

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

EVALUACION DEL BALANCE HIDRICO-AGROMETEOROLOGICO EN EL PRONOSTICO DEL  
RENDIMIENTO DEL CULTIVO DEL FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.) VARIEDAD  
TEXEL, EN LA ESTACION ALAMEDA, ICTA, CHIMALTENANGO.

TESIS  
PRESENTADA A LA HONRABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA DE  
LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

OSCAR EFRAIN RODAS MEJIA

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO  
INGENIERO AGRONOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA  
EN EL GRADO ACADEMICO DE  
LICENCIADO

Guatemala, Noviembre de 1,996

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

71  
-(1648)

3

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR:

Dr. JAFETH ERNESTO CARRERA FRANCO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Ing. Agr. JOSE ROLANDO LARA ALECIO
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. JUAN JOSE CASTILLO MONT
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. WILLIAM ESCOBAR LOPEZ
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. ALEJANDRO A. HERNANDEZ FIGUEROA
VOCAL CUARTO	P. A. HENRY ESTUARDO ESPARZA
VOCAL QUINTO	Br. MYNOR JOAQUIN BARRIOS OCHAETA
SECRETARIO	Ing. Agr. GUILLERMO E. MENDEZ B.

## ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: Por haberme permitido alcanzar este triunfo.

MIS PADRES: Oscar Augusto Rodas.  
Martha Velia Mejia de Rodas.

Por el apoyo que me brindaron para  
poder obtener una de mis metas.

MIS HERMANOS: Mayra Ardalila, Axel Fernando y Carlos Antonio.

MIS SOBRINOS: Fernando, Luisa, Mayra y Karla.

MIS ABUELOS, TIOS  
Y PRIMOS: Con aprecio especial.

LA FAMILIA GARCIA  
RAMOS: Con cariño.

MIS AMIGOS: En general.

CUILAPA.  
SANTA ROSA: Tierra que me vio nacer.

TESIS QUE DEDICO

A:  
MI PATRIA GUATEMALA.

FACULTAD DE AGRONOMIA.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

## AGRADECIMIENTOS

A:

Mis asesores Ing. Agr. Fulgencio Baravito e Ing. Agr. Eddi Vanegas, por la orientación que me proporcionaron para realizar mi trabajo de tesis.

Ing. Agr. Mario Bautista e Ing. Agr. Raul Macz, por el apoyo que me brindaron para culminar con éxito el presente trabajo de tesis.

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología Meteorología e Hidrología, en especial al departamento de Agrometeorología, por el apoyo proporcionado en la realización de la investigación.

Dirección General de Energía Nuclear, en especial al Departamento Agropecuario, por su ayuda en las diferentes etapas de que constó la investigación.

ICTA, Chimaltenango, por el apoyo recibido en la etapa de campo.

Todas las personas que de manera desinteresada colaboraron en la realización de esta tesis.

## CONTENIDO GENERAL

	Pag.
INDICE DE FIGURAS	iii
INDICE DE CUADROS	iv
RESUMEN	v
1. INTRODUCCION	1
2. DEFINICION DEL PROBLEMA	2
3. MARCO TEORICO	3
3.1 Marco Conceptual	3
3.1.1 Generalidades sobre el cultivo de frijol	3
3.1.2 Periodos de deficiencia de agua en el cultivo del frijol	3
3.1.3 Consumo de agua en el cultivo del frijol	4
3.1.4 Caracteristicas de la variedad Texel	4
3.1.4.1 Epoca de siembra	5
3.1.5 Evapotranspiración	5
3.1.6 Evapotranspiración potencial	6
3.1.7 Evapotranspiración máxima	6
3.1.8 Evapotranspiración real	6
3.1.9 Metodos para determinar la evapotranspiración	7
3.1.9.1 Utilización de Lisímetro	7
3.1.9.1A Lisímetro de superficie	8
3.1.9.2 Método de parcelas experimentales	9
3.1.9.3 Método de Penman	10
3.1.9.4 Método de Blaney y Criddle	12
3.1.9.5 Método de Hargreaves	14
3.1.9.6 Métodos para determinar el contenido de humedad del suelo	14
3.1.9.6.1 Método gravimétrico	16
3.1.9.6.2 Sonda de Neutrones	16
3.1.9.6.3 Tensiómetro	17
3.1.9.7 El Balance Hídrico	18
3.1.9.8 Descripción del método de pronóstico de cosechas basado en la información agrometeorológica.	20
3.1.9.9 Breve descripción de las etapas del calculo del balance hídrico y determinación del índice de satisfacción hídrica para llegar a determinar el rendimiento esperado.	22
3.1.9.9.1 Curva de Hansen	29
3.1.10 Marco Referencial	31
3.1.10.1 Ubicación del estudio	31
3.1.10.2 Caracterización del area	31
3.1.10.3 Características edáficas	31
4. OBJETIVOS	32
4.1 General	32
4.2 Especificos	32
5. HIPOTESIS	33
6. METODOLOGIA	34

<b>ii</b>		
6.1	Establecimiento de parcelas de ensayo	34
6.1.1	Preparación del suelo	34
6.1.2	Determinación de características físicas	34
6.1.3	Instalación de instrumental para medición de humedad en el suelo	34
6.1.3.1	Para sonda de neutrones	34
6.1.3.2	Para medición de tensión de humedad en el suelo	34
6.1.4	Siembra y manejo del cultivo	34
6.1.5	Calibración de sonda de neutrones	35
6.1.6	Calibración de tensiómetro	35
6.1.7	Instalación de tubo de acceso de aluminio en el lisímetro de evapotranspiración real y siembra del cultivo de frijol con igual distanciamiento de siembra y manejo al de la parcela.	36
6.1.8	Mantenimiento del lisímetro de evapotranspiración potencial	36
6.2	Manejo del ensayo	36
6.2.1	Toma de datos de humedad en el suelo	36
6.2.2	Toma de datos de tensiómetro	36
6.2.3	Toma de datos meteorológicos diarios	36
6.2.4	Toma de datos de lisímetro	37
6.2.4.1	Lisímetro de evapotranspiración potencial	37
6.2.4.2	Lisímetro de evapotranspiración máxima	37
6.3	Análisis de la información	37
6.3.1	Cálculo del coeficiente del cultivo a nivel semanal	37
6.3.2	Cálculo de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo	37
6.3.3	Determinación de índices hídricos utilizando la técnica del balance hídrico acumulativo	38
6.3.4	Criterio de Ponderación	38
7.	PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS	39
8.	CONCLUSIONES	54
9.	RECOMENDACIONES	56
10.	BIBLIOGRAFIA	57
11.	APENDICE	59

## INDICE DE FIGURAS

Pag.

Figura 1	Formula de Blaney-Criddle modificada por FAO	15
Figura 2	Comparación de Kc obtenido por Penman vrs hansen	30
Figura 3	Evolución del coeficiente de Kc del cultivo del frijol	42
Figura 4	Variación de la reserva de humedad en el suelo, estación Alameda, ICTA, Chimaltenango	44
Figura 5	Balance climático diario	45
Figura 6	Potencial total de agua en el suelo	47
Figura 7	Disponibilidad real de humedad en el suelo	48
Figuras 8,9,10	Comparación de métodos de estimación de ETP de ETP. Penman vrs Hargreaves	50
Figura 11	Comparación de métodos de estimación de ETP. Penman vrs Hargreaves vrs Blaney-Criddle	52
Figura 12A	Descripción de la parcela de ensayo	60
Figura 13A	Humedad en el perfil del suelo	62



## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Evapotranspiración del frijol de invierno en Goianira (GO) Brasil	4
Cuadro 2	Balance Hídrico de la estación Alameda, ICTA, Chimaltenango	41
Cuadro 3	Datos de potencial total de agua en el suelo durante el ciclo del cultivo	47
Cuadro 4	Disponibilidad de humedad en el suelo a lo largo del ciclo de cultivo mediante lectura de sonda de neutrones	48
Cuadro 5	Comparación mensual de ETP estimada por métodos de Penman vrs. Hargreaves	51
Cuadro 6	Comparación de métodos de estimación de ETP mensual Penman vrs. Hargreaves vrs. Blaney-Criddle	52
Cuadro 7A	Análisis físico de suelos	61
Cuadro 8A	Humedad del suelo, como humedad volumétrica	62
Cuadro 9A	Parámetros climáticos	63
Cuadro 10A	Determinación de evapotranspiración máxima	64
Cuadro 11A	Balance climático (lluvia/ETP)	65

v

EVALUACION DEL BALANCE HIDRICO AGROMETEOROLOGICO EN EL PRONOSTICO DEL  
RENDIMIENTO DEL CULTIVO DEL FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.) VARIEDAD  
TEXEL, EN LA ESTACION ALAMEDA, ICTA, CHIMALTENANGO.

EVALUATION OF THE AGRICULTURAL METEOROLOGY HIDROLIC BALANCE IN THE  
PROGNOSIS OF THE YIELD OF THE CULTIVATED BEANS (Phaseolus vulgaris L.)  
TEXEL VARIETY, IN THE ALAMEDA STATION, ICTA, CHIMALTENANGO.

RESUMEN

El rendimiento agrícola depende en alto porcentaje de las condiciones meteorológicas imperantes durante el ciclo de desarrollo de los cultivos, siendo la lluvia uno de los principales factores climáticos que inciden directamente en la disponibilidad de humedad en el suelo y por consiguiente para las plantas.

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Centro de Producción del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA), ubicado en la estación Alameda, Chimaltenango, con la finalidad de validar a nivel de campo el método de pronóstico de cosechas basado en datos agrometeorológicos, utilizando el cultivo de frijol variedad Texel.

Se utilizó una parcela de 1,089 metros cuadrados, instalándose 7 tubos de acceso en diferentes niveles para realizar las lecturas de humedad instantánea a través del uso de la sonda de neutrones y con una frecuencia de toma de datos de 8 días.

La información básica utilizada para realizar el Balance Hídrico a lo largo del ciclo del cultivo fue la siguiente:

- Información meteorológica: lluvia, viento, brillo solar, temperatura

vi

media, humedad del aire.

- Información de suelos: densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez, almacenamiento total de humedad.
- Información del cultivo: fenología, profundidad radicular en base a la información básica se calcularon los siguientes parámetros derivados.
- Evapotranspiración potencial
- Evapotranspiración máxima
- Coeficiente del cultivo (Kc)

La información básica y derivada se integro para realizar el respectivo Balance Hídrico Agrometeorológico, permitiendo con ello determinar la fluctuación de la humedad en el suelo y su impacto en el rendimiento del frijol de la variedad Texel.

La técnica del Balance Hídrico Agrometeorológico permitió preveer con 31 días de anticipación, una reducción de rendimiento del 6%, consecuencia de un Balance Hídrico negativo al reflejar ausencia total de lluvias en un período de 7 días que coincidio con la etapa fenológica de llenado de grano.

## 1. INTRODUCCION

Actualmente en nuestro país son pocas las investigaciones realizadas sobre el pronóstico del volumen y calidad de las cosechas en base a datos reales sobre precipitación e información climatológica.

Se hace necesario poder pronosticar el volumen y calidad de las cosechas, que siguen siendo la fuente principal de alimentos en la mayor parte del mundo. El pronóstico es muy importante para ayudar a los países productores a conocer por anticipado el volumen de la cosecha y el de la parte que se puede exportar. Es también muy importante para los países importadores del alimento, a fin de poder prever el volumen de su cosecha local, su capacidad de exportación, o bien la parte de consumo nacional que debe ser cubierta con importaciones (10).

Razón por la cual, esta investigación valida a nivel de campo el método de pronóstico de cosechas basado en datos agrometeorológicos, para ello, se utilizó el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), variedad Texel en el Centro de Producción del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA), ubicado en la estación Alameda, Chimaltenango.

Dicha validación de la metodología del pronóstico de cosechas basado en datos agrometeorológicos será exclusiva para el valle de la región de Chimaltenango, donde la variedad de frijol Texel es representativa del área.

Esperando con ello, contribuir con los agricultores del área respecto a la predicción de cosechas durante la época lluviosa.

## 2. DEFINICION DEL PROBLEMA

Actualmente los pronosticos o estimación de cosecha de granos básicos como frijol y maíz, se realizan en base a modelos estadísticos estructurados con datos historicos de rendimiento y que tienen un alcance nacional.

Es por ello que se necesita tener una metodología que relacione el rendimiento con el comportamiento de las condiciones determinantes, particularmente las de naturaleza meteorológica y en especial el comportamiento de la humedad en el suelo en un área específica.

### 3. MARCO TEORICO

#### 3.1 MARCO CONCEPTUAL

##### 3.1.1 Generalidades sobre el cultivo del frijol:

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), es una planta anual que pertenece a la familia de las leguminosas, originaria de America. De acuerdo a la variedad alcanza diferentes alturas, clasificandose en tipo arbustivo y trepador o de guía.

Se adapta a diferentes zonas climáticas del país comprendidas entre los 0 a 2,700 msnm. con temperaturas que oscilan entre los 18 y 23 grados centígrados. Las temperaturas mayores de 27 grados centígrados provocan la caída de flores y las bajas temperaturas, retardan el crecimiento. En zonas frías debe cultivarse fuera de época de heladas y es conveniente una atmósfera seca durante la cosecha. Se adapta a suelos variados pero prefiere los de textura franca, fértiles con buena profundidad y drenaje interno rapido, en los cuales alcanza los rendimientos máximos. Suelos arenosos muy livianos o suelos extremadamente pesados no son aconsejables, como tampoco los superficiales o de drenaje difícil (9).

##### 3.1.2 Períodos de deficiencia de agua en el cultivo del frijol;

Stone et. al., citado por Figueroa (9), refieren que la mayoría de los cultivos presentan periodos críticos, durante los cuales la deficiencia de de agua causa serios decrementos en la producción. Para el frijol dichos períodos ya estan determinados, estableciendose que la diferencia de agua es más perjudicial en las fases de floración y el desarrollo de la vaina; con un déficit de agua al final de la floración, se reduce el rendimiento en un 42%, cuando el déficit ocurre en la fase de formación y crecimiento de las vainas, se reduce la producción en un 58%; tambien se han observado reducciones en la

producción del orden de 53.71 y 35%, cuando el cultivo del frijol ha sido sometido a sequía en las fases de prefloración, floración, y postfloración, respectivamente.

### 3.1.3 Consumo de agua en el cultivo del frijol:

En la literatura existen algunas informaciones sobre el consumo de agua por el cultivo de frijol, generalmente se han obtenido a través del balance hídrico o del uso de lisímetros.

Silveira et. al., citado por Figueroa (9), verificaron en un experimento conducido en Brasil, que el consumo de agua por el frijol de verano fue igual a 3.2 mm/día, de la germinación a la floración plena; y de 1.7 mm/día, del desarrollo de las vainas a la maduración.

Los mismos autores comparan un experimento efectuado por Steinmetz en 1984 en la época de invierno en Goianira, Brasil, realizado en el mismo lugar y época, observándose diferencias, ver en cuadro:

**Cuadro 1. Evapotranspiración del frijol de invierno en Goianira (60), Brasil.**

FASES DEL CULTIVO	EVAPOTRANSPIRACION Silveira et.al. (1981)	(mm/día) Steinmetz (1984)
Germinación al inicio de la floración	3.4	3.4
Floración	3.5	6.0
Desarrollo de vainas a la maduración	3.6	4.7

### 3.1.4 Características de la variedad Texel:

Es una variedad de grano negro, se puede cosechar de 90 a 100 días después de la siembra. Su crecimiento es arbustivo tiene alrededor de 12 vainas por planta y seis semillas por vaina. Es tolerante a Ascochita y Antracnosis y rinde de 1,818-2,149.14 kg/ha.

#### 3.1.4.1 Epoca de siembra

Existen tres épocas de siembra: Siembras de humedad, en marzo, la siembra de primera que es al inicio de las lluvias y la siembra de segunda de julio o agosto.

##### Siembra:

Las variedades mencionadas tienen un crecimiento postrado siendo las distancias de siembra recomendadas entre surcos es de 50 ó 60 centímetros, sembrar una semilla cada 10 centímetros. En los terrenos que se encharcan es conveniente sembrar sobre camellones (13).

#### 3.1.5 Evapotranspiración:

Grassi (11) define la evapotranspiración como el proceso de cambio del estado líquido del agua a vapor mediante la cual el agua almacenada en la capa del suelo pasa a la atmósfera al ser usada en el complejo suelo-planta-agua.

Boshell (3) define la evapotranspiración, como un proceso combinado que comprende la evaporación de todos los tipos de superficies (vegetal, superficie del suelo, láminas de agua, etc.) y la transpiración de las plantas. Se utiliza en general como un indicador de las necesidades de agua de las plantas.

#### 3.1.6 Evapotranspiración Potencial:

Penman (18) define la evapotranspiración potencial (ETP), 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. Esta evapotranspiración depende del poder evaporante del aire, el cual a su vez está determinado por la radiación solar, la temperatura, el viento y la humedad del aire.



### 3.1.7 Evapotranspiración Máxima:

Se considera a la evapotranspiración máxima (E<sub>tm</sub>), como el producto de multiplicar el coeficiente del cultivo y la evapotranspiración potencial, referida a aquellas condiciones en que el agua es conveniente para un crecimiento y desarrollo sin limitaciones: E<sub>tm</sub> 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 (8).

### 3.1.8 Evapotranspiración Real:

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 esta a capacidad de campo y los cultivos han llegado a una fase de desarrollo en que cubren completamente el suelo (7). Existen diferencias entre la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración de los cultivos, siendo esta ultima la que determina las necesidades hídricas de los mismos. Estas diferencias tienen que ver fundamentalmente con el tiempo del cultivo y el estado de desarrollo del mismo.

La evapotranspiración real se calcula usando la formula sig:

$$E_{tr} = K_h * K_c * E_{tp}$$

donde:

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

K<sub>h</sub> = Coeficiente de humedad del suelo

K<sub>c</sub> = Coeficiente de cultivo

E<sub>tp</sub> = Evapotranspiración potencial

Segun la ecuación anterior, la evapotranspiración real por medio

del coeficiente "Kc", considera el efecto fisicofisiológico que deriva de la planta y el suelo, mientras que la evapotranspiración potencial incluye aspectos del orden que dependen del clima (1).

### **3.1.9 Métodos para determinar la evapotranspiración:**

La evapotranspiración puede ser determinada por varios métodos, los cuales se dividen en directos e indirectos. La determinación directa proporciona la evapotranspiración a través de medidas, pudiéndose obtener en el mismo lugar donde se localicen los aparatos, utilizándose los siguientes métodos y equipos: lisímetros, anemómetros, evapotranspirímetros, parcelas experimentales, estudios sobre humedad del suelo, métodos de integración y métodos de entradas y salidas (10,13).

Los métodos indirectos se basan en datos climáticos aplicados en formulas empíricas para calcular la evapotranspiración de cualquier cultivo, tomando en cuenta tablas con valores para constantes y coeficientes de cultivo. Las formulas más conocidas y usadas son Penman, Blaney-Cridle, Hargreaves, Jensen, Grassi-Chistiansen, Lowry Johnson y Tanque tipo A (11).

En el presente trabajo se utilizaron los métodos que a continuación se describen:

#### **3.1.9.1 Utilización de Lisímetros:**

Un lisímetro es un depósito, que esta enterrado, de paredes verticales, abierto en su parte superior y relleno del terreno que se quiere estudiar, hasta la profundidad deseada. La superficie del suelo esta así sometida a los agentes atmosféricos (medidos en una estación meteorológica dentro del área experimental) y recibe las precipitaciones naturales (medidas por medio de un pluviómetro). El suelo contenido en el lisímetro es drenado a un nivel determinado (nivel del fondo del

depósito o nivel superior); el agua de drenaje es recogida y medida. En ciertos lisímetros, se mide también la humedad y la temperatura del suelo a diferentes profundidades (2).

Los lisímetros pueden ser de balanza y de balance hídrico utilizando la Etp potencial. En el presente trabajo se usó el balance hídrico que se describe a continuación:

### **3.1.9.A Lisímetro de Superficie:**

Son los más usados y consisten en un depósito, que está enterrado, de paredes verticales, abierto en su parte superior y relleno del terreno que se quiere estudiar, (monolito no disturbado), hasta la profundidad deseada. Las dimensiones de los lisímetros varían desde uno hasta seiscientos veinticinco metros cuadrados de sección (8).

Son en general de sección cuadrada o rectangular a veces circular. Su profundidad alcanza de uno a tres metros (1 a 3 m). Habitualmente se construye una batería de varias cajas lisimétricas, con el suelo descubierto y/o cubierto por diversos tipos de vegetación (8).

La superficie del suelo está así sometida a los agentes atmosféricos, los cuales son registrados por aparatos o dispositivos que se encuentran ubicados en una estación meteorológica completa.

Los parámetros que con mayor frecuencia se observan y registran son las variaciones de la pluviometría, velocidad del viento, temperatura y humedad del aire y del suelo a diversos niveles (8).

La muestra escogida puede ser de un suelo homogéneo artificial o un suelo natural, preferiblemente con la muestra natural; es esencial que la estructura del suelo en el lisímetro corresponda a las mismas condiciones de suelo inalterado de los alrededores o con ligeros cambios, siempre y cuando se ubiquen dentro del lisímetro, los estratos de suelo que

configura el perfil del mismo (8).

### 3.1.9.2 Métodos de Parcelas Experimentales:

Aquí se establecen parcelas en el terreno donde se realizaron determinaciones de humedad, antes y después de regar. Se considera aquí al suelo como un reservorio que puede retener una determinada cantidad de agua hasta la profundidad que exploran las raíces del cultivo. El método de parcelas experimentales es realmente la aplicación de la ecuación del balance hídrico, la ecuación general del principio de la conservación del agua caída por las precipitaciones naturales (Pre) o por riego (Rie); dicha agua se reparte en:

- Agua Evapotranspirada (ETR)
- Agua perdida por escurrimiento superficial (Esc)
- Agua perdida por drenaje o percolación (Dre)
- Variación de almacenamiento de humedad del suelo (Var.)

La ecuación general para un volumen determinado (Parcelas Experimentales), se escribe entonces para dos fechas:

$$\text{Pre} + \text{Rie} = \text{ETR} + \text{Esc} + \text{Dre} + \text{Var (Reserva de agua en el suelo)}.$$

Por lo tanto, conociendo las precipitaciones y/o el riego y las leyes que rigen el funcionamiento de la evapotranspiración, el escurrimiento, del drenaje y del almacenamiento del agua en el suelo, uno puede en teoría, estimar cualitativa y cuantitativamente el comportamiento de todos estos parámetros bajo un cultivo cualquiera sembrado en una fecha cualquiera. Debe tomarse en cuenta que en el Balance Hídrico de un cultivo, es importante conocer cuales son las entradas y salidas de agua en un volumen de suelo, ya que la cantidad almacenada en un volumen determinado debe igualar a la diferencia entre los ingresos y egresos de agua (1).

### 3.1.9.3 Método de Penman:

A nivel mundial el método de Penman está estandarizado para realizar comparaciones en el cálculo de Evapotranspiración potencial.

La fórmula de Penman ha sido ampliamente utilizada en muchos países con resultados satisfactorios, generalmente en aquellas zonas que disponen de datos registrados de temperatura humedad relativa, velocidad del viento, horas de insolación o datos de radiación. En condiciones meteorológicas de calma, el término aerodinámico suele ser mucho más pequeño que el término energético; en tales condiciones se ha demostrado que el método de Penman brinda resultados satisfactorios no solamente en regiones húmedas y frías, sino que también en las muy calientes y semiáridas. El método Penman efectúa un balance energético en el cual se puede hacer la diferenciación entre la radiación de onda corta (radiación ultravioleta) y la radiación de onda larga (infrarroja), se realiza además la diferenciación del volumen total de evapotranspiración potencial y de cuanto corresponde a los efectos advectivo y radiativo (17).

Cuando se disponen de los registros necesarios la ecuación de Penman es la más recomendable para los trabajos operativos de irrigación y en las aplicaciones de balances energéticos, además las determinaciones de Evapotranspiración potencial por Penman son realizadas a nivel diario (17).

La fórmula tiene dos términos a saber: el de la energía (radiación) y el aerodinámico (viento y humedad) (17).

En condiciones meteorológicas de calma, el término aerodinámico suele ser más pequeño que el energético. En condiciones ventosas y especialmente en las regiones áridas, el término aerodinámico pasa a ser relativamente más importante (17).

Los procedimientos de cálculo para obtener Etp, pueden ser bastante complicadas. 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 ecuación utilizada en este método es la siguiente:

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

Descripción de las variables de Etp para la ecuación 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 déficit de la presión de saturación del vapor (ea), la diferencia existente entre la presión del vapor de agua medida y la presión real del vapor de agua media ed (16).

Los datos sobre la humedad del aire se presentan de diversas formas, principalmente como humedad relativa (RH max. y RH min. en porcentajes), como mediciones psicrométricas (temp en grados centígrados 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 grados centígrados).

#### Función del viento f(u):

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

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

donde:

U = es velocidad total de viento en Km/día a una altura de 2 metros.

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 son las siguientes:

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

Valor Med.	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
Valor Corr.	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 calculos son mas sencillos y mas seguros si se conoce la radiación solar (17).

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 (17).

**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 noche (17).

**3.1.9.4 Método de Blaney y Criddle:**

El método de Blaney-Criddle (1950) fue desarrollado para las condiciones del Oeste de los Estados Unidos, relacionando valores reales o verdaderos de uso consuntivo, con la temperatura media mensual, T, y el

porcentaje mensual de las horas anuales del brillo solar,  $p$ . La formula general, que permite determinar el uso consuntivo o evapotranspiración real del mes, se escribe:

$$u = k \cdot f \cdot T$$

donde:

$k$  = es el coeficiente de cultivo mensual.

$f$  = es el factor de uso consuntivo mensual en mm.

Ademas:

$$f = (0.457 T + 8.13)p$$

donde  $p$  es el porcentaje mensual de horas de luz, variable con la latitud y la época del año, los valores de  $p$  expresados en porcentaje medio diario, esto es, para obtener  $f$ , expresado en mm/día<sup>-1</sup>. Dado que aun para el terreno completamente cubierto por la vegetación, caso de la alfalfa y de las gramíneas perennes, la formula de Blaney-Criddle requiere un coeficiente de cultivo variable a lo largo de la estación de crecimiento, Stephens y Stewart (1963) han introducido en la ecuación citada anteriormente, un factor de corrección, en función del ángulo cenital. Con idéntico objetivo el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, en un trabajo discutido por Castilla Perez (1965), incluye un factor de corrección de  $k$  en función de la temperatura media del mes. Por lo tanto:

$$k = k_T * k_c$$

donde  $k_c$  es un coeficiente de desarrollo de cultivo y  $k_T$  un coeficiente de corrección por temperatura, tal que:

$$k_T = 0.24 + 0.0312 T$$

El estudio de la FAO modificó la formula a fin de ajustarla para el cultivo de referencia, Eto, a partir del factor  $f$ , dicho ajuste se



realiza por medio de la figura 1, con solo datos climáticos generales; velocidad del viento durante el día, fracción de insolación y humedad relativa mínima (12).

### 3.1.9.5 Método de Hargreaves

Guatemala por poseer un relieve muy variado, con gran cantidad de macroclimas, muchos valles intermontanos y varias cordilleras montañosas, en la actualidad se ha utilizado la fórmula de Hargreaves con resultados satisfactorios.

$$E_{tp} = \sqrt{100 - \%Hr} \pm 12.5 (0.0075)(0.075RMM) (9/5 C) + 32$$

donde:

RMM = Radiación media extraterrestre, medida en mm. de evaporación/día, de acuerdo a la latitud y al mes considerado.

Hr = Humedad relativa.

Radiación Extraterrestre (mm/día) 15 Latitud Norte.

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC
12.2	13.5	14.8	15.6	15.9	15.8	15.8	15.7	15.1	14.0	12.6	11.8

(4).

### 3.1.10 Métodos para determinar el contenido de humedad del suelo:

El contenido de humedad de un suelo se puede determinar por métodos directos e indirectos. Los métodos directos son basados en muestreo de suelo, dentro de estos, tenemos el método gravimétrico al tacto y con alcohol. Los métodos indirectos, son métodos que estiman el contenido de humedad indirectamente en base a la medición de otros parámetros que dependen del contenido de agua en el suelo, como por ejemplo la conductividad eléctrica y la tensión con la cual el agua es retenida por el suelo. Dentro de estos métodos tenemos el del tensiómetro, bloques de yeso y aspersor de neutrones (18).

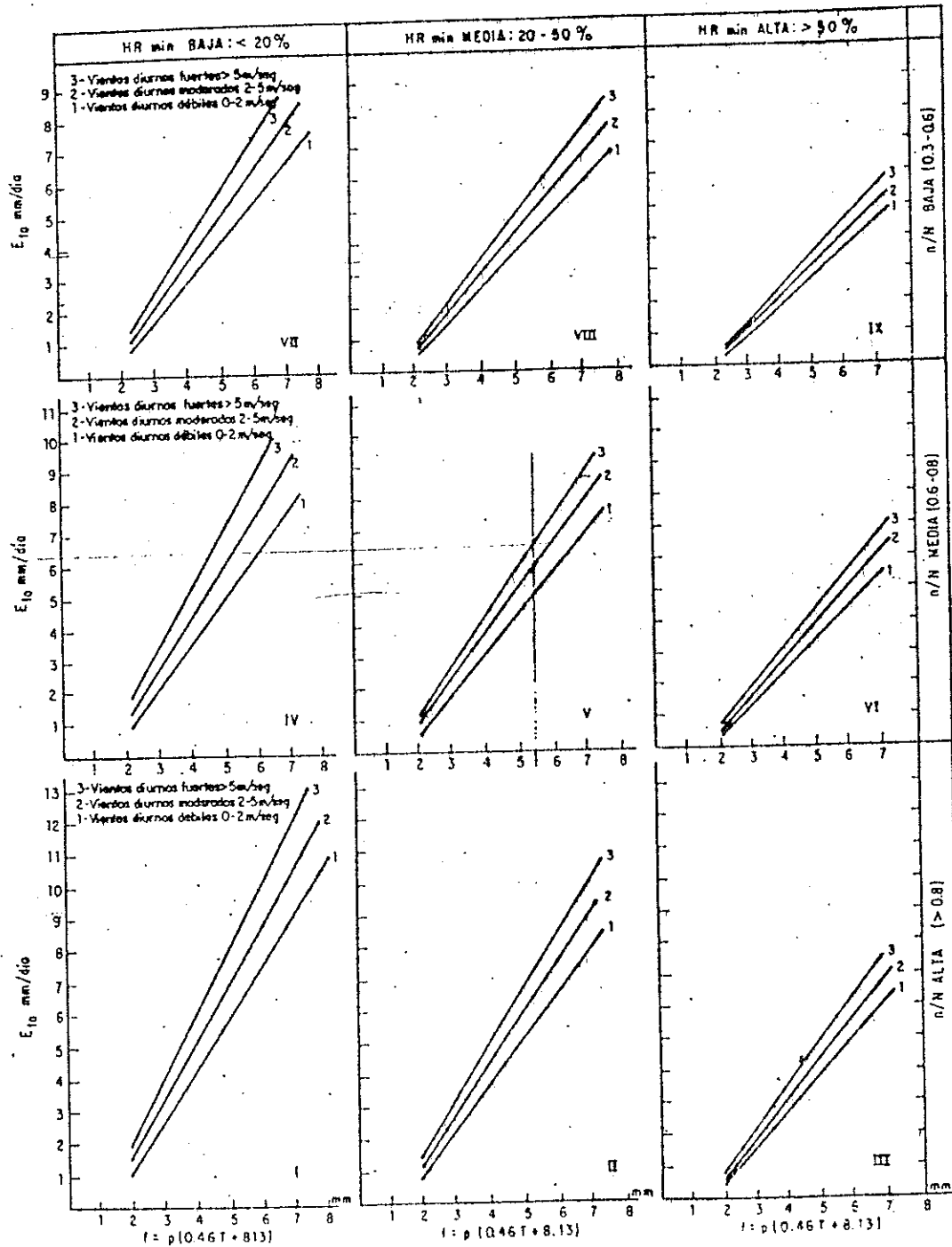


Figura 1 Fórmula de Blaney-Criddle modificada por FAO

En la presente investigación se usaron los métodos que a continuación se describen:

### 3.1.10.1 Método Gravimétrico:

Consiste en tomar una muestra de suelo de aproximadamente 125 gramos en el campo y guardarla inmediatamente en una cajita o bote de metal (aluminio de preferencia) con tapadera hermetica para evitar perdidas por humedad (puede usarse tambien un frasco de vidrio con tapadera hermetica). Esta muestra se pesa para obtener el peso de suelo humedo (Psh), luego se destapa y se coloca en el horno especial para secado de muestra a una temperatura de 105 a 110 grados centígrados durante 18 a 24 horas. Pasado este tiempo la muestra se pesa para obtener el peso de suelo seco (Pss), con estos datos se calcula el porcentaje de humedad en base a peso de suelo seco (18).

El contenido de humedad se determina a partir de la ecuación:

$$\%Ps = \frac{Psh - Pss}{Pss} * 100$$

### 3.1.10.2 Sonda de Neutrones:

Este método ha sido desarrollado desde 1950 y en nuestros días, es usado ampliamente como un medio de efectuar determinaciones de humedad del suelo in situ, dando el resultado inmediatamente (18). El principio básico de funcionamiento de la sonda de neutrones consiste en que se emiten neutrones rápidos y de alta energía desde una fuente radiactiva de Americio-Berilio, los cuales chocan con los átomos de hidrógeno de las moléculas de agua presentes en el suelo; provocando que los neutrones rápidos se desvíen y pierdan energía, convirtiéndose en neutrones lentos. La mayoría de estos neutrones lentos son medidos y cuantificados, produciendo impulsos cuyo conteo aparecerá en una pantalla colocada en la parte superior de la sonda. Así a mayor cantidad de neutrones lentos

registrados, mayor cantidad de agua presente en el suelo (1).

La cantidad de átomos que regresan y que fueron captados por la fuente son proporcionales a la cantidad de átomos de hidrógeno de las moléculas de agua presentes en el suelo y por consecuencia a la humedad del estrato estudiado (1).

Por las diferencias existentes entre los suelos, se establece esta relación de proporcionalidad en base a una calibración de la sonda (1).

Se puede demostrar que generalmente existe una relación lineal entre la tasa de conteo de neutrones (CPM) y el contenido volumétrico de agua en el suelo. Si se tiene una relación de calibración previa y válida para estas condiciones, el status de agua del suelo en la zona radicular puede ser continuamente no destructivo y fácilmente monitoreado (1).

La calibración de la sonda consta básicamente de la obtención de una recta que correlaciona los valores del RATIO de la sonda y el porcentaje (%) de humedad volumétrica de las muestras de suelo, calculada por el método gravimétrico y el modelo de calibración general es de la forma: % de humedad volumétrica (Y) = a+b \* conteo RATIO (x)

RATIO = conteos de sonda (CPM)/conteos de referencias (CS).

Donde el conteo de referencia o conteo estandar es fijo y generalmente es la media de varios conteos de la sonda cuando la fuente del aparato esta en una caja protectora (1).

### 3.1.10.3 Tensiómetro:

Consisten en una copa de cerámica porosa conectada a un tubo del cual sale otro tubo de diametro más pequeño (capilar conectado a un recipiente de mercurio (10).

Al llenar de agua el sistema y tapar el extremo superior del tubo,

el agua saldrá por la copa de cerámica hacia el suelo. si el suelo está seco entonces ejerce una fuerza que extrae el agua por la cerámica y a su vez hace que el mercurio ascienda en el tubo pequeño si se mide este ascenso de mercurio, puede determinarse la tensión con el que puede correlacionarse con el contenido de humedad del suelo; el recipiente de mercurio y el tubo pequeño han sido reemplazados por un manómetro, el cual mide directamente la tensión en centibares con que el agua es retenida por el suelo (10). Los tensiómetros son muy útiles para saber cuando regar, ya que para muchos cultivos se sabe la tensión a la cual debe aplicarse el agua para que su rendimiento no disminuya. Para saber la cantidad de agua a aplicar, el tensiómetro debe ser calibrado para cada suelo mediante una curva de tensión vs. contenido de humedad del suelo (11).

### 3.1.11 El Balance Hídrico:

El término balance hídrico fue usado a mediados de la década del cuarenta y del cincuenta 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 (16).

El estudio del balance hídrico conduce a la estimación de la cantidad de agua realmente aprovechada por las plantas (15).

El balance hídrico es una técnica que permite establecer las ganancias y las pérdidas de agua que se registran en un área dada, por lo que su aplicación nos sirve para:

- Manejo de riego (lámina y frecuencias)
- Diagnóstico hídrico de un cultivo establecido

- Predicción de rendimiento
- Determinación de fechas de siembra y variedades óptimas
- Estimación de erosión hídrica
- Seguimiento de la campaña agrícola
- Zonificación agroecológica (15).

Los cálculos de los balances hídricos 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.

Los balances hídricos se pueden computar para períodos diarios, semanales 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 hídricos a largo plazo se requieren los balances mensuales (14).

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

$$P = E_{tr} + H_s + I + E$$

donde:

P = Precipitación

$E_{tr}$  = Evapotranspiración real

$H_s$  = Cambios de humedad que se dan en el suelo

I = Infiltración que se da en las capas profundas

E = Escorrentía

Sin embargo, esta ecuación se simplifica cuando el balance se lleva a cabo en una estación seca y donde haya necesidad de aplicar riego, quedando la misma de la siguiente manera (14).

$L = Etr + Hs$

donde:

$L =$  Lamina neta de riego aplicada

### 3.1.12 Descripción del Método de Pronóstico de Cosechas basado en la información agrometeorológica:

#### Principios Básicos:

Este método fue creado originalmente para el seguimiento de los cultivos anuales de secano, excepto el arroz de secano de tierras bajas; más adelante, se le extendió a ese cultivo.

La originalidad del método reside en el uso simultaneo de los datos reales observados sobre precipitaciones y la información climatológica y agronómica empleada para el calculo de las necesidades hídricas de los cultivos. Estos dos tipos de datos se combinan para obtener el balance hídrico del cultivo (10).

Aun siendo mucho más preciso que una evaluación específica de la precipitación real comparada con la "normal", el método es lo bastante simple como para que se le pueda manejar facilmente, sin necesidad de equipo sofisticado. Se sabe de un mínimo de datos efectivos y de alguna información climatológica que se puede coordinar antes de la fase "Operativa", fuera de la estación de cultivo (10).

Por ultimo, el método ha sido diseñado de tal manera que proporciona un seguimiento cualitativo prima facie de las condiciones del cultivo, por pasos sucesivos de décadas o semanas durante la estación de cultivo y permite preparar evaluaciones cuantitativas de los rendimientos, siempre que haya suficiente información sobre rendimientos agrícolas para la región y los cultivos considerados. Por supuesto, la precisión de estas evaluaciones mejorara a medida que se aproxima el momento de la cosecha. Si bien ha sido ideado para los calculos a mano

el uso de computadoras aumentara considerablemente la velocidad de calculo y la productividad del sistema, en particular si se toma en consideración un gran número de estaciones. Por ejemplo, el seguimiento agrometeorológico aprendido en la Republica Unida de Tanzania, emplea actualmente datos recolectados en unas 500 estaciones (10).

El método se basa en un balance hídrico acumulativo establecido a lo largo de toda estación de crecimiento para cada cultivo, calculado por períodos sucesivos de 10 días. La ultima decada de algunos meses tendra 8, 9, 10, 11 días; las cifras de la evapotranspiración se calcularon de acuerdo a ello. Algunos países prefieren adoptar períodos semanales, por lo general por razones de organización del trabajo (10).

El balance hídrico es la diferencia entre la precipitación recibida por el cultivo y el agua perdida por este y por el suelo. El agua retenida por el suelo a disposición del cultivo tambien se toma en cuenta para el calculo (10).

Tambien se debe mencionar que el método se ha ideado sobre todo para usarlo en países donde la inadecuada disponibilidad de agua para el cultivo, tanto en cantidad como en distribución, es el mayor obstaculo para la agricultura de secano. Por lo tanto, el método no toma en cuenta directamente la temperatura que condiciona el índice de crecimiento del cultivo, sin embargo, se advierte que la temperatura intervendra de hecho indirectamente en la evaluación del balance hídrico del cultivo de tres maneras diferentes. El efecto de la temperatura del aire se notara en primer lugar en la duración del ciclo de crecimiento que por lo general, depende directamente de la temperatura. Por ejemplo, en Colombia, la duración del ciclo vegetativo del maíz pasa de 150 a 300



días, a medida que se va desde el nivel del mar hasta los 2,500 m de altura. Del mismo modo, experimentos llevados a cabo con la misma variedad de trigo, "Siete Cerros", sembrado en condiciones diferentes, han registrado ciclos de crecimiento que van de 74 a 177 días, teniendo en cuenta el período de latencia invernal de los países templados. La temperatura del aire interviene también directamente en el cálculo de la evapotranspiración potencial, y en este sentido afecta al balance hídrico en su conjunto. Por último, las temperaturas extremas pueden tener importancia en algunas zonas climáticas, en particular por lo que se refiere a las heladas. Las temperaturas excesivamente elevadas también pueden afectar negativamente a los procesos fisiológicos de las plantas, pero esto no ocurrirá habitualmente en la estación de lluvias, que es la estación "normal" de cosecha para los cultivos de secano (10).

### **3.1.13 Descripción de las etapas del cálculo del balance hídrico y la determinación del índice de satisfacción hídrica para llegar a determinar el rendimiento esperado:**

#### **Precipitación efectiva observada: (Pa)**

Muestra la precipitación efectiva durante las décadas sucesivas, medidas con un pluviómetro normal. La lluvia se define como aquella que cae en una superficie plana y horizontal, y no se tiene en cuenta la escorrentía lateral. Sin embargo, en los casos específicos en que parece obvio que se puede hacer una estimación correcta a partir de la escorrentía lateral, se puede tomar en cuenta la precipitación neta es decir, la precipitación medida menos dicha escorrentía (10).

Cantidades excesivamente grandes de lluvia (por ejemplo, por encima de los 100 mm/década) pueden dañar gravemente los cultivos, en especial si caen solo durante uno o dos días. Estas elevadas cifras de

precipitación deben tenerse cuidadosamente en cuenta cuando se lleva a cabo el cálculo del balance hídrico. En la última columna se deberá incluir una nota que indique si es el caso, la entidad y tipo de daño que ha afectado al cultivo (10).

Los conceptos de lluvia actual y lluvia efectiva se toman en cuenta para la realización del balance hídrico a lo largo del ciclo del cultivo.

La lluvia actual es la registrada en los pluviómetros y constituye la entrada principal de humedad en la parcela; mientras que la lluvia efectiva es aquella que llega a modificar positivamente la reserva aprovechable de humedad en el suelo (10).

#### **Numero de días de lluvia del período: (DLI)**

Indica el número de días de lluvia en la década y es una señalación aproximada de la intensidad de la precipitación. Por ejemplo, si en un solo día se reciben 80 mm de lluvia, esto indicaría probablemente una lluvia torrencial que puede haber dañado al cultivo; la misma cantidad de lluvia caída durante un período de 5 ó 6 días sería mucho más beneficiosa para el balance hídrico del cultivo. Como se ha dicho antes, esta información es solo indicativa y si falta, esto no impedirá calcular el balance hídrico. Si dos décadas sucesivas indican solo un día de lluvia en cada una, puede significar que se ha producido un período seco si los días de lluvia figuran al comienzo de la primera década y al final de la segunda. Esta circunstancia debe ser debidamente tenida en cuenta (10).

#### **Evapotranspiración Potencial: (Etp)**

La evapotranspiración potencial tomada como referencia en este trabajo, es la máxima cantidad de agua transpirada y evaporada por una cubierta densa y uniforme de hierba corta cuando la provisión de agua no está limitada, tal como la ha definido Penman (1948) (10).

Los registros climatológicos de temperatura, presión de vapor o humedad relativa ambiente, duración de la insolación y velocidad del viento, permitirán calcular la evapotranspiración potencial sobre bases mensuales. El empleo de los valores climatológicos de la evapotranspiración potencial junto con los valores reales de precipitación para la determinación del balance hídrico es posible porque la variabilidad de los parámetros que condicionan la evapotranspiración potencial es mucho menor que la de la lluvia y porque sus fluctuaciones diarias son moderadas cuando se consideran los intervalos acumulativos por décadas (10).

Se sabe que no será posible calcular la evapotranspiración potencial en aquellas estaciones que dispongan sólo de datos observados sobre precipitaciones. Sin embargo, puesto que la evapotranspiración es mucho menos variable en el espacio que la precipitación, en particular si se calcula en períodos de 10 días, los valores calculados para una estación dada también serán aplicables a las estaciones vecinas, siempre que las condiciones de altura, temperatura, humedad ambiente, insolación y viento sean similares (10).

#### **Coefficiente de cultivo (Kc);**

Se refiere a la evapotranspiración de un cultivo sano que crece en campos amplios, en condiciones óptimas de disponibilidad de agua en el suelo y de fertilidad y que puede alcanzar por completo el potencial de producción en las condiciones de crecimiento dadas. El coeficiente de cultivo es la razón entre la máxima evapotranspiración del cultivo (Etc) y la evapotranspiración potencial de referencia del mismo (Etp) estimada según la fórmula de Penman: (10).

$$Kc = Etc/Etp$$

La primera fase de vegetación comienza desde la emergencia y sigue hasta la aparición de los órganos de la generación (las espigas, en el caso de los cereales de grano pequeño, las espiguillas en el maíz, etc.).

Durante este periodo la evapotranspiración máxima del cultivo es una fracción de la evapotranspiración potencial de referencia. Esta fracción aumentara desde 0.3-0.4 en el momento de la emergencia hasta 0.9-1.2 (10).

La segunda fase se caracteriza por una cubierta uniforme, densa y continua del cultivo y comprende el periodo desde aproximadamente 20 días antes, hasta unos 20 días después de la floración. Las necesidades hídricas del cultivo son más altas durante este periodo y el  $K_c$  es de 1.0 o más. Puede alcanzar valores de 1.2 en el caso de ciertos cultivos, debido a un equilibrio energético total más favorable. En este caso, la evapotranspiración máxima del cultivo puede ser hasta 20% mayor que la evapotranspiración potencial. Estos elevados valores, observados por lo general en los cultivos de mayor tamaño, densidad y resistencia, no contradicen los principios del equilibrio energético. En efecto, la mayor profundidad de la capa verde reduce la temperatura de su superficie y por lo tanto sus intercambios de radiación y convección de onda larga. Además, puede también reducir su albedo dejando la energía disponible para la conversión de la energía absorbida en calor de vaporización latente (10).

La tercera fase principal de desarrollo de los cultivos, comienza con la formación del grano o fruto. Durante este período el grano se desarrolla y madura, mientras progresivamente madura y decae la parte verde de la planta. Las necesidades hídricas de la planta se reducirán paulatinamente y el coeficiente del cultivo descenderá de 1.0-1.2 a

alrededor de 0.4-0.5 en la fase de maduración (10).

#### **Necesidades hídricas de los cultivos:**

Se obtienen multiplicando la evapotranspiración potencial de una década dada, por el coeficiente de cultivo de dicha década. Puesto que la evapotranspiración potencial se calcula a partir de valores climatológicos y el coeficiente de cultivo  $K_c$  se determina de antemano, de acuerdo con la duración normal del ciclo de crecimiento del cultivo en una localidad dada, sumando las necesidades hídricas sucesivas década por década, es posible calcular las necesidades hídricas totales de la estación desde su comienzo (10).

#### **Diferencia entre la precipitación real y las necesidades hídricas del cultivo:**

Esta diferencia expresa la cantidad de agua disponible para los cultivos mediante la simple diferencia entre la precipitación y las necesidades hídricas para cada década, sin tener en cuenta la cantidad de agua almacenada en el suelo. De esto puede deducirse que el efecto de una precipitación dada variara de acuerdo con la fase de desarrollo del cultivo.

#### **Variación de la reserva fácilmente utilizable:**

Indica la reserva hídrica existente en el suelo; este termino expresa la cantidad de agua que se encuentra en la capa de terreno donde crece la raíz del cultivo en un momento dado y que puede ser libremente empleada por el cultivo. En suelos no saturados la cantidad máxima de agua disponible correspondera a la que existe entre el punto de capacidad del sitio y la del punto permanente de marchitamiento, multiplicado por la profundidad útil del perfil de suelo aprovechado por las raíces del cultivo. La cantidad de agua que puede ser útilmente almacenada por el

suelo depende de: (10).

- La profundidad del perfil de suelo aprovechado por las raíces absorbentes de los cultivos.
- Las características físico-químicas del suelo, que influyen en su capacidad de retención hídrica.

La profundidad del suelo aprovechada por las raíces dependerá de la especie y edad del cultivo, así como de las prácticas agrícolas.

La reserva útil es proporcional a la profundidad del desarrollo radical (10).

#### **Excedente y déficit de agua:**

En relación con el balance hídrico y la capacidad de retención hídrica del suelo, calculados en base a los datos de las columnas anteriores. Si de este cálculo resulta una cifra negativa, se estará en presencia de una situación de déficit, mostrada mediante un signo menos (-), los excedentes para la mayoría de los cultivos se refieren a cualquier cantidad de agua por encima de la capacidad del sitio. Los déficit se refieren a cualquier cantidad de agua por debajo del nivel cero de capacidad de retención hídrica del suelo o punto permanente de marchitamiento. El concepto de déficit hídrico es muy importante para calcular el índice de satisfacción de las necesidades hídricas (10).

#### **Índice de satisfacción de las necesidades hídricas (Y)**

Es el elemento más característico del método de seguimiento y pronóstico agrometeorológico de los cultivos y que indica de manera acumulativa la amplitud en que las necesidades hídricas de los cultivos anuales han sido satisfechas en cada fase de la estación de crecimiento del cultivo o dicho de otro modo, la razón entre la evapotranspiración efectiva y potencial del cultivo (10).

El índice de satisfacción de las necesidades hídricas se calcula como sigue: se supone que la disponibilidad de agua en el suelo antes de la fecha de la siembra será mayor que las necesidades hídricas de la planta durante la primera década de su emergencia. Por lo tanto, el índice se toma como igual a 1.0 (o 100) en el momento de la siembra.

El cálculo continuara con períodos decadales (10 días) hasta la madurez del cultivo, correspondiente al final de la estación de crecimiento. Debe tenerse en cuenta que el índice comenzara desde 1.0 y luego puede permanecer en ese nivel o descender de ese valor si se producen períodos de déficit durante el ciclo vegetativo del cultivo (10).

Incluso si más adelante el déficit hídrico se compensa, el índice no aumentara (10).

Al final de la estación de crecimiento el "Índice de satisfacción de las necesidades hídricas" reflejara el estrés hídrico acumulativos sufridos por el cultivo década tras década: mientras más alto sea el índice final, menor será el estrés hídrico, este índice estara estrechamente vinculado al rendimiento final del cultivo.

El índice da una idea bastante correcta del rendimiento final de los cultivos en comparación con los rendimientos que se obtienen en los años "buenos". También hay que destacar que se puede aplicar alguna reducción del índice en el caso de exceso de agua. Si en ese momento el excedente de agua es mayor de 100 mm por década, se supone que el daño puede ser de un 3% por cada 100 mm de agua en exceso. Sin embargo, el exceso de agua en la fase anterior a la floración no parece tener ningún efecto negativo sobre el rendimiento (10).

También se estableció el rendimiento máximo esperado para fines

comparativos, de acuerdo a lo reportado por Doorembos y Kassan (6) definiendolo como el rendimiento cosechado de una variedad de gran producción, bien adaptada al ambiente vegetativo de que se trate, incluyendo el tiempo disponible para llegar a su madurez, en condiciones tales, que su rendimiento no este limitado por el agua, los nutrientes, las plagas o las enfermedades.

Los rendimientos máximos que a continuación se indican son los obtenidos en condiciones agrícolas reales con un alto nivel de ordenación del cultivo y el agua.

CULTIVO	REGION CLIMATICA	RENDIMIENTO MAX
Frijol de grano	Subtropical, temperatura menor a 20 °C	tm/ha 2.5

### 3.1.13.1 Curva de Hansen

La mayor parte de los esfuerzos para desarrollar procedimientos estimativos de la evapotranspiración han sido volcados a los factores climaticos, tal como ocurre con la evapotranspiración potencial en cambio, no se cuenta con la pertinente información experimental que permita estimar  $E_t$  en base a  $E_{tp}$  o  $E_{to}$ , dado la diversidad de especies y de practicas culturales que se dan en las zonas irrigadas.

Hansen concibió una curva que relaciona la evapotranspiración relativa  $k$ , (figura 2) con el crecimiento y maduración relativa.

Evapotranspiración relativa significa que en el denominador puede emplearse indistintamente la evaporación del tanque standard tipo A o del evaporímetro de Piche, así como estimaciones con la formula de Penman, Blaney-Criddle u otras. En tal caso, los valores de  $k$  periodicos resultan directamente de la curva y el  $k$  medio del ciclo se obtiene del punto de la rama descendente al cual se efectúa la cosecha o recolección de los frutos (12).



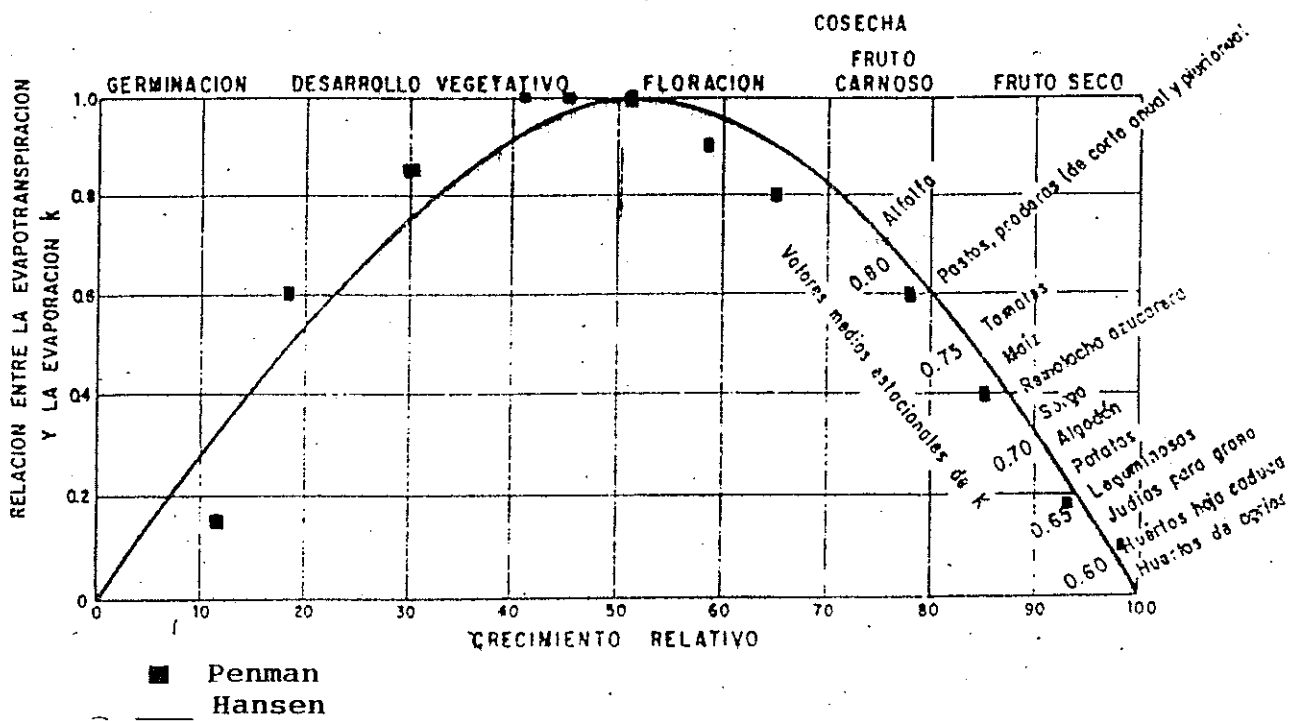


Figura 2 Comparación de Kc obtenido por Penman vrs Hansen

## 3.2 MARCO REFERENCIAL

### 3.2.1 Ubicación del estudio;

La investigación se realizó en el centro de producción, La Alameda del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, localizado en el valle del municipio de Chimaltenango, Latitud Norte  $14^{\circ}39'20''$  y Longitud Oeste  $90^{\circ}49'20''$ .

### 3.2.2 Caracterización del area:

La zona de vida de acuerdo al sistema de clasificación de Holdridge (5) el valle de Chimaltenango se encuentra en la zona de vida Bosque Humedo Montano Bajo (bh - MB). Según datos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, la precipitación va de 918.7 mm a 1.392 mm con una media de 1,057 mm en los últimos 6 años (14).

La temperatura anual varía de 10 a 24 grados centígrados y esta región se encuentra a una elevación de 1,786 msnm (5).

### 3.2.3 Características Edáficas:

De acuerdo con Simmons et. al., los suelos del área de Chimaltenango corresponden a la serie Guatemala cuyo material madre esta formado por ceniza volcanica pomácea de color claro, muestra un relieve casi plano y buen drenaje. El suelo superficial es muy oscuro, textura arcillosa con un color café rojizo, consistencia friable plástica cuando humeda y un espesor aproximado de 0.5 a 1.0 m (20).

#### 4. OBJETIVOS

##### 4.1 General:

Evaluar a nivel de campo la metodología del balance hídrico agrometeorológico para el pronóstico del rendimiento del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L. variedad Texel).

##### 4.2 Específicos:

- 4.2.1 - Establecer el coeficiente de cultivo que indica los índices de consumo de humedad del frijol variedad Texel ( $K_c$ ) a nivel semanal, mediante la medición directa de la demanda climática potencial ( $E_{tp}$ ) y demanda máxima ( $E_{tm}$ ) del cultivo utilizando balance hídrico.
- 4.2.2 - Establecer a lo largo del ciclo del cultivo la disponibilidad de humedad en el suelo y la retención del mismo.
- 4.2.3 - Evaluar, mediante comparación, el rendimiento potencial genético en grano seco, de la variedad de frijol Texel y el esperado por aplicación de la metodología de pronóstico agrometeorológico, durante la temporada agrícola 1,994 (mayo-agosto 94).

## 5. HIPOTESIS

La técnica del balance hídrico agrometeorológico, es aplicable para poder realizar predicciones de rendimiento de cosechas.

## **6. METODOLOGIA**

### **6.1 Establecimiento de Parcelas de Ensayo:**

#### **6.1.1 Preparación del Suelo:**

Las actividades de preparación del terreno comprendieron aradura, rastra y posteriormente el surqueado.

#### **6.1.2 Determinación de características físicas:**

Para el análisis físico de los suelos de la parcela de ensayo, se tomaron muestras de suelo a profundidades de 0.20, 0.20-0.40, 0.40-0.60 y 0.60-0.80 m, las cuales fueron analizadas en el laboratorio de suelos de DYRIA, determinándose las propiedades: textura, densidad aparente, punto de marchitez permanente y la capacidad de campo (cuadro 7A).

#### **6.1.3 Instalación de instrumental para medición de humedad en el suelo:**

Para establecer una relación entre humedad y rendimiento en el cultivo del frijol variedad Texel, se utilizó la metodología del balance hídrico agrometeorológico, cuya descripción detallada aparece en la sección 3.1.13.

Para ello se analizó un perfil de suelo de longitud máxima de 0.80 m, debido a que por debajo de esta profundidad no existe influencia de la Etp y para obtener un mayor rango de monitoreo.

##### **6.1.3.1 Para sonda de neutrones:**

Se instalaron 8 tubos de acceso de aluminio de 1.10 m. de altura, enterrados 0.8 m. Su distribución se presenta en la figura 12A.

##### **6.1.3.2 Para medición de tensión de humedad en el suelo:**

Instalación de una tubería de tensiómetro de mercurio a 4 profundidades: 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 m.

#### **6.1.4 Siembra y manejo del cultivo:**

Se sembraron en la parcela, frijol variedad Texel en

distanciamientos de 0.80 m entre surco y 0.10 m entre planta, sembrando una semilla por postura.

El area utilizada fue de 1,089 metros cuadrados, el cultivo se manejo de acuerdo a recomendaciones del ICTA en cuanto a preparación del terreno, método y distanciamiento de siembra, control de plagas y enfermedades, control de malezas y fertilización.

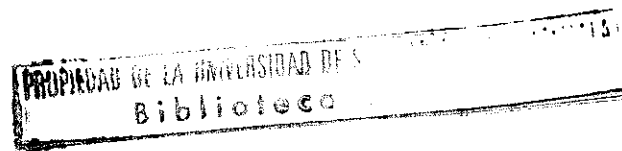
#### 6.1.5 Calibración de Sonda de Neutrones:

Para las condiciones locales del suelo. Se instalaron 7 tubos de acceso en diferentes niveles de humedad. Se tomaron muestras de suelo en estratos de 0.20 metros. hasta una profundidad de 0.80 metros para los 7 tubos mencionados anteriormente. las muestras de suelo fueron colocadas en contenedores de aluminio para posteriormente determinar el contenido de humedad en base a peso a través del método gravimétrico. Con el aspersor de neutrones se tomaron 10 conteos estandar (C.S.), estando la fuente en la caja del aparato.

Posteriormente se tomaron lecturas obtenidas (CPM) se dividieron dentro de la media de los 10 conteos estandar, para obtener así los conteos relativos (CR). A través de un análisis de regresión simple entre CR y humedad volumétrica del suelo obtenida por el método gravimétrico se obtuvo la curva de calibración para este tipo de suelo.

#### 6.1.6 Calibración de Tensiómetro:

Se tomó una parcela de 2 metros cuadrados, dicha parcela se inundó con agua hasta la profundidad deseada (0.80 metros), estando saturado el suelo se purga cada tensiómetro, expresando la lectura en milibares por medio de una escala graduada colocada dentro de la misma parcela donde se encuentra instalada la batería de tensiómetro, estas lecturas en milibares nos indican la tensión que ejerce el agua en el suelo,



posteriormente se transforma por medio de una curva de calibración la unidad volumétrica para los diferentes estratos muestreados.

#### **6.1.7 Instalación de tubo de acceso de aluminio en el lisímetro de evapotranspiración real y siembra del cultivo de frijol con igual distanciamiento de siembra y manejo al de la parcela.**

Instalación de un tubo de acceso de aluminio en el lisímetro de evapotranspiración real y siembra del cultivo de frijol con igual distanciamiento de siembra y manejo de la parcela.

#### **6.1.8 Mantenimiento del lisímetro de evapotranspiración potencial:**

Recorte de césped para propiciar rebrote de tejido joven que garantice máxima evapotranspiración.

### **6.2 Manejo del Ensayo:**

#### **6.2.1 Toma de datos de humedad en el suelo:**

Utilizando la sonda de neutrones se determinó la humedad instantánea en el suelo, expresada como humedad volumétrica en cuatro profundidades: 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 cm; esta información se recopiló en formatos especiales. La frecuencia de datos fue de 8 días. (ver cuadro 8A y figura 13A).

#### **6.2.2 Toma de datos de Tensiómetro:**

Fueron tomados de las diferentes profundidades en que se encuentran los tensiómetros. La frecuencia de toma de datos fue de 8 días. (ver cuadro 3).

#### **6.2.3 Toma de datos meteorológicos diarios:**

De la estación ICTA Alameda INSIVUMEH, contigua a la parcela de ensayo, se recopiló la siguiente información: Precipitación, brillo solar, velocidad del viento, temperatura promedio (ver cuadro 9A), elaborándose con esta información un balance climático pentadal durante

el tiempo de duración del ensayo. (ver cuadro 10).

#### 6.2.4 Toma de datos de Lisímetro:

##### 6.2.4.1 Para lisímetro de ETP:

Se realizó lectura directa de gráficas de ETP en dicho lisímetro, obteniéndose para el período de interés la pérdida de humedad por la demanda climática.

##### 6.2.4.2 Para lisímetro de ETM:

Se obtuvo el valor de ETM mediante el siguiente balance:

$$pp = ETM (\text{tanque}) + \text{Reserva} + \text{Drenaje}$$

$$ETM = pp - \text{Variación de la Reserva} - \text{Drenaje}$$

(ver cuadro 10)

#### 6.3 Análisis de la información:

$$ETM = pp + \text{Riego} - AR_{10} - AR_{20} - AR_{30} - AR_{40} - AR_{50} - AR_{60} - AR_{70} - AR_{80} -$$

$$\frac{1}{(0.333)}$$

$$ETM = pp - AR_{(0-20\text{cm})} - AR_{(20-40\text{cm})} - AR_{(40-60\text{cm})} - AR_{(60-80\text{cm})}$$

$$\frac{-1}{(0.333)}$$

##### 6.3.1 Cálculo del Coeficiente del Cultivo a nivel Octadal:

Este se realizó con información de lisímetros de ETP, ETM, relacionándose mediante la siguiente expresión:

$$ETM = ETP * KC$$

$$KC = ETM/ETP$$

##### 6.3.2 Cálculo de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo:

La cantidad de agua máxima disponible correspondió a la que existe entre el punto de capacidad del sitio y la de punto permanente de marchitamiento, multiplicado por la profundidad útil del perfil de



suelo aprovechado por las raíces del cultivo. (ver cuadro 7A).

$$\text{Cap. Almacenamiento} = D_a * \frac{(CC - PMP)}{100} * \text{Prof. suelo considerado}$$

donde:

$D_a$  = Densidad aparente (gns/cc)

CC = Capacidad de campo (%)

PMP = Punto de marchitez permanente (%)

### **6.3.3 Determinación de índices hídricos, utilizando la técnica del balance hídrico acumulativo:**

Se realizó un balance hídrico octadal de acuerdo al procedimiento establecido por la FAO (10) descrito en la sección (3.1.13).

**6.3.4** Cuando el exceso o déficit de humedad en el suelo fue de 100 mm o más, se restó 3% al rendimiento potencial (10).

## 7. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS:

Luego de realizar el balance hídrico agrometeorológico de la región del valle de Chimaltenango, con objeto de predecir el rendimiento del cultivo de frijol variedad Texel, se obtuvieron los siguientes resultados:

### 1. Coeficiente de cultivo $K_c$ , que determina el índice de consumo de humedad en el cultivo del frijol.

En el cuadro 2, se presentan los resultados del pronóstico del balance hídrico de la estación Alameda, ICTA, que consiste en un análisis semanal de los datos climatológicos observados de precipitación diaria (Pa) días de lluvia (DL) y los valores calculados de evapotranspiración potencial (ETP), coeficiente del cultivo ( $K_c$ ), evapotranspiración máxima (ETM), variación de la reserva fácilmente utilizable (VAR RFU), déficit o exceso (D/E) e índice de satisfacción de las necesidades hídricas del cultivo (Y).

Sobresale durante el periodo de corrimiento del balance hídrico, un déficit de humedad de 7 días de duración (-11.4 mm) sobre la base de la reserva fácilmente utilizable de agua en el suelo (32 mm). Este déficit repercute en una disminución del índice de satisfacción hídrica (Y) del 6% bajando el índice a 0.94, que representa una expectativa del rendimiento del 54% respecto al rendimiento potencial (2.5 tm/ha).

El coeficiente del cultivo ( $K_c$ ), se empezó a determinar a partir de la germinación de las plantas de frijol, esto sucedió en la primera semana después de sembrar el cultivo (28/5/94-10/6/94).

La evolución del coeficiente  $K_c$  del cultivo del frijol durante las diversas fases de la estación de crecimiento (establecimiento, crecimiento vegetativo, floración, desarrollo de la vaina y maduración)

se observa en la figura 3.

Durante las etapas de establecimiento y desarrollo vegetativo que comprenden el nacimiento de la planta hasta la aparición de los órganos reproductores se observa una variación ascendente del valor  $K_c$  de 0.15 a 0.85.

Los mayores valores del  $K_c$  son: 1.05, 1.1 y 0.9 que fueron obtenidos durante las semanas 4.5 y 6 después de la siembra, comprende la etapa de desarrollo del cultivo desde el inicio de la floración hasta la formación y desarrollo de la vaina, período durante el cual las exigencias de humedad del cultivo fueron altas debido a una mayor exposición del área foliar.

Posteriormente se observa un decrecimiento de dicho factor de 0.8 hasta 0.1 durante las etapas de desarrollo de la vaina y maduración.

Podemos observar que el  $K_c$  se ve afectado durante el período del 23 al 29 de julio, el cual comprende la etapa intermedia de llenado de grano, esto influye en el rendimiento potencial del cultivo.

Estos resultados muestran la tendencia lógica de variación de  $K_c$  en función de los requerimientos hídricos del cultivo de frijol para el área de estudio.

## **2. Disponibilidad de humedad y variación de la reserva de humedad en el suelo, durante el ciclo del cultivo del frijol.**

La disponibilidad de humedad en el suelo, fue medida en tres formas diferentes: gravimétrica, tensiométricamente y Sonda de Neutrones.

La humedad gravimétrica, expresada en forma volumétrica fue utilizada para el cálculo de la variación de la reserva de humedad fácilmente utilizable (VarR-FU) en el suelo, cuyos resultados se

CUADRO 2 RENDIMIENTO DE FRIJOL VARIEDAD TEXEL, BASADO EN BALANCE HIDRICO, ESTACION ALAMEDA, IOTA-CHIMALTENANGO, 1994

Fechas	1/4-10/4	11/4-20/4	21/4-30/4	1/5-10/5	11/5-20/5	21/5-27/5	28/5-10/6	11/6-17/6	18/6-24/6	25/6-5/7	6/7-8/7	9/7-15/7	16/7-22/7	23/7-29/7	30/7-10/8	11/8-17/8	18/8-26/8	27/8-31/8	Total
Pa	0	3.3	20.1	30.9	96.2	26.6	101.5	9.3	59.3	73.6	3	4.2	18.5	0	95	67.8	33.7	41.2	497.6
DII				1	8	1	9	2	6	5	3	1	2	0	8	5	4	1	46
ETP	39	40	40	35.1	31.7	20.5	44.6	22.2	21.8	34.1	8.8	31.3	21.1	21.2	33.8	20.9	28.7	34.3	292.4
Kc							0.15	0.5	0.85	1.05	1.1	1.1	0.9	0.8	0.6	0.4	0.15	0.1	
ETM							6.7	13.3	18.5	35.8	9.7	33.4	19	17.04	30.3	8.4	4.3	1.5	177.9
Pa-ETM	-39	-36.7	-19.8	-4.2	64.5	6.1	94.8	4	40.8	37.3	6.7	-19.2	-8.5	-17.04	74.7	59.4	19.4	40.2	219.7
VAR RFU					32	32	32	28	32	32	25.3	6.1	5.6	0	32	32	32	32	
D/E	-39	-36.7	-19.8	-4.2	32.5	6.1	94.8	0	36.8	37.8	0	0	0	-11.4	42.7	59.4	19.4	40.2	
Y					100	100	100	100	100	100	100	100	100	94	94	94	94	94	

Pa: precipitación actual (mm)

DII: días de lluvia

ETP: Evapotranspiración potencial (mm)

Kc: Coeficiente de cultivo

ETM: Evapotranspiración máxima (mm)

Pa-ETM: Diferencia de precipitación y evapotranspiración máxima (mm)

VAR RFU: Déficit o exceso (mm)

Y: Comportamiento del rendimiento en porcentaje

Fechas comprendidas del 01 de Abril al 31 de Agosto de 1,994.

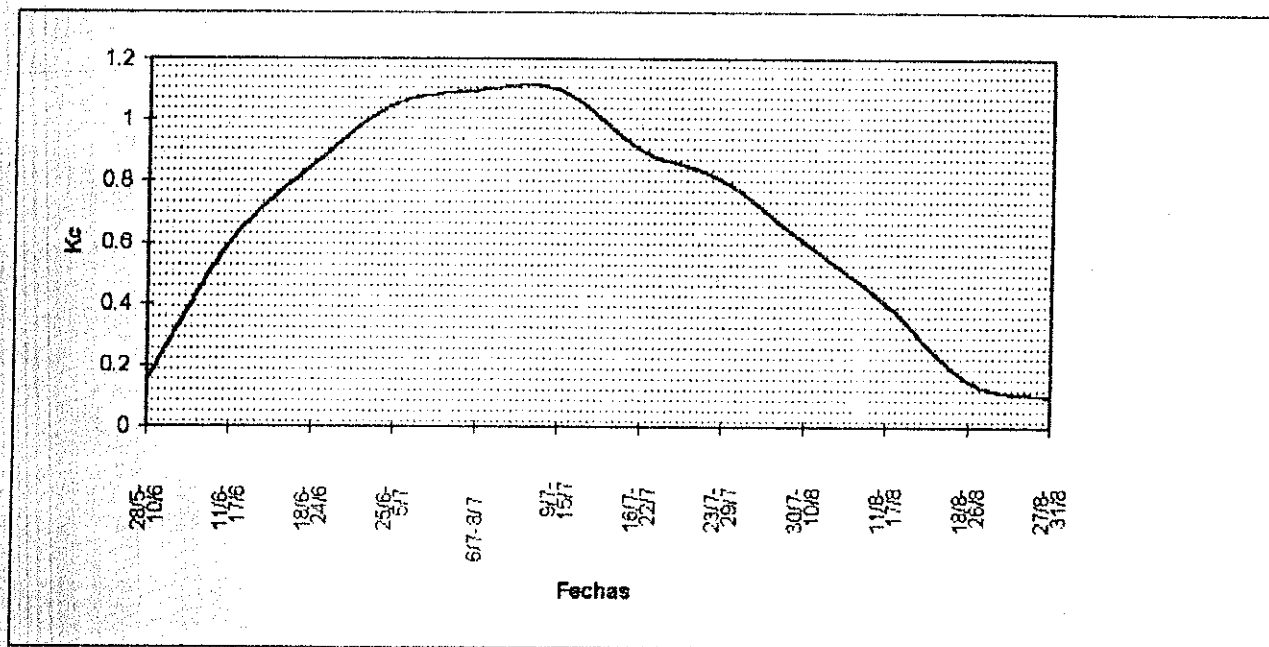


Figura 3. Evolución del coeficiente  $K_c$  del cultivo del frijol durante las diversas fases del ciclo de desarrollo del cultivo.

observan en el cuadro 2. Se realizó un monitoreo de dicha reserva dos semanas antes de la siembra con el objeto de conocer la disponibilidad del agua en el suelo. Tal como puede observarse en la figura 4, esta reserva se mantiene más o menos constante hasta la semana 4, donde empieza a disminuir por causa de una canícula hasta la semana 8 después de la siembra (25/6/94 - 29/7/94), donde se observa un resultado de 0.

El balance positivo en la reserva de humedad en el suelo fácilmente utilizable (32 mm) comprende las etapas vegetativas, floración y mitad de formación de la vaina, la cual se da hasta el 22 de julio. Del 23 al 29 de julio se registró ausencia total de lluvia, llevando la reserva de humedad fácilmente utilizable a valores negativos.

Como puede observarse en la figura 5, que muestra la precipitación y evapotranspiración potencial vrs. tiempo, en la cual durante las etapas comprendidas entre final de floración y formación de la cosecha, se manifiesta una diferencia positiva a favor de la evapotranspiración.

Lo que implica que ocurrió un estrés hídrico, lo que afectó el rendimiento final del cultivo.

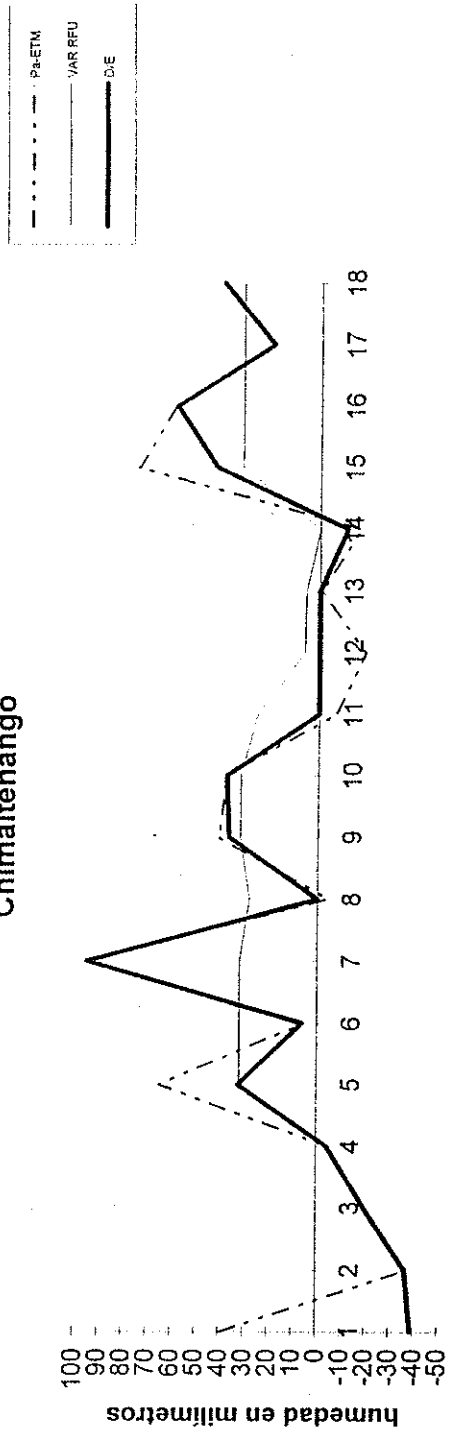
Durante este período único de déficit comprendido del 23 al 29 de julio, se registró ausencia total de lluvia.

Para fines de pronóstico de cosecha, el rendimiento disminuyó en forma proporcional al déficit, lo que produjo una reducción del 6%, producto del valor obtenido de la relación entre D/E para la semana 8 (-11.4 mm) y la ETM total del ciclo del cultivo (177.94 mm).

Las mediciones tensiométricas y de sonda de neutrones se utilizaron como comparadores de la variación de la humedad en el suelo.

En el cuadro 3 y figura 7, se muestran los resultados del

Variación de la reserva de humedad en el suelo, alameda, ICTA, Chimaltenango



fechas de observación de abril- agosto/94

FIGURA 4 Variación de la reserva de humedad en el suelo, alameda, ICTA, Chimaltenango.

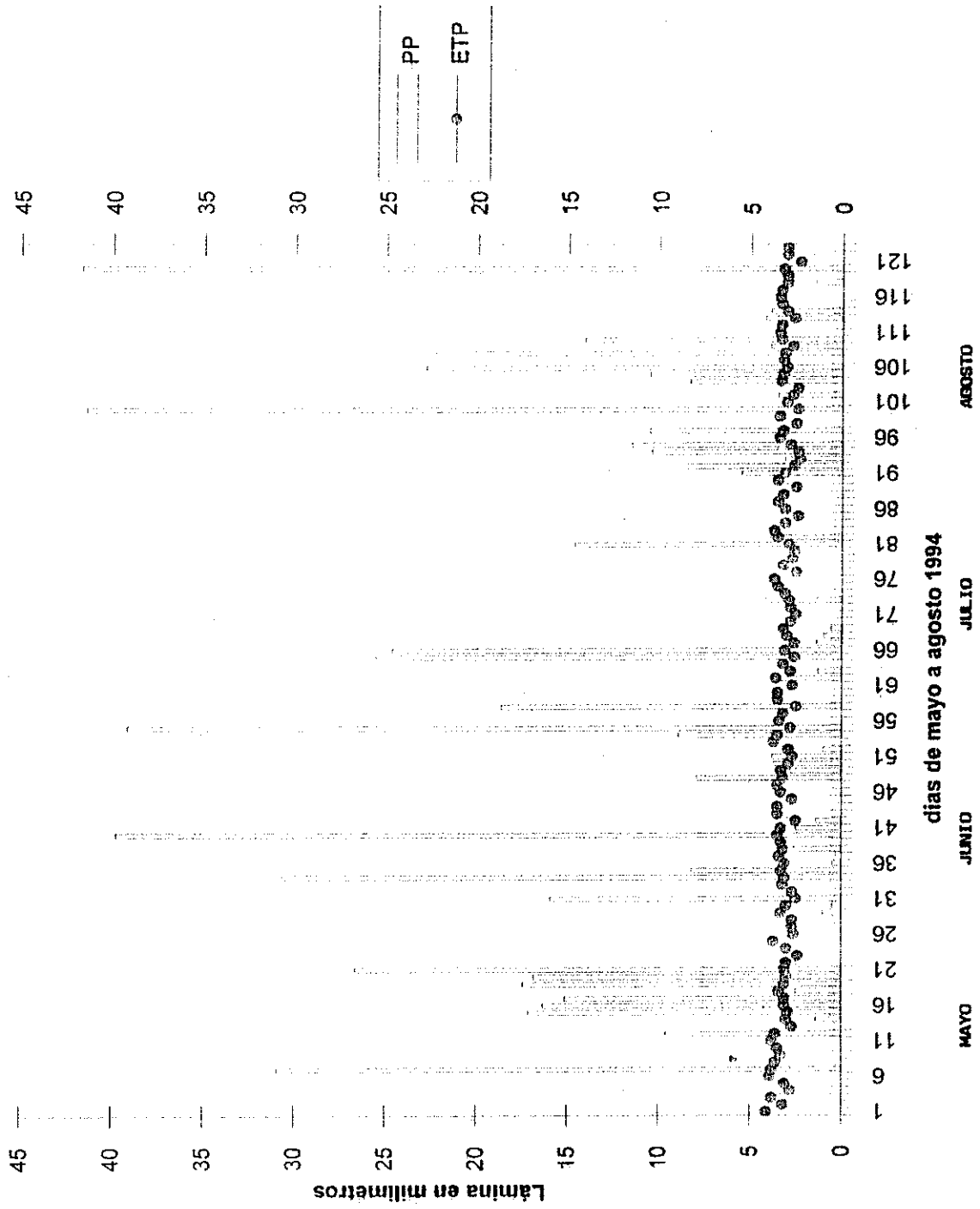


Figura 5 Balance Hídrico diario, ICTA Alameda, Chimaltenango, 1994



potencial total de agua en el suelo a lo largo del ciclo de cultivo calculado tensiometricamente, como puede observarse existe un deficit de humedad comprendido del 22/7/94 al 10/08/94, lo que afectó la reserva de humedad en el suelo. Tal como se mostró en el análisis anterior.

En el cuadro 3 se observa que la humedad del suelo disminuyó en el período del 27-29 de julio en las capas de suelo 0-20, 20-40 y 40-60 cms; mientras que en la de 80 cms se mantuvo estable, así como la de 20 cms fue la de mayor fluctuación.

En la figura 6 se observa la variación en cada estrato de la retención de humedad del suelo durante su ciclo de desarrollo, expresado como potencial total en centímetros de agua, registrandose una disminución de su valor durante el período de déficit de lluvia (29/7/94), pero con menor potencial en el estrato de 20 cms en las demás fechas de observación el agua siempre tuvo un aumento descendente, de acuerdo a su diferencial de potenciales (de mayor potencial a menor potencial).

El cuadro 4 y figura 7, muestran los resultados de la disponibilidad real de humedad en el suelo determinados por la Sonda de Neutrones. Podemos observar que existe un déficit de humedad comprendido del 23 al 29 de julio, lo cual hace que se reduzca la reserva de agua del suelo y su disponibilidad. Los datos obtenidos concuerdan con la canícula ocurrida en ese lapso. Además ocurre en el período intermedio de llenado del grano el cual influye en el rendimiento final del cultivo.

CUADRO 3 Datos de potencial total de agua en el suelo (cm. de agua) durante el ciclo de cultivo												
profund.	3/6/94	10/6/94	17/6/94	24/6/94	5/7/94	8/7/94	15/7/94	22/7/94	29/7/94	10/8/94	17/8/94	26/8/94
20	-87.1	-45.5	-133.1	-125.5	-65.1	-61.3	-135	-97.2	-310.8	-85.1	-55.8	-85.1
40	-110.9	-75.8	-104	-115.3	-105.8	-83.2	-111.5	-132.3	-196.6	-89.5	-75.6	-117.2
60	-138.4	-103.2	-131.5	-142.9	-135.3	-108.8	-129.6	-169.3	-201.4	-114.5	-108.8	-124
80	-162.2	-128.8	-147.7	-161	-153.4	-134.5	-155.3	-180.9	-196.9	-144	-132.6	-142.1

Fuente: Depto agropecuario, Direccion General de Energia y Minas

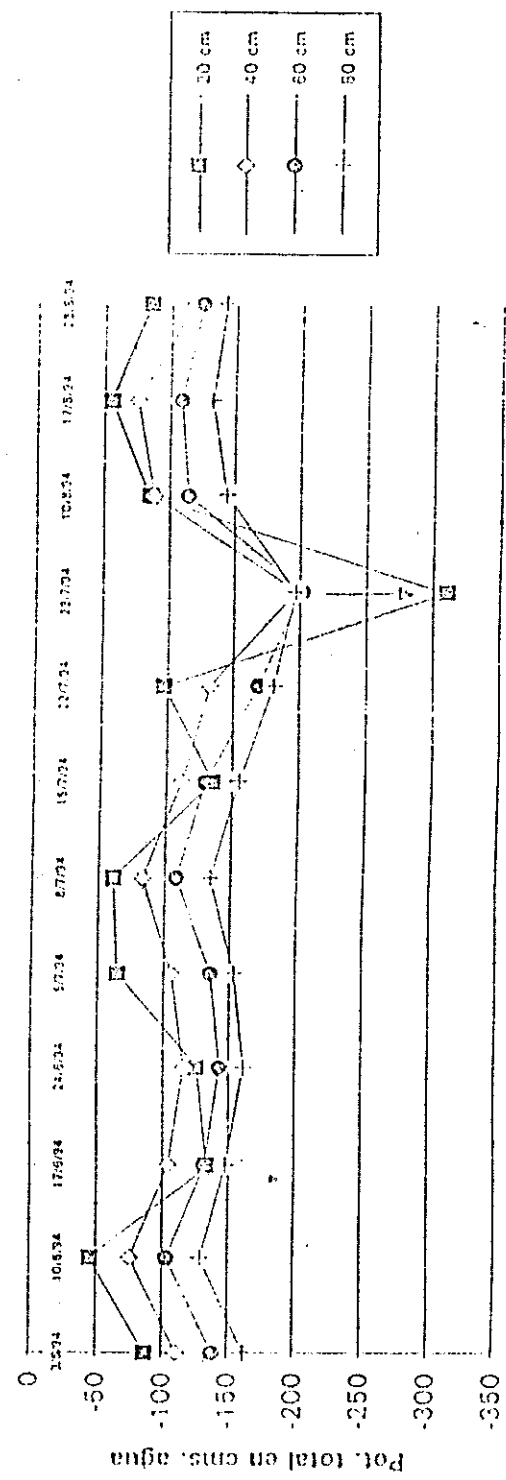


FIG. 6 POTENCIAL TOTAL DE AGUA EN EL SUELO, ALAMEDA IOTA, CHIMALTENANGO

CUADRO 4 Balance hídrico agrometeorológico basado en la disponibilidad real de humedad en el suelo obtenida mediante lectura de sonda de neutrones.

	11/5-12/5	12/5-13/5	13/5-14/5	14/5-15/5	15/5-16/5	16/5-17/5	17/5-18/5	18/5-19/5	19/5-20/5	20/5-21/5	21/5-22/5	22/5-23/5	23/5-24/5	24/5-25/5	25/5-26/5	26/5-27/5	27/5-28/5	28/5-29/5	29/5-30/5	30/5-31/5	TOTAL
RAS	3.3	20.2	30.9	96.2	26.6	101.5	9.3	59.3	73.6	3	4.2	18.5	0	95	67.8	23.7	41.2	497.6			
DAH	40	35.1	31.7	20.5	44.6	22.2	21.8	34.1	8.8	21.3	21.1	21.3	33.8	20.9	28.7	14.8	293.4				
D/E					0.15	0.6	0.85	1.05	1.1	1.1	0.9	0.8	0.6	0.4	0.15	0.1					
PRECIPITACION	-36.7	-19.8	-4.2	-84.5	-6.1	94.8	-4	-40.8	37.8	-6.7	-19.2	-0.5	-17.04	74.7	59.4	19.4	40.2	319.7			
EVAPORACION					5	9	13.5	17	21	22	24	26	27.5	29	30	30					
AGUAS SUBTERRANEAS					8.06	14.5	21.8	27.4	33.3	39.46	38.7	41.9	44.3	40.7	48.4	48.4					
AGUAS SUPERFICIALES					13.04	27.5	32.13	39.3	54.4	59.5	58.1	62.1	57.4	74.6	79.5	75.8					
AGUAS DE SUPERFICIE					4.9	13	10.3	11.9	20.6	24	19.4	20.2	13.1	27.9	31.1	27.4					

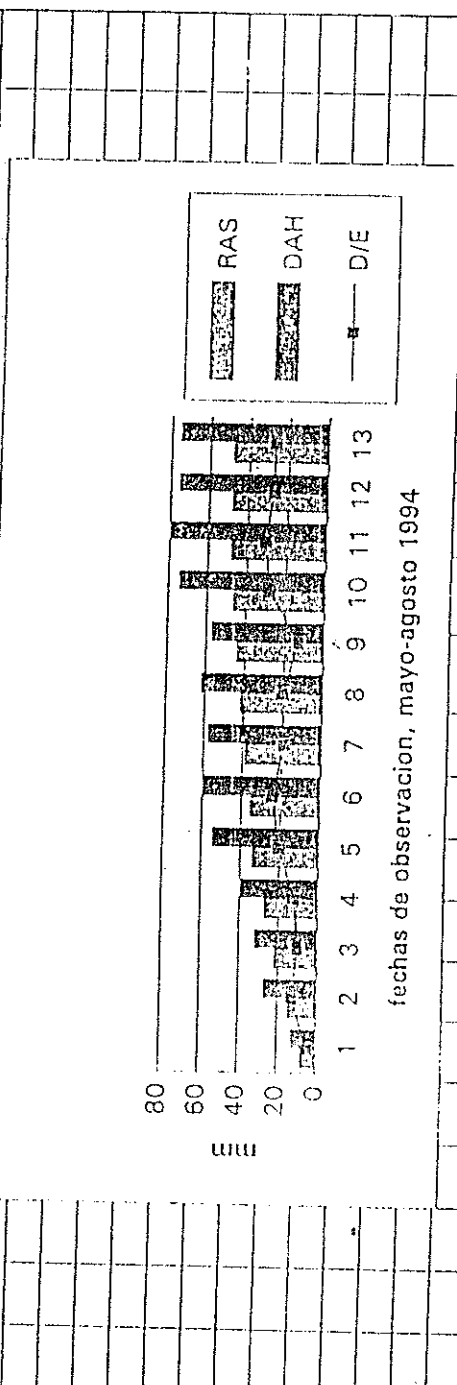


FIGURA 7 DISPONIBILIDAD REAL DE HUMEDAD EN EL SUELO.

### 3. Comparación del rendimiento potencial genético en grano seco de la variedad de frijol Texel y el esperado por la metodología de pronóstico agrometeorológico.

Tal como fue descrito en el marco conceptual Sección 3.1.13 de conformidad con lo descrito por Doorembos y Kassan (6). El rendimiento potencial genético del frijol es alrededor de 2.5 tm/ha, con base al balance hídrico agrometeorológico debido a los déficits de humedad explicados en la Sección 3.1.13, este se redujo en 6%, es decir el rendimiento de frijol para el ciclo de estudio fue de 2.36 tm/ha y se predijo un rendimiento de 2.35 tm/ha.

### 4. Comparación de métodos de estimación de evapotranspiración potencial.

Como podemos observar en las figuras 8, 9, 10 y 11, cuadros 5 y 6, se comparan los métodos para estimar la evapotranspiración potencial, los cuales son: Penman, Blaney-Criddle y Hargreaves.

Los resultados obtenidos nos dan la pauta para utilizar el método de Penman, ya que este método utiliza parámetros adicionales a los utilizados por Hargreaves y Blaney-Criddle.

Blaney-Criddle tiene el inconveniente de estimar Etp de manera mensual, por lo que nuestros resultados tienden a ser muy generales; Hargreaves estima Etp en forma diaria, pero no utiliza todos los parámetros climáticos que son de utilidad para estimar Etp.

Los valores obtenidos por el método de Blaney-Criddle, son inferiores a los obtenidos por el método de Penman, por lo que son poco confiables, además esta fórmula fue diseñada para el Oeste de los Estados Unidos.

Los valores obtenidos por el método de Hargreaves son superiores a

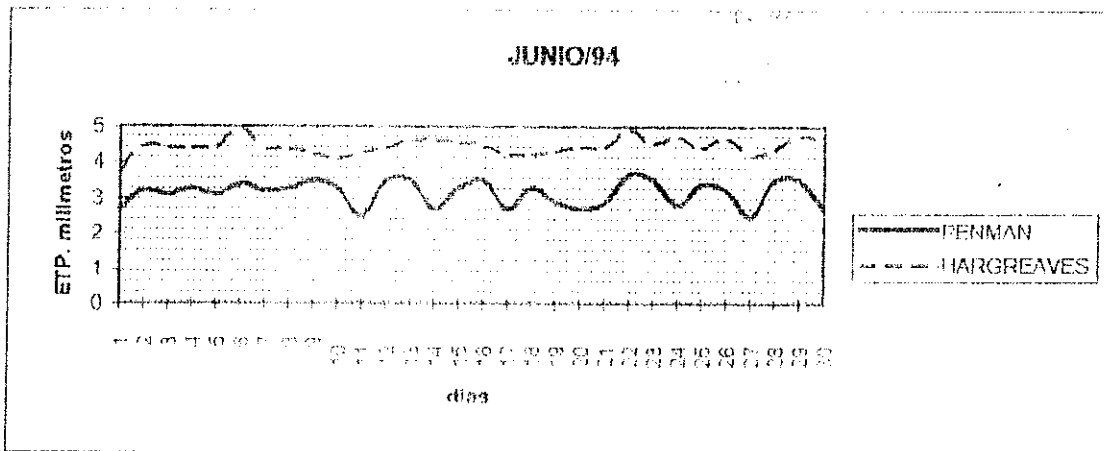


Figura 8 : Comparación ETP (mm) metodos PENMAN vs HARGREAVES

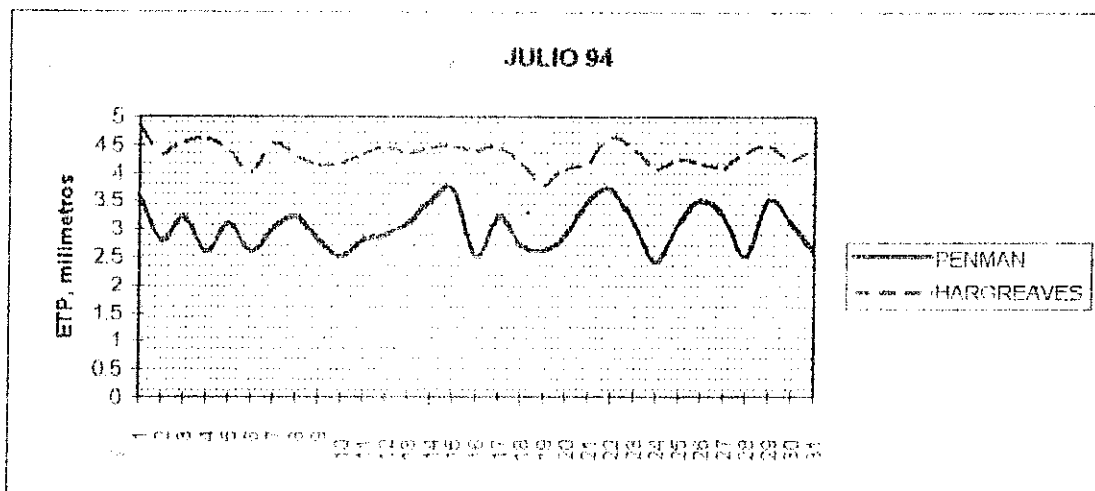


Figura 9 : Comparación de metodos de estimación de ETP. PENMAN vs. HARGREAVES.

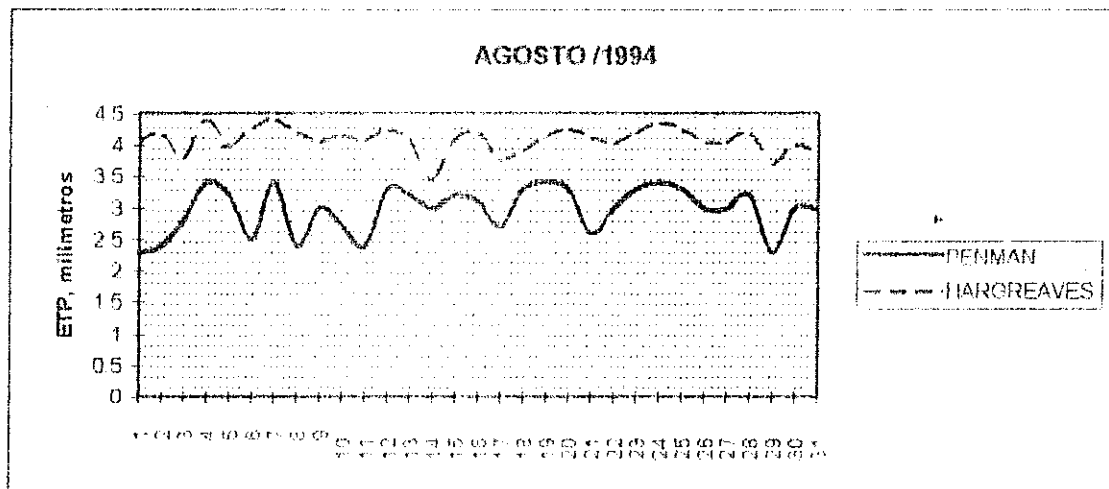


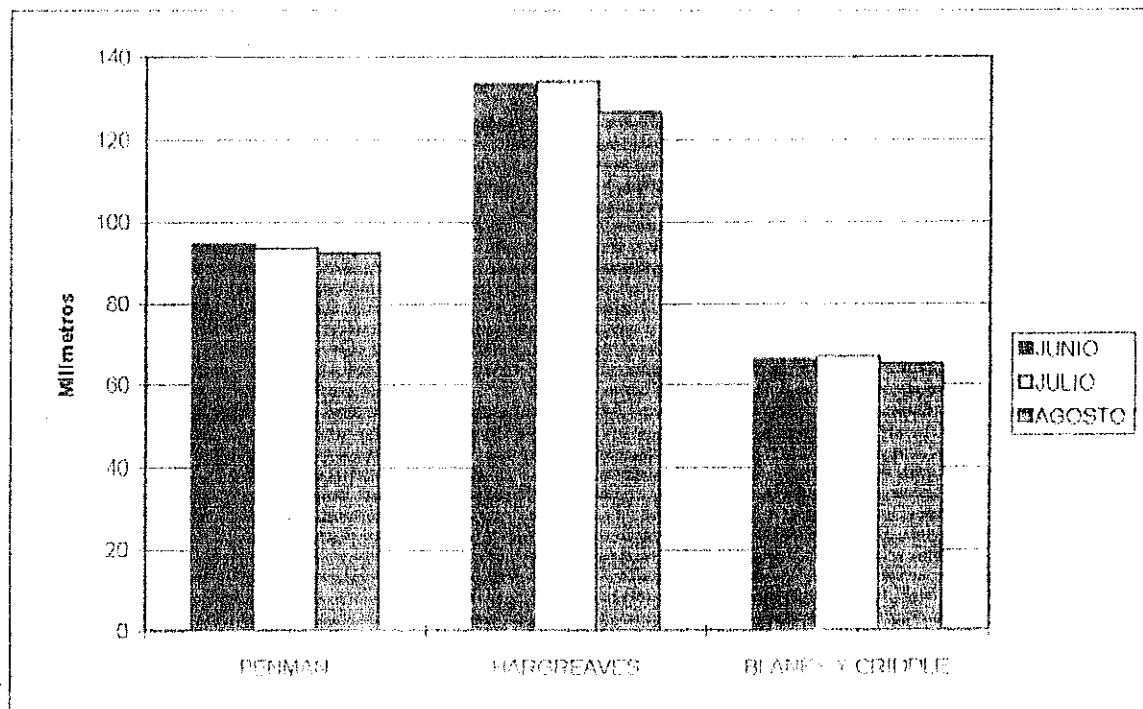
Figura 10 : Comparación de métodos de estimación de ETP. PENMAN vs. HARGREAVES

Cuadro 5 Comparación de métodos de estimación de evapotranspiración potencial.

Junio			Julio			Agosto		
DIA	PENMAN	HARGREAVES	DIA	PENMAN	HARGREAVES	DIA	PENMAN	HARGRE
1	2.7	3.7	1	3.6	4.8	1	2.3	4.0
2	3.2	4.5	2	2.8	4.3	2	2.4	4.2
3	3.1	4.4	3	3.2	4.6	3	2.8	3.8
4	3.3	4.4	4	2.6	4.6	4	3.4	4.4
5	3.1	4.4	5	3.1	4.4	5	3.2	4.0
6	3.4	4.9	6	2.6	4.0	6	2.5	4.3
7	3.2	4.4	7	3.0	4.5	7	3.4	4.4
8	3.3	4.4	8	3.2	4.3	8	2.4	4.2
9	3.5	4.3	9	2.8	4.1	9	3.0	4.0
10	3.3	4.1	10	2.5	4.2	10	2.7	4.1
11	2.5	4.3	11	2.8	4.3	11	2.4	4.1
12	3.5	4.4	12	2.9	4.4	12	3.3	4.2
13	3.5	4.7	13	3.1	4.3	13	3.2	4.1
14	2.7	4.7	14	3.5	4.5	14	3.0	3.4
15	3.3	4.6	15	3.7	4.5	15	3.2	4.1
16	3.5	4.5	16	2.5	4.4	16	3.1	4.2
17	2.7	4.2	17	3.2	4.4	17	2.7	3.8
18	3.3	4.2	18	2.7	4.2	18	3.3	3.9
19	2.9	4.3	19	2.6	3.8	19	3.4	4.1
20	2.7	4.4	20	2.9	4.1	20	3.3	4.3
21	2.9	4.4	21	3.5	4.2	21	2.6	4.1
22	3.7	4.9	22	3.7	4.6	22	3.0	4.0
23	3.5	4.5	23	3.1	4.4	23	3.3	4.2
24	2.8	4.7	24	2.4	4.1	24	3.4	4.4
25	3.4	4.4	25	3.1	4.3	25	3.3	4.3
26	3.2	4.7	26	3.5	4.2	26	3.0	4.1
27	2.5	4.2	27	3.2	4.1	27	3.0	4.1
28	3.5	4.4	28	2.5	4.4	28	3.2	4.2
29	3.5	4.8	29	3.5	4.5	29	2.3	3.7
30	2.7	4.7	30	3.1	4.2	30	3.0	4.0
			31	2.6	4.4	31	3.0	3.9
Total	94.4	133.3		93.5	134.0		92.1	126.4

**CUADRO 6 : COMPARACION DE METODOS DE ESTIMACION DE EVAPOTRANSPIRACION POTEN MENSUAL.**

MES	PENMAN	HARGREAVES	BLANEY Y CRIDDLE
JUNIO	94.1	133.3	66
JULIO	93.5	134	66.65
AGOSTO	92.1	126.4	65.1



**Figura 11 :** Comparación mensual de evapotranspiración potencial estimada mediante 3 metodologías, en la

los obtenidos por Penman, tomando en cuenta que este método no utiliza todos los parámetros climáticos que si toma en cuenta Penman, los valores obtenidos se manifiestan poco confiables.

#### **5. Comparación de Kc obtenido por el Método de Penman vrs el obtenido por Hansen.**

La ventaja de obtener Kc por el método de Penman, es que su estimación se realiza durante la etapa de crecimiento del cultivo, mientras que por Hansen, la curva de Kc ya esta determinada, por lo tanto, los valores obtenidos son poco confiables, ya que fueron obtenidos en otras latitudes.

La comparación se observa en la figura 2.



## 8. CONCLUSIONES

**8.1** La determinación de los valores de  $K_c$  de conformidad con lo expresado en la metodología de FAO, para la predicción de cosechas se comportaron con una tendencia creciente (0.15 - 0.85) durante las etapas de establecimiento y desarrollo vegetativo, alcanzando sus valores máximos (1.05, 1.1 y 0.9) desde el inicio de la floración hasta la formación y desarrollo de la vaina, posteriormente este decrece de 0.8 hasta 0.1 durante las etapas de desarrollo de la vaina y maduración. Lo que indicó un comportamiento normal del requerimiento de agua por el cultivo a lo largo de su ciclo.

**8.2** Los controles de disponibilidad de humedad volumétrica y tensiométrica realizada a lo largo del ciclo del cultivo permitieron validar la predicción del comportamiento de la humedad en el suelo, realizado a través del balance hídrico y su consecuente impacto en el rendimiento del grano cosechado.

**8.3** En la evapotranspiración potencial que es utilizada para la realización del balance hídrico calculada directamente por lisímetros se notó una diferencia significativa con los valores estimados por Penman a nivel diario. Encontrando mayor consistencia en los datos calculados con la ecuación de Penman, debido a errores experimentales en la toma de datos de evapotranspiración en los lisímetros.

**8.4** La metodología de pronóstico agrometeorológico, tipo FAO, que se basa en el balance hídrico, permitió prever con 31 días de anticipación, una reducción del rendimiento del cultivo del frijol variedad Texel del 6%. Producto del balance hídrico negativo y días en etapa de llenado de grano (25/6/94 y 29/7/94).

**8.5** De una producción potencial de 2.5 tm/ha se cosechó 2.35 mientras

que la expectativa de rendimiento considerando la metodología de FAO fue de 2.36 tm/ha (6% de 2.5 tm/ha) lo que indica una diferencia de 0.01 tm/ha, lo que valida dicha metodología para el área de estudio.

**8.6** El área de estudio no es un factor determinante o de influencia sobre la validación de la metodología propuesta por FAO basada en el balance hídrico agrometeorológico para la producción de cosechas en un área homogénea de estudio, tal como lo fue el valle de Chimaltenango.

**8.7** Los resultados obtenidos mediante comparación de los métodos de estimación de Etp fueron los sigs:

MES	PENMAN	HARGREAVES	BLANEY-CRIDDLE
Junio	94.4	133.3	66.00
Julio	93.5	134.0	66.65
Agosto	92.1	126.4	65.10

Penman es la más recomendable, ya que las estimaciones de Etp son realizadas a nivel diario y toma en cuenta más parámetros climáticos que los dos métodos restantes.

**8.8** Los valores de Kc obtenidos mediante la metodología de FAO se acercan más a la realidad, ya que son obtenidos a lo largo del ciclo de crecimiento del cultivo, y el Kc obtenido por Blaney-Criddle y la curva de Hansen, estas ya están determinadas y las mismas fueron hechas en otras latitudes.

## 9. RECOMENDACIONES

9.1 Utilizar en el cálculo del balance hídrico el método gravimétrico o tensiométrico para el cálculo de humedad y la ecuación de Penman para el cálculo de evapotranspiración, ya que se demostró que los parámetros de humedad y evapotranspiración potencial al ser calculados de esta forma fueron más fáciles de manejar de acuerdo con los objetivos de la metodología de estudio.

9.2 Utilizar la información obtenida como producto de la validación de la metodología de pronóstico de cosechas, tipo FAD, para la planificación de actividades de procesamiento y distribución del grano básico para prever escasez del mismo como producto de una baja del rendimiento debido a la influencia de factores climatológicos.

## 10. BIBLIOGRAFIA

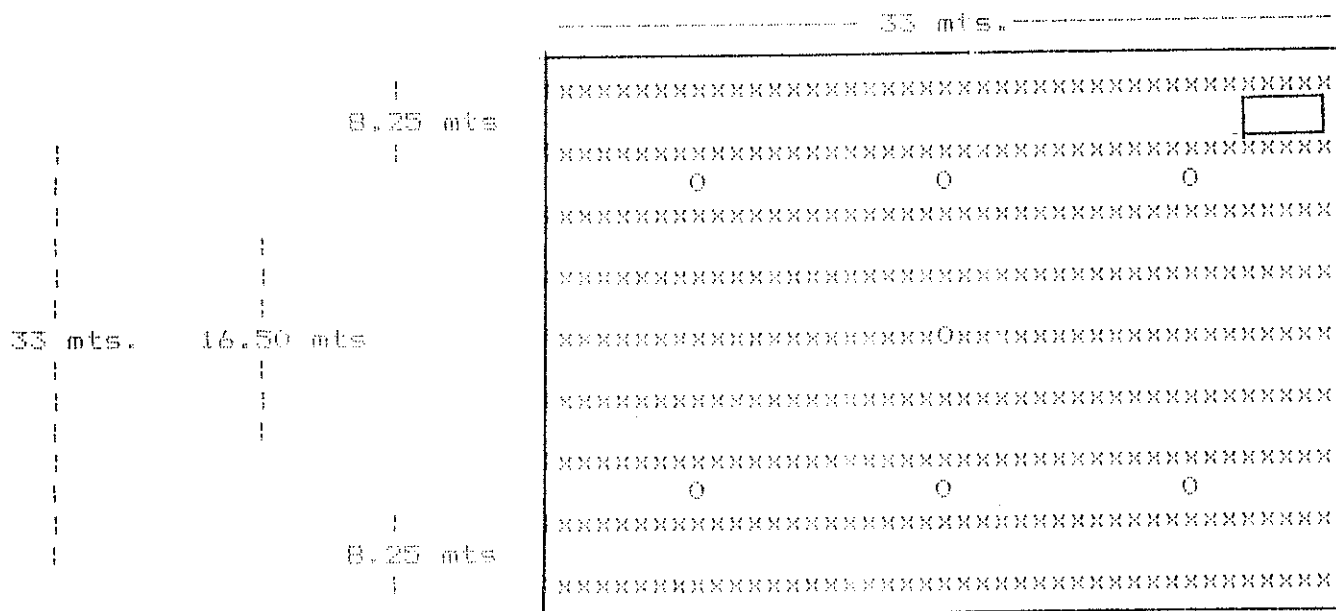
1. AYALA NARROQUIN, H.E. 1.992. Efecto de cuatro frecuencias de riego en el rendimiento y la evapotranspiracion del maiz, (Zea mays L.), en la Unidad de Riego, San Cristobal Acasaguastlan, El Progreso. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomia. 101 p.
2. BALDIZON, J.R. 1.983. Determinacion de la evapotranspiracion por medio de lisimetro y comparacion de resultados con las formulas empiricas aplicadas en Guatemala. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingenieria. 276 p.
3. BOSHELL, J.F. 1.987. Curso basico de meteorologia agricola. Bogota, Colombia, s.n. 154 p.
4. CONGRESO GUATEMALTECO DE AGROMETEOROLOGIA (1.,1989, Guatemala). 1989. Actividades hidrometeorologicas para el desarrollo nacional; Memoria. Guatemala, Guatemala INSIVUMEH. Seccion de Agrometeorologia. 377 p.
5. CRUZ, J.R. DE LA. 1.982. Clasificacion de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. p 29-33.
6. DOOREMBOS, J.; KASSAN, A.H. 1.979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma, FAO. Serie de Riego y Drenaje no. 33. 212 p.
7. DOOREMBOS, J.; PRUIT, W. O. 1.986. Las necesidades de Agua de los cultivos. Roma, FAO. Serie de Riego y Drenaje no. 24. 110 p.
8. DUNN, T.; LEOPOLD, L.B. 1.978. Water in environmental planning. Colorado, EE.UU., Freeman. 818 p.
9. FIGUEROA, I. 1.987. Efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento de evapotranspiracion del cultivo del frijol en la Unidad de Riego San Jeronimo, Baja Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomia. 82 p.
10. FRERE, M.; POPOV, G.F. 1.980. Pronostico de cosechas basado en datos agrometeorologicos. Roma, FAO. 193 p.

11. GRASSI, C.J. 1,979. Aspectos metodológicos para la determinación experimental de la evapotranspiración y la frecuencia de riego Mérida, Venezuela, CIDIAT.
12. -----, 1,986. Fundamentos del riego. 2 ed. Mérida, Venezuela, CIDIAT. 152 p.
13. GUATEMALA. INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLA. 1,990. Recomendaciones técnicas agropecuarias para los departamentos de Chimaltenango, Sacatepéquez y Escuintla. Guatemala. 127 p.
14. GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA e HIDROLOGIA. 1,994. Registro de datos climáticos de la estación de Chimaltenango.  
  
Sin publicar.
15. ISRAELSEN, O.N.; HANSEN, V.E. 1,976. Principios y aplicaciones de riego. Trad. por Alberto Garcia. Barcelona, España, Reverte. 276 p.
16. MARAUX, F.; RAPIDEL, B. 1,990. La simulación del balance hídrico; aplicación para la determinación de fechas de siembra. s.l., CATIE. 31 p.
17. MOSCOSO, E.A. 1,990. Evaluación del rendimiento de seis frecuencias de riego sobre el cultivo del brócoli usando el método del balance hídrico, tipo FAO/OMM en la Unidad de Riego Laguna del Hoyo, Monjas, Jalapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 73 p.
18. PENMAN, H.L. 1,989. Evapotranspiración potencial. Colombia, Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras. 72 p.
19. SANDOVAL ILLESCAS, J.E. 1,989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 345 p.
20. SIMMONS, CH.; TARANO, J.M.; PINTO, J.H. 1,959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Traducido por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, Ed. José de Pineda Ibarra. 1,000 p.

Vo. Co.  
*R. Huella*



11. APENDICE



donde:

- O = Tubos de acceso
- x = Cultivo de frijol
- = Tensiómetro (batería)

Figura 12A Descripción de la parcela de ensayo.

**DIRECCION TECNICA DE RIEGO Y AVENAMIENTO  
LABORATORIO FISICOQUIMICO DE SUELO Y AGUA  
INFORME DE ANALISIS FISICO DE SUELO**

Cuadro 7A

Localización: INSIVUMEH

Municipio:

Departamento: INSIVUMEH

Proyecto: INSIVUMEH

Fecha 15/11/94

PTO	PROF.	CLASE TEXTURAL	% TEXTURAL			cc 1.13BAR	FMP 15BAR	Densi g/cc	pH
			Ar	L	A				
1.	20	Franco Arenoso	11.79	13.86	74.05	19.43	7.35	1.3345	6.1
2.	40	Franco Arenoso	11.70	15.80	72.50	19.06	7.39	1.3206	6.6
3.	60	Franco Arenoso	11.75	17.92	70.33	18.88	7.34	1.3735	6.7
4.	80	Fran. Arc. Lim.	29.35	52.87	17.78	26.42	12.87	1.2104	7.2

Ar = Arcilla

L = Limo

A = Arena

F = Franco



CLARO BA	Humedad del suelo , como humedad volumetrica (%), durante el ciclo del cultivo de frijol variedad texel. Alameda, ICTA, Chimaltenango.				
	Fecha	Profundidad del suelo en cms.			
		20	40	60	80
	03-Jun	26.08	26.26	26.49	38.23
	10-Jun	30.64	33.7	30.86	37.96
	17-Jun	23.8	25.65	26.07	38.52
	24-Jun	23.14	19.23	28.78	36.56
	05-Jul	25.91	26.19	31.32	37.38
	08-Jul	27.04	28.47	28.76	38.19
	15-Jul	24.21	27.31	32.44	34.47
	22-Jul	23.77	24.42	30.06	37.23
	27-Jul	20.41	21.26	22.73	36.62
	29-Jul	19.41	23.38	30	36.67
	10-Aug	25.87	25.57	28.72	35.12
	17-Aug	26.9	27.69	32.56	37.04
	29-Aug	24.31	26.21	26.69	37.47

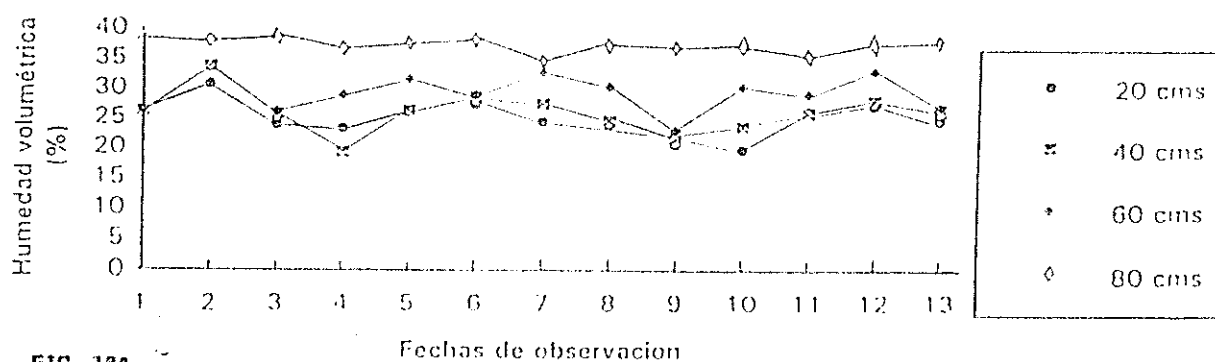


FIG. 13A

Fechas de observacion

PERIODO EN EL PERIODO DEL SUELO

No.	Fecha
1	03-Jun
2	10-Jun
3	17-Jun
4	24-Jun
5	05-Jul
6	08-Jul
7	15-Jul
8	22-Jul
9	27-Jul
10	29-Jul
11	10-Aug
12	17-Aug
13	26-Aug

Cuadro 9A

Parámetros climáticos, en períodos de 5 días, durante el ciclo del cultivo de frijol. Estación, Alameda, ICTA, Chimaltenango.

mes	pentada	lluvia mm	ETP mm	Tmedia C	Tmax C	Tmin C
mayo	1	0	17	19.3	26.0	12.5
	2	30.9	18.1	19.3	26.4	12.3
	3	28.1	16	19.9	25.5	14.4
	4	68.1	15.7	19.2	24.6	13.8
	5	26.6	15.2	18.3	22.8	13.9
	6	15.4	17.8	19.3	24.8	13.8
junio	7	39.3	15.4	17.1	22.1	12.2
	8	44.8	16.7	18.0	22.7	13.3
	9	1.4	15.5	18.1	23.1	13.2
	10	18.2	15.6	17.7	22.9	12.5
	11	49.0	16.3	18.1	23.4	12.9
	12	18.6	15.4	18.0	23.4	12.6
julio	13	55.1	15.3	17.9	23.7	11.8
	14	3.0	14.1	17.8	22.7	12.9
	15	4.2	16	17.9	23.7	12.2
	16	14.6	13.9	16.5	22.2	10.9
	17	3.9	15.8	17.8	23.1	12.5
	18	14.6	18.4	21.0	29.1	13.0
agosto	19	35.5	14.1	18.5	24.3	12.6
	20	44.9	14.0	17.9	23.5	16.9
	21	41.6	15.1	17.1	23.0	11.2
	22	40.3	15.9	17.0	23.2	10.9
	23	8.1	15.6	18.1	23.3	13.0
	24	43.2	17.8	17.5	23.9	11.2

Cuadro 10A Determinación de evapotranspiración máxima.  
 Cálculo de la evapotranspiración máxima (ETM). Lisímetro tipo B-1  
 Estación Alameda Uru, Chibaltanango.

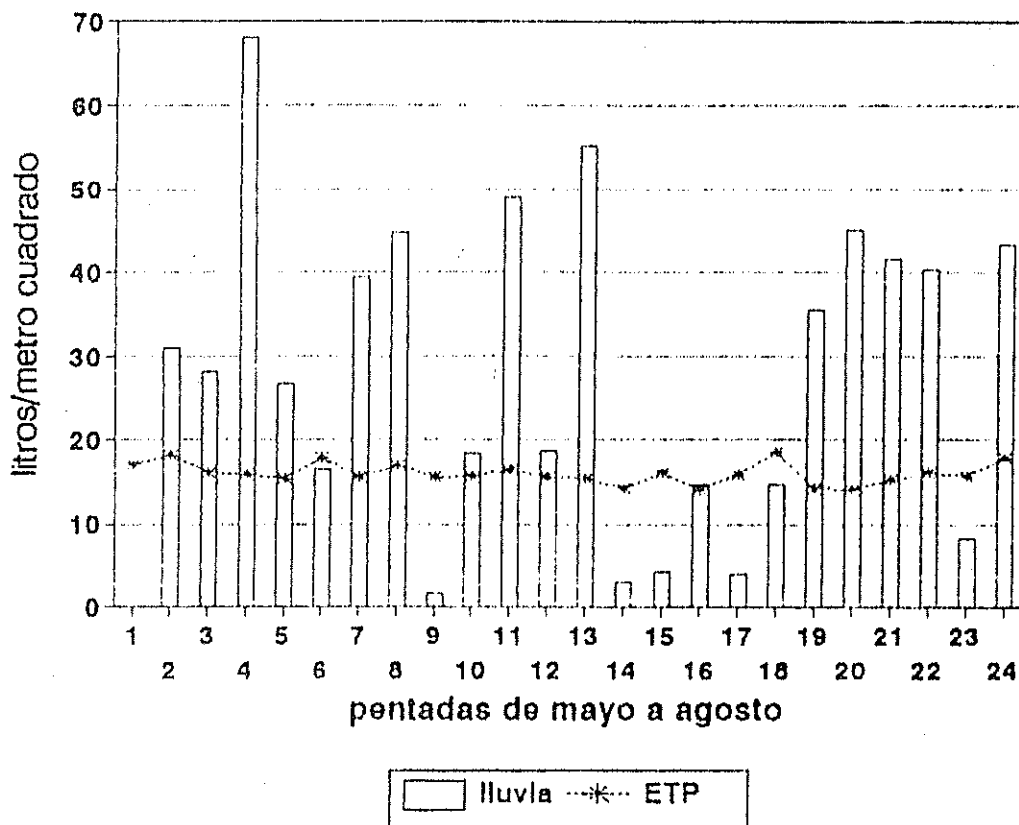
I. Determinación de variación de humedad (cm) en el perfil de suelo.  
 Profundidad total de suelo: 1.73 m/s.

Fecha	20 cm	40 cm	60 cm	73 cm	variación humedad
3/6-10/6	10.8	10.0	11.7	11.4	44.4
10/6-17/6	9.8	9.2	9.6	10.0	20.6
17/6-24/6	2.0	2.0	9.6	10.0	8.1
24/6- 5/7	2.7	1.85	2.2	6.6	12.8
5/7- 8/7	3.1	2.7	2.6	9.0	15.57
8/7-15/7	9.4	6.6	1.0	1.3	-19.3
15/7-22/7	8.0	3.0	4.2	1.1	-29.0
22/7-29/7	7.3	0.6	-4.0	1.1	-24.7
29/7-10/8	10.0	12.6	9.1	10.8	8.2
10/8-17/8	4.4	1.0	1.0	—	12.4
17/8-26/8	4.9	1.0	1.0	1.1	0.7

II. Determinación de ETP

Fecha	100 cm	infiltr.	variación humedad	ETM	ETP	ETP Perman	ET
3/6-10/6	40	0	44.4	—	0.4	3.2	0.2
10/6-17/6	40	0	20.6	7	2.4	3.2	1.1
17/6-24/6	29	0	8.1	1	1.7	3.2	0.8
24/6- 5/7	50	0	12.8	1	3.4	3.1	1.1
5/7- 8/7	40	0	15.6	3	8.1	2.9	2.7
8/7-15/7	6	0	19.3	2	2.7	3.0	0.9
15/7-22/7	10	0	-29.0	2	5.5	3.0	1.8
22/7-29/7	0	0	-24.7	2	3.5	3.1	1.1
29/7-10/8	90	0	8.2	12	6.7	2.9	2.3
10/8-17/8	40	0	13.4	7	3.8	3.0	1.2
17/8-26/8	23.8	0	0.7	9	2.4	3.2	0.7

CUADRO 11A Balance climatico ICTA-Alameda Chim.  
 Ensayo frijol var.texel. 1994



PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 Biblioteca Central

DATOS DE CAMPO

AÑO HIDROLOGICO: 93-94

ELEVACION: 1,786 MIS. SNM.

MUNICIPIO: CHIMALTENANGO

ESTACION: IGJA ALAMEDA

LATITUD: NORTE 14° 39' 20"

DEPIO.: CHIMALTENANGO

CUENCA: GUACALATE

LONGITUD: OESTE 90° 49' 20"

MES: Mayo / 94

FECHA	PLUVIÓGRAFO	INFILTRACION 25 GRS.	LIMNIGRAFO PIEZÓMETRO	NIVEL. FLOTE GMS.	LÍSTIMO PRECIPITACION GRANIZ.
1	00	00	15-0	60.0	00
2	00	00	10-0	60-0	00
3	00	00	C100/93.0	60-0	00
4	00	00	82.0	60-0	00
5	00	00	63.0	60-0	00
6	00	00	49.5	60-0	00
7	30-0	22-0	27.5	60-0	00
8	00	00	16-0	60-0	00
9	00	00	11-0	60-0	00
10	00	00	C100/86.0	60-0	00
11	00	00	74.0	60-0	00
12	00	00	60-0	60-0	00
13	00	00	52-0	60-0	00
14	10-0	00	50.5	60-0	00
15	10-0	14-0	38.5	60-0	00
16	00	00	34.0	60-0	00
17	20-0	28-0	32-0	60-0	00
18	10-0	11-0	34-0	60-0	00
19	00	00	34-0	60-0	00
20	20-0	32.5	34-0	60-0	00
21	20-0	00	34.0	60-0	00
22	20-0	54-0	34-0	60-0	00
23	00	00	33.5	60-0	00
24	00	00	32.5	60-0	00
25	00	00	27.5	60-0	00
26	00	00	21-0	60-0	00
27	00	00	14-0	60-0	00
28	00	00	C100/88.0	60-0	00
29	00	00	79.0	60-0	00
30	00	00	71-0	60-0	00
31	10-0	11-0	65.0	60-0	00

AÑO HIDROLOGICO: 93-94ELEVACION: 1,786 MTS. SMM.MUNICIPIO: CHIMALTENANGOESTACION: ICIA ALAMEDALATITUD: NORTE 14° 39' 20"DEPTO.: CHIMALTENANGOCUENCA: GUACALATELONGITUD: OESTE 90° 49' 20"MES: Junio/94

FECHA	PLUVIÓGRAFO	INFILTRACION 25 CMS.	LIMNIGRAFO PIEZOMETRO	NIVEL FLOJE CMS.	LISIMETRO PERCOLACION GRANDE.
1	10.0	00	60.0	60.0	00
2	00	00	60.0	60.0	00
3	00	29.0	*58.0	60.0	00
4	30.0	8.5	57.5	60.0	00
5	00	00	57.5	60.0	00
6	00	00	57.0	60.0	00
7	10.0	00	57.0	60.0	00
8	00	00	57.0	60.0	00
9	00	00	57.0	60.0	00
10	40.0	62.0	57.0	60.0	00
11	00	5.0	57.0	60.0	00
12	00	00	57.0	60.0	00
13	00	00	56.5	60.0	00
14	00	00	56.0	59.0	00
15	00	00	56.0	56.0	00
16	00	00	56.0	55.0	00
17	00	00	56.0	53.0	00
18	10.0	00	56.0	53.0	00
19	00	00	56.0	53.0	00
20	00	00	56.0	53.0	00
21	00	00	55.5	54.0	00
22	00	00	55.0	54.0	00
23	10.0	00	55.0	53.5	00
24	00	00	55.0	52.5	00
25	30.0	36.5	55.0	60.0	00
26	00	00	55.0	60.0	00
27	00	00	55.0	59.0	00
28	20.0	18.5	55.0	60.0	00
29	00	1.5	55.0	60.0	00
30	00	00	54.5	58.0	00
31					

ESTACION: ICIA ALAMEDA  
 CUENCA: GUACALATE

LATITUD: NORTE 14° 39' 20"  
 LONGITUD: OESTE 90° 49' 20"

DEPTO.: GUIMALTENANGO  
 MES: Julio de 1999

68

FECHA	PLUVIÓGRAFO	INFILTRACION 25 CMS.	LIMNIGRAFO PIEZÓMETRO	NIVEL FLOJE CMS.	LISÍMETRO PERCEPCIÓN GRAME.
1	00	0.0	54.0	57.0	00
2	00	00	54.0	56.0	00
3	00	00	54.0	55.0	00
4	00	00	53.5	54.0	00
5	20.0	00	53.5	59.5	00
6	20.0	24.5	53.5	60.0	00
7	00	10.5	53.0	60.0	00
8	00	00	53.0	60.0	00
9	00	00	53.0	59.0	00
10	00	00	53.0	58.0	00
11	00	00	53.0	56.5	00
12	00	00	52.0	55.0	00
13	00	00	52.0	54.0	00
14	00	00	52.0	52.6	00
15	00	00	52.0	51.0	00
16	00	00	42.5	50.0	00
17	00	00	28.0	50.0	00
18	00	00	13.0	50.0	00
19	00	00	100/81.0	50.0	00
20	00	00	67.0	50.0	00
21	10.0	00	62.0	54.0	00
22	00	00	62.0	54.5	00
23	00	00	62.0	55.0	00
24	00	00	61.0	51.5	00
25	00	00	60.5	50.0	00
26	00	00	45.0	50.0	00
27	00	00	30.5	50.0	00
28	00	00	10.0	50.0	00
29	00	00	100/84.0	50.0	00
30	00	00	60.0	50.0	00
31	10.0	00	46.0	50.0	00

OBSERVADOR: Sandra Leticia Reyes

```

*****
*
*   CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION   *
*   CON LA FORMULA DE PENMAN           *
*
* Programa CIRAD/IRAT                 UU *
*****

```

### DATOS DE CAMPO

```

ESTACION DE           : ICTAI
ETP PENMAN DEL AÑO    : 1994
SE TOMO COMO VALOR DEL ALBEDO : .20
ALTURA DEL ANEMOMETRO : 5.00 METROS

```

(Corrección efectuada en velocidad del viento para estandarizarla a 10 m.)

```

MES DE : MAYO
*****

```

	INSOL (HRA)	VIENT (m/s)	T MED (cC)	E VAP (mb)	E SAT (mb)	RG ( mm )	RAD ( mm )	ADV ( mm )	ETP ( mm )
DEC 13	34.82	1.64	19.27	16.21	22.31	63.81	26.66	8.36	34.99
DEC 14	29.94	1.31	19.55	18.54	22.71	60.53	26.50	5.16	31.68
DEC 15	22.70	1.41	18.86	17.33	21.78	59.88	26.55	6.42	32.97
TOTAL	87.46	1.45	19.22	17.36	22.25	184.21	79.71	19.94	99.64



```

*****
*
*   CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION
*   CON LA FORMULA DE PENMAN
*
*   programa CIRAD/IRAT
*
*****
    
```

**DATOS DE CAMPO**

```

ESTACION DE           : ICTA2
ETP PENMAN DEL AÑO    : 1994
SE TOMO COMO VALOR DEL ALBEDO : .20
ALTURA DEL ANEMOMETRO : 5.00 METROS
    
```

(Corrección efectuada en velocidad del viento para estandarizarla a 10 m.)

MES DE : JUNI  
 \*\*\*\*\*

	INSOL (HRA)	VIENT (m/s)	T MED (oC)	E VAP (mb)	E SAT (mb)	RG ( mm )	RAD ( mm )	ADV ( mm )	ETP ( mm )
DEC 16	36.20	1.51	17.56	15.69	20.05	63.90	25.82	6.21	32.06
DEC 17	34.08	1.01	17.90	15.94	20.47	62.38	25.54	5.54	31.07
DEC 18	33.59	1.13	18.03	15.51	20.64	61.98	25.29	6.40	31.72
TOTAL	103.87	1.21	17.83	15.72	20.39	188.26	76.65	18.15	94.85

```

*****
*
*   CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION   *
*   CON LA FORMULA DE PENMAN           *
*
* programa CIRAD/IRAT                 UU *
*****
    
```

**DATOS DE CAMPO**

```

ESTACION DE           : ICTA3
ETP PENMAN DEL AÑO    : 1994
SE TOMO COMO VALOR DEL ALBEDO : .20
ALTURA DEL ANEMOMETRO : 5.00 METROS
    
```

(Correccion efectuada en velocidad del viento para estandarizarla a 10 m.)

MES DE : JULI  
 \*\*\*\*\*

	INSOL (HRA)	VIENT (m/s)	T MED (cC)	E VAP (mb)	E SAT (mb)	RG ( mm )	RAD ( mm )	ADV ( mm )	ETP ( mm )
DEC 19	25.30	.98	17.85	15.97	20.39	56.65	23.92	5.33	29.24
DEC 20	27.65	1.44	17.20	15.48	19.63	58.40	24.05	5.83	29.90
DEC 21	38.02	1.37	17.62	16.02	20.10	69.13	28.15	6.10	34.24
TOTAL	90.97	1.26	17.56	15.83	20.04	184.38	76.12	17.26	93.38

```

*****
*
*   CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION   *
*   CON LA FORMULA DE PENMAN          *
*
*   programa CIRAD/IRAT                *
*                                       *
*****
    
```

**DATOS DE CAMPO**

```

ESTACION DE           : ICTA4
ETP PENMAN DEL AÑO    : 1994
SE TOMO COMO VALOR DEL ALBEDO : .20
ALTURA DEL ANEMOMETRO : 5.00 METROS
    
```

(Corrección efectuada en velocidad del viento para estandarizarla a 10 m.)

MES DE : AGOS  
 \*\*\*\*\*

	INSOL (HRA)	VIENT (m/s)	T MED (°C)	E VAP (mb)	E SAT (mb)	RG ( mm )	RAD ( mm )	ADV ( mm )	ETP ( mm )
DEC 22	22.86	.97	18.19	17.49	20.86	55.62	24.15	4.02	28.19
DEC 23	41.55	1.06	17.04	14.20	19.37	67.46	26.68	4.07	30.74
DEC 24	39.20	1.09	17.79	17.11	20.33	69.88	28.59	4.45	33.05
TOTAL	103.61	1.04	17.68	16.94	20.19	192.96	79.42	12.54	91.98



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE AGRONOMIA  
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
 AGRONOMICAS

Ref. Sem.053-96

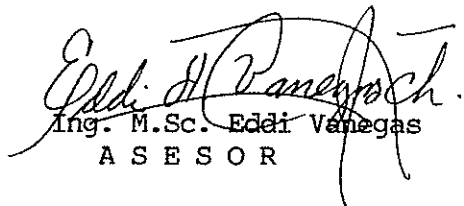
LA TESIS TITULADA: "EVALUACION DEL BALANCE HIDRICO AGROMETEOROLOGICO EN EL PRONOSTICO DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DEL FRIJOL - (Phaseolus vulgaris L.) VARIEDAD TEXEL, EN LA ESTACION ALAMEDA, ICTA, CHIMALTENANGO".

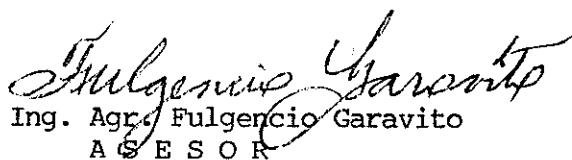
DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: OSCAR EFRAIN RODAS MEJIA


CARNET No: 8318076


HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Eddi Vanegas  
 Ing. Agr. Isaac Herrera  
 Ing. Agr. Luis F. Morán

Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las normas universitarias y reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

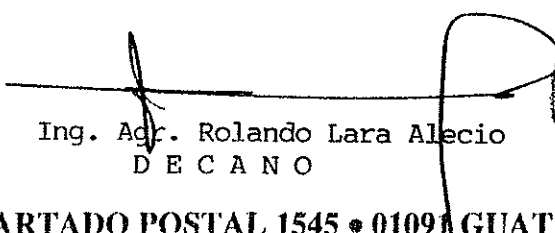
  
 Ing. M.Sc. Eddi Vanegas  
 ASESOR


  
 Ing. Agr. Fulgencio Garavito  
 ASESOR

  
 Ing. Agr. Fernando Rodríguez  
 DIRECTOR DEL IIA.



I M P R I M A S E

  
 Ing. Agr. Rolando Lara Alecio  
 DECANO



cc:Control Académico  
 Archivo  
 FR/prr.

APARTADO POSTAL 1545 • 01091 GUATEMALA, C. A.

TELEFONO: 769794 • FAX: (5022) 769770