

01
T(155)
C.3

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
GUATEMALA, CENTRO AMERICA

**"COMPARACION DE METODOS PARA PRONOSTICAR
EVAPOTRANSPIRACION EN GUATEMALA"**



INGENIERO AGRONOMO

Guatemala Noviembre 1974

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA
DEPARTAMENTO DE TESIS-REFERENCIA

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

DECANO:	Ing. Agr. Edgar Lionel Ibarra
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Salvador Castillo O.
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Ronaldo Prado R.
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Carlos Guillermo Aldana
VOCAL CUARTO	P.A. José Napoleón Medina
VOCAL QUINTO	P. A. Miguel Angel Carballo
SECRETARIO	Ing. Agr. Oswaldo Porres

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL
EXAMEN GENERAL PRIVADO**

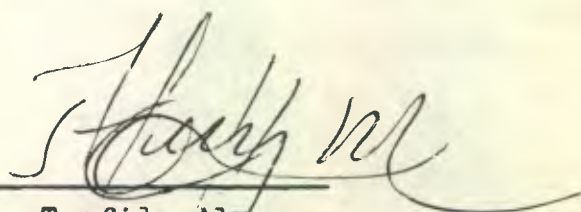
DECANO	Ing. Agr. Edgar Lionel Ibarra
EXAMINADOR	Ing. Agr. Jorge Pineda
EXAMINADOR	Ing. Agr. Guillermo Padilla Muñoz
EXAMINADOR	Ing. Agr. Carlos H. Aguirre
SECRETARIO	Ing. Agr. Oswaldo Porres

Guatemala 14 de Octubre 1974

Señor Decano de la
Facultad de Agronomía,
Ing Agr: Edgar Leonel Ibarra.
Guatemala

De acuerdo a lo dispuesto por esa decanatura, he
procedido a revisar el trabajo de tesis presentado por
el Br. Alberto Arturo Minera B. titulado "Comparación de
metodos para Pronosticar Evapotranspiración Potencial en
Guatemala", encontrandolo satisfactorio.

Con muestras de consideración me es grato suscribirme
como atento y deferente servidor.


Ing Agr. Teofilo Alvarez
ASESOR

ACTO QUE DEDICO

A MIS PADRES

EMILIO ARTURO MINERA M.
JULIA B. de MINERA.

A MI ESPOSA:

ANA LUCRECIA F. de MINERA

A MIS HERMANOS:

CARLOS FUENTES B.
EDNA FUENTES B.
MARIA ELVIRA M. de CASTILLO
MARITZA M. de ROSSELL
OLGIA M. de RODRIGUEZ.

A MIS TIOS EN GENERAL.

EN ESPECIAL:

FRANCISCO CASTRO F.
ELSA B. DE CASTRO

JUAN JOSE SERRA
HAYDEE B. de SERRA.

TESIS QUE DEDICO:

A la Facultad de Agronomía

A la División de Recursos Hidráulicos

AGRADECIMIENTO

Quiero dejar constancia de mi agradecimiento a las siguientes personas y entidades que en una u otra forma me prestaron su colaboración para la realización del presente trabajo.

A la División de Recursos Hidráulicos y su

Director: Ingeniero Oscar Espinoza.

Al sub-programa "A" de Recursos Hidráulicos.

Convenio M.A-B.I.D. por su colaboración a través
del Dr. José F. Alfaro.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con lo establecido por la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración mi trabajo de tesis titulado:

**“COMPARACION DE METODOS PARA PRONOSTICAR
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL EN GUATEMALA”**

Tema que me fuera asignado por la honorable junta directiva de la Facultad de Agronomía.

CONTENIDO

I	Introducción
II	Revisión de Literatura
2.1	Generalidades
2.2	Métodos para determinar Evapotranspiración Potencial
2.2.1	Penman
2.2.2	Turc
2.2.3	Coutagne
2.2.4	Thornthwaite
2.2.5	Blaney Criddle
2.2.6	Lowry - Johnson
2.2.7	Jensen - Haise
2.2.8	Bouchet
2.2.9	Grassi - Christiansen
2.2.10	Hargreaves
2.2.11	Christiansen
2.3	Uso del tanque de evaporación como índice
III	Materiales y Métodos
3.1	Tabulación de estaciones climatológicas

	3.2	Selección de estaciones climatológicas
	3.2.1	Tabulación de estaciones seleccionadas
	3.3	Determinación de métodos de evapotranspiración potencial
IV		Resultados y Discusión
	4.1	Aplicación de métodos
	4.2	Representación gráfica
	4.3	Discusión de gráficas
	4.4	Representación analítica de los resultados
V		Conclusiones
VI		Recomendaciones
VII		Apéndice
VIII		Bibliografía

I. INTRODUCCION

El desarrollo de Guatemala depende básicamente de sus Recursos Naturales. En el presente trabajo se trata sólo un aspecto del factor clima, la evapotranspiración potencial, muy importante para el uso con el desarrollo de una agricultura con riego.

En forma general la evapotranspiración potencial nos define: necesidad de agua que demanda un cultivo para su crecimiento y desarrollo con el fin de obtener una óptima cosecha. Este nos permite establecer bases para efectuar programaciones agrícolas, elaborando previamente balances hídricos para conocer el déficit y exceso de lluvia que tenemos en determinada zona.

La determinación de evapotranspiración potencial puede hacerse en forma directa o indirecta, en forma indirecta, se requiere el uso de fórmulas empíricas, algunas de ellas son un poco complicadas ya que se basan en datos climatológicos y fenómenos físicos difíciles de obtener. Otros son más simples ya que requieren únicamente datos climatológicos fáciles de obtener.

El clima de Guatemala es variado, existen diferencias climáticas y ecológicas, entre una zona y otra, por esto es frecuente la aplicación de diferentes métodos de evapotranspiración, pero sin que exista una base que nos indique cual o cuales son los métodos más apropiados, tomando en cuenta esto se decidió a realizar el presente trabajo de tesis, cuyo fin

primordial es encontrar uno o varios métodos para el cálculo de evapotranspiración potencial, los métodos usados son: Thornthwaite, Blany Criddle, Hargreaves y Christiansen, estas fórmulas fueron aplicadas después de hacer una minuciosa selección de estaciones climatológicas tomando en cuenta que el tipo de estaciones seleccionadas, tuvieran en cuenta que el tipo de estaciones seleccionadas, tuvieran datos de evaporación directa, ya que este dato nos va a servir como medida de comparación para el cálculo de evapotranspiración.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Generalidades:

2.1.1 Definiciones

De manera general hay un intercambio de flujos de vapor de agua entre la superficie de la tierra y la atmósfera, pero el flujo neto de vapor de agua que va desde la superficie de la tierra hacia la atmósfera, se ha denominado: EVAPORACION. Aquí se entiende que la superficie de la tierra está constituida tanto por la superficie de aguas libres, así como la presencia de nieves glaciales, vegetación, etc., es decir que la superficie de la tierra es una superficie evaporante. A la evaporación del agua líquida proveniente de la absorción por las raíces y que ha pasado a través de los tejidos de la planta se llama: TRANSPIRACION (3).

La transpiración es un proceso físico de evaporación, así como también un proceso fisiológico, y la intensidad con que se produce depende mucho de: la fisiología de la planta. La superficie de las hojas constituye la mayor parte del área evaporante, los tallos, frutos y flores, también son superficie evaporante pero en mucho menor escala.

A la evaporación del agua líquida de la superficie del suelo, sumada a la transpiración que ocurre simultáneamente en un área de terreno con vegetación, se le conoce con el nombre de EVAPOTRANSPIRACION. (3)

La evapotranspiración, para que suceda requiere: energía que cambie el estado físico del agua, de líquido a vapor, así como disponibilidad de agua en el suelo, y un mecanismo de transmisión de agua desde el suelo a la atmósfera. (10)

Durante el período de desarrollo de un cultivo, hay un movimiento continuo de agua que pasa desde el suelo al interior de las raíces, sube por los tallos y sale por las hojas de las plantas. La velocidad de movimiento del agua, varía ampliamente de 0.3 al 1.8 m/h. (11) si la velocidad de evaporación en las hojas excede a la absorción en las raíces, se pone en marcha el proceso de marchitamiento y el desarrollo del vegetal, se ve dificultado. Por otro lado si las condiciones son tales que estimulan la excesiva transpiración, el agua utilizada no se emplea de un modo eficaz.

Cuando el agua se transforma en vapor y vuelve a la atmósfera procedente de las plantas, son necesarias 540 calorías para transformar un cm^3 de líquido en vapor. (11) La fuente de calor, es el sol, la planta y el aire. La mayor parte de energía precisa para la transpiración, incluso en períodos cortos, procede directamente de la radiación del sol.

Un incremento dado de calor hará que pase al estado de vapor un volumen determinado de agua, si este calor es disponible se utilizará para evaporar únicamente el agua de la superficie del terreno, no se emplea para vaporizar aquella que existe en las cavidades de las hojas.

Evapotranspiración Potencial:

En el caso de una vegetación de color verde de corta altura, en activo crecimiento que cubra íntegramente el terreno y sin restricciones de humedad edáfica, la evaporación o mejor la evapotranspiración potencial, depende fundamentalmente de las condiciones climáticas existentes, dadas por las características físicas de la atmósfera vecina al suelo (6)

Evapotranspiración Actual:

Es el agua usada por los cultivos o vegetación, depende principalmente del clima, tasa y estado de crecimiento de los cultivos y de la disponibilidad de humedad en el suelo. (8)

Las diferentes características de la cobertura vegetal natural o cultivada, de las condiciones edáficas y de los niveles de humedad en el suelo, tanto en las tres dimensiones del espacio como en las dimensiones del tiempo, modifican los valores de evapotranspiración potencial actuando como valores reductores de la misma en donde:

$$Et = ETP \quad K \dots\dots\dots (6)$$

Donde: E_t = Evapotranspiración actual

K = Coeficiente que tiene en cuenta el efecto de la relación agua-suelo-planta.

De esta forma podemos darnos cuenta que ETP incluye aspectos físicos que dependen del clima, mientras que K , considera el efecto físico-fisiológico, que se deriva de la planta y el suelo.

Los factores que afectan a K , pueden agruparse en sub-coeficientes, según GRASSI (1966):

$$K = K_c \cdot K_s \cdot K_n \dots\dots\dots (6)$$

Donde: K_c = Es el sub-coeficiente del cultivo.

K_s = Es el sub-coeficiente del suelo.

K_n = Es el sub-coeficiente del nivel de humedad.

2.2 Métodos para determinar evapotranspiración potencial.

1.2.1 PENMAN (12) a. $H = R_a (1-r) (0.18 + 0.55 n/N) -$

$$T_a^4 (0.56 - 0.092 \sqrt{e_d}) (0.10 +$$

$$0.90 n/N)$$

b. $E = 0.35 (e_a - e_d) (1 + 0.0098 U)$

$$c. \quad E_t = \frac{(H_t + 0.27 E)}{t + 0.27}$$

$$t \quad 0.27$$

En la que: H = Balance de calor diario en la superficie, en mm de agua por día.

R_a = Media mensual de radiación extra terrestre, en mm de agua por día.

r = Coeficiente de refracción de la superficie.

n = Duración real de la insolación.

N = Duración máxima posible de la insolación.

= Constante de BOLTZMAN = 2.01×10^{-9} mm por día.

T_a^4 = Milímetros de agua por día, tabla dada por CRIDDLE para uso de la fórmula

e_d = Presión de saturación de vapor en el punto medio de rocío (es decir presión real de vapor en la atmósfera en mm de mercurio).

E = Evaporación del agua en mm por día.

e_a = Presión de saturación de vapor a la temperatura media del aire en mm de mercurio.

U = Velocidad del viento a 2 metros por encima del suelo en millas/hora.

E_t Evapotranspiración del agua en mm por día.

T La relación: $(d) e_a / (d) t_a$ en la que e_a es la tensión de saturación de vapor a la temperatura del aire.

2.2.2 TURC (7):

$$E = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{p^2}{L^2}}}$$

en donde: Evapotranspiración potencial en mm

P = Presipitación media en mm.

$L = 300 \times 257 \times 0.05 T^3$, siendo T la temperatura media o

$$T = \frac{P_i t_i}{P_i}$$

t_i = temperatura media mensual en grados centígrados

P_i = presipitación media mensual en mm.

2.2.3 COUTAGNE (7) $E = P - \frac{P^2}{T}$

$$= \frac{1}{0.8 \cdot 0.14 \cdot T} - \frac{1}{8} \leq \frac{P}{2}$$

Donde: E = Evapotranspiración potencial en mm.

P = Presipitación media en mm.

T = Temperatura media del periodo.

2.2.4 THORNTHWAITE (7): $e = 1.6 \left(\frac{10 t}{I} \right)^a$

Donde: I = Suma de doce valores mensuales del índice del calor i .

i = índice de calor mensual

$$i = \left(\frac{T}{I} \right)^{1.514}$$

t = Temperatura media mensual.

$$a = \frac{673 (I \times 10^{-3}) - 77.1 (I \times 10^{-3})}{1793 \times 10^{-5} \times 0.49239}$$

e = Evapotranspiración sin corregir. Este se corrige según el índice de iluminación mensual en función de la latitud.

2.2.5. BLANEY CRIDDLE (7) Este experimento fue realizado en zonas áreas y semiáridas.

$$ET = K \cdot F$$

F = Fuerza evaporante en función de temperatura y duración de iluminación.

K = Coeficiente poco variable.

$$ET = \frac{KP}{100} (45.72 (t) + 812.8)$$

ET = Evapotranspiración potencial en mm del mes considerado.

t = Temperatura media en grados centígrados.

P = Porcentaje de iluminación mensual con respecto al año.

K = Factor característico del cultivo.

2.2.6 LOWRY — JOHNSON (11): Este método es usado con éxito en la parte árida del oeste en los Estados Unidos.

En esta fórmula el calor efectivo como la integral de las temperaturas diurnas máximas por encima de 0° durante el período de desarrollo.

U = $0.244 - 0.085^{\circ}\text{C}$ función aproximada

Donde: U = Evapotranspiración en mm.

C = Calor efectivo en grados/día en miles.

2.2.7 JENSEN Y HAISE (6): Esta fórmula se desarrolló para estimaciones de ET en función de registros de radiación solar. ET/R_s

ET = $(ET/R_s) m^{R_s}$

Donde: ET = Evapotranspiración.

m = Valor promedio de la relación correspondiente a un período específico adimensional.

R_s = Radiación solar promedio del período correspondiente, expresado en altura equivalente del agua evaporada.

Fórmula de ETP: en función de la radiación y la temperatura media.

$$ETP = (0.073 + 0.052 t_c) R_s$$

t_c = Temperatura media.

2.2.8 BOUCHET (2) Encuentra la ETP en función de la evaporación en mm del disco de piche de las temperaturas extremas y el punto de rocío medio en abrigo meteorológico.

$$ETP = E_p (1 + F.O) \text{ m/día}$$

Donde: ETP = Evapotranspiración potencial.

EP = Evaporación disco piche.

F.O = Valores de 0.1 para el mes más seco. 0.5 para el mes más húmedo, el valor exacto de F.O puede obtenerse dividiendo la evapotranspiración potencial por el valor del binomio:

$$(1 + F.O) \text{ mm/día.}$$

$$O = \frac{3 T_h + T_x}{4}$$

T_n = Temperatura mínima.

T_x = Temperatura máxima.

2.2.9 GRASSI - CHRISTIANSEN (6): Basándose en la fórmula de Jensen y Haise, incluyendo la radiación al tope de la atmósfera, en lugar de la radiación solar, introduciendo un mayor número de factores metereológicos, presentan la siguiente fórmula.

$$ET = 5.46 Cr Cclc Ct Ctd F \text{ mm/día}$$

Puede escribirse:

$$ET = ETP Cvc. F.$$

Donde: $Cr = 0.1824 + 0.0573 R$

$$Cclc = 1.15 + 1.05 Clc$$

$$Ct = 0.62081 + 0.02633t - 0.0003682t^2$$

$$Ctd = 0.9361 + 0.007670td$$

$$Cvc = 0.0942 + 0.02774Vc - 0.0002126Bc^2$$

Donde: R = Radiación teórica al tope de la atmósfera en mm/d-ia.

Clc = Nubocidad expresada en décimos.

t = Temperatura en $^{\circ}C$

Vc = Porcentaje de duración del ciclo vegetativo.

F = Factor del cultivo.

2.2.10 HARGREAVES (9): $PET = MF \times T \times CH$

Donde: PET = Evapotranspiración potencial

T = Temperatura media en grados Fahrenheit.

CH = Coeficiente de Humedad.

CH = $0.166 (100 - H)^{1/2}$

H = Humedad relativa media.

MF = Factor de evapotranspiración.

2.2.11 CHRISTIANSEN (1): $ETP = K R C_t C_h C_s C_w C_e$

Donde: ETP = Evapotranspiración.

K = Cierta constante

R = Radiación extra terrestre expresada en unidades de ETP.

C_t = Coeficiente de temperatura.

C_h = Coeficiente de humedad relativa.

C_s = Coeficiente de luz solar sin dimensiones.

C_w = Coeficiente adimensional de viento.

C_e = Coeficiente adimensional de elevación.

2.3 Uso del tanque de evaporación como índice

Las mediciones del tanque de evaporación clase A, han sido

empleadas ampliamente, como un índice de la demanda evaporativa y del potencial de evapotranspiración. El Departamento de Recursos de Agua del estado de California (1967), encontró que los tanques clase "A" ubicados en pastisales grandes bien manejados e irrigados, eran mejores indicadores de la demanda de evaporación que aquellos ubicados en sitios rodeados de ambientes no controlados. Los datos presentados por Pruitt y Laurence (1968) de 3 años en Davis, California, indicaban que la evaporación de un tanque clase "A" ubicado en suelo desnudo tenía como promedio 1.23 veces la evaporación de otro tanque ubicado en un campo de pastos de riego. (11)

Los datos de tanque son fáciles de obtener, no así los datos de evapotranspiración en lisímetros. De los datos de evaporación, se puede obtener un valor significativo; siempre que se efectúen evaluaciones adecuadas de las condiciones de exposición y medio ambiente climático.

Por lo expuesto en los párrafos anteriores podemos darnos cuenta, que el uso de tanques de evaporación tipo "A" han sido tomados como indicadores de evapotranspiración potencial. Por lo tanto en este trabajo de tesis tomamos estaciones climatológicas que posean tanques tipo "A" de evaporación y cuyos datos los correlacionamos con los obtenidos en las fórmulas seleccionadas.

III. MATERIALES Y METODOS

Para poder decidir sobre la factibilidad de usar diversos métodos en el cálculo de evapotranspiración potencial se procedió hacer una tabulación de estaciones meteorológicas en todo el país.

3.1 Tabulación de estaciones

Para la presente tabulación se recolectaron datos de tres tipos de estaciones clasificadas en 1er. 2o. 3er. orden ó estaciones tipo A, B, y C, las cuales se rigen a las normas de la organización meteorológica mundial.

De las estaciones tipo "A", se seleccionaron las que poseían el mayor número de años de registro ya que estas fueron implantadas a partir del año 1969 en adelante, exceptuando la central del observatorio Nacional, actualmente se cuenta con diez estaciones de éste tipo, de las cuales fueron seleccionadas siete.

En las estaciones tipo "B", se encuentran en Guatemala un total de cincuenta y dos, para esta tabulación se seleccionaron diez y siete, basándose en el tiempo de registro, algunas de estas estaciones han sido clausuradas, otras han sido implantadas recientemente.

En las estaciones tipo "C", se seleccionaron veintinueve estaciones únicamente, las cuales cuentan con los parametros climaticos de precipitación y temperatura, éstas estaciones fueron seleccionadas en base al tiempo de registro y su colocación geográfica.

A continuación damos una información sobre los registros que llevan las estaciones tipo A, B y C. Que suelen llamarse de Primer, Segundo y Tercer orden.

Descripción de elementos a observar e instrumental de las estaciones tipo "A" ó de primer orden.

ELEMENTOS A OBSERVAR

INSTRUMENTAL

Temperatura:

Termómetro de máxima
Termómetro de mínima
Psicrometro veintilado
Termómetro solar,
máxima absoluta;
Termómetro solar
máxima aparente.
Termómetro de suelo
Termómetro de sub-suelo
(2-3 profundidades)
Termógrafo.

Humedad:

Higrómetro
Higrógrafo
Higrógrametro de sonda
para sub-suelo.

Presión Atmosférica:

Barómetro de mercurio
Barógrafo
Microbarógrafo.

Presipitación:

Plubiometro de 200 Cm²
Plubiografo
Rociografo
Plubiometro de 200 Cm²
auxiliar de evaporimetro
tipo "A".

Evaporización:

Evaporimetro tipo "A"
Veleta
Anemografo.

Insolación:

Heliopirografo.

ELEMENTOS A OBSERVAR**INSTRUMENTAL**

Radiación:

Solarigrafo
Priheliografo.

Nebulosidad:

Netoscopio Senital
Netoscopio Esférico.

En estas regiones de primer orden debe llevarse además un registro de todos los fenómenos atmosféricos que no son registrados por instrumentos, como descargas eléctricas, observación de nubes. En el mapa número uno se encuentran estas estaciones marcadas con color rojo.

Estaciones tipo "B" o de segundo orden

ELEMENTOS A OBSERVAR**INSTRUMENTAL**

Temperatura:

Termómetro de máxima
Termómetro de minima
Psicrometro con
evaluador
Termógrafo

Humedad:

Higrometro
Higrógrafo.

Precipitación:

Plubiometro de 200 Cm²
Plubiografo.

Evaporación

Evaporimetro Piche
Evaporografo
Evaporímetro tipo "A"
U.S.W.B.

Viento:

Anemografo Totalizador

Insolación:

Heliografo.

Radiación

Pireheliografo.

El observador llevará un control de todos aquellos fenómenos atmosféricos que no se registran en los instrumentos, éste tipo de estaciones se encuentran de color azul en el mapa número uno.

Estaciones tipo "C" o de tercer orden:

ELEMENTOS A OBSERVAR

INSTRUMENTAL

Temperatura:

Temperatura de máxima y mínimas "SIX".

Humedad:

Psicrometro con evaluador.

Precipitación:

Plubiometro de 200 Cm².

Este tipo de estaciones se encuentran de color verde en el mapa número uno.

Los elementos a observar y el instrumental expuesto anteriormente para los diferentes tipos de estaciones, no son llevados con fieldad, presentan serias variantes ya sea por carecer de instrumental o descompostura de dichos instrumentos o por observaciones inadecuadas.

De estos tres tipos de estaciones, se seleccionaron los siguientes parametros.

ESTACION

PARAMETRO

1er. Orden:

Precipitación media en mm.
Temperatura media en °C
Humedad relativa en %
Evaporación en mm.
Insolación en total de
Horas mensuales, ó
promedio de horas luz al mes.
Viento en Km/hora.

ESTACION

PARAMETROS

2o. Orden:

Precipitación media en mm.
 Temperatura media en °C.
 Humedad relativa en %
 Evaporación en mm.
 Insolación en total horas
 mensuales, ó promedio de
 horas luz al mes.
 Viento en K/hora.

3er. Orden:

Precipitación en mm.
 Temperatura en °C.

Las estaciones escogidas se encuentran en la tabla No.1.

De los diferentes tipos de estaciones fueron tabuladas un total de 53,
 en la siguiente forma:

Estaciones tipo "A"	7
Estaciones tipo "B"	17
Estaciones tipo "C"	<u>29</u>
TOTAL:	53

Todas las estaciones tabuladas poseían los parámetros climáticos que deseábamos para cada una de ellas, para dar mayor información de estaciones, se colocaron los parametros que registra cada estación en el mapa No.2.

TABLA No.1

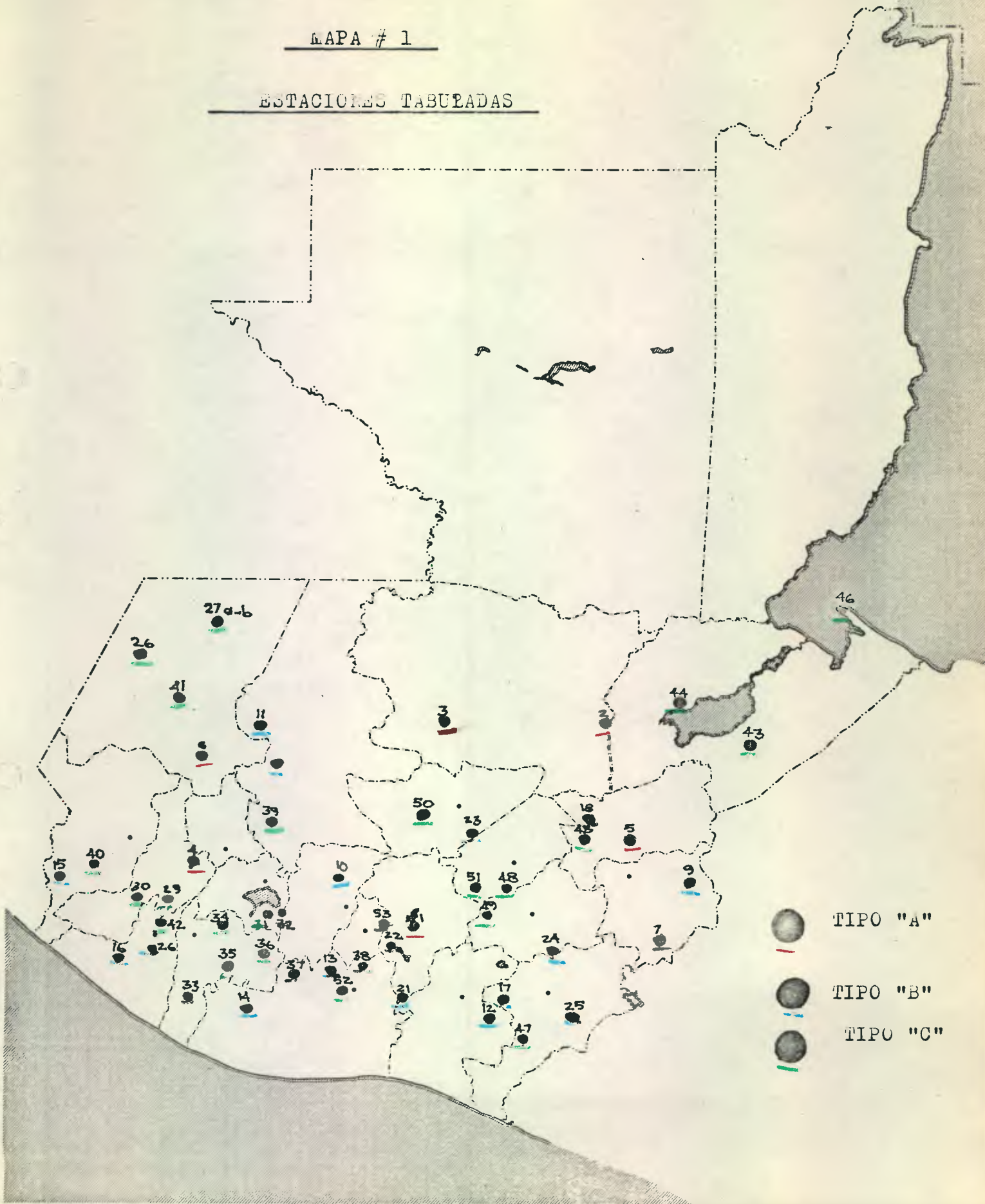
ESTACIONES SELECCIONADAS

1.	Observatorio Nacional	28.	Jacaltenango.
2.	Panzos.	29.	El Palmar
3.	Cobán.	30.	Colomba
4.	Labor Ovalle.	31.	Santo Tomás Perdido.
5.	La fragua.	32.	Santa Teresa.
6.	Huehuetenango.	33.	Monterrey.
7.	Esquipulas.	34.	Bella Flor.
8.	Camotán.	35.	San Antonio Siguacán.
9.	Camotán.	36.	Cocales.
10.	San Martín Jilotepeque.	37.	Camatulul.
11.	Nevaj.	38.	María Santísima.
12.	Los esclavos.	39.	Santa Cruz del Quiché.
13.	Sabana Grande.	40.	El Tumbador.
14.	Tiquisate.	41.	Todos Santos.
15.	Catarina.	42.	Las Delicias.
16.	El Asintal.	43.	Creek.
17.	Quezada.	44.	Las Dantas.
18.	Pasabién.	45.	Teculután.
19.	San Pedro Ayampuc.	46.	Amatique.
20.	Brillantes.	47.	Jalpatagua.
21.	Potrero Largo.	48.	La Montañita.
22.	J. Mil Flores.	49.	Agro Santiago.
23.	San Jerónimo	50.	San Rafael Chilasco.
24.	La Ceibita.	51.	Sanarate.
25.	Asunción Mita	52.	San Andrez Osuna.
26.	Cuilco	53.	Santa Lucía Milpas Altas
27.a	Iglesia Santa Cruz Barillas.		
27b.	Santa Cruz Barillas.		

MAPA DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA

MAPA # 1

ESTACIONES TABULADAS



MAPA DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA

■ PRECIPITACION
TEMPERATURA
HUMEDAD RELATIVA
EVAPORACION
INSOLACION
VIENTO

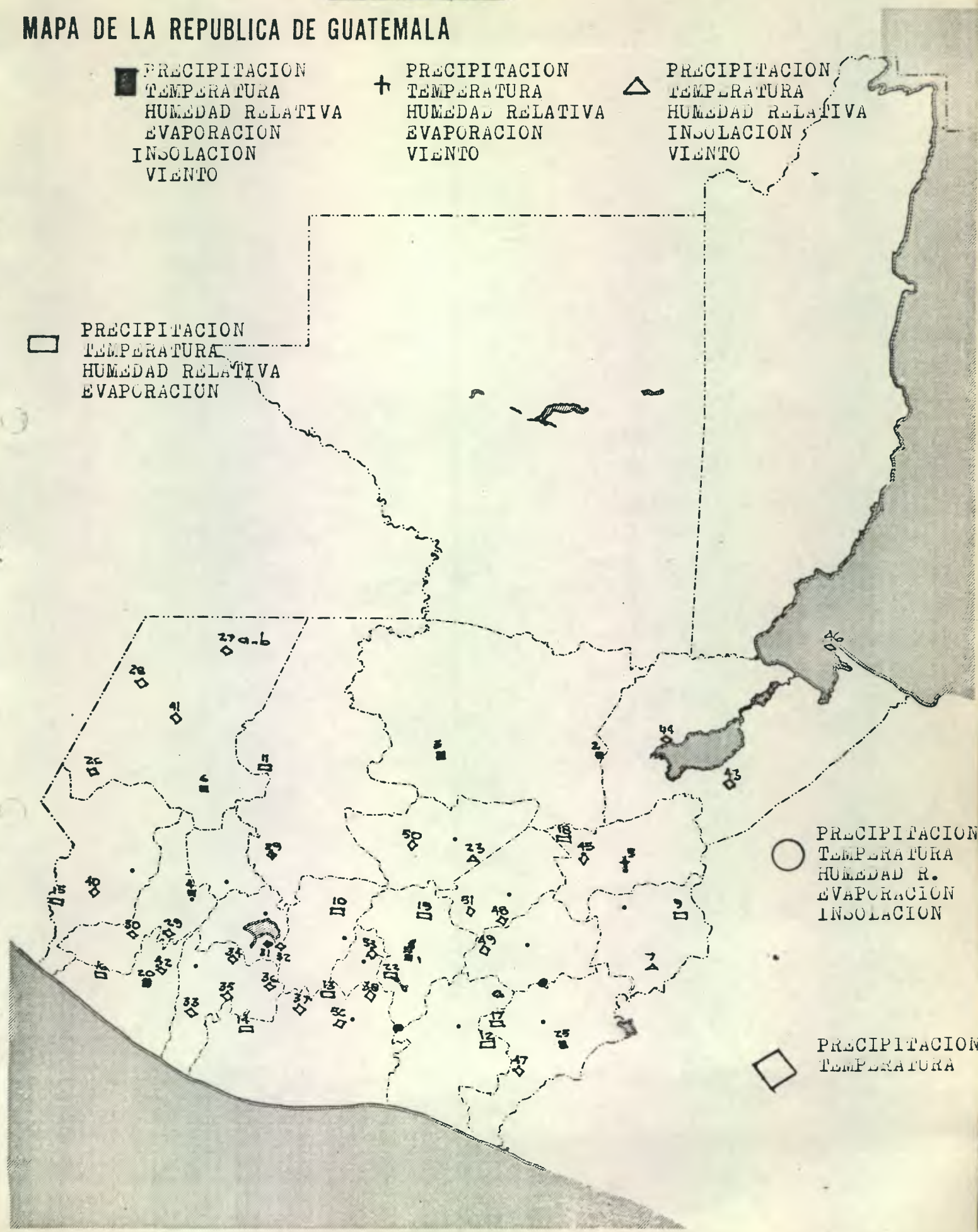
+ PRECIPITACION
TEMPERATURA
HUMEDAD RELATIVA
EVAPORACION
VIENTO

△ PRECIPITACION
TEMPERATURA
HUMEDAD RELATIVA
INSOLACION
VIENTO

□ PRECIPITACION
TEMPERATURA
HUMEDAD RELATIVA
EVAPORACION

○ PRECIPITACION
TEMPERATURA
HUMEDAD R.
EVAPORACION
INSOLACION

◻ PRECIPITACION
TEMPERATURA



3.2 Selección de estaciones climatológicas:

En base a la tabulación de estaciones de diferente tipo u orden, se efectuó una selección de las estaciones tomando en cuenta las siguientes condiciones:

1. Que tuvieran evaporimetro de tanque tipo "A".
2. Que tuvieran el mayor número de parámetros climáticos, principalmente: Temperatura media, precipitación, humedad relativa, insolación, evaporación y viento.
3. En base al período de registro que tuvieran.

En el punto tres no se pudo ser muy estricto ya que en Guatemala el tipo de estaciones que pretendemos seleccionar han sido en su mayoría implantadas recientemente.

Las estaciones seleccionadas se encuentran en la tabla No.2, y su ubicación en el mapa No.3.

3.2.1 Tabulación de estaciones seleccionadas:

El total de estaciones seleccionadas fueron doce, cuyos parámetros climáticos ya tabulados se encuentran en los cuadros enumerados de uno al doce.

TABLA No.2

ESTACIONES

1. OBSERVATORIO NACIONAL.
2. COBAN
3. LABOR OVALLE.
4. LA FRAGUA.
5. HUEHUETENANGO.
6. ESQUIPULAS.
7. POTRERO LARGO
8. JARDIN MIL FLORES.
9. SAN JERONIMO.
10. LOS BRILLANTES.
11. LA CEIBITA.
12. ASUNCION MITA.

MAPA DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA

MA. A # 3

LOCALIZACION DE ESTACIONES
CLIMATOLÓGICAS



ESTACION Nº 6.1.0

MUNICIPIO: GUATEMALA

NOMBRE: OBSERVATORIO NACIONAL

DEPARTAMENTO: GUATEMALA

LAT 14°35'09 LONG 90°32'00 ELEV 1502.32 mts.

TIEMPO DE REGISTRO: 14 años

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTALES	OBSERVACIONES
D. de Ll.	1	1	1	03	10	20	18	20	22	18	6	3		
P.	1.2	1.0	4.9	13.6	118.5	229.1	218.4	228.1	272.5	120.9	25.1	2.5		M.M.
T. M.	16.8	17.1	19.6	19.8	19.9	19.2	18.9	18.9	18.7	18.4	17.5	16.9		°C
H. R. M.	72	71	70	71	74	82	79	80	83	81	78	74		%
E. ✓	151.9	152.8	177.1	164.8	151.6	94.6	119.2	121.5	85.5	104.4	127.5	151.2	1602	En M. M.
.	260.6	228.2	255.1	227.6	198.2	141.5	178.1	170.0	136.1	169.9	212.1	248.7		Horas
V.	19.0	18.3	17.7	16.2	14.3	13.0	14.5	13.2	12.2	13.9	17.3	18.7		Km/h alt 21 pie

D. de Ll.= Días de lluvia

P.= Precipitación

T.M.= Temperatura media

H.R.M.= Humedad relativa media

E.= Evaporación

I.= Insolación

V.= Viento

CUADRO

Nº 1

-92-

ESTACION N° 1.1.8

NOMBRE: COBAN P.H.C.

MUNICIPIO: COBAN

DEPARTAMENTO: ALTA VERAPAZ

LAT 15°28' LONG 90°22' ELEV 1316.91 mts.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTALES	OBSERVACIONES
D. de Ll.	15	18	06	4	14	23	24	24	20	24	18	15		
P.	77.7	135.4	64.9	81.6	116.9	226.8	223.1	270.3	180.1	203.2	241.2	390.9		M. M.
T. M.	15.2	15.3	17.4	18.3	19.3	19.0	18.3	18.5	18.7	18.4	16.3	15.4		°C
H.R.M.	90	88	83	83	84	87	88	88	91	92	92	91	89	%
E.	2.6	2.7	4.3	4.1	3.8	3.1	3.2	2.5	2.8	2.6	2.1	2.2		tanque
I.	170.1	158.9	241.3	203.2	179.5	139.1	159.7	102.5	105.9	131.8	142.7	143.5		en totales
V.	4.2	4.6	7.5	7.8	6.5	5.7	4.3	5.2	3.8	3.4	3.0	3.9		

D.de Ll. = Días de lluvia

P. = Precipitación

T. M. = Temperatura media

H. R. M. = Humedad relativa media

E. = Evaporación

I. = Insolación

V. = Viento

Cuadro N° 2

ESTACION N° 13.14.3

NOMBRE: LABOR OVALLE PHC. "A"

MUNICIPIO: OLINTEPEQUE

DEPARTAMENTO: QUEZALTENANGO

LAT 14°52' LONG 91°30' ELEV 2,400 mts.

TIEMPO DE REGISTRO: 2 años

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTALES	OBSERVACIONES
D. de Ll.	01	01	01	04	13	19	17	19	19	19	07	01		
P.	1.2	0.8	8.7	9.7	136.0	193.9	89.5	159.3	93.3	113.2	23.8	0.7		M. M.
T. M.	10.5	11.0	12.7	13.3	14.1	13.7	13.8	13.4	13.3	13.3	12.3	10.9		°C
H. R. M.	75	76	71	72	73	80	76	78	82	83	80	75		%
E.	4.2	4.4	5.2	4.9	2.6	3.1	3.6	2.8	2.4	2.3	3.1	4.3		tanque
I.	8.4	8.1	8.5	8.0	5.9	5.5	6.1	5.6	5.1	5.7	5.6	7.8		promedio
V.	8.2	8.6	8.8	8.3	6.7	6.4	7.3	6.2	3.7	3.1	4.1	6.9		Km/h alt 21 pies

D. de Ll= Días de Lluvia

P. = Precipitación

T. M. = Temperatura media

H. R. M. = Humedad relativa media

E. = Evaporación

I. = Insolación

V. = Viento

CUADRO N° 3

ESTACION N° 23.3.2.

NOMBRE: LA FRAGUA PHC.

MUNICIPIO: ESTANZUELA

DEPARTAMENTO: ZACAPA

LAT 14°57' LONG 89°33' ELEV 190 mts.

TIEMPO DE REGISTRO: 3 años

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTALES	OBSERVACIONES
D. de Ll.	01	02	00	01	05	08	12	15	12	07	04	01		
P.	1.4	4.8	0.0	0.8	131.9	124.0	116.5	107.3	91.7	49.9	18.3	2.2		M. M.
T. M.	25.0	25.1	28.9	29.9	29.1	27.23	26.7	26.6	26.6	26.4	26.0	24.9	26.8	°C
H. R. M.	73	71	67	67	71	79	79	77	79	78	77	74	77	%
E.	6.5	8.6	9.7	10.6	8.0	5.9	5.9	5.8	5.1	6.6	6.3	7.7		tanque
V.	10.6	12.6	11.3	12.3	7.5	7.25	9.0	9.2	7.1	8.3	5.5	18.5		Km/h alt 21 pie

D. de Ll. = Días de lluvia

P. = Precipitación

T. M. = Temperatura media

H. R. M. = Humedad relativa media

E. = Evaporación

I. = Insolación

V. = Viento

COBDEO N° 4

-29-

ESTACION No. 7.1.3

NOMBRE: HUEHUETENANGO PHC.

Municipio: HUEHUETENANGO

DEPARTAMENTO: HUEHUETENANGO

LAT 15°19' LONG 91°28' ELEV 1,901 mts.

TIEMPO DE REGISTRO: 4 años

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTALES	OBSERVACIONES
D. de Ll.	01	03	03	05	13	19	16	19	19	19	8	3		
P.	8.7	6.1	43.6	21.7	89.6	113.2	120.5	169.2	122.8	125.1	61.7	1.8		M. M.
T. M.	14.5	15.2	17.7	17.8	18.4	17.6	17.4	17.1	17.2	17.0	15.4	13.9		°C
H. R. M.	68	66	64	63	70	79	78	80	80	82	83	74		%
E.	5.7	6.3	8.1	7.6	6.3	4.2	4.8	3.9	3.3	3.1	3.1	4.8		tanque
I.	255.4	244.7	282.6	252.5	208.5	183.8	209.1	198.7	168.1	193.9	196.3	250.0		horas mensuales
V.	8.5	8.4	8.3	8.2	6.7	8.2	9.6	8.0	6.8	5.4	5.2	7.8		Km/h alt. 21 pies

D. de Ll. = Días de lluvia

P. = Precipitación

T. M. = Temperatura media

H. R. M. = Humedad relativa media

E. = Evaporación

I. = Insolación

V. = Viento

CUADERNO 105

105

ESTACION N° 4.4.2.

NOMBRE: ESQUIPULAS P.H.C.

MUNICIPIO: ESQUIPULAS

DEPARTAMENTO: CHIQUIMULA

LAT 14°34' LONG 89°27' ELEV 950 mts.

TIEMPO DE REGISTRO: 3 años.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	OBSERVACIONES
D. de Ll.	03	07	01	06	13	19	20	17	17	15	12	08	
P.	3.4	4.3	3.6	16.2	165.9	333.6	270.3	274.8	215.5	145.7	64.5	7.1	M.M
T. M.	19.4	18.9	22.1	23.1	22.8	21.6	21.4	21.1	21.5	21.9	20.2	19.2	°C
H.R.M.	85	83	75	78	84	82	82	81	92	89	89	88	%
E.													
	193.2	190.5	289.3	204.1	204.1	190.65	197.4	204.7	195.8	126.2	119.2	143.6	hrs. mensuales
	3.7	4.5	6.0	5.8	4.5	2.7	3.5	3.3	3.0	2.8	2.5	2.8	Km/hora.

D. de Ll.= Días de lluvia

I. = Insolación

P. = Precipitación

V. = Viento

T. M. = Temperatura media

H.R.M.= Humedad relativa media

E. Evaporación

CUADRO N° 6

ESTACION No. 6.16.6

NOMBRE: POTRERO LARGO

MUNICIPIO: VILLA CANALES

DEPARTAMENTO: GUATEMALA

LAT 14°21'30" LONG 90°31'50" ELEV 1,120 mts.

TIEMPO DE REGISTRO: 7 años

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTALES	OBSERVACIONES
D. de Ll.	00	01	01	03	10	18	17	17	20	15	05	01		
P.	00.0	2.9	7.8	36.8	114.6	275.6	212.2	206.7	338.5	227.4	45.2	8.7		M. M.
T. M.	18.6	19.7	21.3	22.5	21.4	21.5	20.5	20.5	20.4	20.4	20.7	20.6		°C
H. R. M.	72	67	69	71	79	84	81	85	87	85	75	69		%
E.	4.1	4.5	4.2	3.1	2.4	1.3	1.7	1.3	1.2	1.3	22.6	3.1		M. M. tanque
I.	252.8	212.2	236.5	217.4	135.3	142.6	161.0	147.0	117.5	146.8	178.7	214.8		totales pro- medio de hora
V.														

D. de Ll. = Días de lluvia

P. = Precipitación

T. M. = Temperatura media

H. R. M. = Humedad relativa media

E. = Evaporación

I. = Insolación

V. = Viento

CUADRO No. 7

1
6
2
1

ESTACION No. 6.2.3

NOMBRE: JARDINES MIL FLORES

MUNICIPIO: AMATITLAN

DEPARTAMENTO: GUATEMALA

LAT 14°27'25'' LONG 90°37'43'' ELEV 1,189 mts.

TIEMPO DE REGISTRO: 8 años

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTALES	OBSERVACIONES
D. de Ll.	01	01	01	02	11	21	16	19	19	14	5	1		
P.	1.3	4.3	1.0	16.4	97.0	207.2	128.8	199.7	205.5	84.2	13.0	4.6		M. M.
T. M.	19.4	19.5	19.9	21.7	21.8	20.9	21.7	20.9	20.6	20.4	19.7	19.4		°C
H. R. M.	73	71	74	75	81	83	79	80	85	85	76	71		%
E.	3.9	3.9	4.0	3.9	2.6	1.9	3.0	2.6	2.0	2.0	3.0	3.5		M. M. tanque

D. de Ll. = Días de lluvia

P. = Precipitación

T. M. = Temperatura media

H. R. M. = Humedad relativa media

E. = Evaporación

I. = Insolación

V. = Viento

CUBRO X 8

33

ESTACION No. 2.6.4

NOMBRE: SAN JERONIMO

MUNICIPIO: SAN JERONIMO

DEPARTAMENTO: BAJA VERAPAZ

LAT 15°04' LONG 90°14' ELEV 1,020 mts.

TIEMPO DE REGISTRO: 13 años

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTALES	OBSERVACIONES
D. de Ll.	02	02	02	03	09	17	17	17	19	14	07	03		
P.	4.2	4.3	5.8	19.6	61.3	138.3	147.0	156.6	174.0	106.5	27.3	9.5		M.M.
T. M.	18.8	19.3	21.1	22.5	22.8	22.4	21.3	21.2	21.3	21.4	19.2	18.9		°C
H. R. M.	68	66	64	66	66	77	76	77	81	78	73	68		%
E.	2.8	3.5	4.6	4.0	3.2	2.1	1.9	1.8	1.5	1.7	1.9	2.3		M.M. tanque
I.	224.2	201.8	243.5	218.6	212.6	178.6	167.1	186.8	156.6	193.5	175.8	187.1		mensual hrs. luz
V.	5.8	6.7	7.3	7.4	6.4	4.8	4.6	3.8	3.9	3.5	4.3	4.9		Km/h alt. 21 pie

D. de Ll. = Días de lluvia

P. = Precipitación

T. M. = Temperatura media

H. R. M. = Humedad relativa media

E. = Evaporación

I. = Insolación

V. = Viento

CUADRO 249

1
C
E
1

ESTACION No. 15.9.1

NOMBRE: LOS BRILLANTES

MUNICIPIO: SANTA CRUZ MULUA

DEPARTAMENTO: RETALHULEU

LAT 14°34' LONG 91°38' ELEV 345 mts.

TIEMPO DE REGISTRO: 9 años

	EIE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTALES	OBSERVACIONES
D. de Ll.	02	02	04	11	19	22	21	23	24	25	10	03		
P.	30.7	23.9	48.8	162.6	423.3	519.3	400.4	532.6	546.2	676.1	158.5	39.0		M. M.
T. M.	26.9	27.4	28.4	28.4	27.9	27.3	27.7	27.5	27.3	27.1	27.6	27.3		°C
H. R. M.	71	68	68	74	81	84	82	83	84	85	80	76		%
E.	2.9	3.5	3.7	2.7	1.8	1.6	1.8	1.6	1.4	1.5	1.8	2.5		M. M. tanque
I.	260.4	238.8	204.1	181.2	165.6	149.7	192.6	183.3	154.6	186.2	225.9	253.2		promedio mensual de horas
V.	6.2	5.1	5.7	3.9	3.6	3.3	3.2	3.4	2.2	3.3	2.3	3.2		Km/h alt 21 pie

D. de Ll. = Días de lluvia

P. = Precipitación

T. M. = Temperatura media

H. R. M. = Humedad relativa media

E. = Evaporación

I. = Insolación

V. = Viento

CUADRO N° 10

ESTACION No. 9.3.3.

NOMBRE: LA CEIBITA

MUNICIPIO: MONJAS

DEPARTAMENTO: JALAPA

LAT 14°30' LONG 89°52' ELEV 961 mts.

TIEMPO DE REGISTRO: 10 años

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTALES	OBSERVACIONES
D. de Ll.	01	01	01	04	09	18	15	17	17	13	04	01		
P.	0.7	1.3	3.4	22.2	72.1	178.3	172.4	183.8	155.6	87.1	17.3	1.0		M. M.
T. M.	20.0	20.5	22.6	23.8	23.9	22.6	22.4	22.1	22.2	22.3	20.9	20.6		°C
H. R. M.	65	62	62	64	64	74	73	75	78	76	72	68		%
E.	4.7	5.3	6.3	6.2	5.0	3.0	2.9	2.4	2.3	2.3	3.2	4.1		M. M. tanque
I.	244.1	224.7	274.1	257.0	199.0	176.6	198.7	169.4	150.5	160.4	150.4	175.0		horas totales mensuales.

D. de Ll. = Días de lluvia

P. = Precipitación

T. M. = Temperatura media

H. R. M. = Humedad relativa media

E. = Evaporación

I. = Insolación

V. = Viento

CUADRO No 11

ESTACION No. 10.3.1.P

NOMBRE: ASUNCION MITA R,H,

MUNICIPIO: ASUNCION MITA

DEPARTAMENTO: JUTIAPA

LAT 14°20' LONG 89°42' ELEV 478 mts.

TIEMPO DE REGISTRO: 14 años.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTALES	OBSERVACIONES
D. de Ll.	00	01	01	03	12	20	17	19	20	14	04	01		
P.	00.0	1.3	4.1	40.3	96.7	264.0	177.5	190.9	228.4	154.8	26.5	4.1		M. M.
T. M.	24.7	25.1	26.4	27.5	27.0	25.5	26.0	26.0	25.1	25.2	24.9	24.8		°C
H. R. M.	67	62	62	62	70	80	72	78	83	79	72	65		%
E.	177.0	159.6	186.9	223.0	120.6	73.3	122.3	102.9	70.1	107.3	108.1	145.0		mensual M. M. tanque
I.	274.2	278.9	272.7	230.1	220.9	193.7	251.0	226.9	196.1	231.0	230.6	270.3		horas totales mensuales.
V.	7.7	9.0	8.2	5.6	3.9	2.6	5.7	4.4	3.0	3.8	5.7	8.2		Km/h alt 21 p

D. de Ll.= Días de lluvia

P. = Precipitación

T. M. = Temperatura media

H. R. M. = Humedad relativa media

E. = Evaporación

I. = Insolación

V. = Viento

CUADRO No 12

57

3.3 Determinación de métodos de evapotranspiración potencial:

De acuerdo a la disponibilidad de datos ya establecida, se determinó, cuales fórmulas podrían ser aplicadas, para ésto se tomó en cuenta que no fueran fórmulas muy complejas, sino al contrario, que fueran fáciles de poder interpretarlas para poder aplicarlas en mejor forma. Las fórmulas seleccionadas son las siguientes:

- 1) TH^HORNT^HWAITE
- 2) BLANEY CRIDDLE
- 3) HARGREAVES
- 4) CHRISTIANSEN

La metodología desarrollada por Cristiansen (1) se encuentra explicada en el apéndice 1.

En el cuadro número trece se presentan los diferentes parámetros climáticos de acuerdo a las fórmulas seleccionadas:

CUADRO No.13

FORMULAS		PARAMETROS
1.	Thornthwaite	Temperatura media en °C.
2.	Blaney Criddle	Temperatura media en °C.
		Porcentaje de horas luz.
3.	Hargreaves -	Temperatura media en °F.
		Humedad relativa
4.	Christiansen	Temperatura media en °C.
		Precipitación.
		Humedad relativa.
		Insolación
		Viento.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Aplicación de métodos:

Habiendo seleccionado las estaciones climatológicas, y las formulas de evapotranspiración potencial escogidas, se procedió a aplicar cada uno de los métodos.

La evapotranspiración potencial fue calculada para cada mes en cada una de las estaciones y los resultados son dados en mm/mes de ETP.

Cada una de las fórmulas aplicadas, requieren tablas para encontrar están basados en la latitud del lugar, entre estos factores tenemos: Indices de iluminación, radiación solar extraterrestre, porcentaje de iluminosidad, radiación solar, factor de evapotranspiración y otros.

En los cuadros enumerados del catorce al diecinueve, se encuentran los resultados del calculo de evapotranspiración potencial.

OBSERVATORIO NACIONAL

LAT 14°35' LONG 90°32' ELEV 1,502 mts.

VALORES DE DIFERENTES METODOS DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

METODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
THORNTHWAITE	58.4	54.6	83.43	84.97	89.64	80.75	83.95	81.00	76.50	69.69	60.6	58.20
BLANEY CRIDDLE	132.7	130.7	140.0	130.5	110.2	79.4	97.2	92.2	75.0	89.30	114.4	126.7
HARGREAVES	94.65	89.95	135.55	141.77	144.93	143.17	127.66	121.30	100.93	97.16	86.02	88.42
CHRISTIANSEN	185.37	189.31	239.19	229.68	149.44	70.63	85.92	73.26	59.29	75.49	122.62	194.15

COBAN

LAT 15°28' LONG 90°22' ELEV 1,316.91 mts.

VALORES DE DIFERENTES METODOS DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

METODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
THORNTHWAITE	49.47	46.41	64.89	71.76	86.58	81.00	77.28	77.76	76.50	69.69	54.15	49.47
BLANEY CRIDDLE	82.9	80.1	125.40	112.1	98.3	77.3	85.7	54.7	58.3	71.1	74.7	80.4
HARGREAVES	52.94	59.37	95.28	104.22	112.74	99.07	95.69	93.28	73.0	62.18	49.25	48.55
CHRISTIANSEN	66.55	52.24	109.77	118.82	84.10	48.42	48.86	46.57	68.06	56.12	67.51	72.06

CUADRO No. 14

LABOR OVALLE

LATITUD: 15°-28' LONGITUD: 90°-22' ELEVACION: 1316.61 Mts.
VALORES DE DIFERENTES METODOS DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

METODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
THORNTHWAITE	40.74	40.95	58.71	53.4	66.6	64.80	67.20	61.56	58.14	57.57	48.45	43.65
BLANEY CRIDDLE	108.5	106.5	101.6	110.4	85.9	79.1	88.0	79.8	72.4	80.9	77.0	102.2
HARGREAVES	72.75	73.86	108.55	115.11	125.16	104.34	118.05	108.31	87.97	79.15	69.45	71.14
CHRISTIANSEN	86.37	84.47	140.18	125.33	79.70	47.86	59.56	47.74	41.07	40.30	55.29	79.90

LA FRAGUA

VALORES DE DIFERENTES METODOS DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL
LATITUD: 14°-57' LONGITUD: 89°33' ELEVACION: 190 mts.

METODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
THORNTHWAITE	110.58	103.74	158.60	168.48	156.51	149.04	151.2	145.8	137.7	136.35	128.25	107.67
BLANEY CRIDDLE	155.18	144.19	119.80	183.86	192.33	180.84	183.91	119.03	167.89	165.52	185.02	153.65
HARGREAVES	144.06	121.10	175.46	190.46	191.71	153.88	156.17	158.01	136.36	126.78	108.37	107.41
CHRISTIANSEN	90.25	102.80	178.78	188.97	118.10	75.74	69.37	63.10	60.26	72.17	79.78	78.78

CUADRO No. 15

HUEHUETENANGO

LATITUD: 15°-19'

LONGITUD: 91°-28'

ELEVACION: 1902 mts.

VALORES DE DIFERENTES METODOS DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

METODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
THORNTHWAITE	46.56	46.41	67.98	68.64	69.00	71.28	70.56	68.04	64.26	63.63	51.3	43.65
BLANEY CRIDDLE	120.9	131.1	147.5	139.8	110.7	98.6	107.7	102.0	89.5	100.1	104.6	117.2
HARGREAVES	92.91	100.14	140.77	150.21	150.42	120.69	126.04	115.06	104.34	89.75	70.02	79.14
CHRISTIANSEN	178.85	196.36	302.18	302.01	150.81	70.77	92.55	75.56	65.84	65.44	90.88	123.83

ESQUIPULAS

LATITUD: 14°-34'

LONGITUD: 89°-27'

ELEVACION: 950 mts.

VALORES DE DIFERENTES METODOS DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

METODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
THORNTHWAITE	61.32	57.33	92.70	105.74	106.24	90.44	93.80	87.48	85.68	90.9	65.55	58.20
BLANEY CRIDDLE	105.3	113.9	169.4	127.0	122.4	115.1	113.6	117.2	116.6	74.3	69.4	77.7
HARGREAVE	75.35	79.48	131.94	127.0	122.47	123.35	126.23	125.47	74.33	81.10	65.57	63.39
CHRISTIANSEN	88.29	69.79	118.63	122.65	86.21	49.60	52.28	60.26	91.15	70.39	65.20	89.55

CUADRO No.16

POTRERO LARGO

LATITUD: 14°-21'

LONGITUD: 90°-32'

ELEVACION: 1120 mts.

VALORES DE DIFERENTES METODOS DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

METODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
THORNTHWAITE	61.32	65.52	89.61	99.52	96.28	93.67	86.84	84.24	79.56	78.78	77.22	78.84
BLANEY CRIDDLE	136.3	130.1	135.7	131.8	78.8	86.1	90.9	82.2	68.0	85.6	105.5	121.0
HARGREAVES	100.17	113.66	144.04	151.14	129.80	115.84	126.58	109.59	92.35	90.81	100.54	106.39
CHRISTIANSEN	122.84	164.36	145.18	129.15	70.66	67.23	67.42	69.44	59.31	68.92	93.63	144.44

LOS BRILLANTES

LATITUD: 14°-34'

LONGITUD: 91°-38'

ELEVACION: 345 mts.

VALORES DE DIFERENTES METODOS DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

METODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
THORNTHWAITE	134.32	131.04	154.50	155.50	162.68	151.85	160.80	155.51	143.82	142.41	137.28	136.77
BLANEY CRIDDLE	171.5	175.5	139.3	126.6	110.6	103.0	128.8	122.1	107.1	123.0	155.5	168.9
HARGREAVES	124.80	134.28	172.89	164.91	150.19	133.20	146.64	138.06	120.59	109.55	105.80	110.29
CHRISTIANSEN	107.22	125.24	134.96	80.02	49.46	41.12	46.29	39.18	34.45	31.88	62.61	104.09

CUADRO No. 17

JARDIN MIL FLORES

LATITUD: 14°-27'

LONGITUD: 90° -38'

ELEVACION: 1189 mts.

VALORES DE DIFERENTES METODOS DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

METODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
THORNTHWAITE	70.08	65.52	72.25	93.30	99.60	90.44	100.50	90.72	79.56	78.78	68.64	70.8
BLANEY CRIDDLE	132.3	133.7	139.4	166.5	168.0	155.9	166.5	154.1	149.6	146.7	136.5	132.3
HARGREAVES	100.17	105.90	127.20	138.27	129.88	117.38	131.83	127.77	99.64	90.81	95.97	99.72
CHRISTIANSEN	110.17	120.48	129.29	131.37	97.64	58.25	76.04	65.02	65.35	78.19	80.72	117.51

SAN JERONIMO

LATITUD: 15°-04''

LONGITUD: 90°-38'

ELEVACION: 1020 mts.

VALORES DE DIFERENTES METODOS DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

METODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	ONV	DIC
THORNTHWAITE	58.20	57.33	83.43	96.72	106.56	100.44	90.72	87.48	82.62	84.84	59.85	61.11
BLANEY CRIDDLE	118.3	122.0	140.3	134.3	127.9	110.1	114.3	106.9	92.8	111.0	99.7	99.2
HARGREAVES	106.8	112.4	154.6	163.8	178.1	143.7	146.1	138.8	114.8	112.4	117.5	103.7
CHRISTIANSEN	126.94	154.82	236.70	210.88	167.86	60.72	60.58	60.03	50.88	65.34	83.29	124.96

CUADRO No.18

LA CEIBITA

LATITUD: 14°-32'

LONGITUD: 89°-52'

ELEVACION: 961 mts.

VALORES DE DIFERENTES METODOS DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

METODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
THORNTHWAITE	64.24	65.52	95.79	108.85	116.2	100.13	100.50	93.96	88.74	87.87	74.36	69.84
BLANEY CRIDDLE	136.4	141.5	162.3	163.4	121.9	108.8	117.5	100.5	89.5	97.0	86.6	92.2
HARGREAVES	115.62	121.47	161.03	175.33	189.30	138.08	158.64	147.55	125.72	120.57	106.73	110.24
CHRISTIANSEN	180.64	218.11	246.51	255.47	202.79	70.66	90.53	69.72	60.44	73.20	123.29	169.20

ASUNCION MITA

LATITUD: 14°20'

LONGITUD:

ELEVACION; 478 mts.

VALORES DE DIFERENTES METODOS DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

METODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
THORNTHWAITE	105.12	103.74	117.39	149.28	152.72	132.0	150.3	145.8	116.28	115.14	108.68	110.96
BLANEY CRIDDLE	170.8	195.9	181.7	159.3	161.4	128.5	162.0	146.0	127.3	147.3	157.8	169.2
HARGREAVES	126.89	136.95	176.57	190.87	185.0	151.06	171.24	151.86	117.68	123.23	118.72	126.64
CHRISTIANSEN	175.42	216.89	245.21	213.00	90.58	46.12	71.46	48.15	30.90	53.16	89.70	163.31

CUADRO No. 19

4.2 Representación de gráficas:

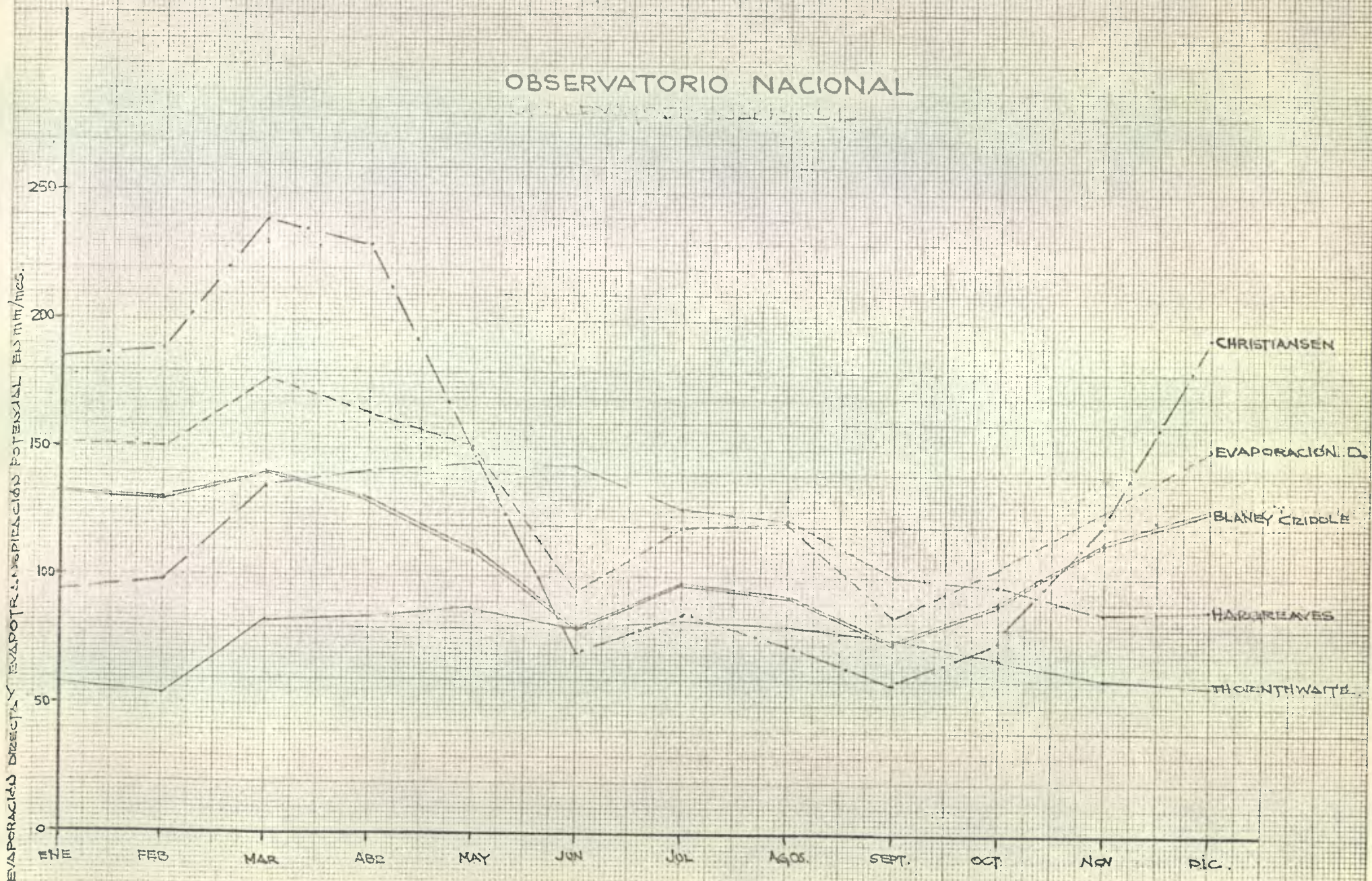
Luego de haber recolectado todos los datos sobre la aplicación de ETP, se procedió a efectuar los mismos graficamente, colocando en cada una de las gráficas todos los resultados de ETP. de los diferentes métodos empleados en cada estación. Las gráficas se construyeron de la siguiente forma; en el eje de las abscisas fueron colocados los meses del año, en el eje de las ordenadas valores de ETP en milímetros.

Además de trazar las curvas de ETP, se efectuó un trazo de la curva de la evaporación directa, en este caso la evaporación del tanque tipo "A" estos datos fueron sacados de los cuadros de 1 al 12, éste trazo solo se efectuó en 11 gráficas, ya que el cuadro No.6 no posee datos de evaporación directa, éstos datos no fueron tabulados por no tener un registro confiable.

Las gráficas de ETP se encuentran enumeradas del 1 al 12, cada una pertenece a cada estación seleccionada.

OBSERVATORIO NACIONAL

CLIMA DE LA CIUDAD DE LA PAZ



MES DEL AÑO

GRAFICA Nº 1

EVAPORACIÓN DIRECTA Y EVAPORACIÓN POTENCIAL EN MM/MES.

COBAN

ENE FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEPT OCT NOV DIC

MES DEL AÑO

GRAFICA Nº 2

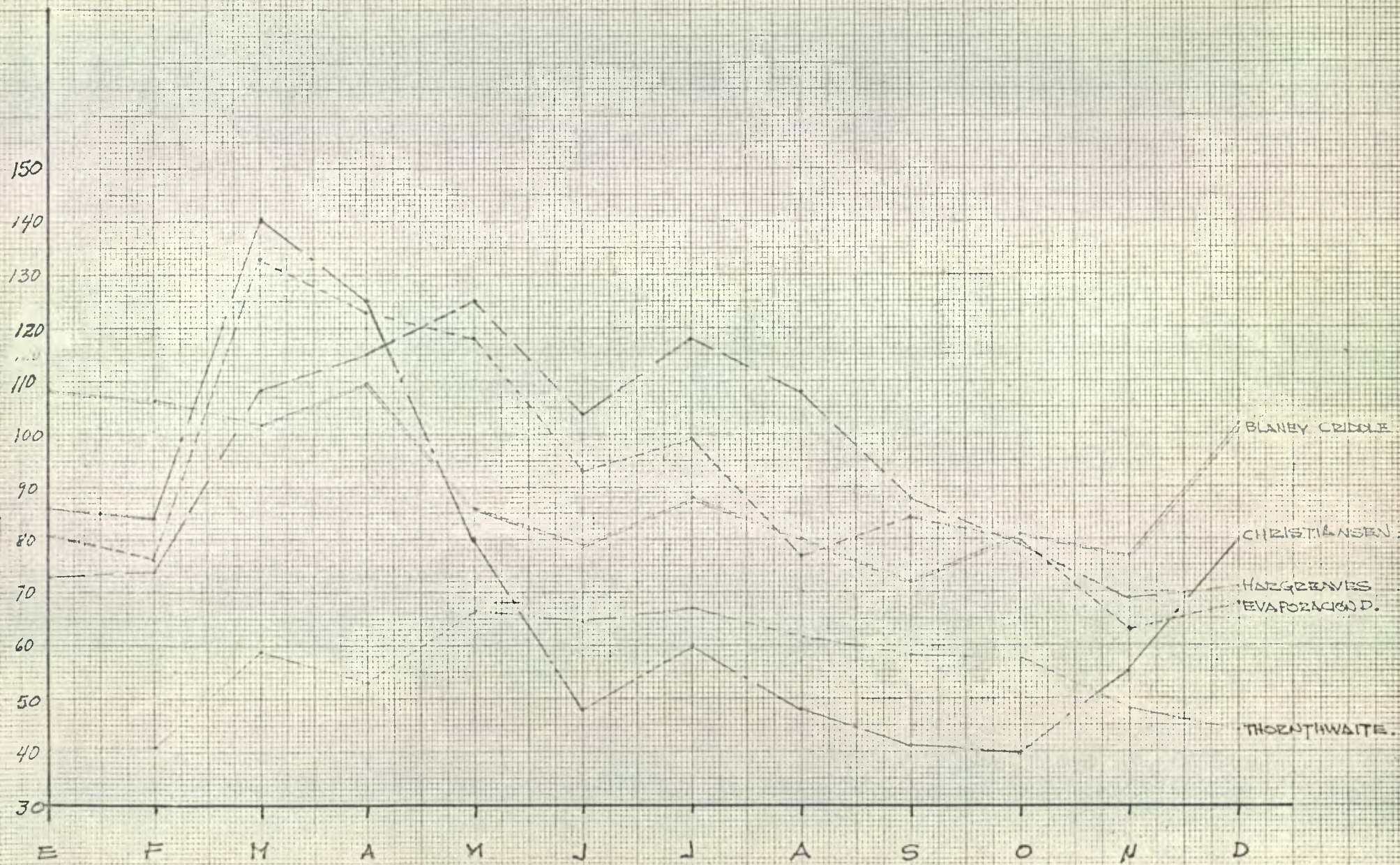
BLANEY CRIDDLE

CHRISTIANSEN.
EVAPORACION D.

THORNTHWAITE
HARGREAVES.

LABOR OVALLE

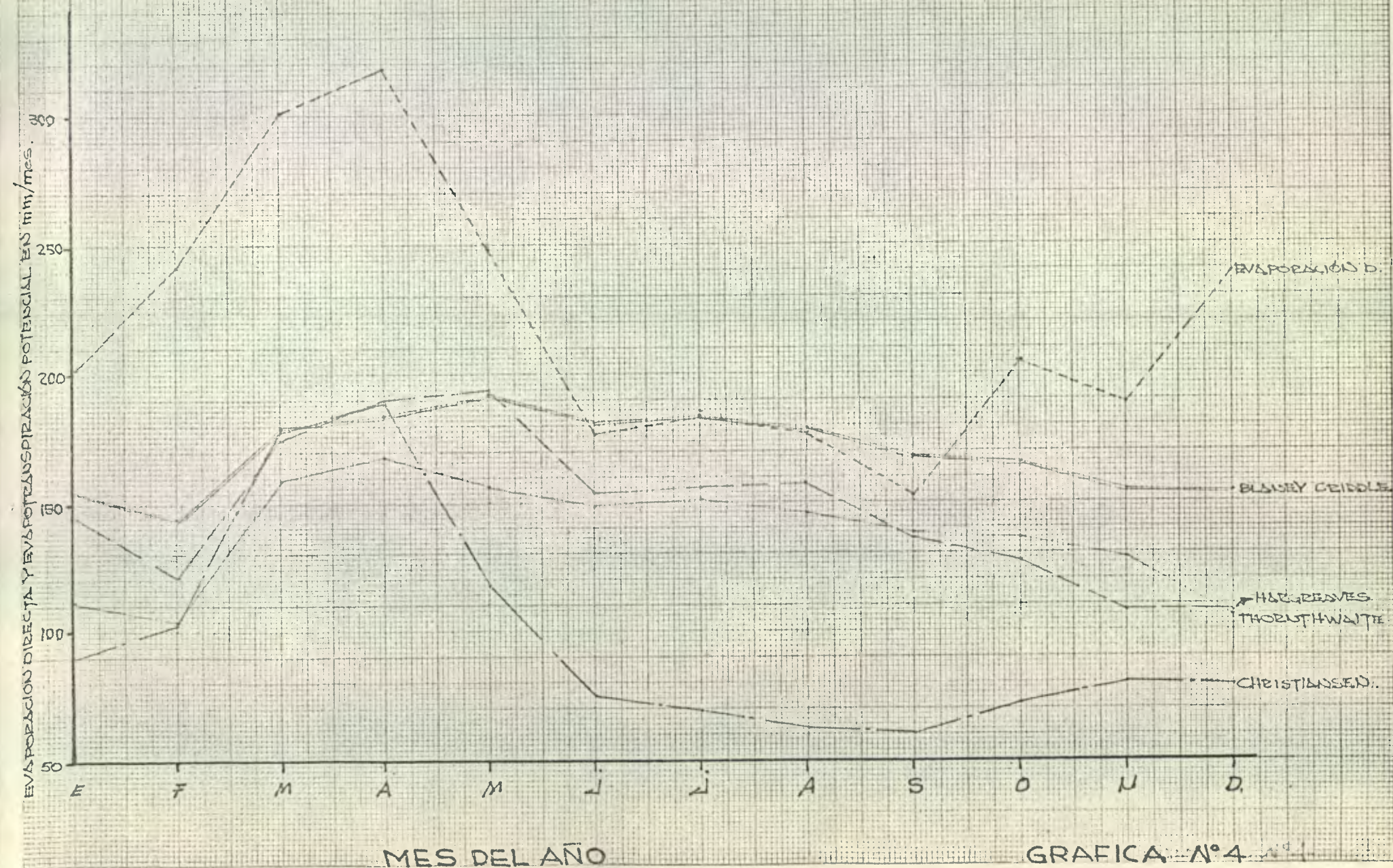
EVAPORACIÓN DIRECTA Y EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL EN mm/mes.



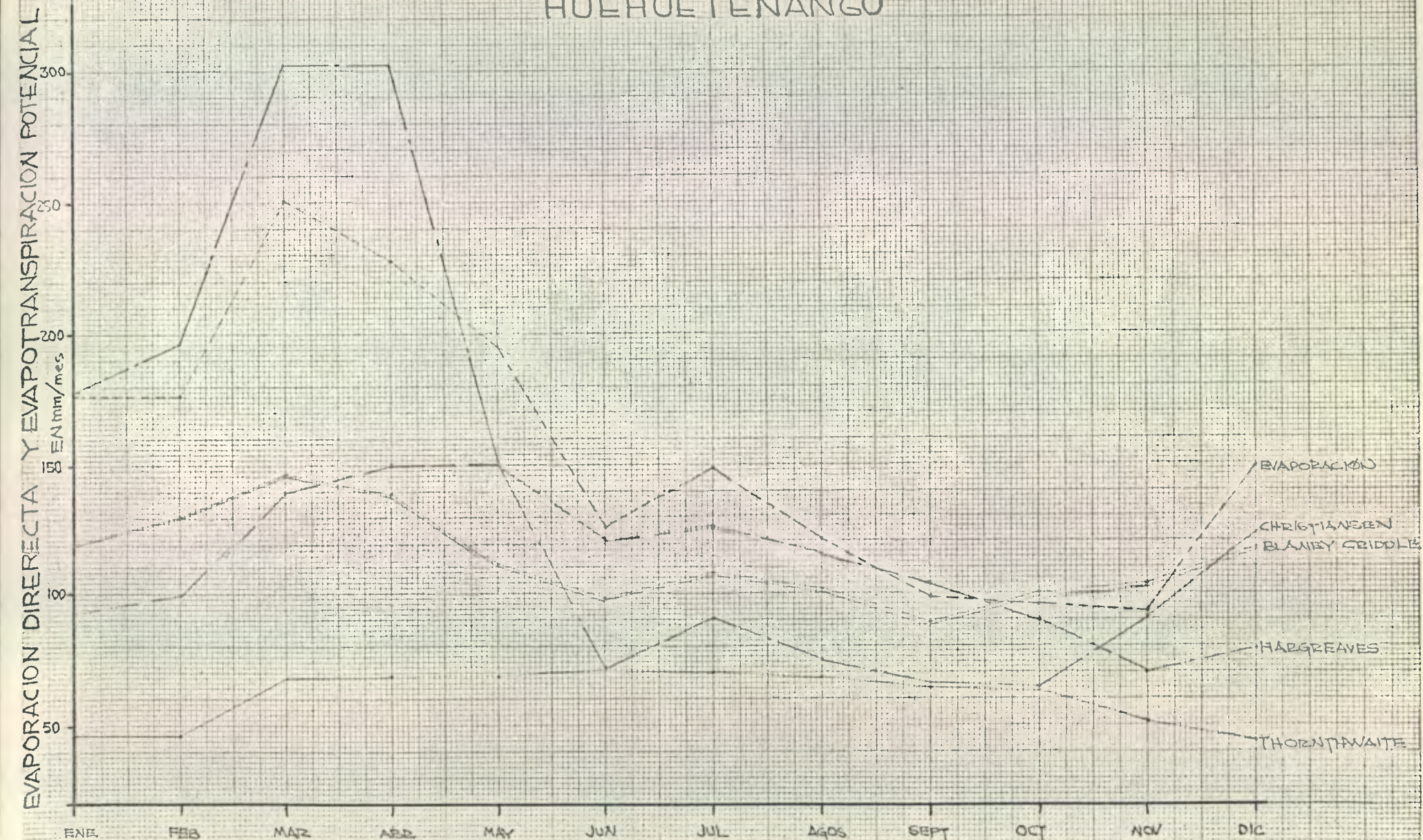
MES DEL AÑO

GRAFICA Nº 3

LA FRAGUA



HUEHUETENANGO



MES DEL AÑO

GRAFICA N° 5

ESQUIPULAS

NOTA: ESTA ESTACIÓN NO POSSEE
DATO DE EVAPORACIÓN DIRECTA.

EVAPORACIÓN DIRECTA Y EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL
EN mm/mes

ENE FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGOS SEPT OCT NOV DIC

MES DEL AÑO

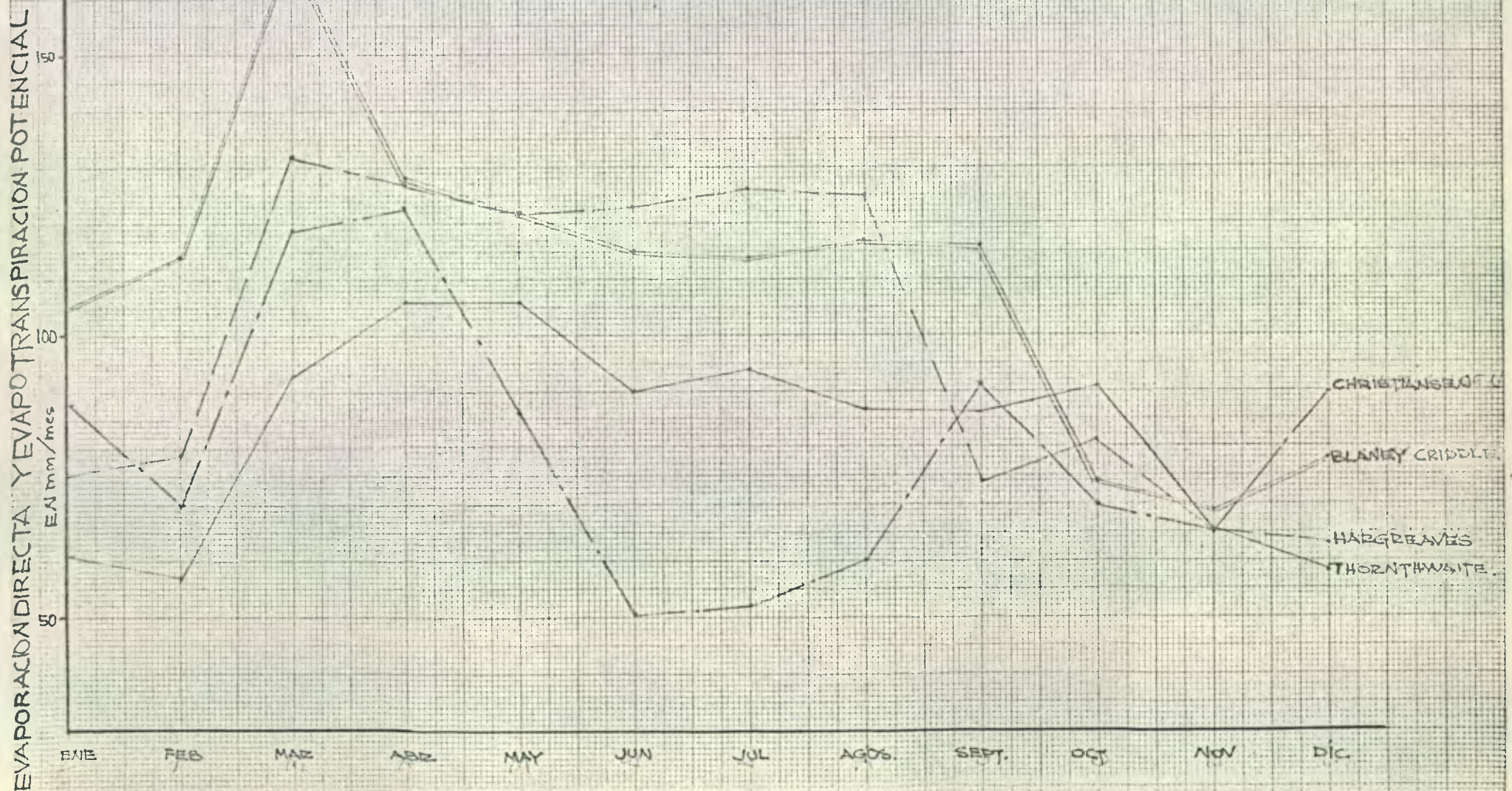
GRAFICA N° 6

CHRISTIANSEN

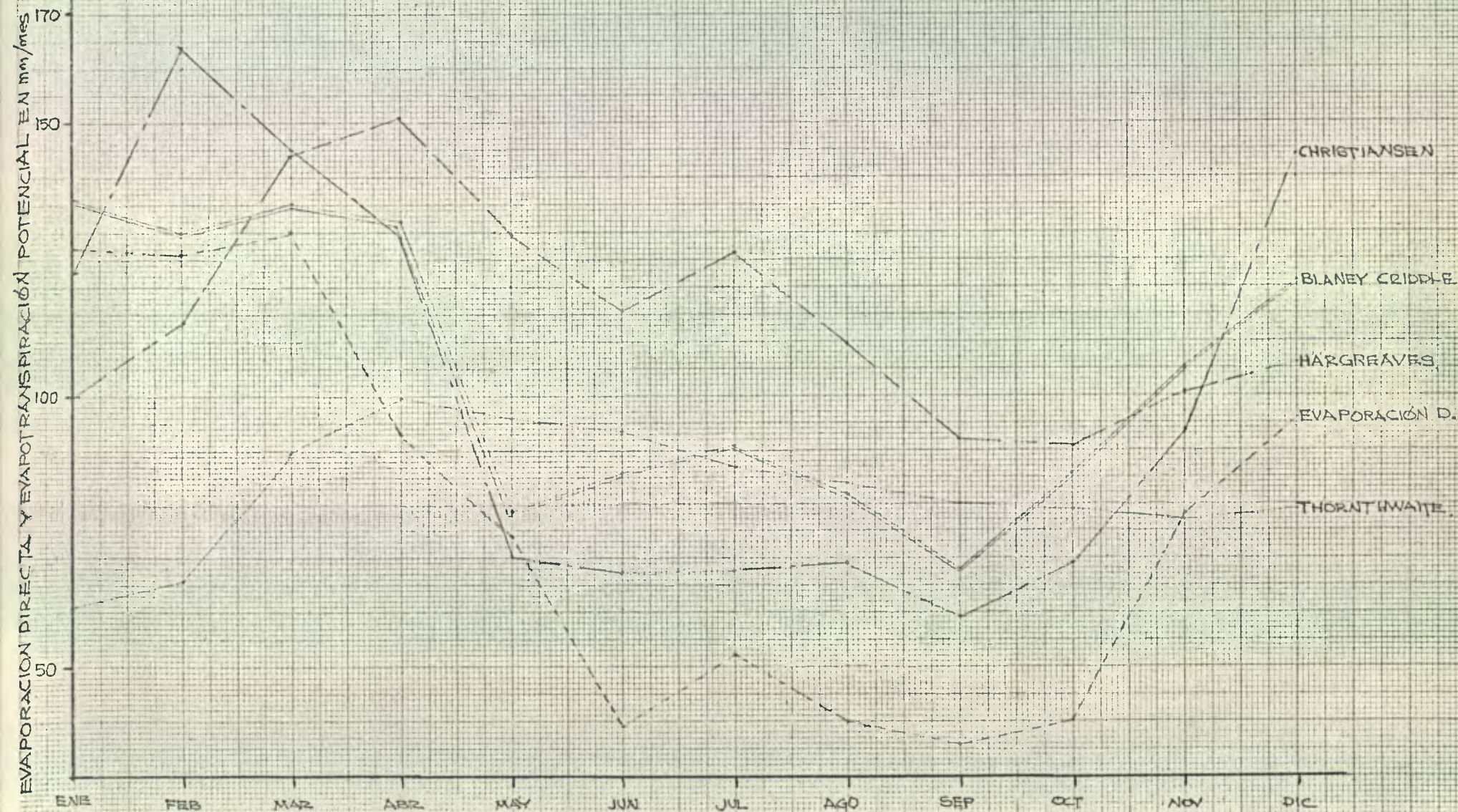
BLANKY CRIDDEL

HARGREAVES

THORNTHWATTE



POTRERO LARGO

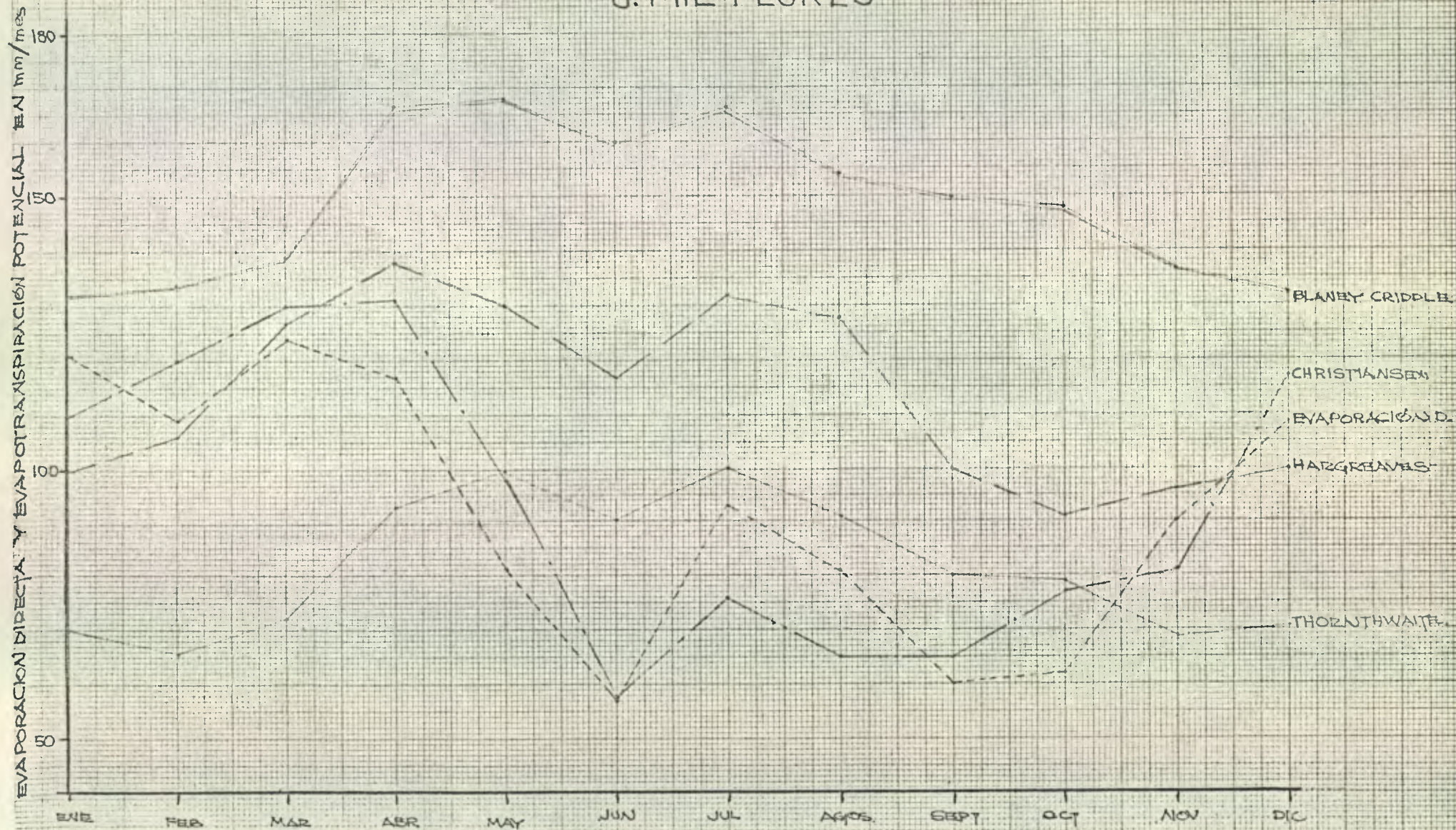


MES DEL AÑO

GRAFICA N° 7

JARDÍN MIL FLORES

J. MIL FLORES

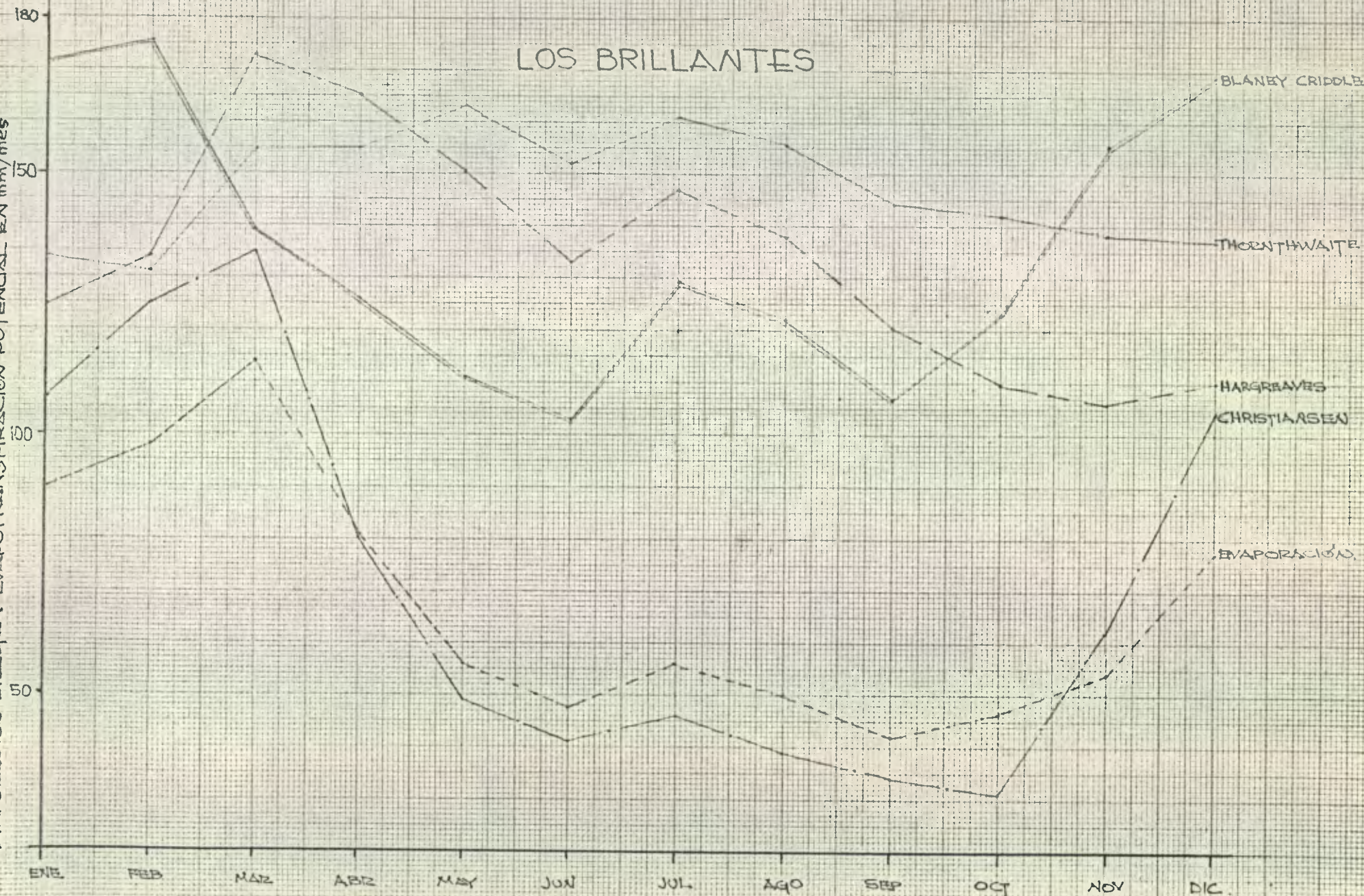


MES DEL AÑO

GRAFICA Nº 8

LOS BRILLANTES

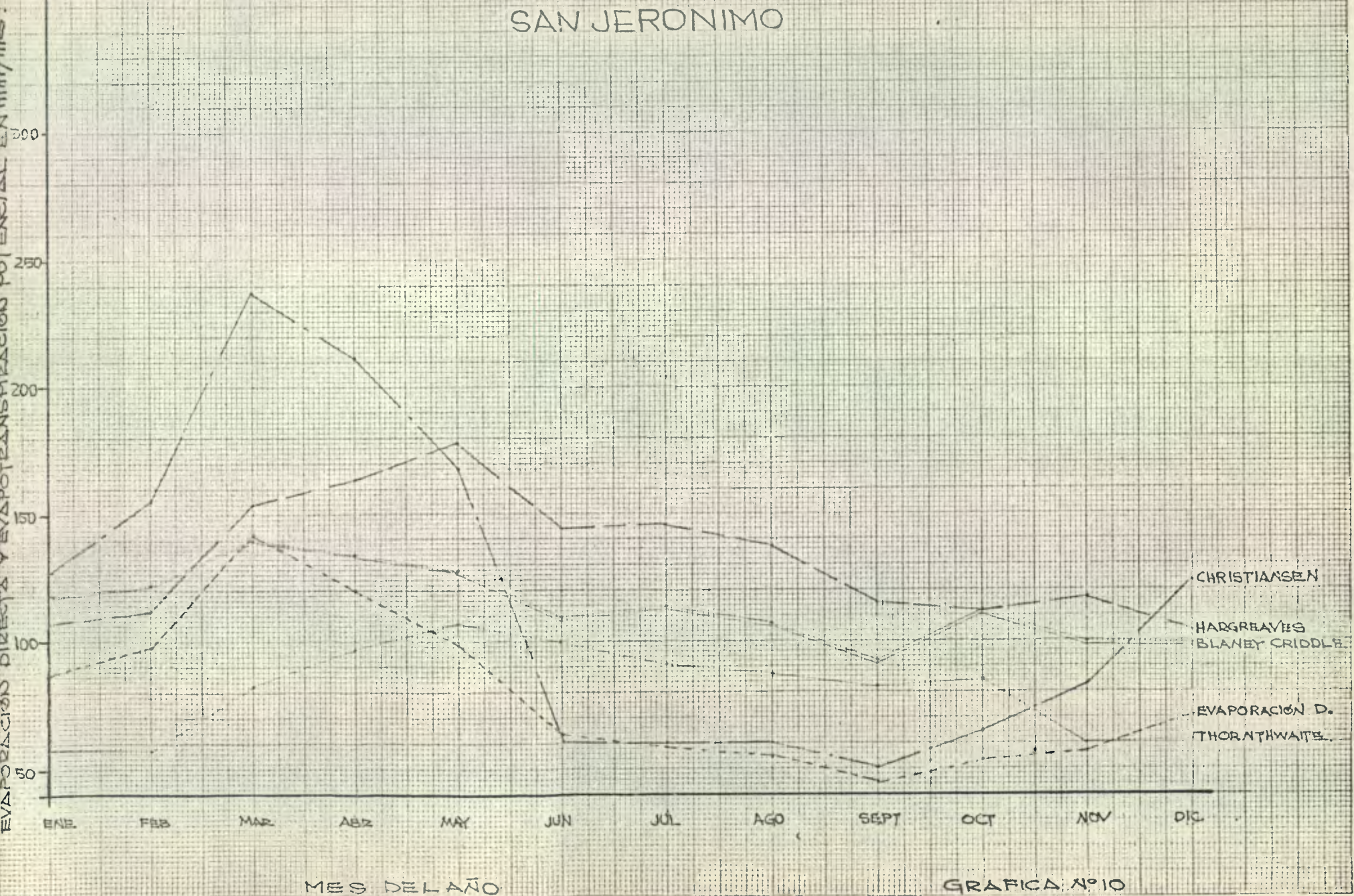
EVAPORACIÓN DIRECTA Y EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL EN mm/mes



MES DEL AÑO

GRAFICA Nº 9

SAN JERONIMO



LA CEIBITA

EVAPORACIÓN DIRECTA Y EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL EN mm/mes.

ENE

FEB

MAR

ABR

MAY

JUN

JUL

AGO

SEP

OCT

NOV

DIC

MES DEL AÑO

GRAFICA Nº 11

CHRISTIANSEN

EVAPORACION D.

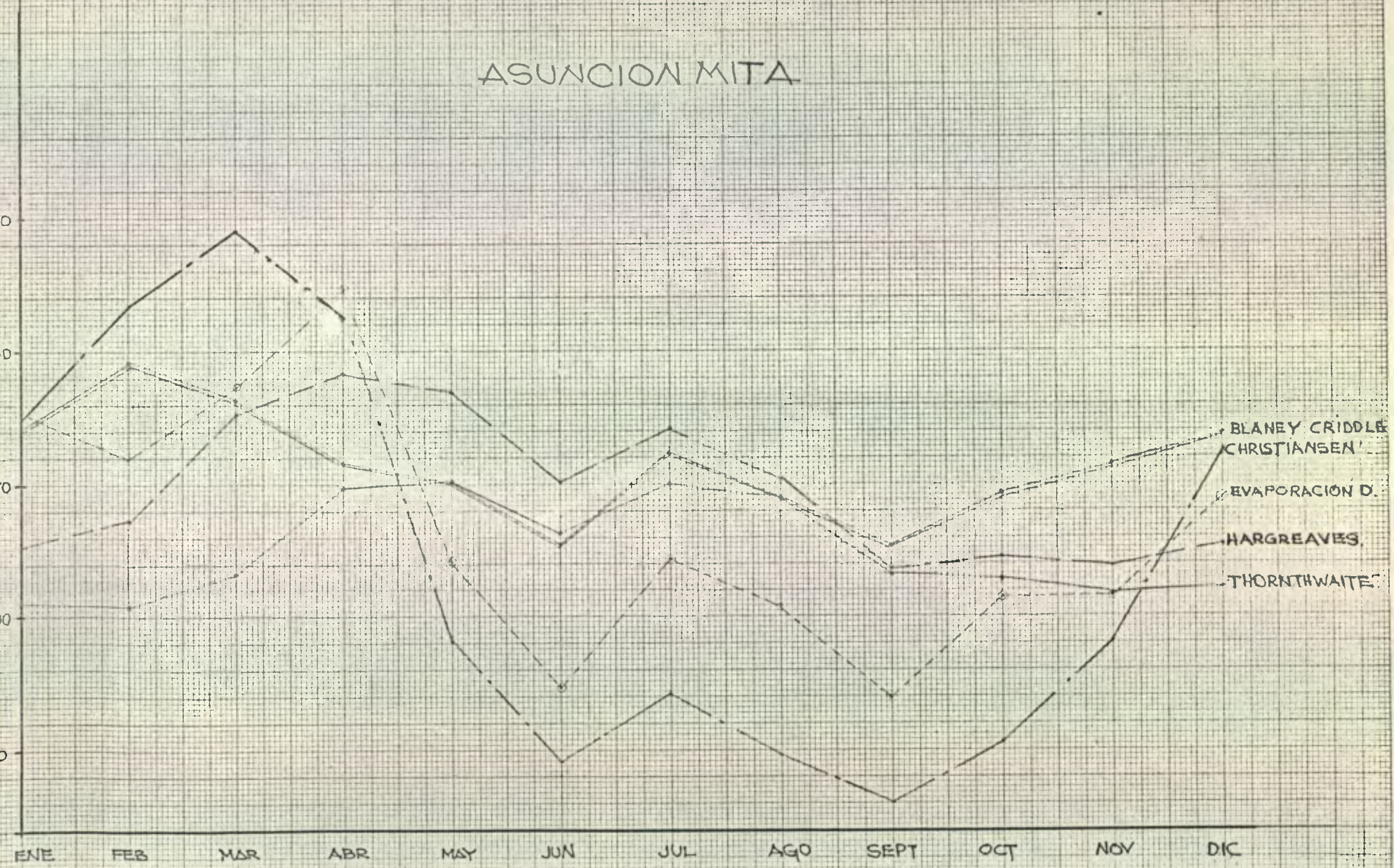
HARGREAVES

BLANNEY CRIDDLE

THORNTHWAITE

EVAPORACIÓN DIRECTA Y EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL EN mm/mes.

ASUNCION MITA



MES DEL AÑO

GRAFICA Nº 12

.4.3 Discusión de gráficas:

La discusión de las gráficas la efectuaremos en forma global, ya que el comportamiento de las diferentes curvas de ETP, así como también el comportamiento de la curva de evaporación directa, tienden a seguir una misma tendencia en las doce estaciones que fueron observadas. A continuación analizaremos cada una de las curvas de ETP, las cuales las relacionaremos con la curva de la evaporación directa.

- a) THORNTHWAITE: Los valores dados por esta fórmula, al relacionarlos con la evaporación medida directamente, se presentan de la siguiente forma: En la época seca que va generalmente de los meses de noviembre a abril, sus resultados son muy inferiores a la evaporación directa, en la época húmeda que va de el mes de mayo a octubre, tiende a presentarse la curva de ETP. superior a la evaporación directa, la diferencia en la época húmeda es menos marcada que en la época seca, pero no guardan la misma tendencia a lo largo de toda la gráfica, en el uso de ésta fórmula hay una excepción en las gráficas número 3 y 5, que se encuentran en la zona sur occidental del país, donde los valores de ETP. para la época húmeda son inferiores a la evaporación medida directamente.

- b) BLANEY CRIDDLE: En forma general la tendencia seguida por esta curva se presenta de la siguiente forma: En la época seca, en climas templados se presenta inferior a la curva de evaporación, en ésta misma época en climas calidos húmedos y secos se presenta superior a la curva de evaporación directa, en época húmeda los valores de ETP, tanto para climas templados como para climas cálidos se presenta superior a la curva de evaporación directa, siendo la diferencia muy

marcada.

c) HARGREAVES: Los resultados dados por ésta formula al relacionarlos con la evaporación directa a lo largo de la grafica tiende a tener un mismo comportamiento en todas las gráficas, en la época seca valores inferiores a la evaporación directa, en la húmeda valores superiores a la evaporación directa.

d) CHRISTIANSEN: Antes de entrar a discutir el comportamiento de ésta curva a lo largo de la gráfica, es conveniente hacer una pequeña aclaración sobre el uso de su metodología; la metodología de Christiansen fue desarrollada para Guatemala por estudiantes de Ingeniería Agrícola de la universidad de Utah, Estados Unidos. Los datos climatológicos usados fueron tomados de las 53 estaciones que fueron tabuladas para efectuar la presente tesis, de éstas estaciones fueron seleccionadas 7, que sirvieron para el desarrollo de la metodología. En el Apendice 1 se indica el uso de éste método. Conforme aumenta la disponibilidad y exactitud de datos los resultados obtenidos con este metodo irán mejorando.

La curva de Evapotranspiración potencial y la curva de evaporación directa siguen una misma tendencia a lo largo de la gráfica, manteniéndose generalmente inferior algunas veces a lo largo de todo el período, en algunas gráficas en la epoca húmeda pasa a ser superior a la evaporación directa, pero es la formula que más se aproxima, para tener una mejor idea sobre el comportamiento de ésta formula, consultar el apéndice No. 1.

4.4 Representación analítica de los resultados:

Se efectuó un estudio analítico de los diferentes metodos empleados para el cálculo de ETP, ya que para poder determinar cual es el método más apropiado podíamos basarnos unicamente en la discusión de las gráficas y su relación con la evaporación directa.

Para efectuar éste analisis se siguió el sistema estadistico de analisis de correlación y regresión, donde se relacionaron los valores del tanque "A", como la variable X colocada en el eje de las absisas, y los resultados de los diferentes metodos empleados como una variable Y, colocadas en el eje de las ordenadas. Para efectuar el presente analisis se tomaron cuatro estaciones las cuales corresponden a la zona sur occidental del país.

Todos los cálculos de ETP, así como los analisis estadísticos fueron elaborados a mano con la ayuda de calculadora manual, se pretendía efectuar los analisis estadísticos para las diferentes zonas del país, pero por carecer del uso de computadora, se dejaron los analisis unicamente de la zona sur occidental del país la cual esta representada por las siguientes estaciones:

- | | | | |
|----|------------------------|----|----------------|
| 1. | J. Mil Flores. | 3. | Labor Ovalle. |
| 2. | Observatorio Nacional. | 4. | Huehuetenango. |

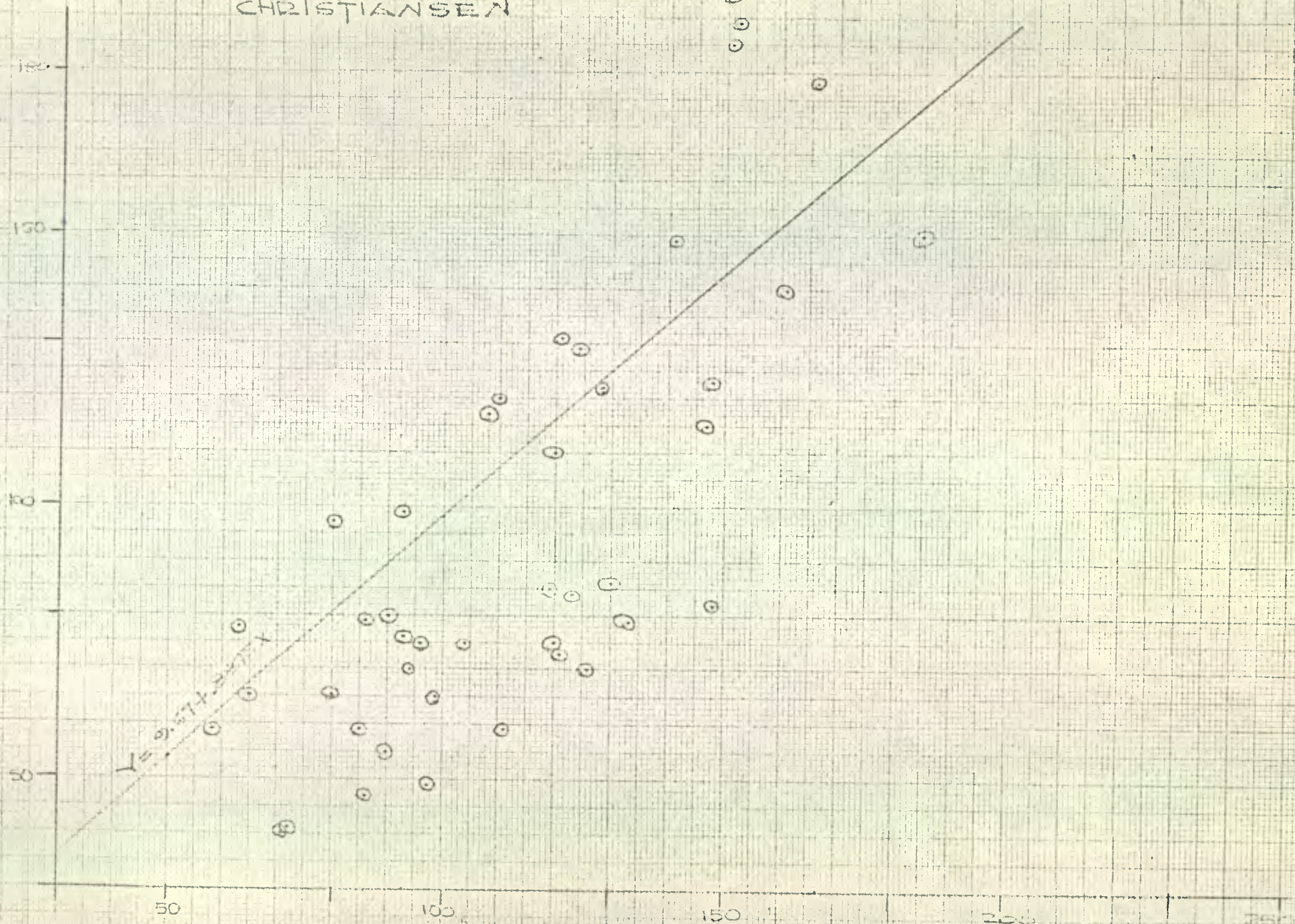
Los resultados de los analisis, fueron los siguientes:

METODO	COEF. DE CORRELACION	ECUACION DE REGRESION
Thornthwaite	0.2552	$Y = -41.39 + 1.057 X$
Blaney Criddle	0.3556	$Y = 98.75 + 0.1532 X$
Hargreaves	0.9262	$Y = 92.62 + 0.3187X$
Christiansen	0.992	$Y = 9.67 + 0.8875 X$

Del analisis anterior, el que mayor correlación tuvo fue Christiansen dando un coeficiente de correlación de 99.2% el cual es altamente significativo. Para efectuar nuestro analisis de regresión se construyó una gráfica en la que se relacionó la evaporación del tanque tipo "A" para las cuatro estaciones escogida, con los resultados de ETP dados por Christiansen para las mismas estaciones (ver gráfica No.13).

CHRISTIANSEN

EVAPORACIÓN POTENCIAL EN mm/día



EVAPORACIÓN TANQUE EN mm/día

GRAFICA Nº 13

CONCLUSIONES

1. En los cálculos de evapotranspiración potencial, relacionándolos con la evaporación medida directamente, nos podemos dar cuenta que el método que mejor relación guarda en las gráficas es el método de Christiansen, así también en el análisis estadístico donde nos da un coeficiente de correlación igual a 0.992, el cual es altamente significativo.
2. Al presentar los datos de evapotranspiración potencial y los de evaporación directa gráficamente, podemos darnos cuenta que se presentan dos tipos de resultados, los de mayor evapotranspiración y evaporación que corresponden a la época seca, y los de menor evapotranspiración potencial y evaporación directa, que corresponden a la época húmeda.
3. Los diferentes métodos de evapotranspiración potencial, al compararlos con la evaporación medida directamente en cada una de las estaciones seleccionadas, guardan mejor relación en la época seca que en la época húmeda.
4. Cuando observamos las diferentes gráficas, la evaporación directa en la época húmeda, nos damos cuenta que ésta se mantiene inferior a los valores de evapotranspiración potencial, exceptuando algunas veces la metodología de Christiansen.
5. Debido a que el país posee una diversidad de datos climatológicos, ha sido dividido en varias zonas según el comportamiento de estos datos,

por esta razón las diferentes fórmulas empleadas se comportan de diferente forma en una zona y otra, siendo más acertadas en unas zonas que en otras.

6. En forma general podemos concluir que los datos de evaporación directa siguen una misma tendencia para toda la República de Guatemala, siendo mayor en los meses de marzo a abril, para luego descender rápidamente en el mes de mayo y junio, manteniendo una misma tendencia en los meses húmedos, para luego empezar ascender a mediados del mes de octubre que es cuando principia la época seca.

VI RECOMENDACIONES

1. Se recomienda recolectar mayor información climatológica con estaciones que posean datos de evaporación de tanque tipo "A", ya que entre mayor información tengamos, la metodología de Christiansen pueda ir mejorandose notablemente.
2. Profundizar el uso de la metodología de Christiansen efectuandose nuevos procesos de interacción, en la cual se posea una variable constante a la vez, para tener nuevos coeficientes, lo cual nos va a permitir cada vez mas a un pronóstico de ETP mas acertado.
3. Las nuevas interacciones que se hagan en la metodología de Christiansen, pueden efectuarse a niveles de proyecto, para así obtener métodos que se puedan usar en cada proyecto de riego.
4. Para tener una mayor información sobre evapotranspiración potencial es recomendable efectuar medidas de la misma en el campo, principalmente en aquellas zonas donde hay riego, con el fin de corregir lo calculado teóricamente para cada una de las zonas.
5. Es recomendable empezar a tratar de usar la metodología de Christiansen para determinar el consumo de agua en nuevas programaciones de proyectos.
6. Se recomienda solicitar la colaboración de Recursos Hidráulicos, para observar la forma en que están dispuestas las estaciones metereológicas en zonas donde hay proyectos de riego o cerca de ellos, para tener

confiabilidad en los datos.

7. Es recomendable que la División de Recursos Hidraulicos dedique personal para realizar estudios de evapotranspiración potencial y actual en la planificación de nuevos distritos de riego y de los actuales, para planificar el uso del agua más eficiente.
8. Solicitar al Observatorio Nacional instalaciones de estaciones metereológicas de segundo orden en distritos de riego.
9. Mejorar la coordinación y cooperación entre instituciones, que utilizan los datos metereológicos, como la División de Recursos Hidráulicos, y el Observatorio Nacional.

VII APENDICE No.1

Uso Práctico del Método para Guatemala.

La descripción de este método fue sacado de un trabajo titulado: "Estimating Potencial Evapotranspiration from Climatological Data for Guatemala". Preparado por el Dr. J. F. Alfaro con los estudiantes del Departamento de Ingeniería Agrícola e Irrigación de Utah State University, U.S.A.

La ecuación de evapotranspiración potencial presentada por Christiansen es:

$$Etp = K R C_t C_h C_s C_w C_e$$

Donde: ETP = Evapotranspiración potencial expresada es mm/mes o pulgadas/mes.

K = Cierta constante.

R = Radiación extraterrestre expresada en unidades de ETP.

C_t = Coeficiente de temperatura.

C_h = Coeficiente de humedad relativa.

C_s = Coeficiente de luz solar.

C_w = Coeficiente de viento.

C_e = Coeficiente de elevación.

Para encontrar la radiación extraterrestre Christiansen estudió la relación entre la latitud, la declinación del sol y el valor relativo de la distancia del sol a la tierra y desarrolló las siguientes expresiones:

$$R = 10 M RLD / (595.9 - 0.55 T \dots \dots \dots (2)$$

$$RLD = 916.732 (OM (\text{seno } XLR) (\text{seno } DER) (\cos XLR) (\cos (DER) (\text{seno } OM) / ES \dots \dots \dots (3))$$

Y

$$OM = \cos^{-1} \left(- \frac{\text{Tang } XLR}{\text{Tang } DER} \right) \dots \dots \dots (4)$$

Donde: DER = Declinación mensual del sol es radianes.

XLR = Latitud en radianes.

ES = Cuadrante de los valores mensuales relativos de la distancia del sol a la tierra, adimensional.

M = Número de días del mes.

T = Temperatura media mensual en °C

Usando el valor calculado de R junto con el tanque de evaporación medidos directamente, los coeficientes climáticos. C_t C_h , pueden ser encontrados en cualesquiera de las condiciones fijadas. Por ejemplo usando datos del Ecuador, Christiansen desarrolló los siguientes coeficientes que podemos usar para nuestro medio, relacionándolos al Ecuador y los cuales se ponen a continuación:

$$C_t = 0.370 + 0.530 \frac{T}{20} - 0.100 \left(\frac{T}{20} \right)^2 \dots \dots \dots (5)$$

$$C_h = 1.180 - 0.180 \left(\frac{HM - 60}{20} \right)^{1.80} \dots \dots \dots (6)$$

$$C_s = 0.640 + 0.440 \frac{SNP}{30} - 0.080 \left(\frac{SNP}{30} \right)^2 \dots \dots \dots (\&)$$

$$C_w = 0.660 + 0.440 \left(\frac{WKH}{6} \right) - 0.100 \left(\frac{WKH}{6} \right)^2 \dots\dots\dots (8)$$

Y

$$C_e = 0.870 + 0.200 \left(\frac{EL}{2000} \right) - 0.070 \left(\frac{EL}{2000} \right)^2 \dots\dots\dots (9)$$

Donde: HM = Promedio de humedad relativa mensual en porcentaje.

SNP = Porcentaje de luz solar basado en la longitud teórica del día.

WKH= Velocidad del viento a una altura de 6 metros en kph.

EL = Elevación sobre el nivel del mar en metros.

Las ecuaciones de 1 a las 9, pueden ser usadas para estimar la evapotraspiración potencial para cualquier condición fijada con relación al Ecuador.

También la radiación solar teórica y la longitud teórica del día puede ser generalizada y expresada en términos de la latitud y el mes. Para simplificar el cálculo, el Cuadro 1 fue preparado para calcular la radiación solar teórica, R, sabiendo la latitud de la estación y el mes.

Además el porcentaje de luz solar SNP, puede ser estimado de la manera siguiente:

$$SNP = \frac{SHRS}{M \times DL} \times 100 \dots\dots\dots (10)$$

Donde SHRS = Horas de luz solar, mensual
 DL = Longitud teórica del día en horas.

La longitud teórica del día, de cualquier forma puede ser obtenida de la ecuación 4 así, o del Cuadro No.2 únicamente con la latitud.

$$DL = \frac{OM}{0.1309} \dots \dots \dots (11)$$

CUADRO No. 1

LA RADIACION SOLAR TEORICA EN UNIDADES EQUIVALENTES DE
EVAPORACION mm/MES, PARA LATITUD NORTE 13° a 16°

LAT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
13°	395.7	389.0	468.7	475.2	494.2	475.6	492.9	494.0	465.0	446.6	393.4	384.6
14°	389.3	384.6	466.1	475.3	496.6	478.9	495.0	495.3	463.6	442.5	387.5	377.8
15°	382.8	380.0	463.4	475.4	498.9	482.2	498.9	496.3	462.1	438.2	381.6	370.9
16°	376.2	375.3	460.3	475.2	501.1	485.3	501.7	497.2	460.4	433.8	375.6	363.9

CUADRO No. 2

DURACION DE INSOLACION TEORICA EN HORAS PARA LATITUDES NORTE DE 13° A 16°

LAT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
13°	11.31	11.57	11.92	12.29	12.59	12.75	12.68	12.42	12.07	11.70	11.40	11.25
14°	11.27	11.54	11.91	12.31	12.64	12.81	12.74	12.46	12.08	11.68	11.35	11.19
15°	11.21	11.51	11.90	12.33	12.69	12.87	12.80	12.49	12.08	11.65	11.30	11.13
16°	11.16	11.47	11.90	12.36	12.74	12.93	12.85	12.53	12.09	11.63	11.25	11.07

Procedimiento de Aplicación para Guatemala

El método usado para efectuar el análisis es muy similar al concepto de optimización, donde todas las variantes son calculadas o estimadas, excepto una variante, la cual sería como constante en este caso los datos de evaporación del tanque son usados como una variante común. Y la relación de los coeficientes climáticos con respecto al tanque es investigado.

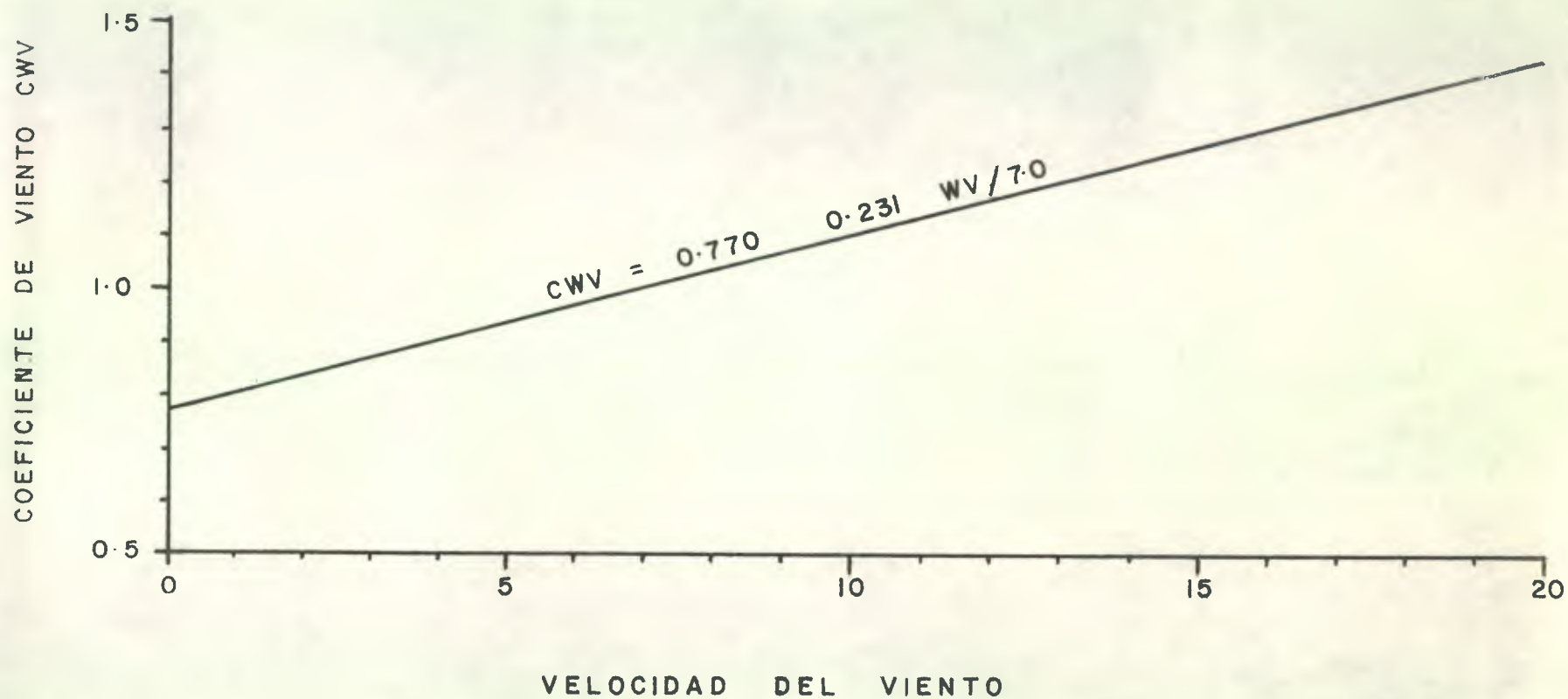
Se toma como punto de partida, los coeficientes dados por Christiansen al desarrollar la fórmula para el Ecuador, exceptuando el coeficiente de viento, CWV, que fue fijado a un valor de 1.0. Los datos de siete estaciones climatológicas fue usado al calcular la ETP para cada mes y cada estación. Así también el coeficiente de viento fue constante.

La velocidad del viento fue trazada en el eje de las abscisas, la relación medida de ETP, en el eje de las ordenadas (mostrado en la figura No.1), donde el coeficiente de viento CWV, es expresado en función de la velocidad del viento, cuya ecuación dio el valor siguiente:

Donde: $CWV =$ Coeficiente del viento adimensional.

$WV =$ Velocidad media del viento a 6 metros en kph.

El coeficiente de viento expresado en la ecuación "A" fue introducido a la fórmula de Christiansen para el Ecuador, excepto el coeficiente de insolación CSP, el cual se le da el valor de 1.0, como se hizo con el coeficiente de viento. El mismo procedimiento fue repetido, se calculó nuevamente la ETP para cada



COEFICIENTE DE VIENTO CWV, EN FUNCION DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO, WV.

mes y cada estación. La relación obtenida es la siguiente:

$$CSP = 0.70 + 0.300 \frac{SP}{50} \quad (b)$$

Donde: CSP = Coeficiente de insolación

SP = Porcentaje teórico basado en la longitud del día.

Luego el mismo procedimiento fue repetido, usando ya los coeficientes de viento y de insolación, dándole al CHM el valor de 1, se volvió a relacionar la ETP, de la forma expuesta anteriormente y nos dio el siguiente resultado:

$$CHM = 18.2 - 39.7 \frac{HM}{90} + 22.5 \left(\frac{HM}{90} \right)^2 \dots\dots\dots (c)$$

Donde:

CHM = Coeficiente de humedad relativa.

HM = Porcentaje mensual de humedad relativa.

Además usando los tres coeficientes ya calculados fue desarrollado con el mismo procedimiento el coeficiente de elevación:

$$CE = 0.540 + 0.460 \frac{EL}{1208} \dots\dots\dots (d)$$

Donde: CE = Coeficiente de elevación.

EL = Elevación en metros sobre el nivel del mar.

Se repitió el procedimiento con el resto de las variables sosteniendo 1.0 para el coeficiente buscado.

Los coeficientes encontrados fueron los siguientes:

$$CT = 0.3 + 0.7 \frac{T}{20} \dots \dots \dots (e)$$

Y

$$CDP = 1.600 - 0.6 \frac{DEP}{14} \dots \dots \dots (f)$$

Donde: CDP = Coeficiente de días de precipitación.

CT = Coeficiente de temperatura.

T = Temperatura mensual, C°.

DP = Días de lluvia mensual.

Fórmula obtenida:

A continuación se presenta la fórmula para usarse en forma general en Guatemala

$$ETP = 0.235 R CW CSP CHM CE CT CDP$$

Donde: a) $CWV = 0.77 + 0.23 \frac{WV}{7.0}$

b) $CSP = 0.7 + 0.3 \frac{SP}{50}$

$$\begin{array}{ll}
 \text{c)} & \text{CHM} = 18.2 - 39.7 \frac{\text{HM}}{90} + 22.5 \left(\frac{\text{HM}}{90} \right)^2 \\
 \text{d)} & \text{CE} = 0.54 + 0.46 \frac{\text{EL}}{1208} \\
 \text{e)} & \text{CT} = 0.3 + 0.7 \frac{\text{T}}{20} \\
 \text{f)} & \text{CDP} = 1.6 - 0.6 \frac{\text{DP}}{14}
 \end{array}$$

A cotninuación presentamos cinco cuadros con sus respectivas gráficas, aplicando la fórmula y resultados de sus coeficientes (cuando no se contaba con algún dato climático se le daba el valor de 1), donde se demuestra que la aplicación de dicha fórmula se adapta a nuestro medio, porque las curvas siguen la misma tendencia.

OBSERVATORIO NACIONAL

LAT 14°35' LONG 90°32' ELEV. 15,023 mts.

ETP= 0.235 R QWV CSP CHM CE CT CDP

MES	R	QWV	^{CSP} CPS	CHM	CE	CT	CDP	ETP	
ENERO	385.53	1.39	1.15	0.84	1.11	0.88	1.56	185.37	
FEBRERO	381.93	1.37	1.11	0.89	1.11	0.90	1.56	189.31	
MARZO	464.53	1.35	1.11	0.94	1.11	0.99	1.56	239.19	
ABRIL	475.4	1.30	1.10	0.89	1.11	0.99	1.47	229.68	
MAYO	492.9	1.24	1.03	0.77	1.11	1.00	1.17	149.44	
JUNIO	480.8	1.16	0.94	0.71	1.11	0.97	0.75	70.63	
JULIO	497.3	1.25	0.95	0.70	1.11	0.96	0.83	85.92	
AGOSTO	495.9	1.20	0.95	0.69	1.11	0.96	0.75	73.26	
SEPTIEMBRE	462.7	1.17	0.93	0.72	1.11	0.95	0.66	59.29	
OCTUBRE	439.6	1.23	0.98	0.70	1.11	0.94	0.83	75.49	
NOVIEMBRE	384.1	1.34	1.07	0.70	1.11	0.91	1.34	122.62	
DICIEMBRE	473.8	1.38	1.13	0.77	1.11	0.89	1.47	194.15	

LABOR OVALLE

LAT 15°28' LONG 90°22' ELEV. 1316.61

ETP= 0.235 X R CWV CSP CHM CE CT CDP

MES	R	CWV	CSP	CHM	CE	CT	CDP	ETP	
ENERO	383.92	1.039	1.149	0.74	1.04	0.668	1.56	86.37	
FEBRERO	380.6	1.052	1.122	0.72	1.04	0.685	1.56	84.47	
MARZO	463.8	1.059	1.129	0.89	1.04	0.745	1.56	140.18	
ABRIL	475.4	1.043	1.124	0.84	1.04	0.766	1.43	125.33	
MAYO	498.6	0.990	1.000	0.80	1.04	0.794	1.04	79.70	
JUNIO	481.8	0.980	0.978	0.69	1.04	0.780	0.788	47.86	
JULIO	498.4	1.010	0.986	0.72	1.04	0.783	0.871	59.56	
AGOSTO	496.2	0.9737	0.969	0.69	1.04	0.769	0.786	47.74	
SEPTIEMBRE	462.4	0.8915	0.953	0.71	1.04	0.766	0.786	41.07	
OCTUBRE	438.8	0.8718	0.994	0.72	1.04	0.766	0.786	40.30	
NOVIEMBRE	382.4	0.9047	0.997	0.69	1.04	0.731	1.30	55.29	
DICIEMBRE	371.9	0.9967	1.120	0.74	1.04	0.682	1.56	79.90	

HUEHUETENANGO

LAT 15°19' LONG 91°28' ELEV 1902 MTS.

ETP= 0.235 R CW CSP CHM CE CT CDP

MES	R	CW	CSP	CHM	CE	CT	CDP	ETP
ENERO	381.2	1.049	1.142	1.05	1.26	0.8075	1.56	178.85
FEBRERO	378.8	1.046	1.256	1.19	1.26	0.8320	1.47	196.36
MARZO	462.7	1.042	1.160	1.35	1.26	0.9195	1.47	302.18
ABRIL	463.4	1.039	1.155	1.44	1.26	0.9230	1.38	302.01
MAYO	486.8	1.086	1.044	0.94	1.26	0.944	1.04	150.81
JUNIO	465.7	1.039	1.009	0.68	1.26	0.916	0.786	70.77
JULIO	483.9	1.085	1.043	0.69	1.26	0.909	0.91	92.55
AGOSTO	490.0	1.033	1.034	0.69	1.26	0.899	0.786	75.56
SEPTIEMBRE	468.1	0.993	0.978	0.69	1.26	0.902	0.786	65.84
OCTUBRE	457.2	0.947	1.022	0.71	1.26	0.895	0.786	65.44
NOVIEMBRE	408.8	0.941	1.048	0.72	1.26	0.839	1.26	90.88
DICIEMBRE	402.8	1.026	1.136	0.77	1.26	0.787	1.47	123.83

LOS BRILLANTES

LAT 14°34' LONG 91°38' ELEV 345 mts.

ETP= 0.235 R CWV CSP CHM CE CTM CDP.

MES	R	CWV	CSP	CHM	CE	CTM	CDP	ETP
ENERO	385.53	1.00	1.148	0.89	0.617	1.240	1.514	107.22
FEBRERO	381.93	1.00	1.130	1.05	0.617	1.259	1.514	125.24
MARZO	464.53	1.00	1.032	1.05	0.617	1.294	1.429	134.96
ABRIL	475.40	1.00	1.020	0.77	0.617	1.294	1.129	80.02
MAYO	497.90	1.00	0.975	0.70	0.617	1.277	0.786	49.46
JUNIO	480.80	1.00	0.953	0.75	0.617	1.256	0.657	41.12
JULIO	497.30	1.00	1.017	0.71	0.617	1.270	0.700	46.29
AGOSTO	495.90	1.00	0.976	0.72	0.617	1.263	0.614	39.18
SEPTIEMBRE	462.70	1.00	0.956	0.75	0.617	1.256	0.521	34.45
OCTUBRE	439.70	1.00	1.009	0.75	0.617	1.249	0.529	31.88
NOVIEMBRE	384.10	1.00	1.099	0.69	0.617	1.266	1.171	62.61
DICIEMBRE	473.80	1.00	1.139	0.72	0.617	1.256	1.471	104.09

ASUNCION MITA

LAT 14°20' LONG 89°42' ELEV 478 mts.

ETP= 0.235 R CW CSP CHM CE CT CDP.

MES	R	CW	CSP	CHM	CE	CT	CDP	ETP
ENERO	387.04	1.088	1.280	1.12	0.722	1.071	1.60	175.42
FEBRERO	383.00	1.066	1.218	1.53	0.722	1.077	1.56	216.89
MARZO	465.2	1.039	1.143	1.53	0.722	1.096	1.56	245.21
ABRIL	475.3	0.954	1.106	1.53	0.722	1.113	1.47	213.00
MAYO	497.4	0.898	1.067	0.93	0.722	1.105	1.09	90.58
JUNIO	480.1	0.855	1.027	0.68	0.722	1.083	0.74	46.12
JULIO	496.4	0.957	1.113	0.84	0.722	1.090	0.87	71.46
AGOSTO	496.7	0.915	1.053	0.69	0.722	1.090	0.79	48.15
SEPTIEMBRE	463.1	0.868	1.025	0.72	0.722	1.077	0.57	30.90
OCTUBRE	441.0	0.895	1.083	0.63	0.722	1.078	1.00	53.16
NOVIEMBRE	385.4	0.957	1.107	0.84	0.722	1.073	1.43	89.70
DICIEMBRE	376.4	1.039	1.168	1.26	0.722	1.072	1.56	163.31

EVAPORACIÓN DIRECTA Y EVAPORACIÓN CALCULADA EN 2 mm/mes

OPSE NACIONAL

EVAPORACIÓN DE
TEMPERATURA



EVAPORACIÓN DIRECTA Y EVAPOTRANSPIRACIÓN CALCULADA

LABOR OVALLE

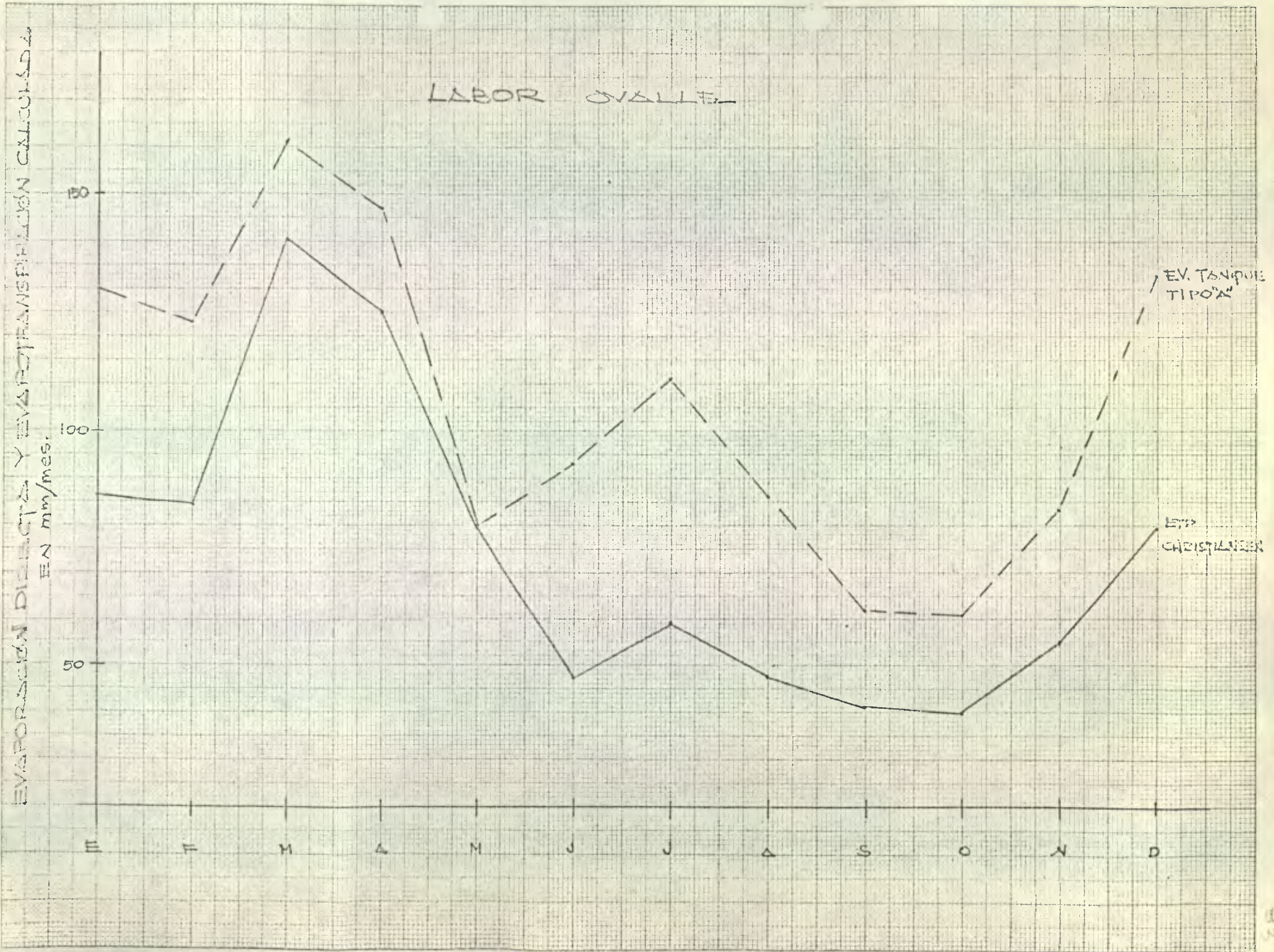
EN mm/mes.

150
100
50

E F M A M J J A S O N D

EV. TANQUE TIPO "A"

EV. CRISTALINER



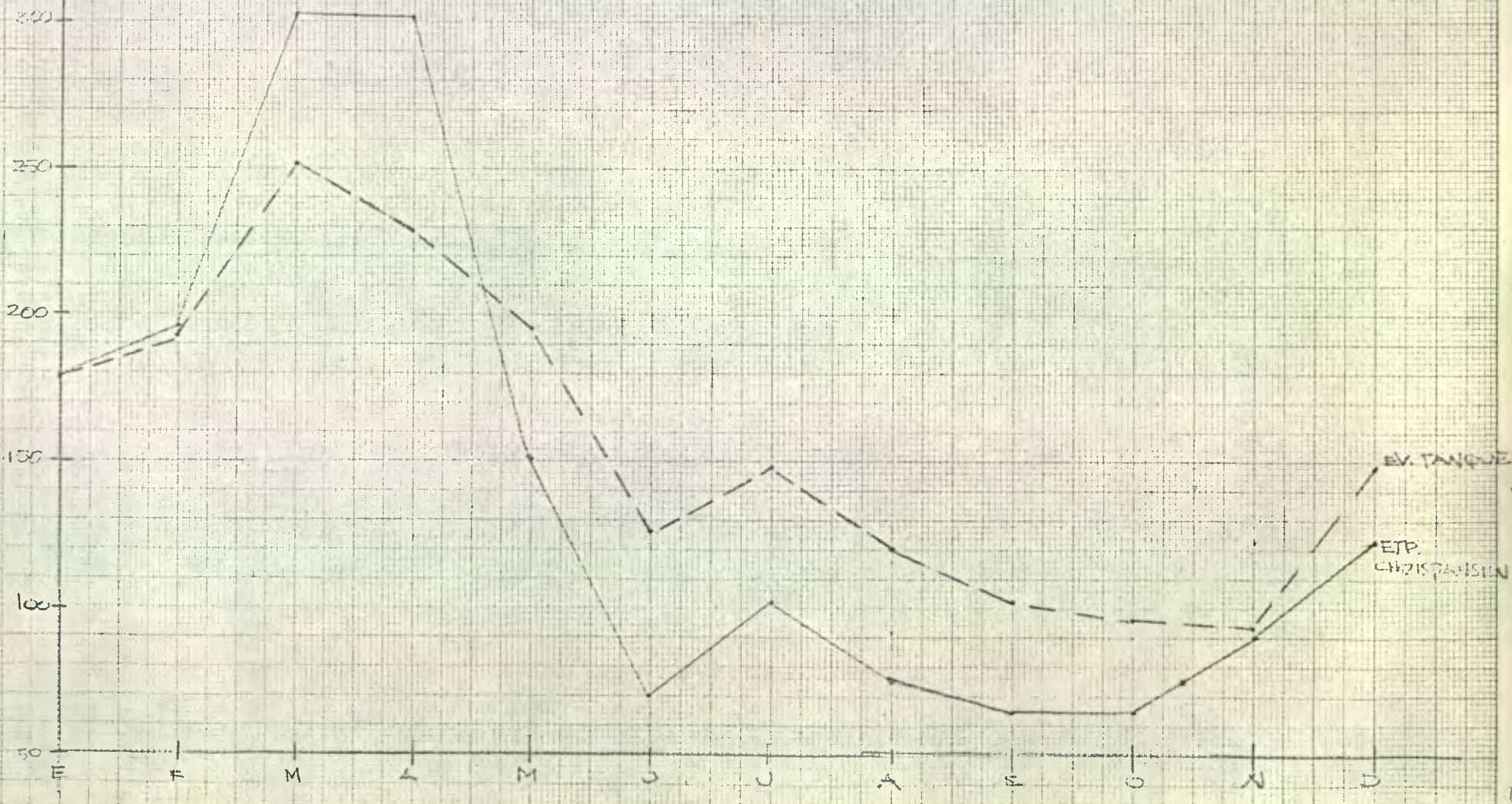
HUEHUETENANGO.

EVAPORACIÓN DIRECTA - EVAPORACIÓN CALCULADA EN mm/mes.

300
250
200
150
100
50

F M A M J J A S O N D

EV. TANQUE
ETP.
CHICKENSTON



EVAPORACION DIRECTA Y EVAPORACION CALCULADA EN mm/mes.

LOS BRILLANTES

150

100

50

E

II

M

A

M

J

J

A

S

O

N

D

ETP
CHRISTIANSEN

EVAPORACION
TANQUE

10



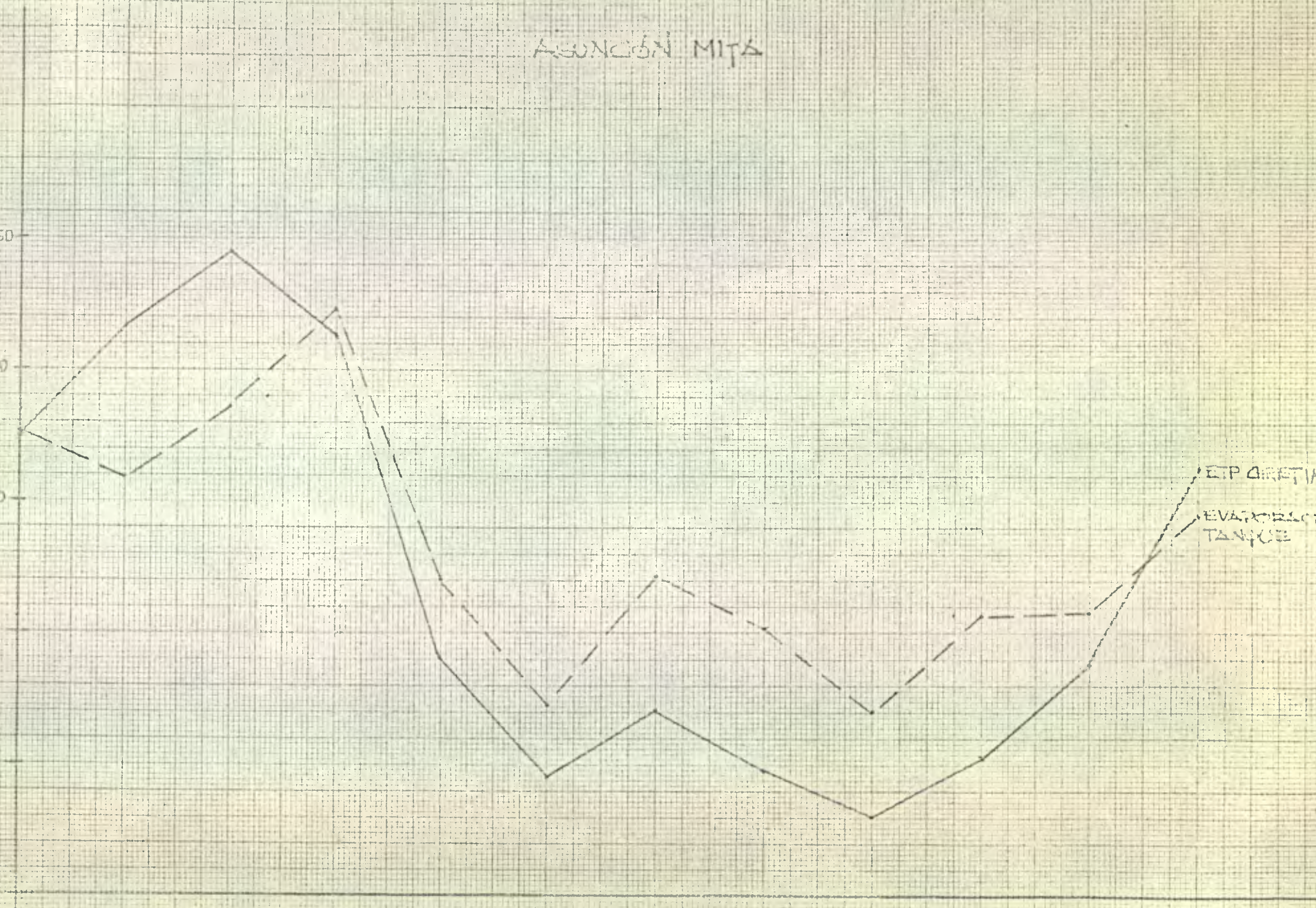
EVAPORACIÓN DIRECTA - EVAPORACIÓN CALCULADA EN mm/mes

AGUNCIÓN MIJA

250
200
150
100

EVAPORACIÓN
TANQUE

II II M A M J J A S O N D



VIII LITERATURA CITADA

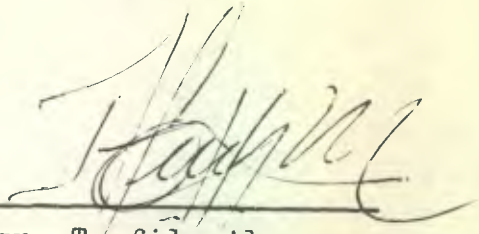
1. ALFARO, J.F., and engineering students Department Agricultural and Irrigation Engineering (1974). Estimating Potencial Evapotranspiration from Climatological Data for Guatemala. Utah State University; Logan, Utah. 19 p.
2. BUCARO, G.A. (1973). Determinación de evapotranspiración potencial y Balance Hídrico en base a datos climatológicos en los distritos de riego San Jerónimo, Asunción Mita Laguna del Hoyo, Catarina y la Fragua. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 81 p. (Tesis Ing. Agrónomo)
3. CHANG, Lorenzo (1974). La Evapotranspiración, capítulo 2, sub-capítulo 2-6, copias mimeografiadas del IV Curso de Drenaje y Recuperación de Tierras, Lima Perú. Centro de Drenajes y Recuperación de Tierras.
4. ELZEY FREMANF (1973). Estadística aplicada al comercio y a la economía. Traducción por: Wirth Christina, Buenos Aires, Argentina, ediciones Marymar, 488 p.
5. GONZLAEZ HERNANDEZ, Oscar A. (1974). Estimación de requerimientos de Riego en Guatemala. México, Escuela de Agricultura Chapingo, 101 p. (tesis de Maestría en Ciencias).
6. GRASSI, Carlos J. Estimación de los usos consuntivos de agua y requerimiento de riego con fines de formulación y diseño de proyectos Centro Internacional de Desarrollo Integral de Aguas. Mérida

Venezuela. 90 p.

7. HERAS, Rafael (1970). Métodos prácticos para el estudio Hidrológico completo de una cuenca. Madrid, España. Centro de Estudios Hidrográficos, 550 p.
8. HARGREAVES, George H. (1974). Estracción de aguas subterráneas y balance de aguas. Seminario de Riego y Drenaje a nivel parcelario para los países centroamericanos y Panamá. Costa Rica, Secretaría de Recursos Hidráulicos, 20 p.
9. HARGREAVES, George H. (1973). Estimación potencial de la Esvapotranspiración y de la Evapotranspiración de los cultivos Trad. por: Aitken. Logan, Utah; Departamento de Ingeniería Agrícola de Riego, Trabajo No. 13-4537.
10. HARGREAVES (1966) Irrigación and Drenaje Speciality Conference. Las Vegas Nevada. Methodos for Estimating Evapotranspiration Las Vegas, United Engineer Center; American 236 p.
11. ISRAELSEN, HASEN (1965). Principios y aplicacines de riego Trad. por: Alberto García P. España Ed. Reverete, S.A. 236 p.
12. OLIVER, Henry (1969). Riego y Clima 2a. ed. México, Cía editorial Continental, S.A. (CECSA). 264 p.

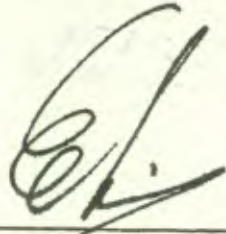

Alberto Arturo Minera B.

Vo Bo


Ing Agr. Teofilo Alvarez

ASESOR

IMPRIMASE


Ing Agr. Edgar Leonel Ibarra

DECANO

RECEIVED TO 20143 MAY 10 1967
A. L. P. H. D. R. S.
RECEIVED TO 20143 MAY 10 1967