreaves (8), manifiesta que la utilización de fórmu- las complicadas para determinar la evapotranspiración, entor- pecen el trabajo de riego, en donde se requieren resultados - en forma inmediata sin tener que recurrir a datos climáticos

sofisticados. Indicando que para poder estimar los requerimientos de agua del cultivo, primero debe calcularse la evapotranspiración potencial del cultivo, la que multiplicada por los coeficientes del cultivo (Kc), nos dará la evapotranspiración real de éste, es decir:

$$E_{tr} = E_{tp} \times K_c$$

Donde:

$E_{tr}$  - Evapotranspiración real

$E_{tp}$  = Evapotranspiración Potencial

$K_c$  = Coeficiente que depende de la etapa de desarrollo del cultivo.

La evapotranspiración potencial se calcula de la siguiente manera:

$$E_{tp} = 0.0075 \times R_s \times T^{\circ f}$$

Donde:

$R_s$  = Parámetro que está en función de la temperatura máxima absoluta

$T^{\circ f}$  = Temperatura media en grados fahrenheit

$$R_s = 0.165 \times R_A \times T_D^{0.5}$$

Donde:

$R_A$  = Radiación extra-terrestre expresada en mm/día de evaporación de acuerdo a la latitud del lugar.

$T_D$  = Diferencia entre la temperatura máxima y la mínima absolutas, expresadas en °C.

#### 4.6.3 Método basado en la Evotranspiración del Tanque

Aguilera y Martínez (1), manifiestan que frecuentemente

se encuentra una estrecha proporcionalidad entre la evaporación medida por ejemplo, en un evaporímetro estandar y la evapotranspiración de un cultivo bien provisto de agua. Esto se debe a que los fenómenos de evaporación y evapotranspiración son originados por las mismas causas y efectos.

Gavande, citado por Pineda (15), considera conveniente que se mida la evaporación en tanques abiertos. De modo que la misma integre en una sola determinación, todos los factores meteorológicos que se encuentran afectando la pérdida de agua en un suelo cultivado y que aplicando factores empíricos de corrección, se puede obtener la evapotranspiración real.

Según Grassi (6), los estudios de correlación hechos en diferentes cultivos y períodos del ciclo vegetativo permiten obtener coeficientes para estimar la evapotranspiración en función de la evaporación de una superficie libre de agua.- Estos coeficientes sirven para ajustar la fórmula que se usa en la estimación potencial de la evapotranspiración. Dicha fórmula es:

$$Etp = Ev \times C$$

Donde:

Etp = Evapotranspiración Potencial

Ev = Evaporación medida en el tanque

C = Coeficiente de ajuste adimensional

Pruitt, citado por Sagastume (17), indica que la va-  
riación del coeficiente "C" depende de factores como el ta-  
maño, color y estado de conservación del tanque, así como  
de la turbiedad y profundidad del agua, encontró que la va-  
riación del coeficiente "C", en la relación Etp/Ev oscila  
entre 0.75 y 1.25.

Grassi (6), indica que el tanque que se ha usado mas  
frecuentemente es el tanque evaporímetro estandar tipo "A"  
del servicio metereológico de los Estados Unidos, dada su  
mayor universalidad, ya que se emplea en la mayoría de par-  
tes en los servicios metereológicos.

Sagastume (17), manifiesta que ciertas condiciones li-  
mitantes del evaporímetro tipo "A", como el no estar presen-  
te en regiones aisladas de un país y en donde se requieran,  
ha llevado a investigadores a diseñar otro tipo de evaporí-  
metros de más fácil instalación y transporte, para poder  
ser utilizados en el cálculo de la evapotranspiración, así  
es el caso del evaporímetro Modelo Fv-122-R.

## 5. MATERIALES Y METODOS

### 5.1 UBICACION Y DESCRIPCION DEL AREA EXPERIMENTAL

El experimento se realizó en la Sección de Hortalizas de la Escuela Nacional Central de Agricultura, Bárcena, Villa Nueva, Guatemala. Sus coordenadas geográficas son 14° 30' 15" de latitud norte y 90° 36' 35" de longitud oeste (17). Su altitud es de 1,300 m.s.n.m. (17). Se presenta una precipitación pluvial medida de 1,000 mm./año, caídos en los meses de mayo a octubre principalmente. Los meses más cálidos son abril y mayo, presentando una temperatura máxima de 24.8°C; y los meses más fríos son diciembre y enero. La humedad relativa promedio durante el año es de 75%.

El área posee suelos de la serie Guatemala, Textura Franco-Arcillosa, con un horizonte "A" de 24 cms. (17). Posee un pH de 6.8, topografía regular, con pendientes que oscilan entre un 2 a 5%, buen drenaje y una adecuada retención de humedad.

### 5.2 DETERMINACIONES FISICAS Y QUIMICAS DEL SUELO

Para el análisis físico del suelo, se tomaron los resultados obtenidos por Sánchez (18), debido a que la presente investigación se realizó en la misma área, presentándose en el siguiente cuadro dichas características:

CUADRO 1 Propiedades físicas del Suelo

MUESTRA (cms.)	LABORATORIO		CAMPO	CALCULADO
	TEXTURA	C.C (%)	D.A grs/cc	P.M.P (%)

Para la realización del análisis químico del suelo, se tomó una muestra compuesta, la cual se envió al laboratorio de suelos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola para poder contar posteriormente con recomendaciones en cuanto a fertilización. Detallándose en el cuadro 2 las características químicas

CUADRO 2. Resultados del análisis químico del suelo

ESTRATO (cms)	PH	MICROGRAMOS/ml			DE SUELO
		P	K	Ca	Mg
0 - 30	6.8	50	480	12.96	4.02

Como se observa en el Cuadro 2, el suelo posee un PH neutro lo cual es adecuado para el cultivo. En relación a las cantidades de fósforo y potasio, éstas se encuentran elevadas, sucediendo lo mismo para el calcio y Magnesio.

### 5.3 MANEJO DEL CULTIVO

Se inició con la siembra del semillero, el día 3 de noviem-

bre de 1987, utilizando la variedad chata Mexicana, por ser ésta la que más se cultiva en la región. Un mes después de la siembra en el semillero se procedió al trasplante al campo definitivo, el día 4 de diciembre de 1987, esta actividad se hizo en horas frescas y considerando distancias de siembra de 0.5 Mts. entre surcos y 0.1 Mts. entre plantas, utilizando hileras simples en cada unidad experimental. La fertilización se hizo en base a los resultados del laboratorio.

Las limpias se efectuaron en forma manual, siguiendo criterios técnicos (11). Las plagas y enfermedades fueron controladas tomando como base las recomendaciones dadas por Gudiel (7). La cosecha se efectuó cuando se observó el 90% de los tallos acamados, cuantificando en toneladas métricas por hectárea únicamente las parcelas netas, para efecto de análisis.

#### 5.4 MANEJO DEL EXPERIMENTO

##### 5.4.1 Nivelación del Terreno y Trazo del Experimento

Con el propósito de lograr un manejo y uso eficiente del agua, se procedió a la nivelación del área a cultivar, llevandola a un porcentaje de pendiente de 0.4 - en sentido Este-Oeste, trazandose los surcos en esa di - rección distanciados entre sí 0.5 Mts. de Norte a Sur su pendiente fue la natural. El tamaño de las unidades experimentales utilizadas fue de 6.0 x 2.5 Mts., dejando -

1.5 Mts. entre ellas; entre bloques se dejaron 2.0 Mts.

#### 5.4.2 Método de Riego

Se usó el método de riego por surcos, desviando el agua de una toma principal a una secundaria que la conducía hasta un costado del experimento. Esta toma se revisió con nylon para evitar infiltraciones, así mismo se revisitieron las tomas terciarias.

En la toma secundaria se construyó una caja con una salida de agua para las tomas terciarias, mediante una sección de manguera de 2 pulgadas de diámetro y un vertedor de demasías que sacaba los excesos de agua. Esto dá un caudal constante para las tomas terciarias, con lo que se podía calcular el tiempo de riego de cada unidad experimental.

De las tomas terciarias se obtuvo el agua para cada unidad experimental mediante el uso de manguera de 2 pulgadas de diámetro, que se ajustaron al nylon en el fondo de la toma. La longitud de las mangueras era de 0.6 Mts. y poseían a su entrada un tapón de madera que se quitaba sólo cuando se regaba la unidad experimental. Para desviar el agua a la unidad, se utilizaron bolsas de nylon llenas de tierra. Para dominar los cinco surcos por uni

dad experimental se usó el instrumento diseñado por Sanchez (18), el que distribuye el caudal entre los surcos-simultáneamente.

#### 5.4.3 Control de la Humedad del Suelo y Aplicación de los Riegos

Después del trasplante el cultivo fue regado cada 4 - días, durante los primeros 22 días, siendo esta la etapa - de establecimiento del cultivo, aplicándose un total de 6 riegos en esta etapa.

El control de la humedad se realizó por el método gravimétrico. Para el muestreo se utilizó el barrenó helicoidal, tomándose 4 muestras por unidad experimental, los puntos de muestreo se tomaron al azar, tratando de cubrir toda el área de la unidad experimental. Los muestreos se realizaron antes y después de cada riego. Antes del riego, con 24 horas de anticipación para poder conocer así - la lámina de agua que había que reponer y después del riego se muestreó a las 48 horas, ya que es cuando el suelo-teóricamente alcanza el porcentaje de humedad a capacidad de campo.

Para determinar la cantidad de agua a aplicar o lámina de auxilio, se usó la siguiente fórmula:

$$La = \frac{(P_{scc} - P_{sar})}{100} \times Dap \times Pr$$

Donde:

La = Lámina de Auxilio (Cm.)

Psc = Porcentaje de humedad del suelo a capacidad de campo.

Psar = Porcentaje de humedad del suelo 1 día antes del riego.

Dap = Densidad aparente (Gr/Cm<sup>3</sup>)

Pr = Profundidad **radicular** (Cm.)

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

$$Lc = \frac{\% \text{ HDR} - \% \text{ HAR}}{100} \times Dap \times Pr$$

Donde:

Lc = Lámina consumida (Cms.)

% HDR = Porcentaje de humedad después del riego

% HAR = Porcentaje de humedad antes del riego

Como entre los muestreos antes y después de un mismo riego existía un período de 3 días, en los cuales no se conocía el consumo, fue necesario efectuar un ajuste proporcional relacionando mediante una regla de tres simple,

el período de consumo conocido, con los tres días comprendidos entre muestreos.

El volumen de agua que se aplicó en cada riego se determinó de la siguiente manera:

$$\text{Vol} = \underline{A \times La \times 1000}$$

Donde:

- Vol = Volumen de agua requerida (Litros)  
 A = Area de cada unidad experimental (Mts.<sup>2</sup>)  
 La = Lámina de Auxilio  
 1000 = Constante que transforma Mts.<sup>3</sup> a Litros.

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

$$\text{Tr} = \frac{\text{Vol}}{Q \times 60}$$

Donde:

- Tr = Tiempo de riego (Minutos)  
 Vol = Volumen de agua requerida (Litros)  
 Q = Caudal de entrada (Lts./Seg.)  
 60 = Constante que transforma segundos a minutos

#### 5.4.4 Mediciones en el Tanque Evaporímetro

Las mediciones de la evaporación del agua se realizaron cada 3 días en el tanque evaporímetro Rossback Modelo Fv-122-R.

#### 5.4.5 Diseño Estadístico y Area del Experimento

Se utilizó el diseño estadístico de bloques al azar. Se evaluaron 7 frecuencias de riego determinadas cada 8, 12, 16, 20, 24, 28 y 32 días, las cuales se distribuyeron al azar para cada una de las repeticiones y en este documento se identifican como: F-8, F-12, F-16, F-20, F-24, F-28 y F-32 respectivamente.

El modelo estadístico es el siguiente:

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

Donde:

$Y_{ij}$  = Respuesta del  $i$ -ésimo tratamiento en el  $j$ -ésimo bloque.

$M$  = Efecto de la media general

$T_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento

$B_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo bloque

$E_{ij}$  = Error experimental

El área del experimento y demás relativos a la misma fueron tomados de Sagastume (17), utilizando los siguientes datos:

-	Area total del experimento	1003 Mts. <sup>2</sup>
-	Area neta del experimento	420 Mts. <sup>2</sup>
-	Area por unidad experimental	15 Mts. <sup>2</sup>
-	Area útil por unidad experimental	7.5 Mts. <sup>2</sup>
-	Distancia entre bloques	2.0 Mts.
-	Número de surcos por unidad experimental	5
-	Densidad de plantas por parcela neta	300
-	Densidad de plantas por parcela útil	150

#### 5.4.6 VARIABLES RESPUESTA

Para poder evaluar el efecto de los diferentes tratamientos, se analizaron las variables respuesta siguientes:

- Rendimiento de bulbos en toneladas métricas por hectárea.
- Rendimiento de plantas completas en toneladas métricas por hectárea.
- Número de plantas vivas por parcela útil para cada tratamiento al finalizar el experimento.

#### 5.4.7 Método de Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos de las variables respuesta -

medidas, se les aplicó un análisis de varianza con niveles de significancia del 1 y 5%. Así mismo, en vista que se encontraron diferencias entre tratamientos se hicieron pruebas de Tukey con un nivel de significancia del 5%.

Para verificar si los valores de tasa de evapotranspiración semanal calculados con la Fórmula de Hargreaves modificada en 1983, equivalían a los valores de evapotranspiración medidos en el campo, se efectuó un análisis de correlación para determinar que porcentaje de la variable independiente (valores de evapotranspiración calculados por la fórmula) era explicado por el modelo de regresión lineal simple,  $b_0 + b_1 X$ , considerándose para este análisis un nivel de significancia del 0.1% para mayor confiabilidad de los resultados.

Se consideró que cuando los coeficientes de determinación " $r^2$ " calculados fueran menores a los tabulados para un nivel de significancia de 0.1% y  $n-2$  grados de libertad, el modelo de regresión lineal simple no explicaba satisfactoriamente que la Fórmula de Hargreaves modificada, no se adaptaba a la región. Para coeficientes de determinación " $r^2$ " calculados, mayores a los tabulados para el nivel de significancia y grados de libertad mencionados, se efectuaron dos pruebas de hipótesis para deter-

minar que la pendiente de la recta es igual a uno y que el intercepto es igual a cero, de ser así, esto indicaría que los valores de evapotranspiración calculados son equivalentes a los medidos directamente, por lo que la Fórmula de Hargreaves modificada, se adapta a la región. En el caso de rechazar las hipótesis planteadas nos indicarían que los datos calculados no son equivalentes a los medidos en el campo, pero que podrían ajustarse por tener un coeficiente de determinación " $r^2$ " alto.

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

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

Además de este análisis estadístico, también se efectuó una comparación gráfica ploteando los valores de tasa de evapotranspiración semanal y la evapotranspiración acumulada, ambos con respecto al tiempo de cada uno de los tratamientos y los valores calculados con la Fórmula

de Hargreaves modificada, para observar la tendencia que siguió cada una de las curvas y determinar visualmente si los valores medidos son equivalente a los valores calculados.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSION

La presentación de los resultados obtenidos, se divide en cuatro - partes: La primera se refiere a los resultados y análisis de las varia bles respuestas que se utilizaron para evaluar el efecto de los diferentes tratamientos. La segunda comprende el análisis del uso del agua por las plantas. En la tercera se realiza una comparación de los resultados de evapotranspiración medida en los tratamientos, con los calculados por la Fórmula de Hargreaves modificada en 1983 y en la última se efectúa un cálculo de los valores del coeficiente "C" obtenidos de la relación evapotranspiración medida en el campo con la evaporación de agua en el tanque Rossbach Modelo Fv-122-R.

### 6.1 VARIABLES RESPUESTAS

Las variables respuestas evaluadas fueron: Rendimiento de bul bos y de plantas completas en toneladas métricas por hectárea y número de plantas vivas por parcela útil al final del experimento.

En el cuadro 3. se detallan los resultados promedio obtenido dos en los diferentes tratamientos, para cada una de las variables-respuestas.

Cuadro 3. Resultados promedio de las Variables Respuesta

TRATAMIENTO	RENDIMIENTO EN T.M./Ha.		NUMERO DE PLAN TAS VIVAS POR- PARCELA UTIL AL FINAL DEL CICLO
	BULBOS	PLANTAS COMPLETAS	
F-8	25.69	54.29	150
F-12	25.23	42.50	150
F-16	20.95	36.51	150
F-20	18.22	29.15	150
F-24	16.61	24.80	150
F-28	13.21	20.18	150
F-32	12.30	18.10	150

#### 6.1.1 Rendimiento de Bulbos en Toneladas Métricas por Hectárea

En el cuadro 3 puede observarse que, invariablemente, a medida que se incrementa el intervalo de riego en el cultivo, la producción disminuye, así tenemos que el tratamiento regado cada 8 días produjo el mayor rendimiento con 25.69 toneladas métricas por hectárea y en el tratamiento regado cada 32 días se observa el menor rendimiento con 12.30 toneladas métricas por hectárea.

Los resultados de rendimiento en peso de bulbos para cada tratamiento y repetición se encuentran en el cuadro 6 del apéndice. El análisis de varianza que se pre-

senta en el cuadro 7 del Apéndice, muestra que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos, debido a ello se efectuó una prueba de Tukey, cuyo resu--men se presenta en el cuadro 8 del Apéndice, encontrando-se que los tratamientos F-8 y F-12 son estadísticamente -iguales, poseendo los más altos rendimientos, mientras que los tratamientos F-28 y F-32 que también son estadística-mente iguales presentan los rendimientos menores.

El rendimiento de bulbos como se observa en el cua--dro 3 fue disminuyendo a medida que la frecuencia se hizo larga, confirmando lo expuesto por Sagastume (17) y San-chez (18).

Es de hacer notar que los rendimientos obtenidos en el presente ensayo coinciden con los de Sagastume (17) y Sanchez (18) en las frecuencias F-12, F-20 y F-24.

#### 6.1.2 Rendimiento de Plantas Completas en Toneladas Métricas por Hectárea.

En el cuadro 9 del Apéndice están contemplados los resultados de rendimiento de plantas completas en tonela--das métricas por hectárea para cada tratamiento y repeti--ción. Observándose que los rendimientos mayores se en--cuentran en los tratamientos con intervalos de riego cor--

to, reafirmando así lo obtenido por Sagastume (17) y Sánchez (18).

En el cuadro 10 del Apéndice, análisis de varianza, se observa que existen diferencias significativas y altamente significativas entre los tratamientos. Se llevó a cabo una prueba de Tukey, apareciendo el resumen en el cuadro 11 del Apéndice; indicándonos que el tratamiento F-8 es el de mayor rendimiento, mientras que los tratamientos F-28 y F-32 que son estadísticamente iguales se observan los menores rendimientos.

Con lo anterior se concluye que tanto el rendimiento de bulbos como el de plantas completas, se ven afectados al alargarse la frecuencia de riego; siendo la producción en ambos casos mayor para intervalos cortos de riego.

#### 6.1.3 Número de Plantas Vivas por Parcela Util al Final del Ciclo.

Al observar el cuadro 3 se confirma lo obtenido por Sánchez (18), Sagastume (17) y Pineda (15), al indicar que aún en los tratamientos con intervalos de riego largo, no existió mortalidad de plantas, concluyéndose que la cebolla posee una gran resistencia a la sequía.

## 6.2 USO DE AGUA POR EL CULTIVO

6.2.1 Número de Riegos y Láminas Consumidas

En el cuadro 4 puede observarse el resumen del consumo total de agua, así como el número de riegos aplicados para cada tratamiento.

En los cuadros del 12 al 18 se calcularon las láminas de agua consumida para los diferentes tratamientos. En todos los casos puede observarse una reducción de la lámina total aplicada conforme se alarga el intervalo de riego, confirmando lo expuesto por Sánchez (18), Sagastume (17) y Pineda (15), al indicar que las plantas al disponer de más agua tenderán a consumir más.

Cuadro 4. Número de Riegos y Láminas Consumidas.

TRATAMIENTO	NUMERO DE RIEGOS*	LAMINA CONSUMIDA**
		TOTAL CMS.
F-8	8	26.82
F-12	5	19.82
F-16	4	17.95
F-20	3	15.82
F-24	2	14.39
F-28	2	13.39
F-32	2	11.50

- \* No incluye los 6 riegos generales aplicados durante la etapa de establecimiento (los primeros 22 días - después del trasplante).
- \*\* Si incluye la lámina consumida en la etapa de establecimiento.

### 6.2.2 Agotamiento de la Humedad Aprovechable del Suelo

Durante todo el ciclo del cultivo se llevó un control de la humedad del suelo. De la figura 1 a la 7 del Apéndice, se grafica el porcentaje de humedad aprovechable y el porcentaje de humedad del suelo, contra el tiempo en días.

Los primeros 22 días corresponden a la etapa de establecimiento, en la cual se trató de mantener el suelo a capacidad de campo, regando cada 4 días, por lo tanto en las figuras esta etapa se grafica con una línea recta que coincide con la capacidad de campo.

La figura 1 corresponde al tratamiento F-8, en la cual se observa que hasta los 60 días, el agotamiento de la humedad aprovechable fue bastante uniforme siendo de 36% en promedio, y con un valor de 50% a los 70 días, llegando a consumir un máximo de 75% de la humedad aprovechable a los 78 días.

La figura 2, presenta el comportamiento del tratamiento F-12, en la cual se observa que el cultivo no fue sometido a altas tensiones en los primeros 60 días, en los cuales el consumo promedio fue de 45% de la humedad aprovechable. En ningún momento llegó a agotarse completamente la humedad aprovechable, presentando su mayor consumo a los 81 días el cual fue del 79% de la humedad aprovechable, debido a lo cual su rendimiento es bastante bueno.

La figura 3, corresponde al tratamiento F-16 en la cual el agotamiento de la humedad aprovechable a partir de los 53 días, incrementa su consumo hasta valores que van del 74% a 96% en la etapa final, esto permite visualizar que el esfuerzo de tensión al que se sometió el cultivo es bastante grande y sin embargo el rendimiento para este tratamiento se considera aceptable.

La figura 4, explica el comportamiento del tratamiento F-20, en la cual se observa que desde la etapa de desarrollo el agotamiento de la humedad aprovechable llega a valores arriba del 50%, siendo su mayor consumo en la etapa final, donde se denota un valor de 98%, exactamente a los 82 días.

La figura 5, corresponde al tratamiento F-24, observando que el cultivo fue sometido a una alta tensión lle

gando incluso a tocar el punto de marchitez permanente a la altura del día 72, siendo notoria la disminución en el rendimiento.

La figura 6, sintetiza el comportamiento del tratamiento F-28, donde se observa que el mayor consumo se presenta a los 52 y 80 días, llegando a agotarse un 97% de la humedad aprovechable, siendo grande el esfuerzo de tensión al cual es sometido el cultivo.

La figura 7, analiza al tratamiento F-32, en la cual se observa que se alcanzó el punto de marchitez permanente a los 54 días, mostrando desde la etapa de desarrollo un esfuerzo de tensión grande para el cultivo. Sin embargo las plantas no murieron pero se obtuvo producción.

### 6.3 COMPARACION DE LA EVAPOTRANSPIRACION MEDIDA CON LA CALCULADA POR LA FORMULA DE HARGREAVES MODIFICADA EN 1983.

En el cuadro 20 del Apéndice se presenta el cálculo de la evapotranspiración semanal para la Fórmula de Hargreaves modificada en 1983 y en el cuadro 21 la tasa semanal de evapotranspiración calculada con la fórmula, medida en los 7 tratamientos, y la evapotranspiración medida en el tanque evaporímetro Rossbach, Modelo Fv-122-R como fue planteado en el capítulo de la metodología, para verificar la adaptabilidad de la Fórmula de Hargreaves

modificada en 1983, en la estimación de la evapotranspiración del cultivo de cebolla, se efectuó un análisis de correlación para determinar que porcentaje de la variable independiente, la cual representa los valores de evapotranspiración calculados por la fórmula, es explicado por el modelo de regresión lineal simple, encontrándose que desde el tratamiento F-8 hasta el F-24, los coeficientes de determinación  $r^2$  calculados ( $r^2_c$ ) son mayores al tabulado ( $r^2_t$ ), concluyéndose que el modelo explica satisfactoriamente la relación entre los datos medidos en el campo y los calculados por la fórmula, lo cual se observa en el cuadro 22 del Apéndice, no siendo aceptable para los tratamientos F-28 y F-32 en vista de que poseen un coeficiente de determinación calculado menor que el tabulado.

Al realizar la prueba de "t" para probar que la pendiente de la recta es igual a uno y el intercepto igual a cero, se encontró que estadísticamente los tratamientos F-8, F-12 y F-16 son iguales a uno e iguales a cero. Esto indica que para calcularse láminas de consumo con intervalos de riego de 8, 12 y 16 días, pueden estas determinarse por medio de la Fórmula de Hargreaves modificada en 1983. Para los tratamientos F-20 y F-24, por poseer un coeficiente de determinación  $r^2$  calculado mayor al tabulado, el análisis de correlación demuestra que los datos calculados por Hargreaves modificado en 1983, no son equivalentes a los medidos en el campo, pero pueden ajustarse ya que si existe un coeficiente de determinación alto entre ambas variables.

Para tener una visión gráfica del análisis estadístico - efectuado en los párrafos anteriores, con el objeto de verificar la adaptabilidad de la fórmula, se complementa dicho análisis numérico con las figuras 8, 9 y 10, en las cuales se presenta la relación entre la tasa de evapotranspiración semanal calculada con la fórmula y la tasa de evapotranspiración semanal medida en el campo para los tratamientos F-8, F-12 y F-16 que fueron los que mediante el análisis estadístico numérico dieron correlación lineal alta, pendiente de la recta equivalente a 1 e intercepto equivalente a cero.

La figura 11 del Apéndice nos muestra el comportamiento de la evapotranspiración semanal acumulada para todos los tratamientos, los calculados por la Fórmula de Hargreaves y la evaporación del tanque evaporímetro. En esta figura se reafirma que los tratamientos F-8, F-12 y F-16 son los que más se asemejan a el comportamiento de los datos de evapotranspiración acumulada calculados con la Fórmula de Hargreaves modificada en 1983, tal y como se concluyó en el párrafo anterior.

#### 6.4 CALCULO DEL COEFICIENTE "C" DE LA RELACION EVAPOTRANSPIRACION/ EVAPORACION

La evaporación del tanque esta afectada por los mismos factores que afectan la evapotranspiración, a excepción del elemento planta, por consiguiente los valores de evaporación son dife

rentes cuantitativamente a los valores de evapotranspiración me didos en el campo, pudiendose ajustar dichos valores por medio de coeficientes provenientes de la relación evapotranspiración/evaporación del tanque.

El cuadro 23 del Apéndice muestra los coeficientes "C" semanales para cada tratamiento durante el ciclo del cultivo obte nido de la relación mencionada, observándose que los valores au mentan a medida que transcurre el ciclo del cultivo. Para los tratamientos de mejores rendimientos F-8, F-12 y F-16, se elabo ró el cuadro 5 que detalla la relación Et/Ev para las diferen tes etapas fenológicas del cultivo.

Cuadro 5. Relación Evapotranspiración/Evaporación para las dife rentes Etapas Fenológicas del Cultivo.

ETAPA FENOLOGICA	DURACION DE LA ETAPA	RELACION Et./Ev. PROMEDIO "C"
Etapa Inicial	4-12-87 al 21-12-87 (18 Días)	0.26
Desarrollo del Cultivo	22-12-87 al 24-01-88 (34 Días)	0.56
Mediados del Período	25-01-88 al 17-02-88 (24 Días)	0.78
Finales del Período	18-02-88 al 27-02-88 (10 Días)	0.99

Comparando con los coeficientes obtenidos por Sagastume (17)

nos demuestra que únicamente para la etapa de desarrollo coinciden con los resultados del presente ensayo; existiendo variación en las otras etapas del ciclo del cultivo. Concluyéndose que los coeficientes obtenidos tanto en el presente ensayo como en el de Sagastume (17), deben ser usados con precaución - para el cálculo de evapotranspiración partiendo únicamente de datos de evaporación, siendo recomendable seguir afinando dichos valores.

## 7. CONCLUSIONES:

- 7.1 El rendimiento de bulbos se ve afectado por las diferentes frecuencias de riego evaluadas. Obteniendo los mayores rendimientos promedio de bulbos de 25.69 y 25.23 toneladas métricas por hectárea con las frecuencias de 8 y 12 días, respectivamente.
- 7.2 Las diferentes frecuencias de riego evaluadas afectan el rendimiento de plantas completas de cebolla, así se tiene que el tratamiento regado cada 8 días produjo el mayor rendimiento con 54.29 toneladas métricas por hectárea.
- 7.3 Los diferentes intervalos de riego utilizados, no afectan el número de plantas vivas al final del experimento.
- 7.4 La lámina de agua consumida por el cultivo de la cebolla es menor cuando el intervalo de riego se alarga obteniéndose las láminas consumidas totales de 26.82, 19.82, 17.95, 15.82, 14.39, 13.39 y 11.50 cms., para intervalos de riego de 8, 12, 16, 20, 24, 28 y 32 días, respectivamente.
- 7.5 El agotamiento de la humedad aprovechable para cada tratamiento se va incrementando conforme la edad del cultivo de cebolla avanza, - siendo las etapas fenológicas de mediados y finales del ciclo las que presentan el mayor agotamiento de la humedad aprovechable.

- 7.6 Los valores de evapotranspiración medida en el campo para los tratamientos regados cada 8, 12 y 16 días estadísticamente son iguales con los valores de evapotranspiración calculada con la fórmula de Hargreaves modificada en 1983. Por lo que esta fórmula puede ser usada para calcular la evapotranspiración de la cebolla si se riega cada 8, 12 ó 16 días. La evapotranspiración calculada con la Fórmula de Hargreaves modificada en 1983 y la medida en los tratamientos regados cada 20 y 24 días tienen una alta correlación, por lo que la Fórmula de Hargreaves puede ser ajustada para usarla en el cálculo de la evapotranspiración del cultivo de la cebolla al regar con estas frecuencias.
- 7.7 Los coeficientes "C" promedio, obtenidos de la relación evapotranspiración/evaporación del tanque Rossbach Modelo Fv-122-R, para los tratamientos regados cada 8, 12 y 16 días fueron de 0.26 para la etapa inicial, 0.56 para el desarrollo del cultivo, 0.78 para mediados del período y 0.99 para finales del período.

## 8. RECOMENDACIONES

- 8.1 Se recomienda regar cada 12 días para obtener bulbos, debido a que esta frecuencia fue la que rindió una mayor producción en comparación con las otras.
- 8.2 Los valores de tasa de evapotranspiración calculados por la Fórmula de Hargreaves modificada en 1983 para los intervalos de riego de 8, 12 y 16 días pueden ser utilizados para estimar la evapotranspiración en la región.
- 8.3 Los coeficientes obtenidos para estimar evapotranspiración en función de la evaporación del tanque pueden utilizarse como datos preliminares, pero se recomienda seguirlos afinando ya que no coinciden con los obtenidos con el otro experimento realizado en esta misma región y época del año en cebolla.
- 8.4 No se considera necesario, llevar a cabo otro tipo de experimento similar para el cultivo de cebolla, en la Zona de Bárcena, debido a la similitud existente en los resultados obtenidos de los 3 ensayos realizados; únicamente se considera conveniente afinar los de valores de la relación evapotranspiración/evaporación del tanque, por la ventaja que representa este método en el cálculo de la evapotranspiración.

9. BIBLIOGRAFIA

- 9.1. AGUILERA, M.; MARTINEZ, R. 1980. Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera. 2 ed. México, Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio de Irrigación. 321 p.
- 9.2. CRUZ OROZCO, J.F. 1987. Efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración en remolacha (Beta vulgaris var. crassa) para la zona de Bárcena, Villa Nueva. Tesis Ing.Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 58 p.
- 9.3. DONAHUE, R.L.; MILLER, R.W.; SCHICKLUNA, J.C. 1981. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Colombia. Prentice Hall International. 624 p.
- 9.4. DOOREMBOS, J.; KASSAM, A. 1979. Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma, FAO 212 p.
- 9.5. FIGUEROA GUERRA, I.E. 1987. Efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración del cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris L.) en la unidad de riego San Jerónimo, Baja Verapaz. Tesis Ing.Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 82 p.
- 9.6. GRASSI, C. 1978. Aspectos metodológicos para la determinación experimental de la evapotranspiración y la frecuencia de riego. Mérida, Venezuela, CIDIAT. Serie Riego y Drenaje, material didáctico Rd-26. 212 p.
- 9.7. GUDIEL, V.W. 1980. Manual agrícola Superb. 5 ed. Guatemala, Superb. 291 p.
- 9.8. HARGREAVES, H.G. s.f. Estimating crop evapotranspiración requirements. Utah, Utah State University, International Irrigation Center. 10 p.

- 9.9. ISRAELSEN, O.W.; HANSEN, V.E. 1979. Principios y aplicaciones del riego. 2 ed. España, Reverté. 369 p.
- 9.10 LOPEZ ARGUETA, L.A. 1978. Producción de cebolla para bulbo seco. tópicos para prueba de temario de los alumnos del 6o. semestre. Bárcena, Villa Nueva, Instituto Técnico de Agricultura. 13 p.
- 9.11 LOPEZ RODRIGUEZ, E. 1983. Determinación de la época crítica de interferencia maleza-cebolla (Allium cepa L.) en el área de Bárcena, Villa Nueva. Tesis Perito Agr. Guatemala, Instituto Técnico de Agricultura. 28 p.
- 9.12 MENDEZ GUZMAN, L.F. 1984. Efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración en melón (Cucumis melo L.) en el valle de la Fragua, Zacapa. Tesis Ing.Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 92 p.
- 9.13 OROZCO GODINEZ, M.E. 1987. Efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración en tomate (Lycopersicon esculentum L.) en la unidad de riego San Jerónimo, Baja Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 66 p.
- 9.14 OROZCO MONTENEGRO, W.J. 1987. Efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración del pepino (Cucumis sativus L.) en el centro de producción San Jerónimo, Baja Verapaz. Tesis - Ing.Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 74 p.
- 9.15 PINEDA HERRERA, D.A. 1987. Efecto de siete frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración de la cebolla (Allium cepa L.) para la unidad de riego Laguna El Hoyo, municipio de Monjas, Jalapa. Tesis Ing.Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 61 p.
- 9.16 REYES CASTAÑEDA, P. 1981. Diseño de experimentos aplicados. México, Trilla. 340 p.
- 9.17 SAGASTUME GARZA, M.B. 1986. Efecto de siete frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración en cebolla (Allium cepa L.) para la zona de Bárcena, Villa Nueva. Tesis Ing.Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

- 9.18 SANCHEZ CHAVEZ, J.F. 1984. Efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración de cebolla (Allium cepa L.) para la zona de Bárcena, Villa Nueva. Tesis Ing.Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 66 p.
- 9.19 SANDOVAL ILLESCAS, J. s.f. Resumen de la investigación realizada en frecuencias de riego y evapotranspiración de 1982 a 1987. s.n.t. 18 p.
- Sin publicar.
- 9.20 ZEA MORALES, J.L. 1984. Efecto de cinco frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración del cultivo del tomate (Lycopersicum esculentum) en un suelo de la serie chicaj del valle de la Fragua, Zacapa. Tesis Ing.Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

Vó. Bo.

*Palmalé*



APENDICE

Cuadro 6. Resultado de Rendimiento de bulbos en toneladas Métricas por Hectárea, para cada tratamiento y Repetición.

	I	II	III	IV	TOTAL Y <sub>i</sub>	PROMEDIO Y <sub>i</sub>
F-8	26.55	29.15	25.52	21.52	102.74	25.69
F-12	28.00	28.28	24.48	20.15	100.91	25.23
F-16	21.13	23.14	19.52	20.00	83.79	20.95
F-20	16.53	21.13	19.27	15.92	72.85	18.22
F-24	16.62	17.86	17.14	14.80	66.42	16.61
F-28	13.56	14.83	12.38	12.08	52.85	13.22
F-32	11.94	13.12	11.73	12.38	49.17	12.30
TOTALES Y <sub>i</sub>	134.33	147.51	13.04	116.85	528.73	

Cuadro 7. Análisis de Varianza para el Rendimiento de Bulbos en Toneladas Métricas por Hectárea.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	F TABULADA	
					0.05	0.01
Bloque	3	68.46	22.82	9.79	3.20*	5.18**
Tratamiento	6	683.82	113.97	48.91	2.70*	4.10**
Error	17	39.62	2.33			
Total	27					

C.V. Coeficiente de Variación = 8.08

Cuadro 8. Prueba de Tukey para Rendimiento de Bulbos en Toneladas Métricas por Hectárea.

TRATAMIENTOS	MEDIDAS	INTERPRETACIONES
F-8	25.69	a
F-12	25.23	a b
F-16	20.95	c
F-20	18.22	c d
F-24	16.61	d e
F-28	13.22	e f
F-32	12.30	f

Cuadro 9. Resultados de Rendimiento de Plantas Completas en Toneladas Métricas por Hectárea, para cada tratamiento y Repetición

	I	II	III	IV	TOTAL Y <sub>i</sub>	PROMEDIO Y <sub>i</sub>
F-8	56.36	58.90	53.33	48.55	217.14	54.29
F-12	43.73	51.20	40.13	34.93	169.99	42.50
F-16	34.27	41.02	33.20	37.53	146.02	36.51
F-20	26.67	35.06	29.64	25.21	116.58	29.15
F-24	23.84	28.93	25.33	21.07	99.17	24.80
F-28	20.87	21.33	17.86	20.66	80.72	20.18
F-32	17.92	20.65	17.33	16.40	72.30	18.10
TOTALES Y <sub>i</sub>	223.66	257.09	216.82	204.35	901.92	

Cuadro 10. Análisis de Varianza para el Rendimiento de Plantas Completas en Toneladas Métricas por Hécctarea.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	F TABULADA	
					0.05	0.01
Bloque	3	217.71	72.57	9.81	3.20*	5.18**
Tratamiento	6	4,082.07	680.35	91.94	2.70*	4.10**
Error	17	125.62	7.40			
Total	27	4,425.40				

C.V.: Coeficiente de Variación = 8.45%

Cuadro 11. Prueba de Tukey para Rendimiento de Plantas Completas en Toneladas Métricas por Hectárea

TRATAMIENTOS	MEDIDAS	INTERPRETACIONES
F-8	54.29	a
F-12	42.50	b
F-16	36.51	bc
F-20	29.15	d
F-24	24.80	de
F-28	20.18	ef
F-32	18.10	f

Cuadro 12. Control de la Humedad antes y después del Riego y Cálculo de la Lámina Consumida

PORCENTAJE DE HUMEDAD (ESTRATO 0-30 CMS)				DIFE REN- CIA %	CONSUMO ENTRE MUESTREO (CMS)	* AJUSTE (CMS)	LAMINA CONSU- MIDA (CMS)
DR		AR					
FECHA	%	FECHA	%				
25-12-87	21.86	30-12-87	18.97	2.89	1.092	0.655	1.747
2-01-88	20.82	7-01-88	18.62	2.20	0.832	0.499	1.331
10-01-88	21.98	15-01-88	17.44	4.54	1.716	1.030	2.746
18-01-88	21.99	22-01-88	17.13	4.36	1.837	1.102	2.439
26-01-88	21.73	31-01-88	17.63	4.10	1.550	0.93	2.480
03-02-88	22.06	08-02-88	16.28	5.78	2.135	1.311	3.496
11-02-88	21.85	16-02-88	13.72	8.13	3.073	1.844	4.917
19-02-88	22.18	24-02-88	12.62	9.56	3.614	2.168	5.782
27-02-88	21.62**	-----	-----	-----	-----	-----	-----

(Cm) Lamina Parcial 24.438

(Cm) Riegos generales 2.383

(Cm) Lamina Total Consumida 26.821

\*\* Ultimo Riego y Cosecha

DR= Después del Riego

AR= Antes del Riego

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

Cuadro 13. Control de la Humedad antes y después del riego y Cálculo de la Lámina Consumida para el Tratamiento F-12.

PORCENTAJE DE HUMEDAD (ESTRATO 0-30 CMS)				DIFE REN- CIA %	CONSUMO ENTRE MUESTREO (CMS)	* AJUSTE (CMS)	LAMINA CONSU- MIDA (CMS)
DR		AR					
FECHA	%	FECHA	%				
25-12-87	21.86	03-01-88	18.03	3.83	1.448	0.483	1.931
06-01-88	21.66	15-01-88	16.15	5.51	2.083	0.694	2.777
18-01-88	22.03	27-01-88	16.04	5.99	2.264	0.755	3.019
30-01-88	21.85	08-02-88	14.07	7.78	2.941	0.980	3.921
11-02-88	21.58	20-02-88	13.11	8.47	3.202	1.067	4.269
23-02-88	22.05	27-02-88	18.02**	4.03	1.523	--	1.523

Lámina Parcial (Cms)	17.44
Riegos Generales (Cms)	2.383
Lámina Total Consumida (Cms)	19.823

\*\* Húmedad al momento de cosechar

Cuadro 14. Control de la Humedad Antes y Después del Riego y Cálculo de de la Lámina consumida para el tratamiento F-16

PORCENTAJE DE HUMEDAD (ESTRATO 0-30 CMS)				DIFE REN- CIA %	CONSUMO ENTRE MUESTREO (CMS)	* AJUSTE (CMS)	LAMINA CONSU- MIDA (CMS)
DR		AR					
FECHA	%	FECHA	%				
25-12-87	21.86	07-01-88	16.57	5.29	1.999	0.461	2.46
10-01-88	21.36	23-01-88	13.60	7.76	2.933	0.677	3.61
26-01-88	21.82	08-02-88	12.57	9.25	3.497	0.807	4.304
11-02-88	21.77	24-02-88	10.62	11.15	4.215	0.973	5.188
27-02-88	21.12**	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Lámina Parcial (Cms) 15.562  
 Riegos Generales (Cms) 2.383  
 Lámina Total Consumida (Cms) 17.945

\*\* Ultimo Riego y Cosecha

Cuadro 15. Control de la Humedad antes y Después del Riego y Cálculo de la Lámina consumida para el tratamiento F-20

PORCENTAJE DE HUMEDAD (ESTRATO 0-30 CMS)				DIFERENCIA %	CONSUMO ENTRE MUESTREO (CMS)	* AJUSTE (CMS)	LAMINA CONSUMIDA (CMS)
DR		AR					
FECHA	%	FECHA	%				
25-12-87	21.86	11-01-88	15.80	6.36	2.291	0.454	2.695
14-01-88	21.55	31-01-88	12.36	9.19	3.474	0.613	4.087
03-02-88	21.69	20-02-88	10.62	11.07	4.184	0.738	4.922
23-02-88	21.91	27-02-88	18.10**	3.81	1.440	-----	1.440

Lámina Parcial (Cms)	13.144
Riegos Generales (Cms)	2.383
Lámina Total Consumida	15.823

\*\* Humedad al Momento de Cosechar

Cuadro 16. Control de la Humedad Antes y Después del Riego y Cálculo de la Lámina Consumida para el Tratamiento F-24

PORCENTAJE DE HUMEDAD (ESTRATO 0-30 CMS)				DIFE REN- CIA %	CONSUMO ENTRE MUESTREO (CMS)	* AJUSTE (CMS)	LAMINA CONSU- MIDA (CMS)
DR		AR					
FECHA	%	FECHA	%				
25-12-87	21.86	15-01-88	12.86	9.00	3.402	0.486	3.888
18-01-88	22.27	08-02-88	10.02	12.25	4.631	0.662	5.293
11-02-88	21.55	27-02-88	14.07**	7.48	2.827	-----	2.827

Lámina Parcial (Cms) 12.008  
 Riegos Generales (Cms) 2.383  
 Lámina Total Consumida (Cms) 14.391

\*\* Humedad al Momento de Cosechar

Cuadro 17. Control de la Humedad Antes y Después del Riego y Cálculo de la Lámina Consumida para el Tratamiento F-28

PORCENTAJE DE HUMEDAD (ESTRATO 0-30 CMS)				DIFE REN- CIA %	CONSUMO ENTRE MUESTREO (CMS)	* AJUSTE (CMS)	LAMINA CONSU- MIDA (CMS)
DR		AR					
FECHA	%	FECHA	%				
25-12-87	21.86	19-01-88	10.83	11.03	4.169	0.500	4.669
22-01-88	10.51	16-02-88	10.90	9.61	3.633	0.436	4.069
19-02-88	21.82	27-02-88	15.83**	5.99	2.264	----	2.264

Lámina Parcial (Cms) 11.002

Riegos Generales (Cms) 2.383

Lámina Total Consumida (Cms) 13.385

\*\* Húmedad al Momento de Cosechar

Cuadro 18. Control de la Humedad Antes y Después del Riego y Cálculo de la Lámina Consumida para el Tratamiento F-32

PORCENTAJE DE HUMEDAD (ESTRATO 0-30 CMS)				DIFE REN- CIA %	CONSUMO ENTRE MUESTREO (CMS)	* AJUSTE (CMS)	LAMINA CONSU- MIDA (CMS)
DR		AR					
FECHA	%	FECHA	%				
25-12-87	21.86	23-01-88	9.40	12.46	4.710	0.487	5.197
26-01-88	20.42	24-02-88	11.02	9.40	3.553	0.368	3.921
27-02-88	21.53**	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Lámina Parcial (Cms) 9.118

Riegos Generales (Cms) 2.383

Lámina Total Consumida (Cms) 11.501

\*\* Ultimo Riego y Cosecha

Cuadro 19. Número de Riegos y Láminas de Agua Aplicados para los Siete Tratamientos, Incluyendo el Período de Establecimiento (Cms).

NUMERO DE RIEGOS**	TRATAMIENTOS						
	F-8	F-12	F-16	F-20	F-24	F-28	F-32
	LAMINAS APLICADAS EN CADA RIEGO (CMS)						
1	1.747	1.931	2.46	2.695	3.888	4.669	5.197
2	1.331	2.777	3.61	4.087	5.293	4.069	3.921
3	2.746	3.019	4.304	4.922	2.827*	2.264*	
4	2.939	3.921	5.188	1.440*			
5	2.480	2.269					
6	3.496	1.523*					
7	4.917						
8	5.782						
Láminas aplicadas en la diferenciación de los tratamientos	24.438	17.44	15.562	13.144	12.008	11.002	9.18
Lámina Aproximada Aplicadas en el establecimiento	2.383	2.383	2.383	2.383	2.383	2.383	2.383
Lámina total aplicada equivalente a la evapotranspiración del cultivo	26.821	19.823	17.945	15.823	14.391	13.385	11.501

\* Láminas de agua consumidas durante la etapa previa a la cosecha y que no se repusieron en riego.

\*\* No incluye los 6 riegos aplicados en la etapa de establecimiento (primeros 22 días después del trasplante).

Cuadro 20. Cálculo de Evapotranspiración por la Fórmula Hargreaves Modificada en 1983 para todo el Ciclo del Cultivo

FECHA (SEMANAS)	DURACION DEL PERIODO EN SEMANAS	PROMEDIO DEL t° MAXIMO SEMANTAL °C	PROMEDIO DE °t MINIMO SEMANTAL °C	T.D <sup>0.5</sup> °C	Ra mm/sem	Rs mm/sem	Temp. Media °F	ETP mm/sem	KC	ETC mm/sem	(mm) ETC ACUMULADO
4-12-87 10-12-87	1	25.26	13.83	3.38	83.30	46.46	63.86	22.25	0.40	8.9	8.9
11-12-87 17-12-87	1	25.19	12.41	3.43	83.30	47.14	64.74	22.88	0.50	11.44	20.34
18-12-87 24-12-87	1	24.4	13.86	3.25	83.30	44.67	64.53	21.63	0.60	12.97	33.31
25-12-87 31-12-87	1	24.88	13.83	3.32	83.30	45.63	64.24	21.98	0.68	14.95	48.26
1- 1-88 7- 1-88	1	23.36	13.51	3.14	86.10	44.61	63.16	21.13	0.75	15.85	64.11
8- 1-88 14- 1-88	1	24.09	14.27	3.13	86.10	44.47	64.04	21.36	0.90	19.22	83.33
15- 1-88 21- 1-88	1	24.91	12.64	3.50	86.10	49.72	63.12	23.54	0.95	22.36	105.69
22- 1-88 28- 1-88	1	20.37	10.93	3.07	86.10	43.61	57.51	18.81	0.95	17.87	123.56
29- 1-88 4- 2-88	1	24.54	12.16	3.52	90.98	52.84	62.22	24.66	1.00	24.66	148.22
5- 2-88 11- 2-88	1	24.17	12.23	3.46	94.67	54.05	62.04	25.15	1.05	26.41	174.63
12- 2-88 18- 2-88	1	25.70	13.51	3.49	94.67	54.52	64.94	26.57	1.05	27.90	202.53
19- 2-88 25- 2-88	1	25.91	16.64	3.04	94.67	47.49	66.27	23.60	1.00	23.60	226.13
26- 2-88 27- 2-88	0.29	24.15	13.5	3.26	27.04	14.54	64.31	7.01	0.95	6.66	232.79

Cuadro 21. Valores de Tasa de Evapotranspiración Semanal y Total en Milímetros para los Diferentes Tratamientos, Hargreaves y Evaporación del Tanque.

SEMANA NUMERO	TRATAMIENTOS							HARGREAVES MODIFICADO	EVAPORACION DEL TANQUE
	F-8	F-12	F-16	F-20	F-24	F-28	F-32		
1	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	8.90	27.46
2	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	11.44	29.54
3	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	12.97	22.94
4	14.71	11.26	10.83	9.70	11.33	11.61	11.35	14.95	30.18
5	12.68	11.97	10.76	9.43	11.34	11.67	11.37	15.85	32.94
6	18.72	16.20	13.64	9.43	11.34	11.67	11.37	19.22	23.01
7	24.75	16.80	15.80	14.30	13.10	11.67	11.37	22.36	23.56
8	22.07	17.61	16.66	14.30	15.44	10.39	10.57	17.87	24.48
9	25.47	21.37	18.83	14.72	15.44	10.17	8.58	24.66	28.52
10	30.59	22.87	18.83	17.23	15.44	10.17	8.58	26.41	32.02
11	43.02	24.90	22.70	17.23	12.37	10.17	8.58	27.90	36.28
12	49.52	25.40	22.70	19.51	12.37	18.43	8.58	23.60	34.10
* 13	14.46	7.62	6.48	7.20	3.53	5.66	2.45	6.66	7.64
TOTAL	278.74	198.75	179.98	155.80	144.45	134.36	115.55	232.79	352.67

\* Esta Semana Comprende Unicamente 2 Días.

Cuadro 22. Valores de Pendiente, Intercepto, Pruebas de Hipótesis, Correlación y Coeficientes de Determinación  $r^2$  de la Evapotranspiración Semanal de los Tratamientos Versus Fórmula de Hargreaves modificada en 1983.

TRATAMIENTO	PENDIENTE	INTERCEPTO	$t_{cb_1}$	$t_{cb_0}$	CORRELACION	DETERMINANTE $r^2_c$
F-8	1.62 =1	-7.57 = 0	1.88	-0.19	**	0.68
F-12	0.98 =1	-2.26 = 0	-0.09	-0.13	**	0.91
F-16	0.83 =1	-1.02 = 0	-0.57	-0.03	**	0.88
F-20	0.60 ≠1	1.24 = 0	-4.21	0.38	**	0.78
F-24	0.50 ≠1	2.16 ≠ 0	-5.38	16.62	**	0.71
F-28	0.30 --	4.96 ---	---	---	N.S.	0.34
F-32	0.16 --	6.02 ---	---	---	N.S.	0.14

$t_t$  (11,0.05) = 2.201

$r_t$  (11,0.001) = 0.801

$r^2_t$  (11,0.001) = 0.64

\*\* Alta Significancia

N.S. No significativo

Cuadro 23. Relación entre Evapotranspiración Semanal de los Tratamientos y Evaporación Semanal del Tanque Evaporímetro. (Et/Ev)

SEMANA NUMERO	TRATAMIENTOS						
	F-8	F-12	F-16	F-20	F-24	F-28	F-32
	Et/Ev	Et/Ev	Et/Ev	Et/Ev	Et/Ev	Et/Ev	Et/Ev
1	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
2	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
3	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
4	0.49	0.37	0.34	0.32	0.38	0.38	0.38
5	0.38	0.36	0.33	0.29	0.34	0.35	0.35
6	0.81	0.70	0.59	0.41	0.49	0.51	0.49
7	1.05	0.72	0.67	0.63	0.56	0.50	0.48
8	0.90	0.72	0.68	0.58	0.63	0.42	0.43
9	0.89	0.75	0.64	0.52	0.54	0.36	0.30
10	0.96	0.71	0.59	0.54	0.48	0.32	0.27
11	1.19	0.69	0.63	0.47	0.34	0.28	0.24
12	1.45	0.74	0.67	0.57	0.36	0.54	0.25
13	1.89	0.99	0.85	0.94	0.46	0.74	0.32

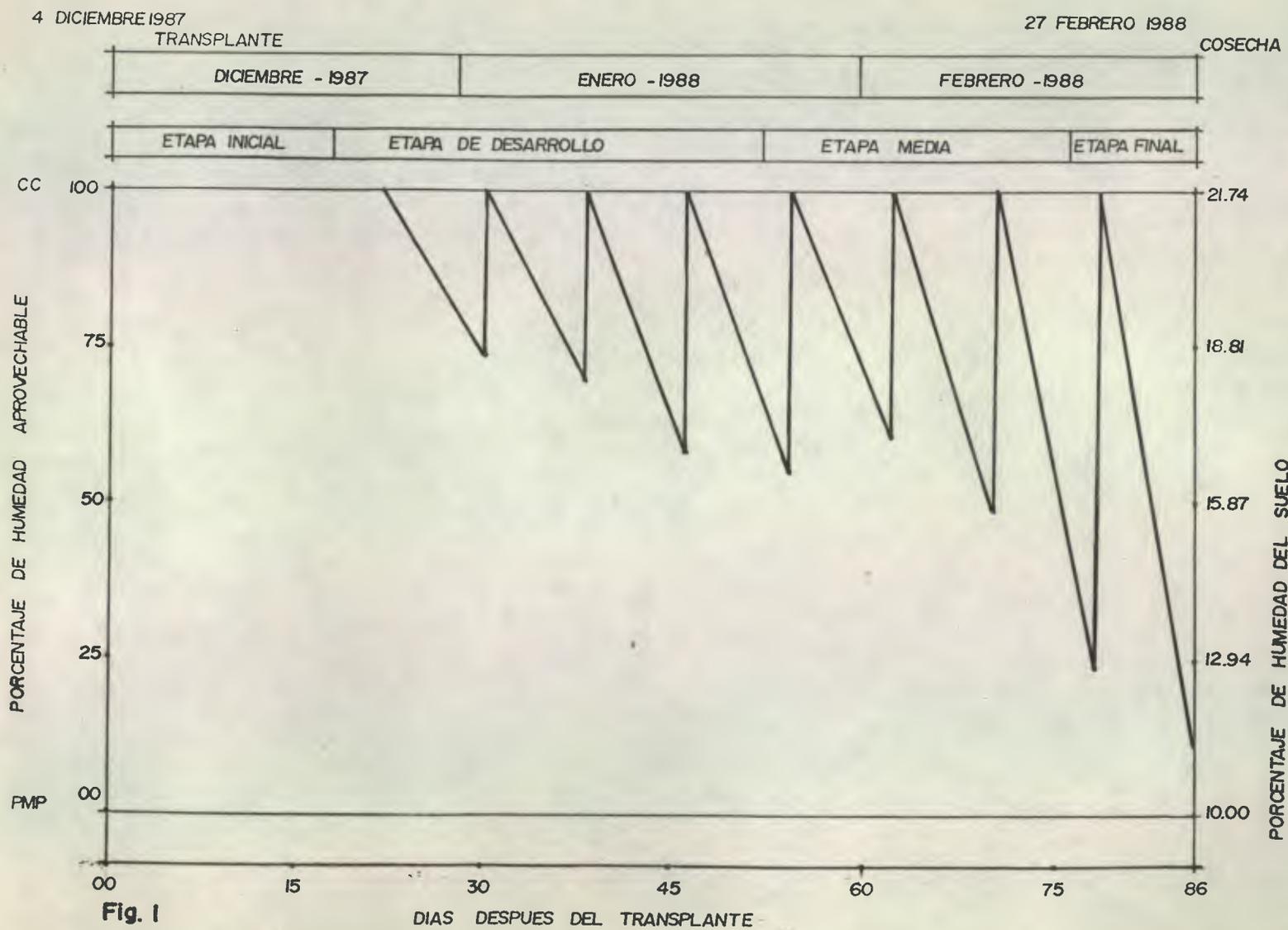


Fig. 1

PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE Y DEL SUELO  
 PARA EL TRATAMIENTO F-8

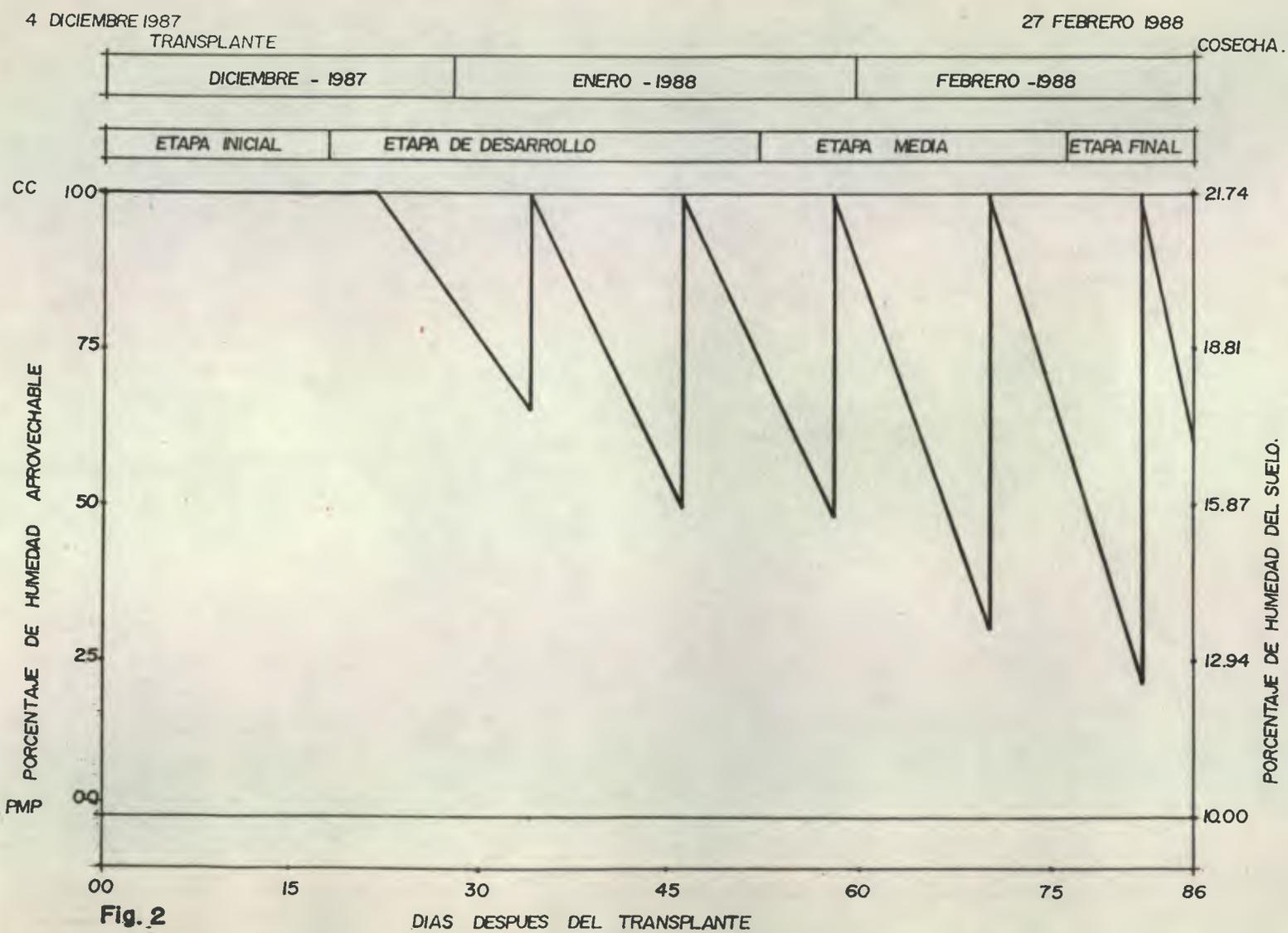


Fig. 2

PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE Y DEL SUELO  
 PARA EL TRATAMIENTO F-12

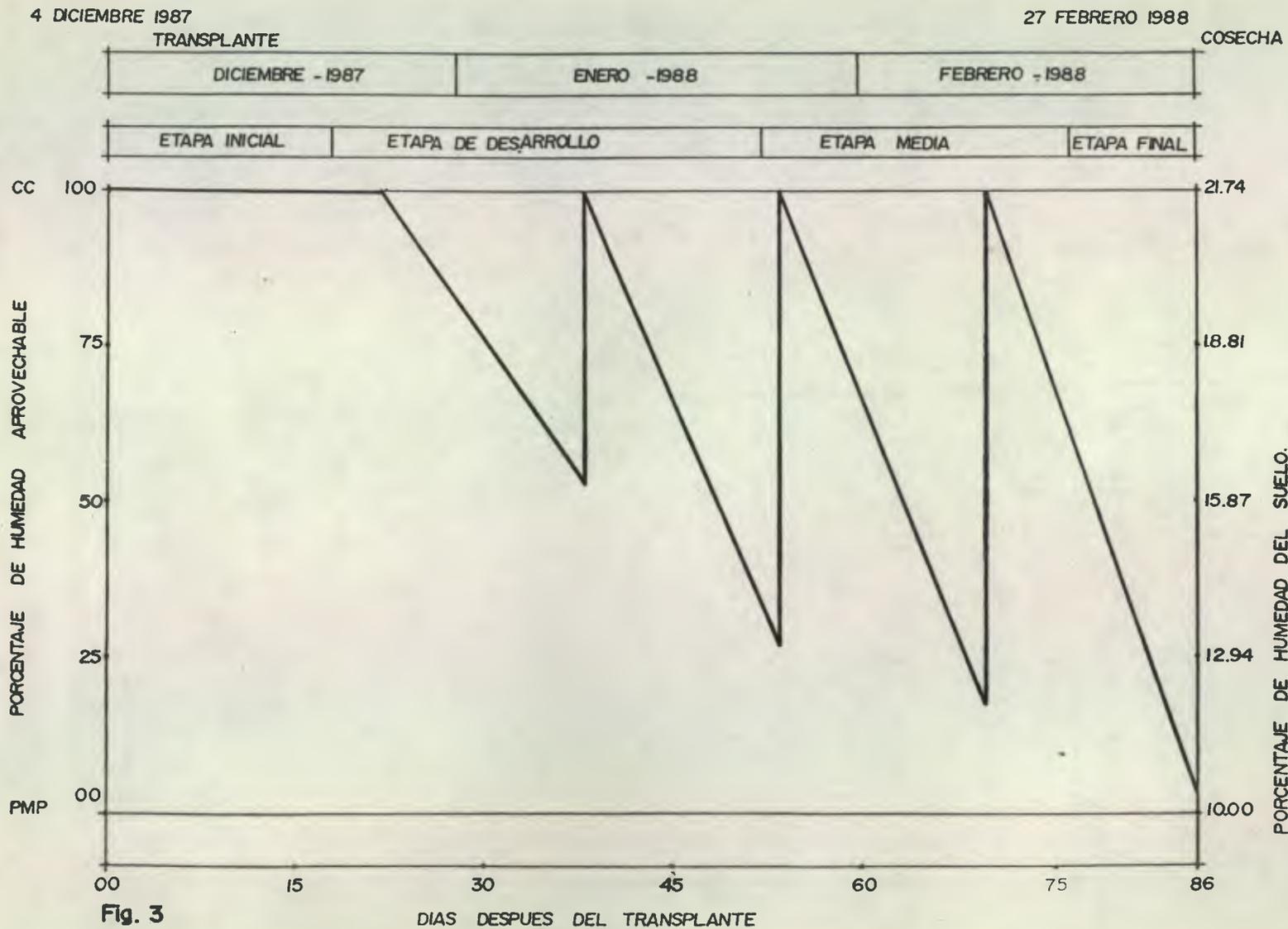
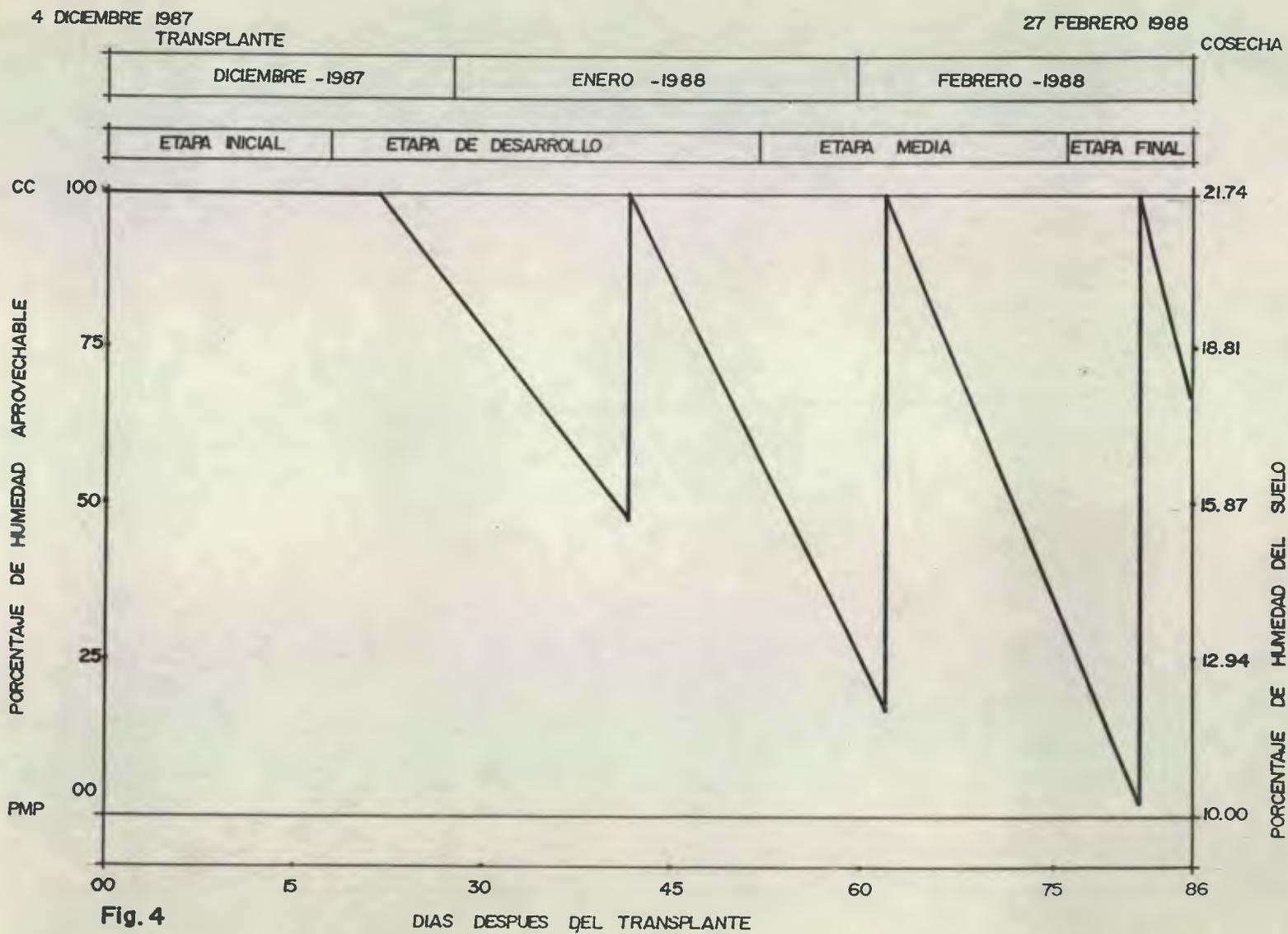


Fig. 3

PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE Y DEL SUELO  
PARA EL TRATAMIENTO F-16



**Fig. 4**  
 PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE Y DEL SUELO  
 PARA EL TRATAMIENTO F-20

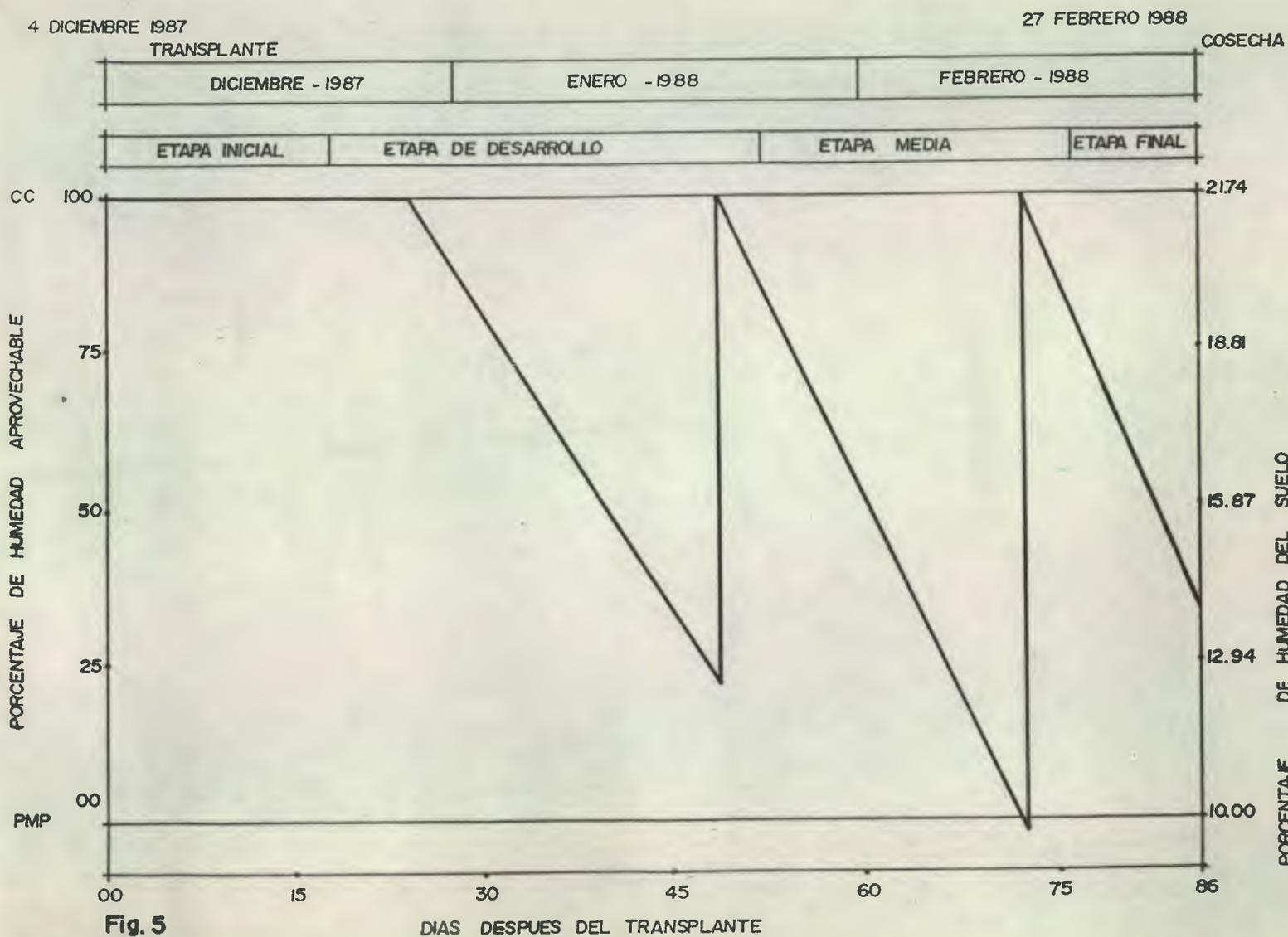


Fig. 5

PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE Y DEL SUELO  
PARA EL TRATAMIENTO F-24

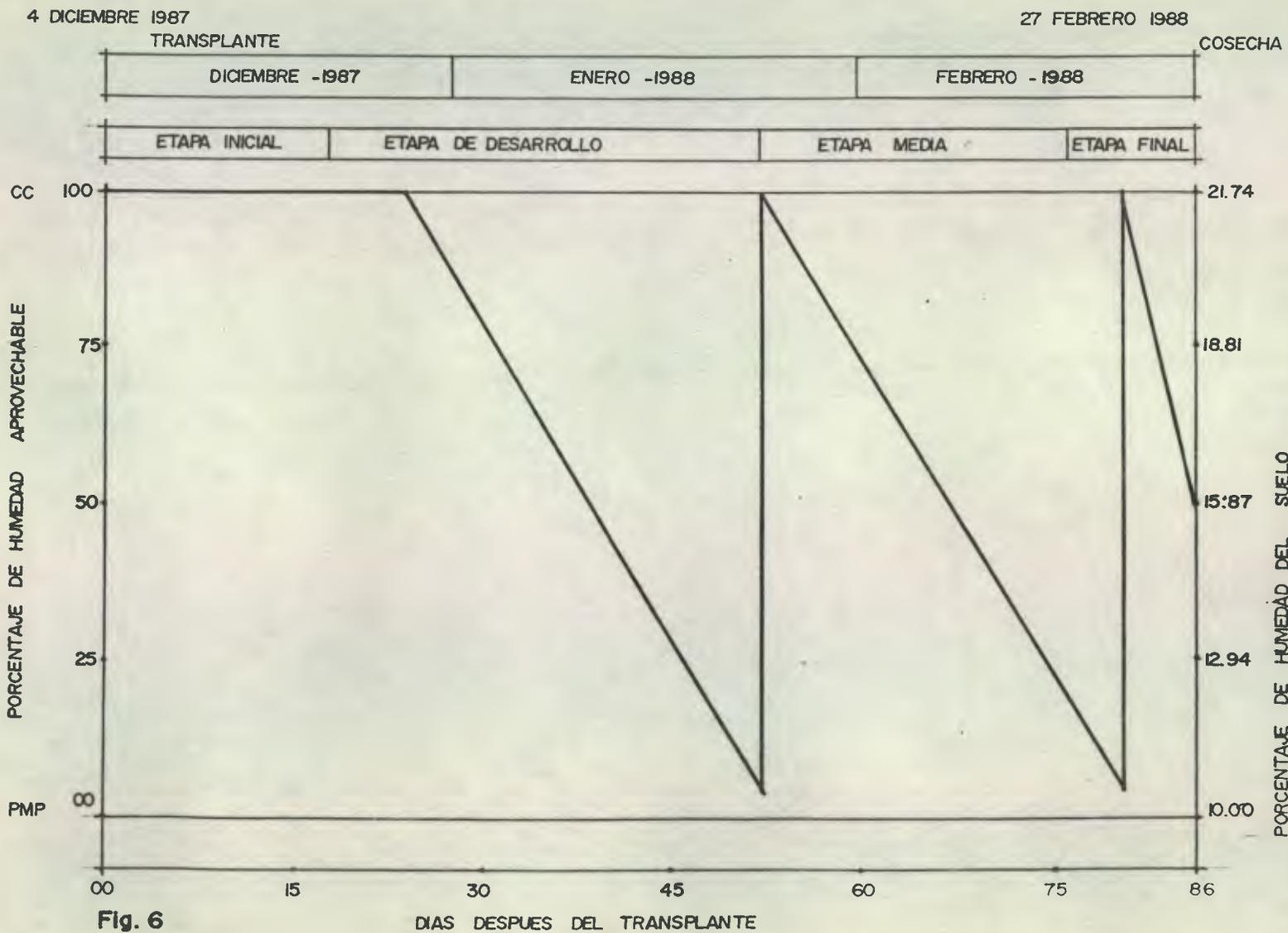


Fig. 6

PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE Y DEL SUELO  
 PARA EL TRATAMIENTO F-28

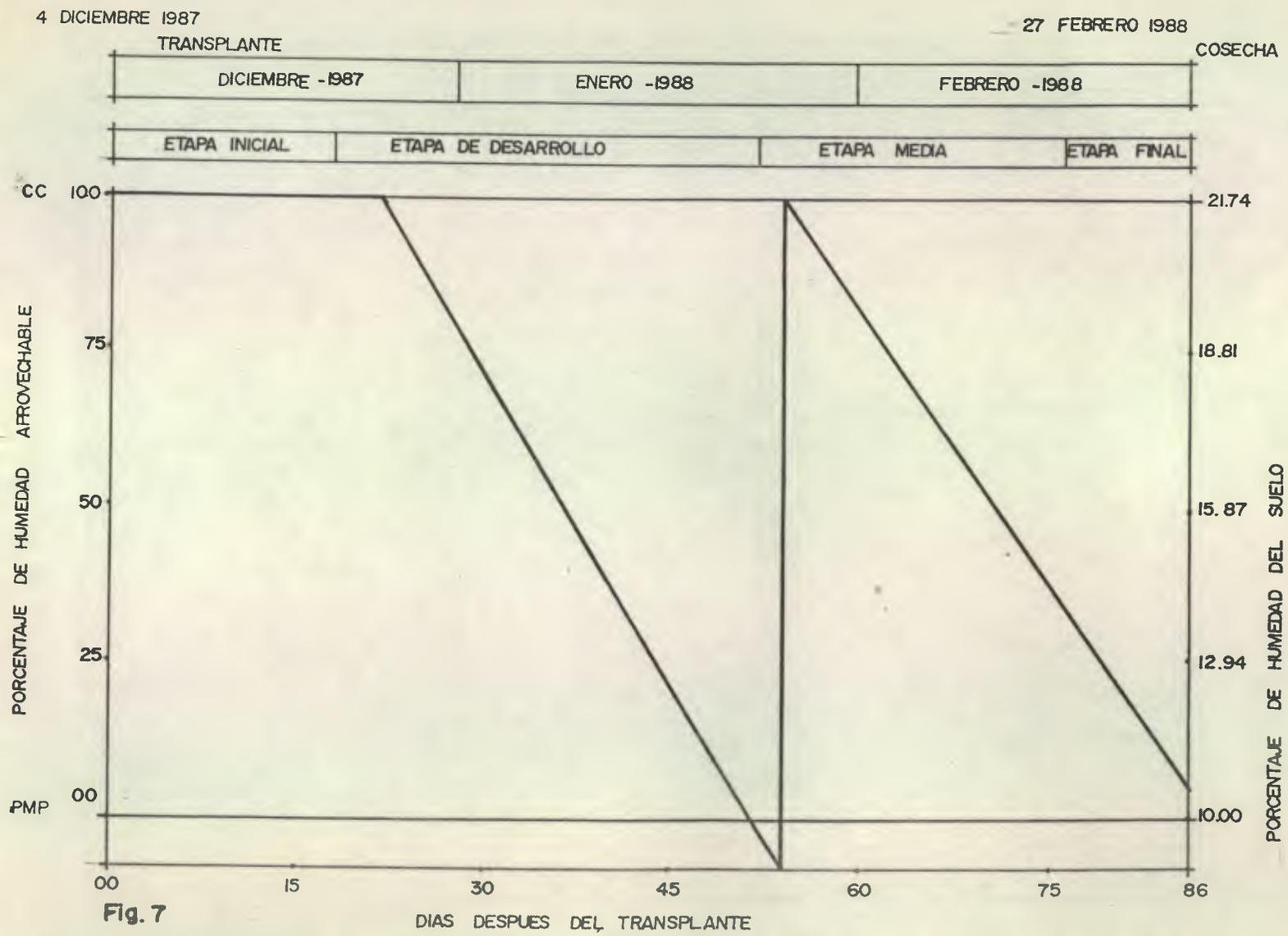


Fig. 7

PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE Y DEL SUELO  
 PARA EL TRATAMIENTO F-32

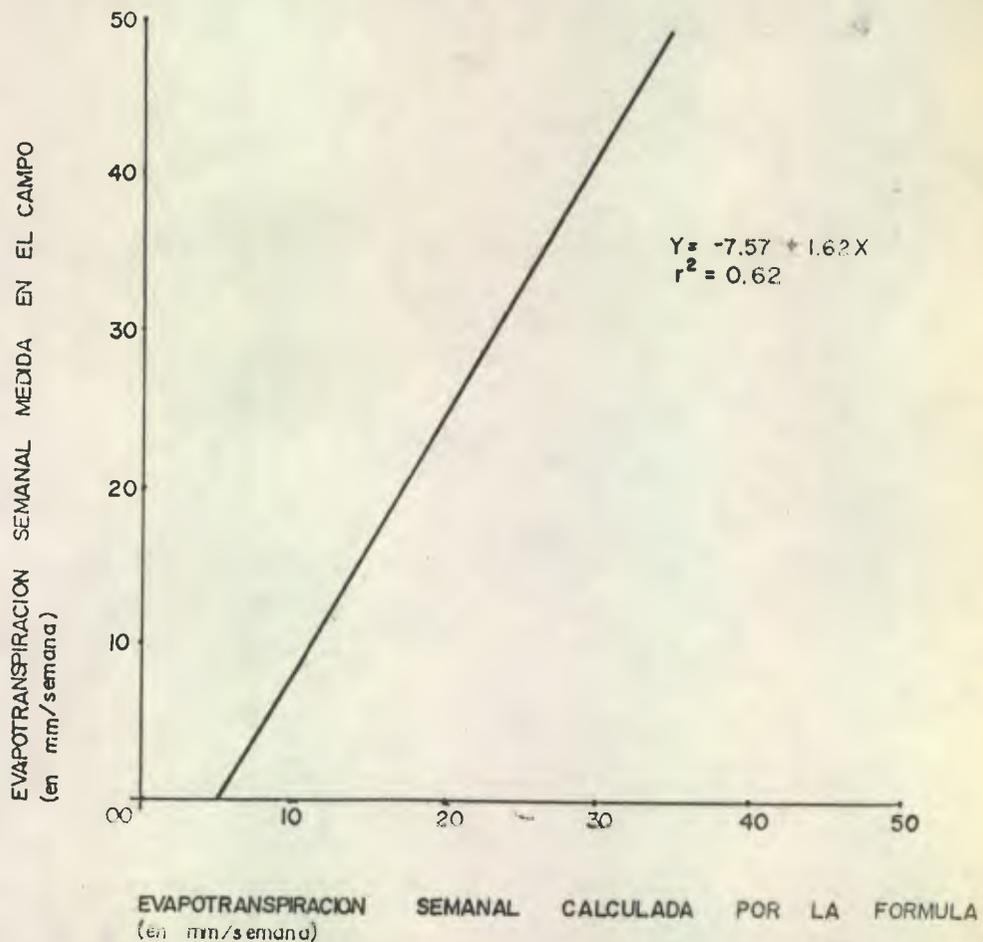


Fig.8 RELACION DE LA EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL MEDIDA EN EL CAMPO Y LA CALCULADA POR LA FORMULA DE HARGREAVES MODIFICADA EN 1983 PARA EL TRATAMIENTO F-8

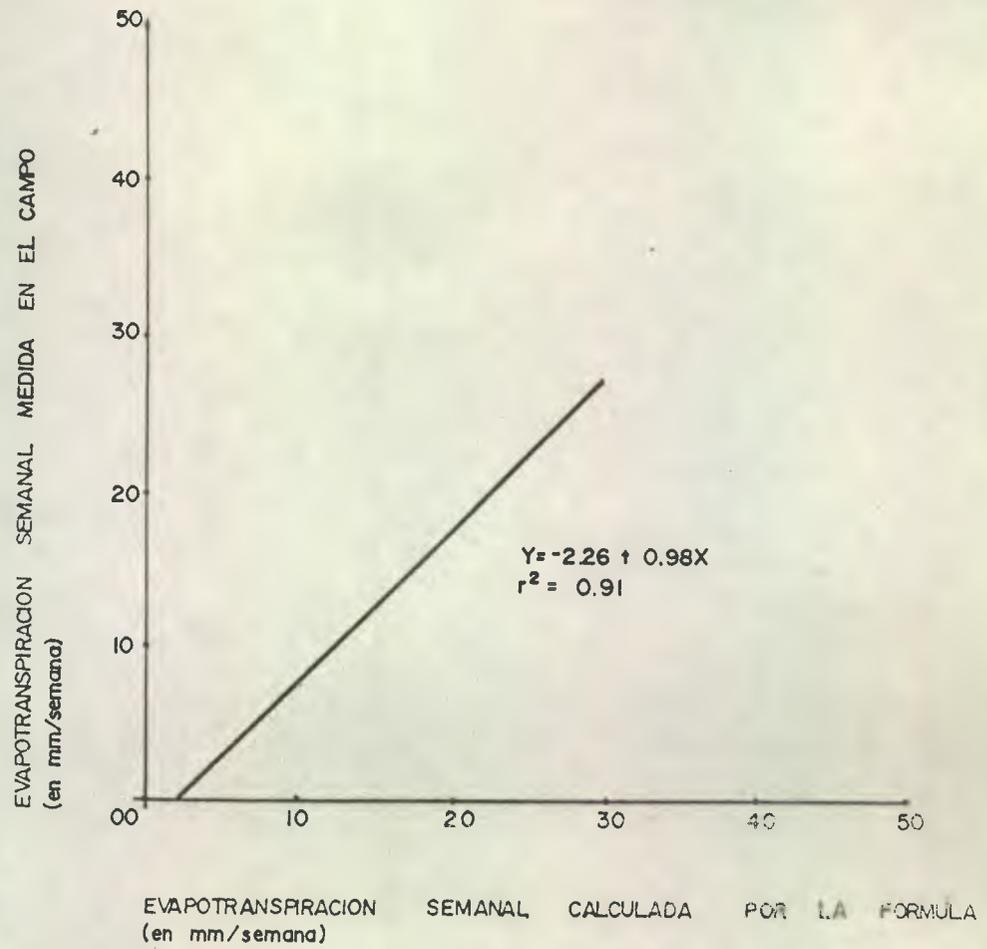


Fig. 9 RELACION DE LA EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL MEDIDA EN EL CAMPO Y LA CALCULADA POR LA FORMULA DE HARGREAVES MODIFICADA EN 1983 PARA EL TRATAMIENTO F-12

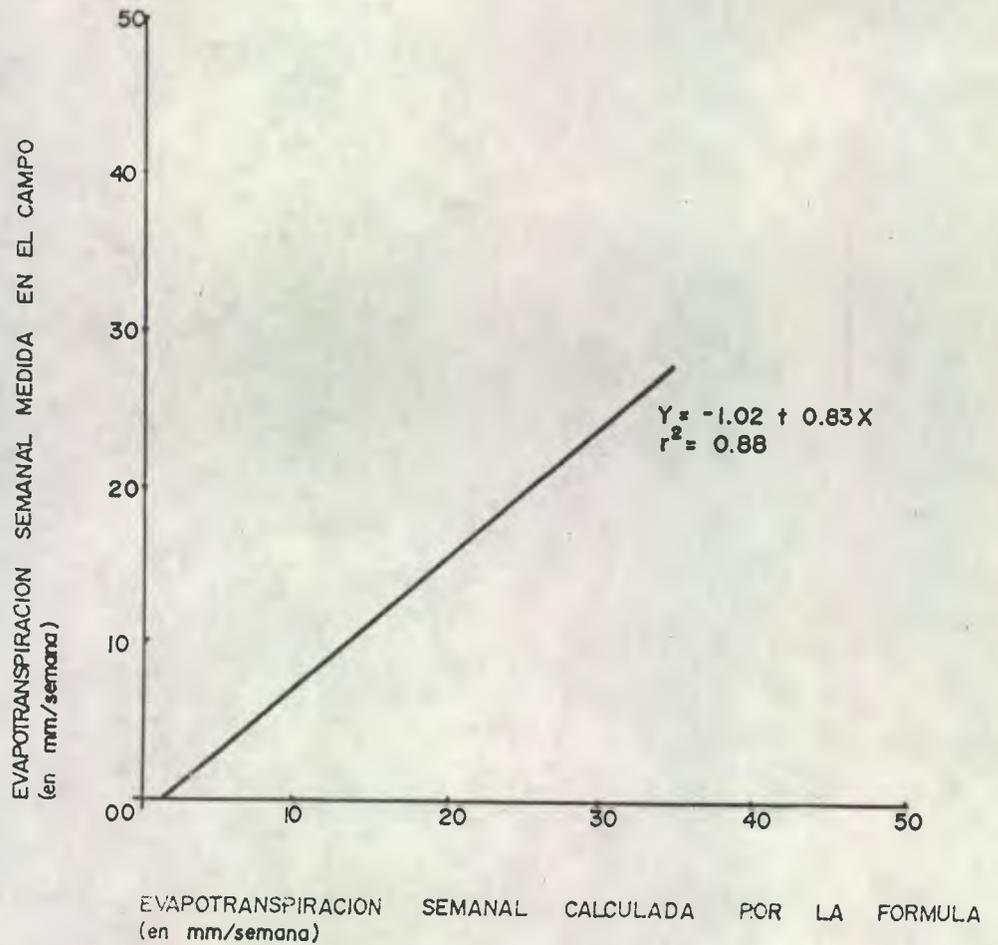


Fig.10 RELACION DE LA EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL MEDIDA EN EL CAMPO Y LA CALCULADA POR LA FORMULA DE HARGREAVES MODIFICADA EN 1983 PARA EL TRATAMIENTO F-16.

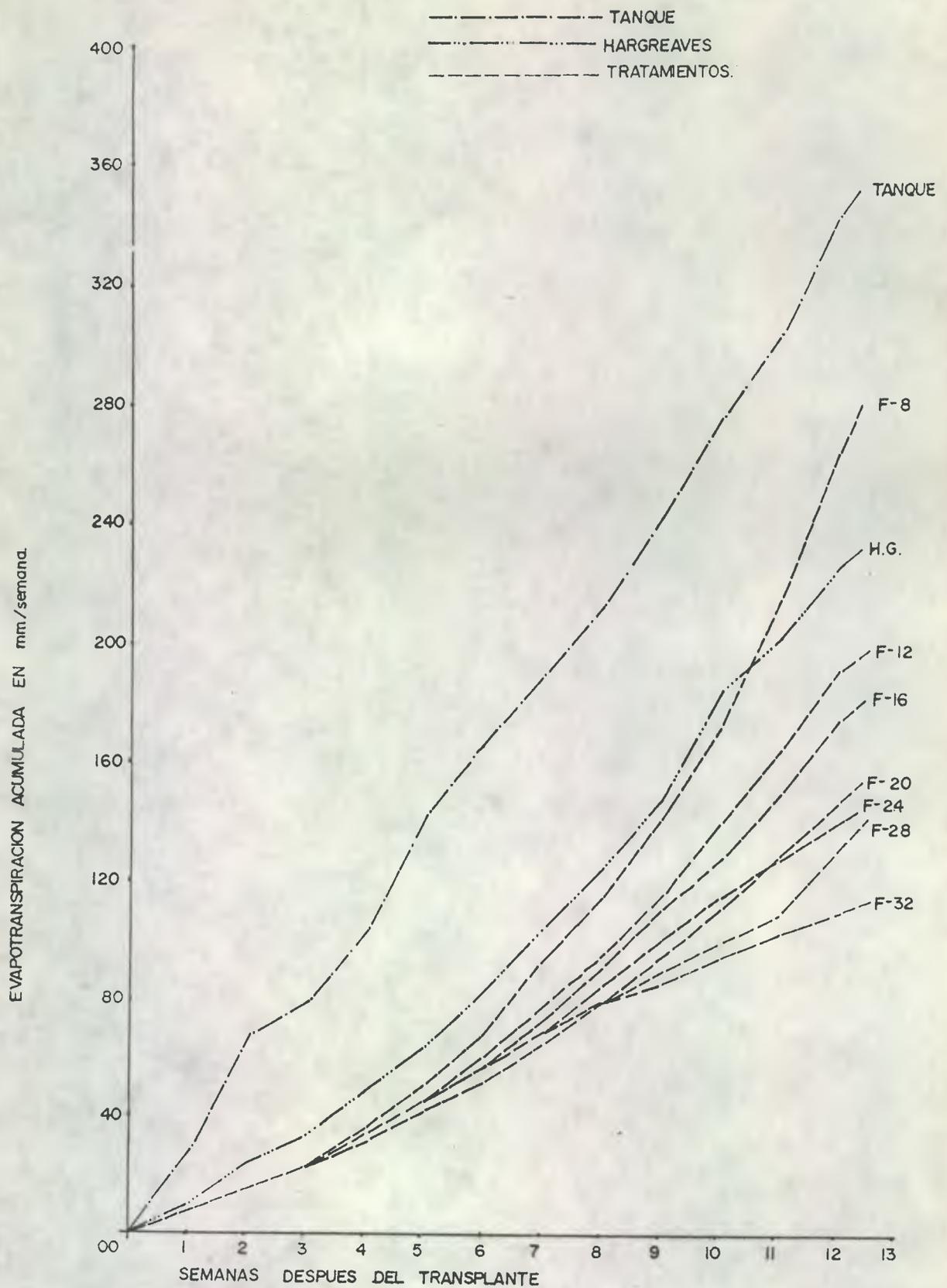


Fig. II EVAPOTRANSPIRACION SEMANAL ACUMULADA DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS HARGREAVES MODIFICADA EN 1983 Y EVAPORACION DEL TANQUE.

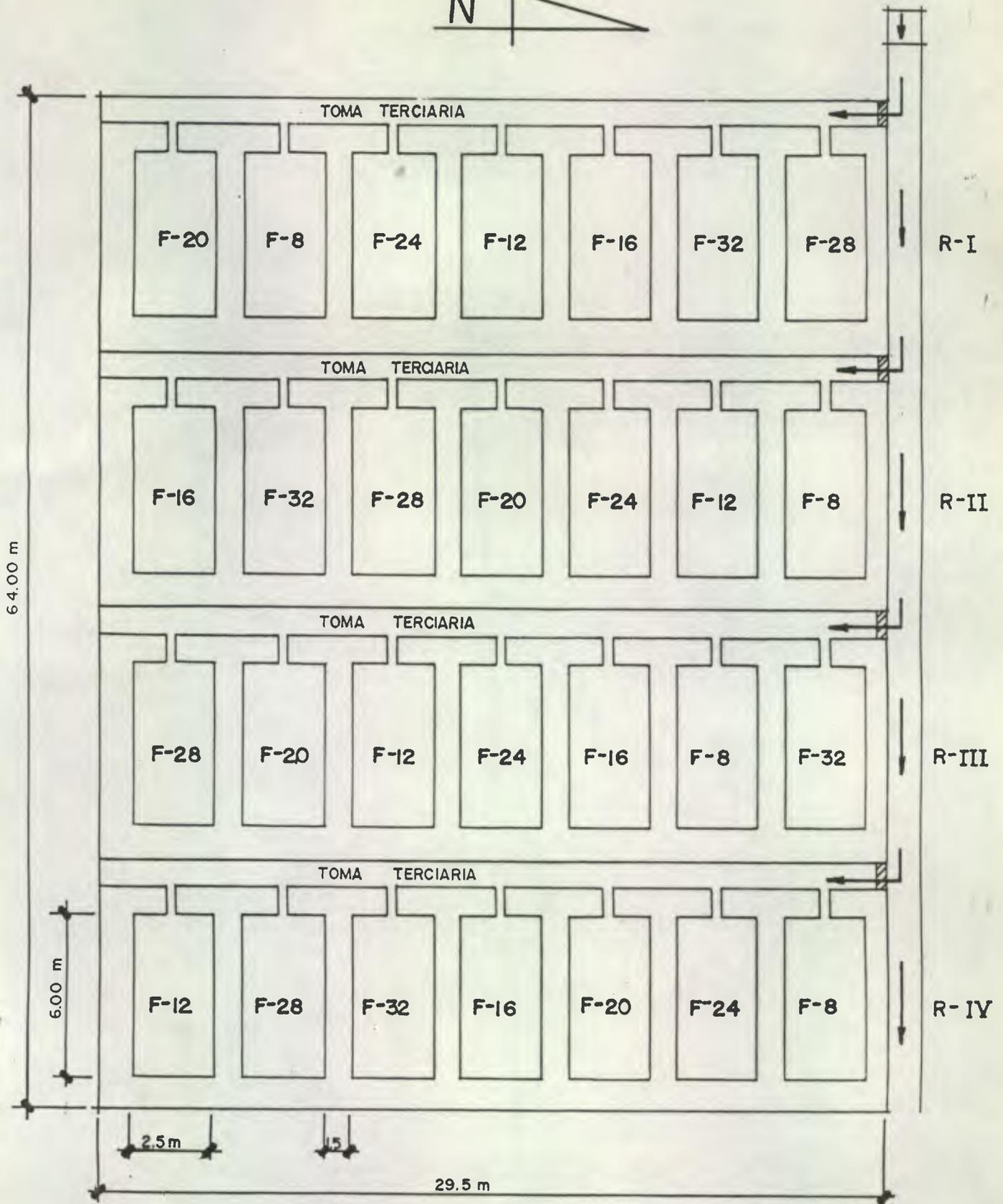
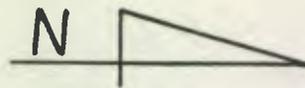


Fig. 12 PLANO GENERAL DEL EXPERIMENTO,  
UBICACION DE LA INFRAESTRUCTURA  
Y ASIGNACION ALEATORIA DE LOS TRATAMIENTOS.

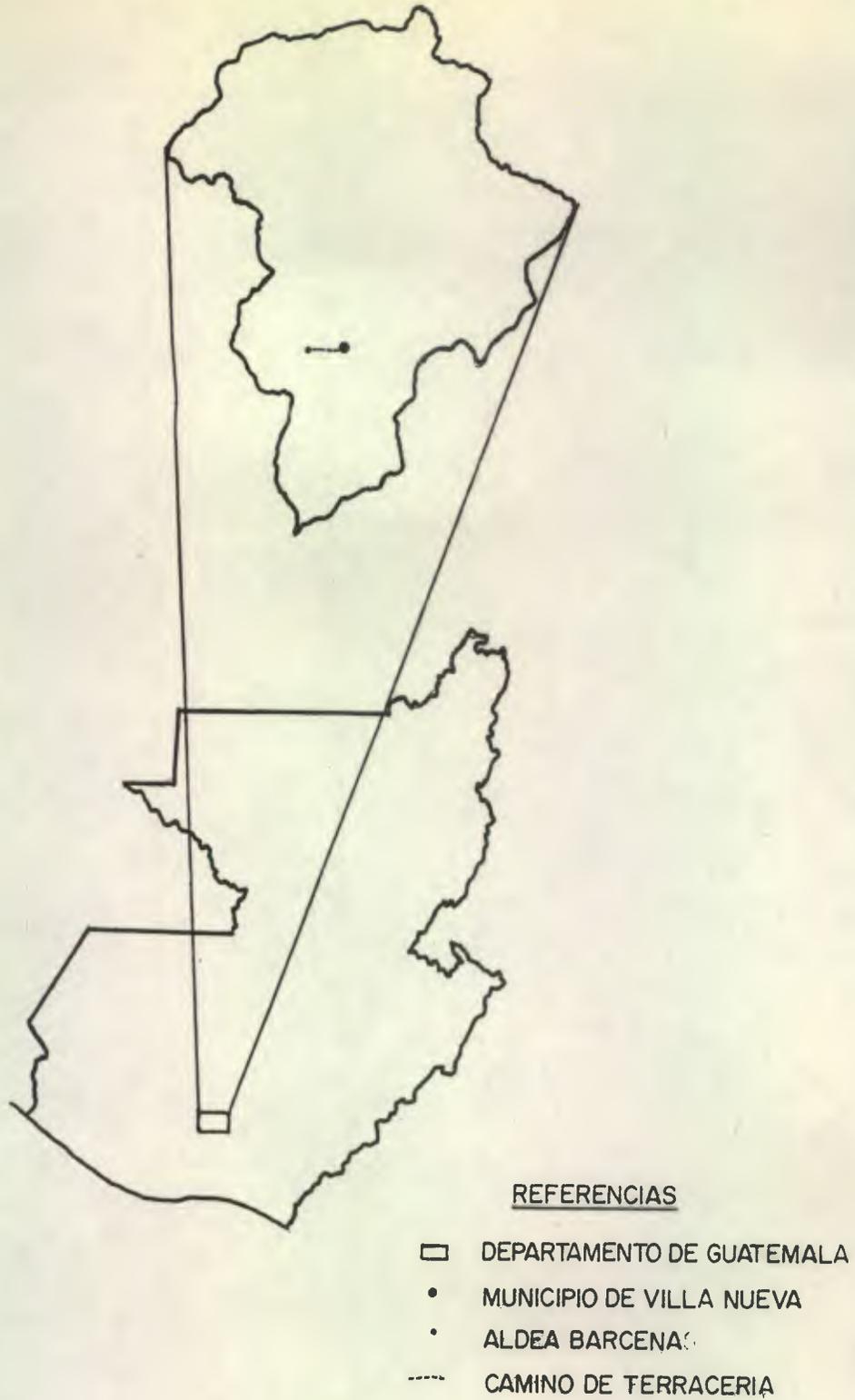


Fig. 13 Ubicación del Area donde se efectuó el experimento.

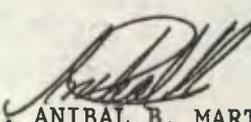


10. de febrero, 1989.

FACULTAD DE AGRONOMIA  
GUATEMALA, C. A.

"IMPRIMASE"



  
ING. AGR. ANIBAL B. MARTINEZ M.  
DECANO