

CIO
631.7
R741e

**ESTUDIO DE LAS CONDICIONES HIDRICAS PARA LOS CANTONES:
ESPARZA, SAN MATEO, ATENAS, OROTINA, GARABITO,
TURRUBARES, PURISCAL, ACOSTA, MORA Y ASERRI**

Oscar E. Rojas

PROYECTO C.E.E.
NA/82-12



San José, Costa Rica
1985



SEDE DE OCCIDENTE
"BIBLIOTECA"
— PROCESOS TÉCNICOS —
No. Registro 107290
Procedencia: Fot. de original
Precio 500 -
Fecha Ingreso: 12 AGO 1993

BIBLIOTECA OCCIDENTE-UCR



0107290

Estudio de las condiciones hídricas para los cantones: Esparza, San Mateo, Atenas.



0107290

ESTUDIO DE LAS CONDICIONES HIDRICAS PARA LOS
CANTONES: ESPARZA, SAN MATEO, ATENAS, OROTINA, GARABITO
TURRUBARES, PURISCAL, ACOSTA, MORA Y ASERRI

Oscar E. Rojas
Ing. Agrónomo, D.A.A. INA Paris-Grignon
Especialista en Agroclimatología del IICA

San José, Costa Rica
1985

© Oscar E. Rojas

© para esta edición, IICA, Proyecto CEE NA/82-12, 1985

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra, sin permiso del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

IICA
PM-616

Rojas, Oscar E.

Estudio de las condiciones hídricas para los cantones: Esparza, San Mateo, Atenas, Orotina, Garabito, Turubares, Puriscal, Acosta, Mora y Aserri. -- San José, Costa Rica : IICA, 1985. vii-93 p. -- (Publicación miscelánea/IICA ; no. 616)

ISSN 0534-5391

1. Climatología agrícola - Costa Rica I.
Título. II. Serie.

AGRIS F10

DEWEY 551.6



SERIE PUBLICACIONES MISCELANEAS No. 616

La Serie de Publicaciones Misceláneas tiene como objetivo proporcionar información sobre temas relacionados con las acciones hemisféricas del IICA.

San José, Costa Rica

1985

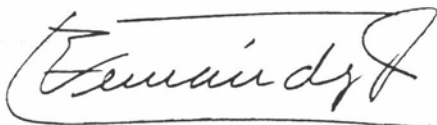
PRESENTACION

La presente investigación, titulada "Estudio de las condiciones hídricas para los Cantones: Esparza, San Mateo, Atenas, Orotina, Garabito, Turrubares, Puriscal, Acosta, Mora y Aserrí", es el resultado de una acción conjunta del Proyecto de Agroclimatología del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y del Proyecto C.E.E., NA/82-12: Reordenamiento Agrario y Desarrollo Rural Integrado.

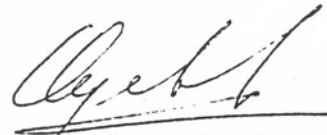
Este estudio fue motivado por la necesidad de disponer de mejores instrumentos de planificación y de programación, que se apoyen en técnicas agroclimáticas y que faciliten el conocimiento del medio en que se desarrollan los cultivos.

Desde el punto de vista de la planificación, el estudio permite la identificación de diferencias y analogías climáticas en las diferentes áreas geográficas de la región en estudio. En relación a la programación, la investigación ofrece resultados de gran interés en agricultura, tales como: determinación de un falso inicio de las lluvias, número de días consecutivos secos y su probabilidad de ocurrencia, índices que cuantifican el impacto de una sequía sobre la producción de la materia seca y, además, suministra información básica para la programación del riego en la región.

Las dos instituciones patrocinadoras del estudio esperan que éste sirva como un elemento fundamental para aumentar y consolidar la producción agrícola en la región estudiada.



Carlos Enrique Fernández
Director del Área Central y de la
Oficina del IICA en Costa Rica



Claude Guibert
Director
Proyecto C.E.E. NA/82-12



Bernal Soto
Director Nacional
Proyecto C.E.E. NA/82-12

Se agradece al Ing. Patrick Reboud, Proyecto C.E.E. NA/82-12, toda la colaboración brindada en el presente estudio y al Dr. Michel Montoya, Director de la Oficina del IICA en Nicaragua, por su participación en el proceso de concertación del mismo.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
INTRODUCCION.....	1
NOCIONES GENERALES SOBRE LA EVAPOTRANSPIRACION Y LAS TRANSFERENCIAS DE AGUA.....	2
1. Conceptos de la evapotranspiración y de la evapotranspiración potencial	2
2. Aspectos energéticos y climáticos de la ETP.....	4
3. Aspecto bioclimático de la evapotrans- piración	5
4. Nociones relacionadas con el suelo	8
4.1 Humedad del suelo	9
4.1.1 Humedad de saturación	9
4.1.2 Humedad a la capacidad del campo	9
4.1.3 Humedad equivalente	9
4.1.4 Humedad crítica	10
4.1.5 Humedad al punto de marchitez permanente	10
4.1.6 Humedad higroscópica	11
4.1.7 Agua de constitución	11
5. La reserva de agua en el suelo	11
5.1 Reserva útil	11
5.2 Reserva fácilmente utilizable	12
MATERIALES Y METODOS	15
1. Descripción de la zona en estudio	15
2. Datos, programa y computador	17

	<u>Página</u>
3. Balance hídrico climático	17
4. Estimación de las temperaturas diurna y diaria y de la duración de la inso- lación	19
5. Balance hídrico teórico	19
5.1 Presentación del modelo	19
5.1.1 Reserva útil del suelo	19
5.1.2 Lluvia eficaz	20
5.1.3 Drenaje	20
5.1.4 Evapotranspiración real	21
5.1.5 Ecuación del balance hídrico	22
5.2 Análisis frecuencial de la reserva hídrica del suelo	23
5.3 Estudio del período de sequía	23
5.4 Estudio de la diferencia de evapotranspiración	23
6. Modelo de irrigación	25
6.1 Análisis estadístico del número de riegos.....	26
6.2 Análisis estadístico de la fecha de cada riego	26
RESULTADOS Y DISCUSION	27
1. Balance hídrico climático	27
2. Balance hídrico teórico	33
2.1 Análisis frecuencial de la reserva hídrica del suelo	33
2.2 Estudio del período de sequía	33

	<u>Página</u>
2.3 Estudio de la diferencia de evapotranspiración	39
3. Modelo de irrigación	48
3.1 Análisis estadístico del número de riegos	48
3.2 Análisis estadístico de la fecha de cada irrigación	48
CONCLUSION	60
LITERATURA CITADA	61
ANEXO A	
ANEXO B	
ANEXO C	

INTRODUCCION

Todo proyecto de desarrollo agropecuario debería conocer, previo al análisis socioeconómico, las condiciones climáticas imperantes en la región, área o país que se desee desarrollar y que están en relación directa con la producción. Esto es tratar de cuantificar el riesgo provocado por las adversidades del clima, para tener un mejor criterio técnico y científico a la hora de formular recomendaciones y políticas de fomento agrícola.

En la mayoría de los países de la zona intertropical, el principal factor limitante para la producción agrícola lo constituye el factor hídrico. Muy a menudo la falta o exceso de agua impide el desarrollo normal de los cultivos. Además las necesidades de estos en relación a este recurso se manifiestan con una intensidad variable a lo largo de todo el ciclo vegetativo.

Las condiciones naturales de abastecimiento en agua (humedad del suelo, cantidad y repartición de las lluvias) no siempre se adaptan a las necesidades biológicas del cultivo.

El presente estudio tiene como objetivo primordial el de evaluar las condiciones hídricas de la zona que ocupa el Proyecto C.E.E. NA/82-12: Reordenamiento Agrario y Desarrollo Rural Integrado.

Para el análisis se utilizan dos modelos (balance hídrico teórico e irrigación) que simulan la evolución de la reserva hídrica del suelo. Los resultados se presentan en términos estadísticos con el afán de facilitar su interpretación a los usuarios.

NOCIONES GENERALES SOBRE LA EVAPOTRANSPIRACION
Y LAS TRANSFERENCIAS DE AGUA

1. Conceptos de la evapotranspiración y de la evapotranspiración potencial

El vapor de agua atmosférico proveniente casi exclusivamente del proceso de evaporación que se realiza a nivel de la superficie de nuestro planeta por diversas reacciones fitoquímicas (respiración, combustión, etc.) contribuye sólo en una pequeña proporción al enriquecimiento del contenido total del agua en la atmósfera. La mayor proporción de esta evaporación, alrededor de un 85%, se sitúa a nivel de los océanos; sin embargo, una proporción no despreciable del orden de un 15% se produce a nivel de las superficies continentales. La vegetación juega una función preponderante en esta transferencia de vapor de agua; la planta se comporta como una mecha entre el subsuelo, la reserva hídrica y la atmósfera (BROCHET, P. y GERBIER, N., 1975). Con el término "evapotranspiración" se designa la cantidad de vapor de agua que es disipada en la atmósfera, e incluye tanto la evaporación del agua del suelo (fenómeno físico) como la transpiración de la vegetación (fenómeno fisiológico).

Cuando se considera un cultivo bien desarrollado, que cubre bien el suelo con un buen abastecimiento en agua, es decir, que el cultivo pueda disponer sin restricción de una reserva hídrica abundante para responder de la mejor manera a la demanda del medio, la evapotranspiración crece y tiende a su límite máximo, que se puede considerar como evapotranspiración potencial (ETP).

Durante mucho tiempo se ha considerado que el valor de la ETP era el mismo para todos los tipos de vegetación, ésto es la "hipótesis ETP", basada en

la noción de un requerimiento hídrico, a la cual serían sometidas las coberturas vegetales por parte del clima, independientemente de su naturaleza.

Este aspecto esencialmente climático de la ETP es aceptable cuando se trata de grandes superficies; sin embargo, resultados de estudios y medidas realizadas al respecto durante los últimos veinte años han demostrado que a una escala espacial más reducida, del orden de la parcela, por ejemplo, la ETP se encuentra muy relacionada al clima, pero también depende:

- del medio natural alrededor de la parcela,
- del tipo de cultivo de la parcela,
- de las propiedades pedológicas del suelo.

Para superficies limitadas, cubiertas por un cultivo homogéneo, se debe hacer la distinción entre la ETP, parámetro del clima, y la evapotranspiración máxima, característica específica de la especie cultivada, que depende mucho del estado fenológico del vegetal considerado, de su índice foliar y de su estado fisiológico.

Las fórmulas utilizadas para calcular la ETP, a partir de los datos climáticos, tienden a suavizar los accidentes. La comparación entre los resultados de cálculos parecidos dan diferencias a veces inquietantes, que podrían llegar para una misma década a 50% de desviación. Pareciera que ciertas expresiones son sólo aplicables a un tipo de clima particular. La causa de estas inexactitudes, dentro de los resultados de las ETP calculadas, está en relación directa con las hipótesis simplificadoras que se han adoptado y que subestiman la variación de uno u otro de los factores climáticos susceptibles de intervenir; siendo éstos:

- la radiación neta, resultado del balance entre la radiación global solar, la radiación de la atmósfera y la de la Tierra.

- la temperatura del aire: consecuencia directa de ese balance
- el déficit de saturación ($e_w - e$)
- los movimientos del aire, tanto verticales como horizontales, responsables de los cambios por conducción, convección y turbulencia.

2. Aspectos energéticos y climáticos de la ETP

La evaporación consume energía, por lo tanto, se concibe que la cantidad de energía disponible a nivel de la superficie evaporante, suelo y vegetación, sea un factor limitante del fenómeno. La demanda de la atmósfera dependerá, por lo tanto, de la fracción disponible de la energía total puesta en juego para los intercambios termoradiativos globales. Sobre un período de 24 horas, o de un número entero de días, este balance se puede expresar de la siguiente manera:

$$R_g (1 - a) + R_a + LC = LE + R_t \pm Q$$

R_g = radiación global de longitudes de onda corta

R_a = radiación de la atmósfera (espectro I.R.)

R_t = radiación de la superficie: suelo, plantas, etc. (espectro I.R.)

a = albedo de la superficie

C = condensaciones

E = evapotranspiración

Q = energía advectiva

L = calor latente de evaporación o condensación

Si R_n representa la radiación neta resultante de ese balance radiativo:

$$R_n = R_g (1 - a) + R_a - R_t$$

Se puede escribir:

$$R_n = LE - LC \pm Q$$

El término $L(E - C)$ expresa el balance parcial de energía, relativo al intercambio del agua entre el suelo, la vegetación y la atmósfera. Representa, a la vez, la cantidad de agua evaporable, durante un intervalo de tiempo definido, según la energía disponible para tal efecto, siendo, por lo tanto, una expresión de la evapotranspiración potencial instantánea.

Se conoce que la ETP depende de los factores climáticos; por su lado, la evapotranspiración real absorbiendo energía, modifica las características físicas del aire y participa, por este hecho, en la restricción de la demanda del ambiente, ésto es de la ETP.

3. Aspecto bioclimático de la evapotranspiración

A nivel de las superficies aéreas de intercambio del cultivo, representadas esencialmente por las hojas, ciertos mecanismos fisiológicos son susceptibles de controlar el volumen de transferencias de vapor de agua entre el tejido del vegetal y su medio.

Una pequeña fracción de estas transferencias se efectúa a través de la pared cuticular (de 0 a 30% del volumen total de intercambios), por el contrario, la mayor parte del vapor de agua transpirado se efectúa a través de los estomas de las hojas.

La resistencia a la difusión del vapor de agua, a nivel del estoma, es muy débil si éste está totalmente abierto, pero crece rápidamente cuando, bajo el efecto de un déficit hídrico, el estoma se cierra hasta la obturación completa. También, por esos estomas se efectúan otros intercambios gaseosos entre el tejido vegetal y el ambiente, en particular las transferencias del CO_2 de la atmósfera para el beneficio de las células clorofilianas. El CO_2 es indispensable para la fotosíntesis de hidrocarburos: celulosa, azúcar, almidón, etc., ésto es para la producción de materia seca.

Todo freno a estos intercambios provocará, por lo tanto, una reducción de la producción vegetal y, por consecuencia, una disminución de la rentabilidad del cultivo tratado. Así que, cada vez que la planta disminuya el nivel de la evapotranspiración por medio del cierre de sus estomas, habrá un efecto depresivo sobre la producción de materia seca. Los bioclimatólogos han puesto en evidencia la excelente correlación que existe entre el rendimiento en materia seca y la relación ETR/ETP, la cual puede considerarse como un índice representativo del cierre estomático (Fig. 1).

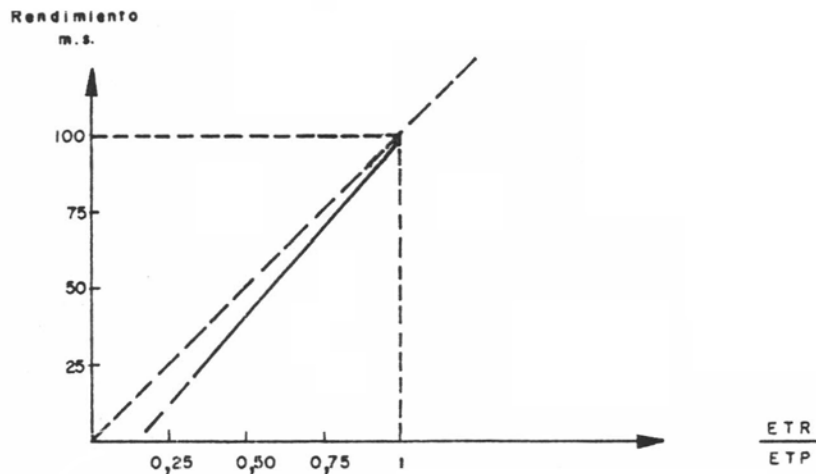


Fig. 1 - Relación entre el rendimiento en materia seca y la relación ETR/ETP (Robelin, 1967).

El flujo del agua a través de la planta depende igualmente del desarrollo y de la profundidad explorada por el sistema radical. Cualquier práctica cultural que trate de mejorar el desarrollo de las raíces, acentúa la posibilidad de una mayor evapotranspiración por parte de la planta (aeración y estructuración del suelo, lucha contra los parásitos y depredadores subterráneos, etc.). La cantidad máxima de agua " Q_x ", transferible a través

del vegetal, dependerá a la vez de su sistema foliar (evacuación) y de su sistema radical (absorción).

Cada vez que la ETP sobrepase el flujo máximo de agua Q_x , ya sea por una mayor demanda atmosférica, desecamiento del suelo o desarrollo radical insuficiente, habrá: una intervención de la regulación estomática, restricción de las superficies de intercambio y, por consecuencia, una reducción de la capacidad de producción de materia seca.

Por otra parte, a lo largo del día, la evapotranspiración potencial fluctúa grandemente, en función de la radiación neta, de la temperatura, del déficit de saturación y de la velocidad del viento, elementos de clima que presentan todos una variación diurna importante. El mínimo cotidiano de la ETP se alcanza durante la noche.

En regiones templadas subhúmedas, por ejemplo, la temperatura mínima se acerca al punto de rocío, el déficit de saturación ($ew - e$) se vuelve pequeño o casi nulo, por lo que la ETP tiende a cero.

Al contrario, esta ETP alcanza su valor máximo alrededor del medio día, que es el momento donde existe un excedente del balance radiativo neto y que coincide, generalmente, con el máximo del déficit de saturación (Fig. 2).

En los días soleados y secos, muy a menudo, las plantas sufren de un déficit hídrico sistemático en el transcurso del día y la regulación estomática tiene que intervenir. Durante el intervalo $h_1 h_2$ la fotosíntesis se reduce y la producción de materia seca se ve seriamente afectada.

Toda intervención que provoque un aumento de Q_x ($Q_x + \Delta Q$), o bien una disminución de la ETP (curva 3), disminuirá, o del todo suprimirá, el efecto depresivo que afecta la producción vegetal ($h'_1 h'_2$ en lugar de $h_1 h_2$) (Fig. 2).

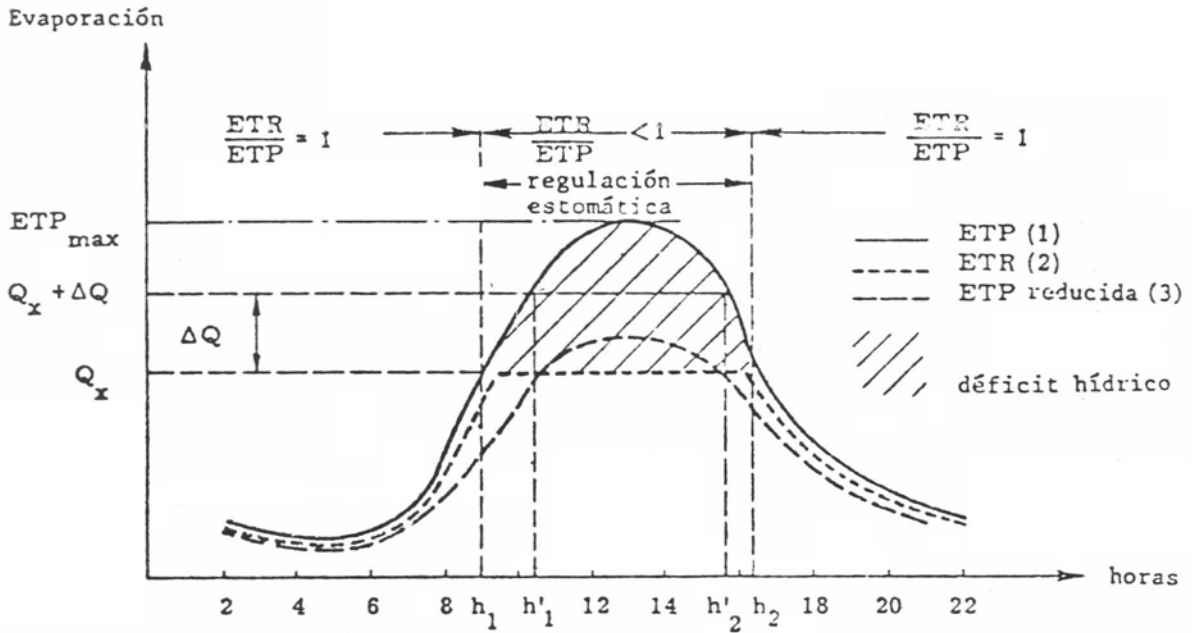


Fig. 2 - Evolución a lo largo del día de la ETP (Brochet, P. y Gerbier, N., 1975).

4. Nociones relacionadas con el suelo

El suelo es un medio poroso, cuyos espacios vacíos pueden ser ocupados por el agua. El volumen total de espacios vacíos representa la porosidad que se subdivide en macroporosidad (macroporos) y en microporosidad (microporos o poros capilares).

Se puede considerar al suelo como una reserva de importancia variable, que se llena y se vacía según un cierto ritmo, y dentro de la cual el agua no se encuentra libre, sino sometida a un conjunto complejo de fuerzas variables (la fuerza de gravedad, las fuerzas denominadas capilares, las fuerzas de adsorción), que determinan su retención, sus movimientos y finalmente su utilización por las plantas. Estas fuerzas dependen de numerosos factores, entre los cuales la talla de los poros juega un rol esencial (Boulaine, 1978).

4.1 Humedad del suelo

El suelo constituye un medio conveniente para las raíces, siempre que exista un equilibrio entre las tres fases (sólida, líquida y gaseosa). El aire es necesario para la respiración de las raíces y el agua les debe ser cedida sin dificultad. Por lo tanto, se distinguen diferentes niveles de humedad dentro del suelo que corresponden a las siguientes definiciones:

4.1.1 Humedad de saturación (HS)

Es la humedad del suelo cuando el agua ocupa toda la porosidad. Este no contiene más aire. Los poros gruesos son ocupados por el agua de gravedad.

4.1.2 Humedad a la capacidad de retención (HCR) o humedad a la capacidad de campo (HCC)

Es la humedad que contiene un suelo después de la desaparición del agua de gravedad; el agua restante ocupa la microporosidad (agua capilar). Ella es retenida dentro de las cavidades del suelo por las fuerzas de la tensión superficial. Estas fuerzas corresponden a alturas de ascensión capilar definidas por la ley de Jurin: de aproximadamente 1 metro para las arenas (poros de 15 micrones) hasta 10 metros para las arcillas (poros de 1,5 micrones).

4.1.3 Humedad equivalente (HE)

Esta medida se hace en el laboratorio. Se extrae el agua de una muestra de suelo saturado, por medio de una centrifugadora que produce una aceleración de 1000 veces la aceleración de la gravedad durante 30 minutos. La humedad del suelo después del tratamiento se aproxima a la humedad a la capacidad de retención.

4.1.4 Humedad crítica (HC)

Es la humedad del suelo debajo de la cual la planta comienza a sufrir de un déficit hídrico ($ETR < ETM$). Corresponde a una presión de succión dentro de la hoja de 8 a 10 atmósferas, pero no es un valor definido para el suelo.

Se ha comprobado que la humedad crítica es débil cuando la velocidad de desecación es lenta, es decir:

- cuando la evapotranspiración es menos fuerte
- cuando el volumen del suelo explorado es más importante (sistema radical bien desarrollado y en buen estado).

Este valor de humedad es, por consiguiente, una noción importante; sin embargo, es sumamente fluctuante, porque ella no depende solamente del suelo, sino también del clima y de las características de la planta.

4.1.5 Humedad al punto de marchitez permanente (HPM)

Es la humedad debajo de la cual la planta sufre de daños irreversibles causados por la sequía. En este momento, la fuerza de succión del suelo se equilibra con la fuerza de succión de las células de las raíces: el flujo de agua del suelo hacia la planta se anula. Es una noción igualmente variable y depende de la naturaleza de la planta.

Se ha adoptado por convención en definirla, como la presión de succión dentro del suelo correspondiente a 15 atmósferas, aún cuando ciertas plantas son capaces de extraer agua por medio de sus raíces a tensiones superiores.

4.1.6 Humedad higroscópica

El suelo puede secarse por debajo del punto de marchitez sin alcanzar una sequía total. Este valor de humedad corresponde a la cantidad de agua retenida por las partículas del suelo (agua "pelicular"), que se encuentran en equilibrio con el potencial hídrico medio de la atmósfera.

4.1.7 Agua de constitución

Se denomina así a las moléculas de agua atrapadas dentro de las estructuras químicas de los constituyentes del suelo. Ellas son liberadas solamente a altas temperaturas (450°C o más).

Las características hídricas del suelo, están, como se ha visto, estrechamente ligadas a su naturaleza mineralógica y a las condiciones pedológicas; siendo esencialmente las características físicas (textura, estructura) las que condicionan su comportamiento en relación al agua.

5. La reserva de agua en el suelo

La cantidad de agua máxima disponible dentro del suelo para la planta depende:

- de las características del suelo (principalmente de HCR y HPM)
- de la profundidad Z del suelo explotada por la planta (aproximadamente la profundidad alcanzada por las raíces).

5.1 Reserva útil

La reserva útil, RU, es el valor máximo de agua dentro del suelo disponible para la planta.

$$RU = da \cdot (HCR - HPM) \cdot Z$$

con:

RU = reserva útil en mm

da = densidad aparente de la tierra seca ^{1/}

HCR = humedad ponderal ^{2/} a la capacidad de retención (en %)

HPM = humedad ponderal al punto de marchitez permanente (en %)

Z = espesor del trozo de suelo correspondiente a la profundidad promedio de las raíces

5.2 Reserva fácilmente utilizable (RFU)

La reserva fácilmente utilizable es la fracción de la RU disponible a una tensión suficientemente débil como para que la planta transpire a la ETM.

$$RFU = da(HCR - HC) Z$$

con:

RFU = reserva fácilmente utilizable (en mm)

HCR = humedad ponderal a la capacidad de retención (en %)

HC = humedad crítica ponderal (en %)

Z = espesor del trozo de suelo correspondiente a la profundidad promedio de las raíces

^{1/} Se denomina densidad aparente de un suelo a la masa del suelo seco por unidad de volumen del suelo in situ, $da = M_s/V$.

^{2/} La humedad ponderal es definida por la relación $H_p\% = (\text{Peso de suelo húmedo} - \text{Peso del suelo seco})/\text{Peso del suelo seco} \times 100$.

En la práctica es difícil de obtener una buena estimación de HC, por lo que se ha preferido estimarla a partir de la RU.

$$RFU = \alpha RU$$

con:

$$0,5 \leq \alpha < 1$$

Estas nociones nos inducen a considerar, esquemáticamente, al suelo como una reserva donde una parte está disponible a voluntad (RFU) y donde el resto, denominada reserva difícilmente utilizable (RDU), se hace cada vez más racionada conforme se acerca al agotamiento.

Las modalidades de este racionamiento han sido estudiadas por Hallaire, (1964), sobre muestras de suelos en el laboratorio. Los resultados obtenidos se ilustran en la Figura 3.

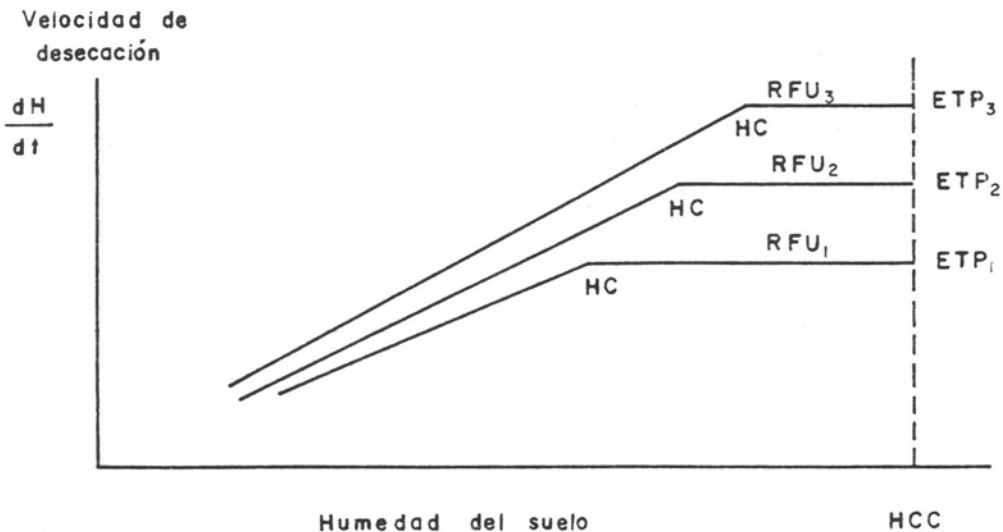


Fig. 3 - Velocidad de desecación para un mismo suelo en función de su humedad para diferentes niveles de evapotranspiración.

En condiciones de evaporación continua y uniforme, la velocidad de desecación del suelo (dH/dt) es constante mientras no se descienda por debajo de la humedad crítica; debajo de este valor, la velocidad de desecación decrece regularmente.

Hemos observado que la noción de humedad crítica es fluctuante, la noción de la RFU también lo es. Para un mismo suelo, la RFU decrece cuando la velocidad de desecación aumenta; por el contrario, esta crece cuando el sistema radical se densifica.

MATERIALES Y METODOS

1. Descripción de la zona en estudio

La región en estudio es la zona ocupada por el Proyecto C.E.E.: Reordenamiento Agrario y Desarrollo Rural Integrado la cual comprende los cantones de: Esparza, San Mateo, Atenas, Orotina, Garabito, Turrubares, Puriscal, Acosta, Mora y Aserrí. Para el mismo se seleccionaron siete estaciones meteorológicas (Fig. 4). Las coordenadas de dichas estaciones aparecen en el Cuadro 1.

Cuadro 1

Estaciones meteorológicas empleadas en el estudio agroclimático

ESTACION	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE	ALTITUD (m.s.n.m.)	AÑOS DE REGISTRO PRECIPITACION
Acosta	9°48'	84°10'	1095	16
Atenas	9°59'	84°23'	696	32
Barranca	10°00'	84°42'	140	35
Herradura	9°40'	84°38'	3	17
Orotina	9°55'	84°31'	224	23
Palo Seco	9°32'	84°18'	15	38
Puriscal	9°51'	84°19'	1102	29



2. Datos, programa y computador

El procesamiento de los datos se realizó en el Centro de Cómputo del IICA, el cual cuenta con un IBM4331. El programa de cálculo fue escrito en FORTRAN IV y los datos meteorológicos de entrada fueron: la precipitación diaria, temperaturas máxima y mínima y la duración de la insolación, que se encuentran en el banco de datos agroclimáticos de Costa Rica (ROJAS, et al 1982

3. Balance hídrico climático

Para realizar el balance hídrico climático (Precipitación - ETP) se calculó la evapotranspiración potencial, ETP, utilizando la fórmula de Priestley-Taylor, que se detalla a continuación.

Su expresión general (Priestley y Taylor, 1972) es:

$$ETP = 1,26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G)$$

ETP Evapotranspiración potencial

Δ Pendiente de la curva que da la presión máxima de vapor de agua en función de la temperatura

γ Constante psicrométrica

R_n Radiación neta

G Flujo de calor a nivel del suelo, representa aproximadamente un 5% de R_n

El término $\Delta/(\Delta + \gamma)$ no tiene dimensión y varía con la temperatura del aire. Para un rango de temperaturas entre 10 y 30°C, se puede estimar por medio de la fórmula siguiente:

$$\Delta/(\Delta + \gamma) = f(t) = 0,430 + 0,012 t$$

La fórmula de Priestley-Taylor se utiliza generalmente a nivel diario, siendo en este caso t el promedio de la temperatura diurna y R_n la radiación neta diaria.

La radiación neta a nivel diario R_n se determina a partir de la radiación global diaria R_g , ya que el cociente R_n/R_g es considerado como una constante para una región determinada, esto es $R_n/R_g = c$. Se puede emplear $c = 0,60$ para Costa Rica.

En cuanto a la radiación global diaria, R_g puede estimarse a partir de la duración de insolación, n mediante una fórmula de tipo Black-Prescott:

$$R_g/R_{g_0} = a + b (n/N)$$

con:

- R_g Radiación global diaria
- R_{g_0} Radiación solar al tope de la atmósfera
- n Duración de la insolación
- N Duración astronómica del día
- a y b Coeficientes empíricos específicos de la región considerada y determinados estadísticamente. Los valores escogidos para nuestro estudio $a = 0,23$ y $b = 0,46$

Para obtener una mejor representación del balance climático y que a la vez suministre mayor información a los usuarios de este estudio, en lugar de utilizar el valor promedio de la precipitación, como es lo acostumbrado en este tipo de balance, se emplean los quintiles (primero y cuarto según recomendación de la O.M.M. en los mensajes del clima) y la mediana de la precipitación. Valores que son comparados con el valor promedio de la ETP por década, justificándose el promedio por ser la variación interanual de la ETP débil.

En el Anexo C se presenta la explicación de cada uno de los parámetros estadísticos que son utilizados en este trabajo.

4. Estimación de las temperaturas diurna y diaria y de la duración de la insolación

La mayoría de las estaciones meteorológicas seleccionadas para este estudio solo presentan registros de precipitación; por lo que se hizo necesario recurrir a estimar los parámetros meteorológicos faltantes. Para esto se utilizaron las ecuaciones calculadas por Rojas y Eldin en el estudio de zonificación agroecológica para el cultivo de caña de azúcar (Rojas, O. y Eldin, M., 1983). En cuanto a la temperatura se empleó una ecuación denominada altotérmica o gradiente medio que estima este parámetro a partir de la altura sobre el nivel del mar del lugar. Para estimar la duración de la insolación se utiliza una ecuación de tipo cuadrático que relaciona el promedio interanual por década del brillo solar con el promedio interanual por década de la precipitación.

5. Balance hídrico teórico

Se utiliza un modelo simple del balance hídrico teórico a nivel del día, que simula las interacciones entre la atmósfera, el cultivo y el suelo (Lhomme, J.P. et al. 1984; Rojas, O. 1984).

5.1 Presentación del modelo

5.1.1 Reserva útil del suelo

La reserva hídrica del suelo, representada por RH, constituye la cantidad de agua almacenada en el suelo y disponible para las plantas. Es un número positivo, expresado en milímetros, que varía entre 0 y la reserva útil RU. La reserva útil, anteriormente definida, evoluciona en función de la profundidad de las raíces, que depende a su vez del estadio de desarrollo del cultivo. Para simplificar el problema, vamos a considerar un cul-

tivo perenne cuyo sistema radical es aproximadamente constante en el transcurso del tiempo. De esta manera, supondremos que la reserva útil es constante.

5.1.2 Lluvia eficaz

Admitiremos que una lluvia demasiado débil ($P < P_n$) se evapora inmediatamente sin que logre contribuir a la reconstitución de la reserva hídrica. Si P_j designa la lluvia registrada del día j y PE_j la lluvia eficaz, escribiremos pues:

$$PE_j = \begin{cases} P_j, & \text{si } P_j \geq P_n \\ 0, & \text{si } P_j < P_n \end{cases} \quad (1)$$

En lo que se refiere a la escorrentía consideraremos un suelo horizontal de tal manera que podamos anularla. De este modo, si la intensidad de la lluvia es superior a la capacidad de infiltración del suelo, el agua que no se infiltra inmediatamente se quedará en el mismo lugar en estado libre hasta el momento que se evapore o se infiltre. Tampoco habrá transferencias laterales de agua dentro del suelo.

5.1.3 Drenaje

Si la cantidad de lluvia que cae el día j es superior a la capacidad de retención del suelo, habrá drenaje, es decir una pérdida de agua por salida subterránea. La capacidad de retención del suelo el día j , representada por CR_j , corresponde a la diferencia entre la reserva útil RU y la reserva hídrica del día anterior RH_{j-1}

$$CR_j = RU - RH_{j-1} \quad (2)$$

La cantidad de agua perdida por drenaje se escribe:

$$DR_j = \begin{cases} P_j - CR_j, & \text{si } P_j > CR_j \\ 0 & , \text{ si } P_j \leq CR_j \end{cases} \quad (3)$$

5.1.4 Evapotranspiración real

La evapotranspiración máxima ETM evoluciona, respecto a la ETP, en función del estado de recubrimiento del suelo por el follaje. En el caso de un cultivo cuyo follaje cubre totalmente el suelo, se puede admitir que la ETM iguala a la ETP. Así, siempre para simplificar el problema, vamos a considerar un cultivo perenne que cubre totalmente el suelo

En cuanto a la evapotranspiración real, ETR, ella evoluciona, respecto a la ETM, en función del estado de la reserva hídrica del suelo. Como se ha visto, los conceptos clásicos sobre la utilización del agua del suelo por las plantas tienen en cuenta una reserva fácilmente utilizable, RFU, que representa la fracción de la reserva útil utilizable por las plantas sin dificultad, es decir, sin que eso provoque un cierre de los estomas, y así una reducción de la evapotranspiración respecto a la ETM. Debajo de este umbral, la ETR decrece, conforme el agua disponible disminuye, y eso hasta el punto de marchitez permanente donde se anula. El punto crítico, que constituye el umbral de regulación, varía según el tipo de suelo y el desarrollo de las raíces. Pondremos: $RFU = c \cdot RU$, siendo c un coeficiente de ajuste ($0 < c < 1$) De este modo se encuentra definida también una reserva difícilmente utilizable RDU que es el complementario de la RFU respecto a la RU: $RU = RFU + RDU$.

Supondremos que el cociente ETR/ETM aumente linealmente de 0 a 1 en función de la reserva hídrica RH del suelo, cuando ella pasa del valor 0 al valor RDU, y se mantiene en este valor cuando la reserva fluctúa entre RDU y RU. Representando RH_{j-1} el estado de la reserva hídrica al fin del día $j - 1$ y por consiguiente al inicio del día j , escribiremos:

$$ETR_j/ETM_j = \begin{cases} 1 & , \text{ si } RH_{j-1} \geq RDU \\ RH_{j-1}/RDU & , \text{ si } RH_{j-1} < RDU \end{cases} \quad (4)$$

El déficit hídrico diario a nivel del cultivo se encuentra definido por la relación:

$$DH_j = ETM_j - ETR_j \quad (5)$$

A partir de eso se definirá un déficit hídrico acumulado sobre el período de cultivo o sobre una fase particular del ciclo (estado crítico por ejemplo):

$$DHC = \sum_{j = J1}^{J2} DH_j \quad (6)$$

5.1.5 Ecuación del balance hídrico

La ecuación que traduce el balance hídrico se escribe sobre una base diaria:

$$RH_j = RH_{j-1} + PE_j - ETR_j - D_j \quad (7)$$

Esta ecuación va a servir como relación recurrente para calcular las reservas hídricas diarias sucesivas. A menos que se tenga

una manera particular de conocer la reserva hídrica al inicio del proceso recurrente, RH_0 , se puede basar en las consideraciones siguientes para iniciar el proceso: si el día 1 se encuentra en plena estación seca, se escoge $RH_0 = U$, y si se encuentra en plena estación lluviosa, $RH_0 = RU$, de lo contrario, se toma un valor promedio $RH_0 = RU/2$.

5.2 Análisis frecuencial de la reserva hídrica del suelo, RH

Como resultado del modelo de balance hídrico se obtiene una matriz con los niveles diarios de la reserva hídrica del suelo de dimensión $RH(n, 365)$, con n = número de años de registro. Con el afán de aproximarse más al contexto agrícola, se estudian las frecuencias para duraciones de 5, 10, 15 y 20 días consecutivos secos. Se considera un día seco como un día con una reserva hídrica inferior a la reserva difícilmente utilizable (RDU). Para las duraciones de 15 y 20 días se conserva su presentación por década con la idea de aprovechar en mejor forma la información disponible.

5.3 Estudio del período de sequía

Para cada año de registro se determina el número máximo de días consecutivos secos para el o los períodos de sequía, se forma una muestra de tamaño n y se calculan los siguientes parámetros estadísticos: máximo y mínimo de la serie, la mediana, el primer y cuarto quintiles, la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

5.4 Estudio de la diferencia de evapotranspiración

A partir de la matriz $DH(n, 365)$ que contiene los valores diarios de la diferencia entre ETM y ETR, que representa un déficit hídrico a nivel del

cultivo, se calculan los parámetros estadísticos anteriormente mencionados.

La razón por la cual se analiza esta diferencia de evapotranspiración es porque algunos autores han considerado la fracción ETR/ETM como un índice de sequía, debido a la relación estrecha que guarda con la producción de materia seca.

Cuando el suelo se encuentra insuficientemente provisionado de agua, o la planta es fisiológicamente incapaz de asegurar el gasto de agua resultante de la demanda climática, el régimen de evapotranspiración máxima no se alcanza y la planta se encuentra en régimen de evapotranspiración real, ETR, que es menor que ETM ($ETR < ETM$).

El cierre parcial de los estomas reduce el intercambio gaseoso de la planta con la atmósfera y frena su actividad fotosintética. Se admite generalmente que para una especie dada la reducción de los flujos de vapor de agua y de gas carbónico es sensiblemente la misma, resulta pues que los fenómenos de evapotranspiración y de fotosíntesis aparecen como proporcionales, esto es:

$$\frac{MS_0 - MS}{MS_0} = \frac{ETM - ETR}{ETM}$$

con:

MS_0 producción de materia seca a nivel de ETM
 MS producción de materia seca a nivel de ETR

Por esto se analizan estadísticamente los resultados de la diferencia de evapotranspiración, tanto en forma absoluta ($ETM - ETR$), como relativa en

porcentaje $[(ETM - ETR)/ETM] \times 100$

6 Modelo de irrigación

El objetivo del presente modelo es calcular para cada año de registro el número de irrigaciones necesarias para obtener una "optimización bioclimática", ésto significa mantener el nivel máximo de evapotranspiración ETM. Sin embargo, ello no implica necesariamente una optimización desde el punto de vista económico, ya que el producto marginal (PM_g) resultante de una irrigación, puede ser inferior al costo marginal (CM_g) del agua.

En el Anexo B vienen algunas consideraciones sobre la eficiencia del agua de irrigación. El modelo utiliza la precipitación diaria (P), la evapotranspiración máxima (ETM) y la matriz de la reserva hídrica del suelo RH (n, 365)

Se continúa con el principio del balance hídrico diario

$$RH_j = RH_{j-1} + PE_j - ETM_j - D_j \quad (8)$$

pero esta vez en lugar de utilizar ETR_j se empleará ETM_j , porque RH va a fluctuar solamente entre RDU y RU.

Se irrigará cada vez que se cumplan las dos condiciones siguientes:

Se irriga si: $\{ RH_j < RDU \}$ y $\{ RH(n, j+9) < RDU \}$

$RH(n, j+9)$ representa el valor de la reserva hídrica del día $j + 9$ y tiene el propósito de contemplar la posibilidad de que la reserva hídrica del día j vuelva a ser superior a RDU, por efecto de una lluvia que caiga en el transcurso de los nueve días siguientes al día j . Siendo en este caso innecesario el riego

Después de cada irrigación, RH_j tomará el valor máximo que corresponde al de la reserva útil ($RH_j = RU$) y se continuará con el balance hídrico.

6.1 Análisis estadístico del número de irrigaciones

Como resultado del modelo de irrigación se obtiene un vector $NI(n)$, con n = número de años de registro, el cual contiene el número de irrigaciones necesarias por año. A partir de esta muestra se efectúa el análisis estadístico.

6.2 Análisis estadístico de la fecha de cada irrigación

Para cada irrigación se anota el número del día en que el modelo calcula que se debe realizar el riego, obteniéndose una matriz de dimensión $FI(n,m)$, n = años de registro y m = número de irrigaciones para la estación en el valor de la mediana, pudiéndose de esta manera calcular los parámetros estadísticos para cada fecha de irrigación.

RESULTADOS Y DISCUSION

1. Balance hídrico climático

En el Cuadro 2 se puede apreciar los valores de la evapotranspiración potencial, ETP, para las diferentes estaciones meteorológicas en estudio. Estos se mantienen más o menos constantes a lo largo del año (entre 33 y 58 mm por década). Sólo se presenta una pequeña variación entre décadas (10 a 18 mm) debido a la diferencia de condiciones climáticas existente entre la época seca y la época lluviosa.

De la Figura 5 a la 11 se presentan los resultados del balance hídrico climático. Si se considera, el valor de la mediana para la precipitación o sea la cantidad de precipitación que se puede presentar un año de cada dos, se aprecia que la misma supera el valor de la ETP, a finales de abril o principios de mayo. Pudiéndose considerar este hecho, como el inicio de la estación lluviosa que se mantiene hasta mediados de noviembre. En los meses de julio y agosto existe una disminución de la cantidad de precipitación, debido a una conjugación de factores meteorológicos, popularmente conocida con el nombre de "canícula" o "veranillo". En relación a este fenómeno es importante resaltar que solo un año de cada cinco, va a afectar el balance climático tornándolo negativo. Esto último se puede apreciar al analizar la curva de la precipitación en términos del primer quintil. Siendo las regiones más afectadas las cercanas a las estaciones: Acosta, Atenas y Puriscal y la región menos afectada la cercana a la estación Palo Seco. Es necesario señalar que la canícula tiene una influencia menor en esta zona que en la región del Pacífico Norte de Costa Rica como se puede apreciar si comparan estos resultados con los obtenidos en el estudio para el Pacífico Norte (ROJAS, O.E. 1985).

Cuadro 2

Evapotranspiración potencial por década en mm

	45	45	48	47	47	48	49	50	51	49	47	47
ACOSTA	45	40	36	36	37	38	39	39	41	43	42	36
88005	36	38	36	35	34	34	35	37	38	41	43	43
	44	46	48	49	50	50	52	53	52	51	50	46
ATENAS	43	39	38	38	38	38	40	41	39	40	39	38
84004	38	38	38	37	37	36	37	39	40	44	44	42
	48	49	51	52	54	56	57	58	58	56	56	52
BARRANCA	45	42	40	39	39	40	40	40	41	43	42	40
80002	40	40	39	39	38	38	37	40	41	45	44	45
	47	48	51	51	54	54	55	57	55	55	53	52
HERRADURA	46	44	41	40	40	40	40	40	41	42	43	42
86001	42	41	41	43	40	43	40	37	40	41	48	42
	47	49	51	51	52	53	54	55	56	54	50	47
OROTINA	41	40	40	39	38	39	40	39	39	40	40	40
84017	40	39	40	38	45	40	36	39	40	43	45	46
	48	50	51	53	53	56	57	56	55	55	52	48
PALO SECO	45	41	39	39	41	40	38	40	39	41	39	39
88004	39	40	39	39	38	37	36	38	40	42	43	44
	44	45	46	48	49	49	50	50	49	47	48	44
PURISCAL	41	37	36	37	37	38	40	38	39	41	39	38
88001	36	36	35	36	34	33	36	38	37	42	40	41

NOTA: Los valores deben ser leídos en forma horizontal hasta completar los 36 valores para cada estación. Fórmula empleada Priestley - Taylor

FIG. 5

ACOSTA

Comparacion entre precipitacion y ETP

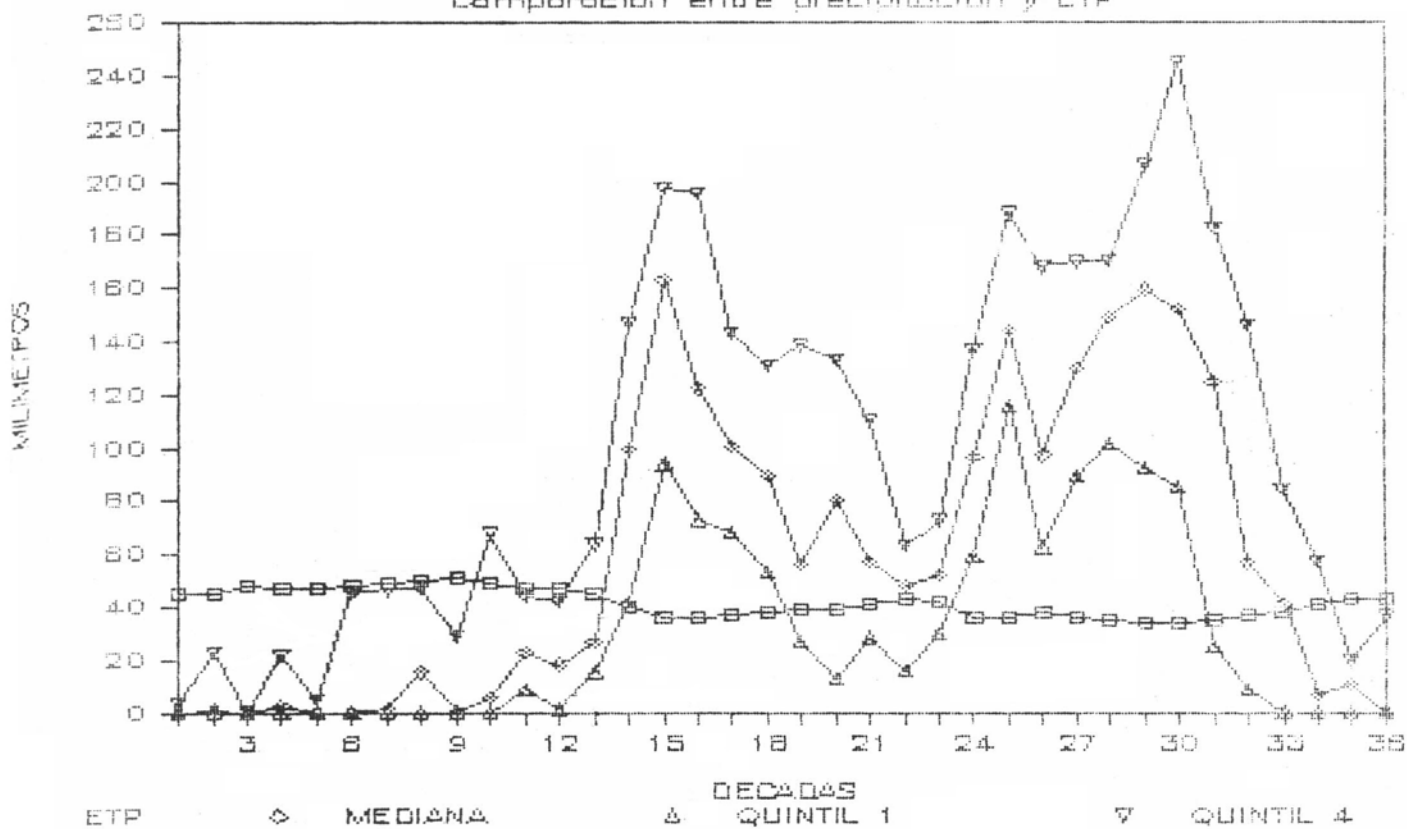


FIG. 6

ATENAS

Comparacion entre precipitacion y ETP

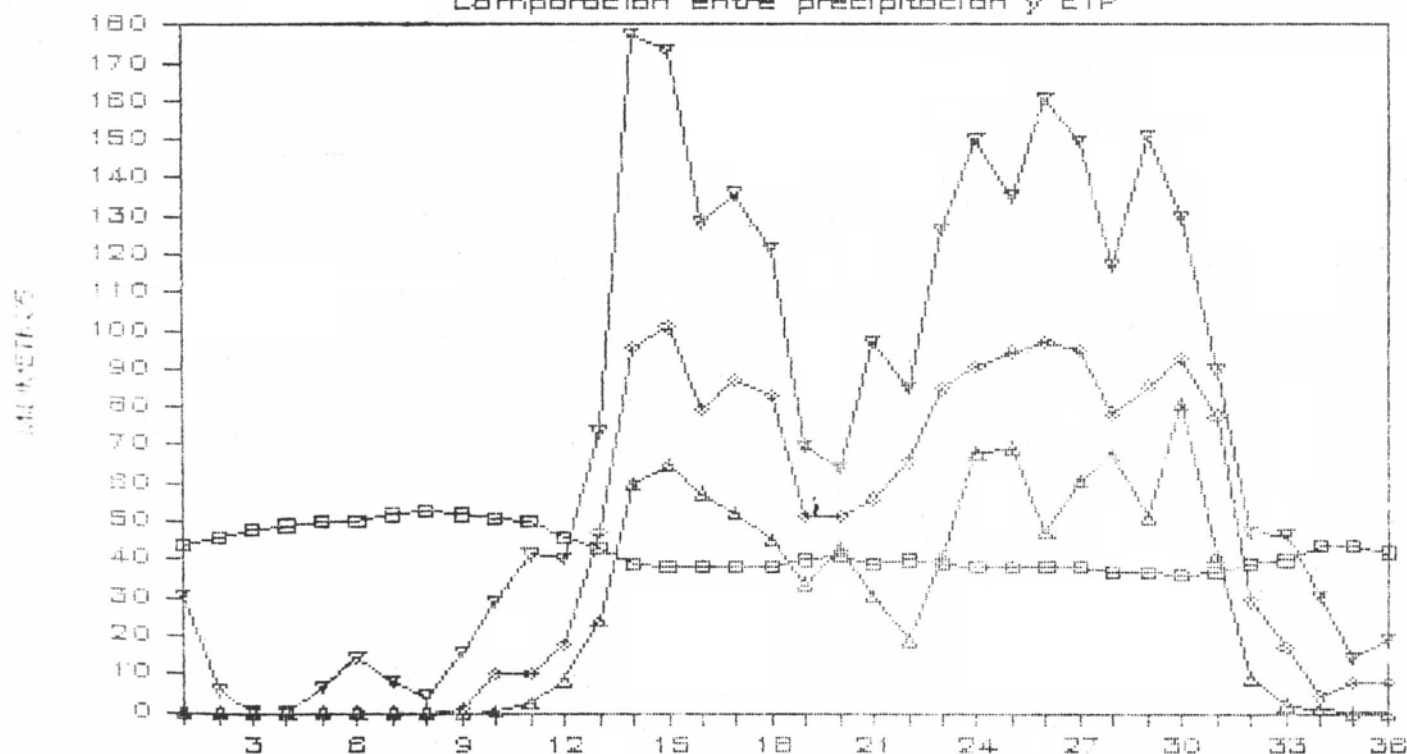


FIG. 7

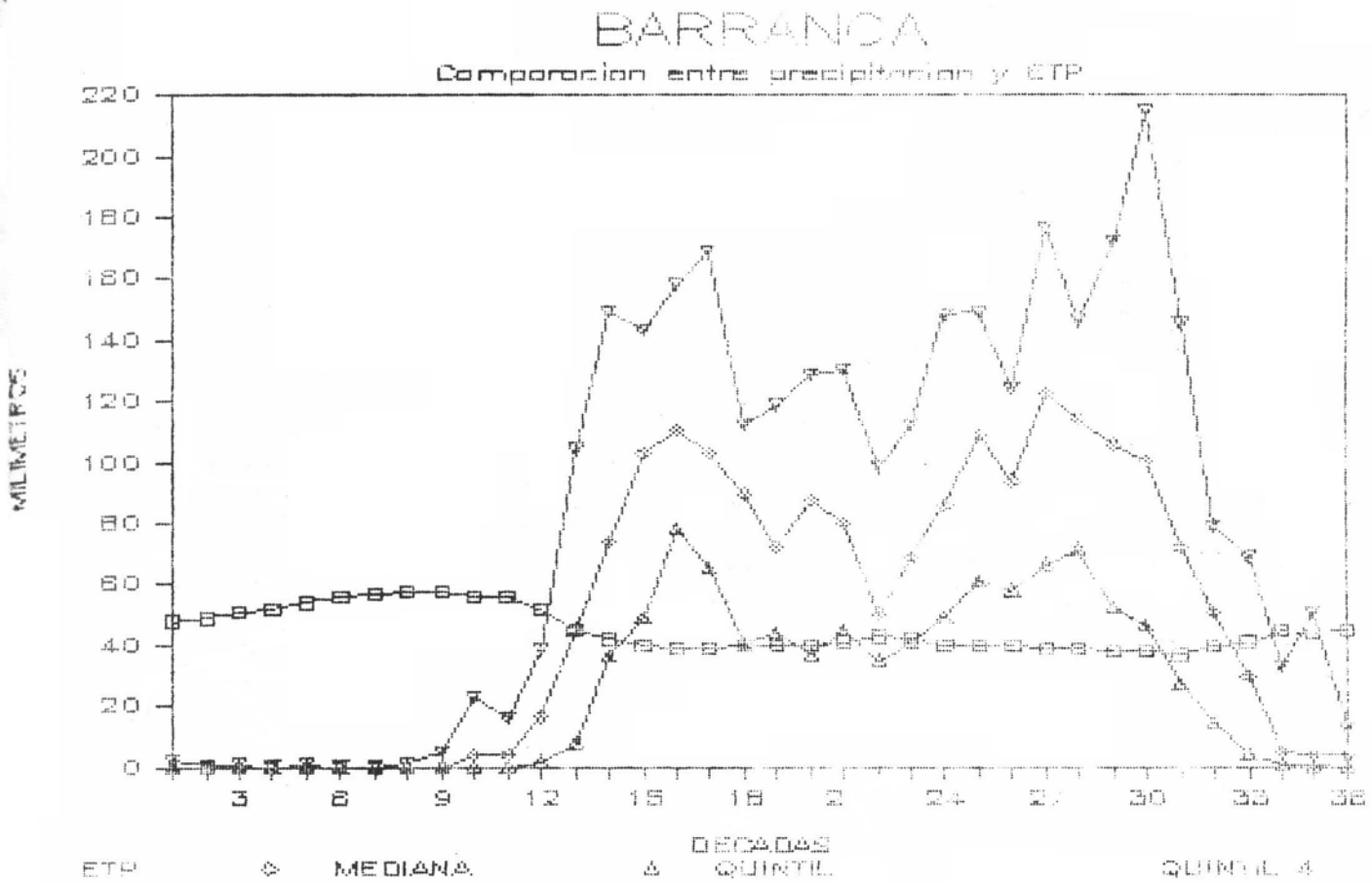


FIG. 8

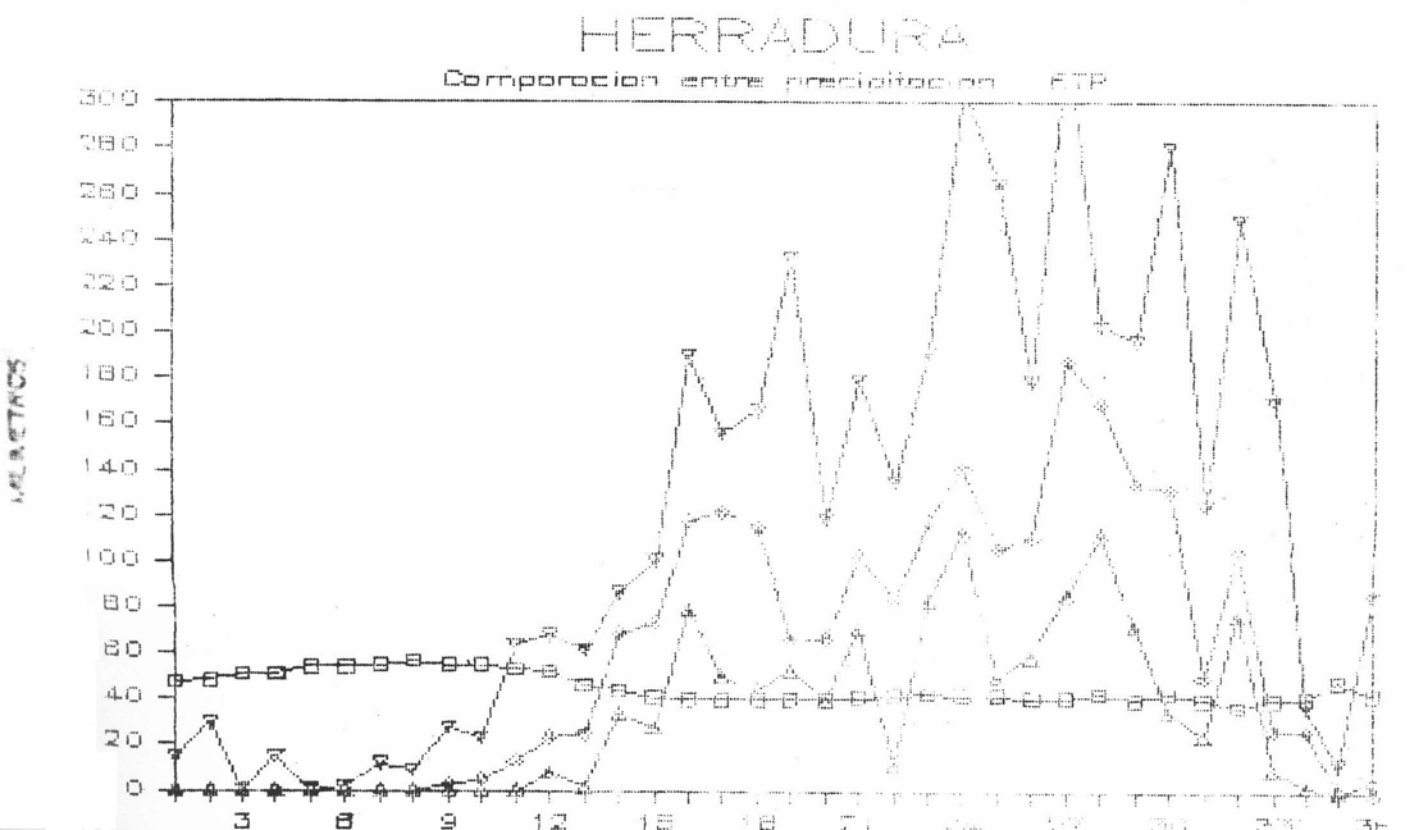


FIG. 9

OROTINA

Comparación entre precipitación y ETP

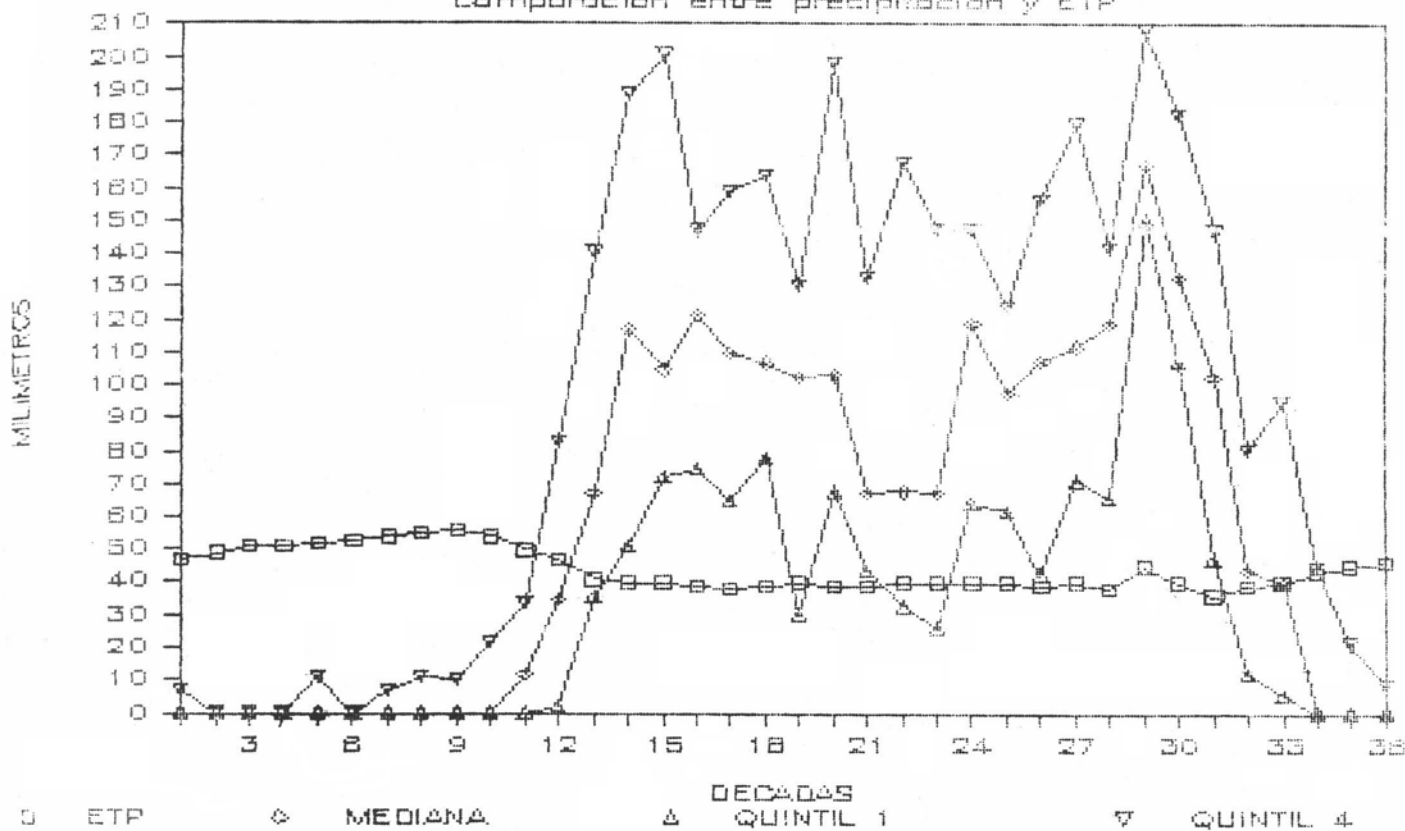


FIG. 10

PALO SECO

Comparación entre precipitación y ETP

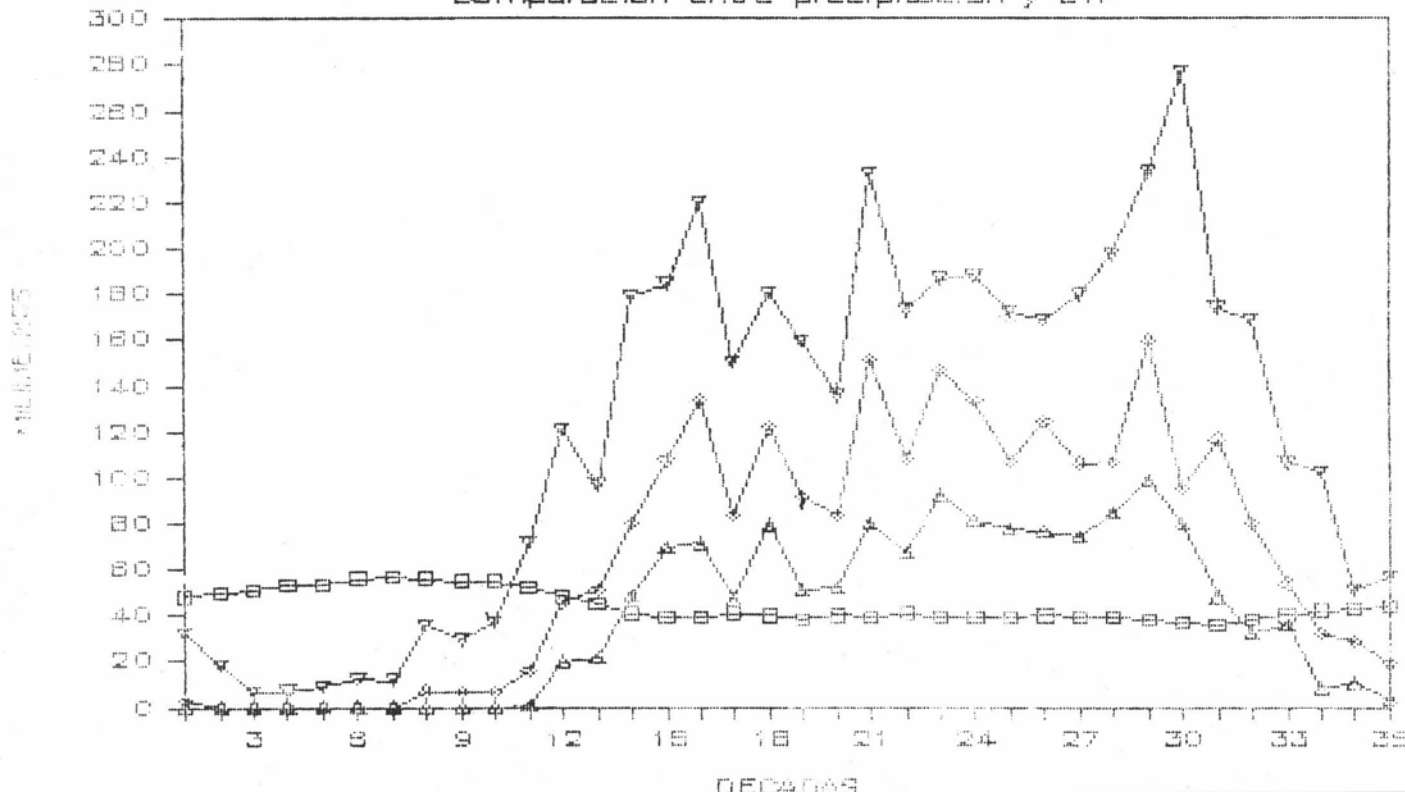
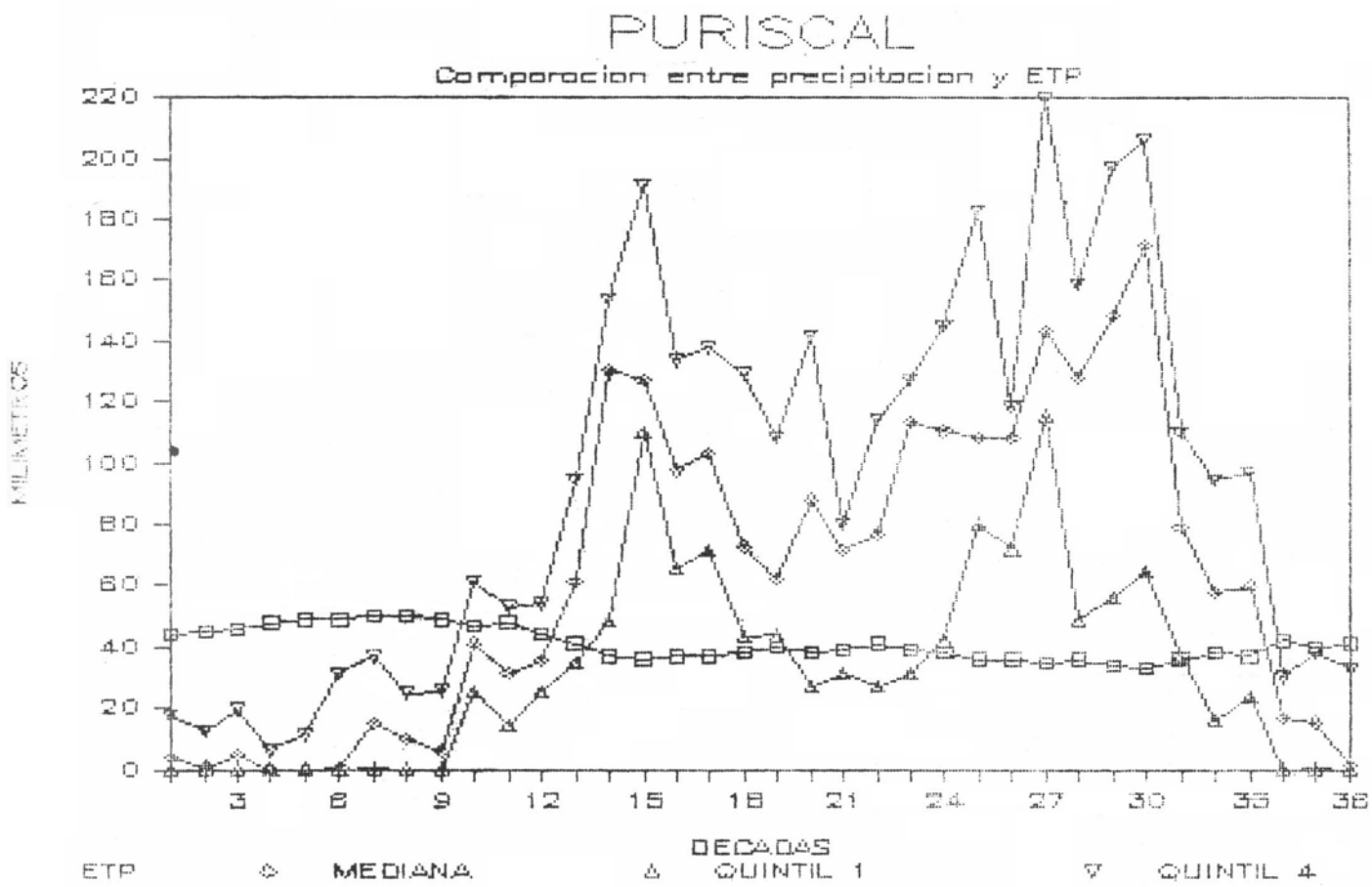


FIG. 11



2. Balance hídrico teórico

2.1 Análisis frecuencial de la reserva hídrica del suelo, RH

Los resultados de encontrar 5 y 10 días consecutivos secos ($KH < RDU$) se presentan en forma de frecuencias de la Fig. 12 a la 18. A parte, de la alta probabilidad de que aparezcan días consecutivos secos en medio de la estación seca, resaltan los resultados obtenidos para la estación de Acosta en los meses de julio y agosto; y en menor grado en Atenas y Puriscal.

2.2 Estudio del período de sequía

Las estadísticas para el número de días consecutivos secos, tanto para la época seca, como para el denominado "veranillo" aparecen en los Cuadros 3 y 4 respectivamente. Si se analizan estos resultados en términos del valor de la mediana, se puede esperar que ocurran como máximo 156 días consecutivos secos en la región cercana a la estación de Atenas y como mínimo 94 días secos ($RH < RDU$) para la región de Acosta.

Existe un 80% de probabilidad de que se presenten al menos 81 días secos consecutivos en toda la zona estudiada; presentándose el número máximo, a esta misma probabilidad, para la región cercana a la estación de Barranca (138 días secos consecutivos).

En relación al "veranillo", según los resultados obtenidos, Cuadro 4 su influencia en la región no es muy marcada. Sin embargo, existe una probabilidad de un 20%, esto es, de que un año de cada cinco se presenten 19, 5 y 4 días consecutivos secos para las regiones cercanas a las estaciones meteorológicas: Acosta, Atenas y Puriscal, respectivamente.

FIG. 12

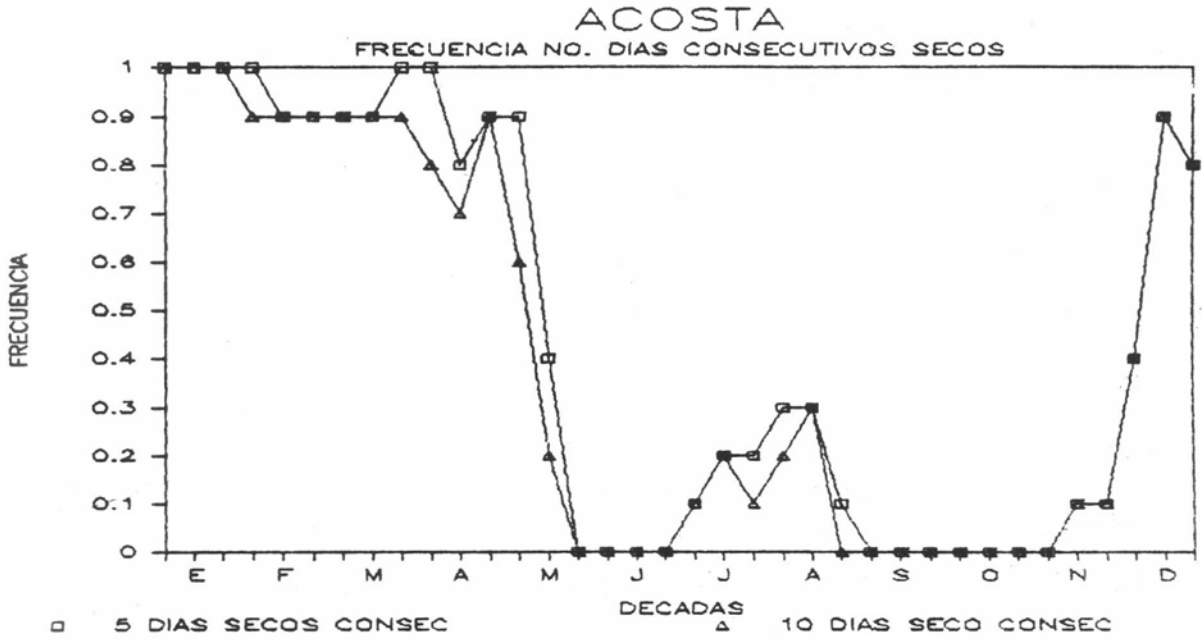


FIG. 13

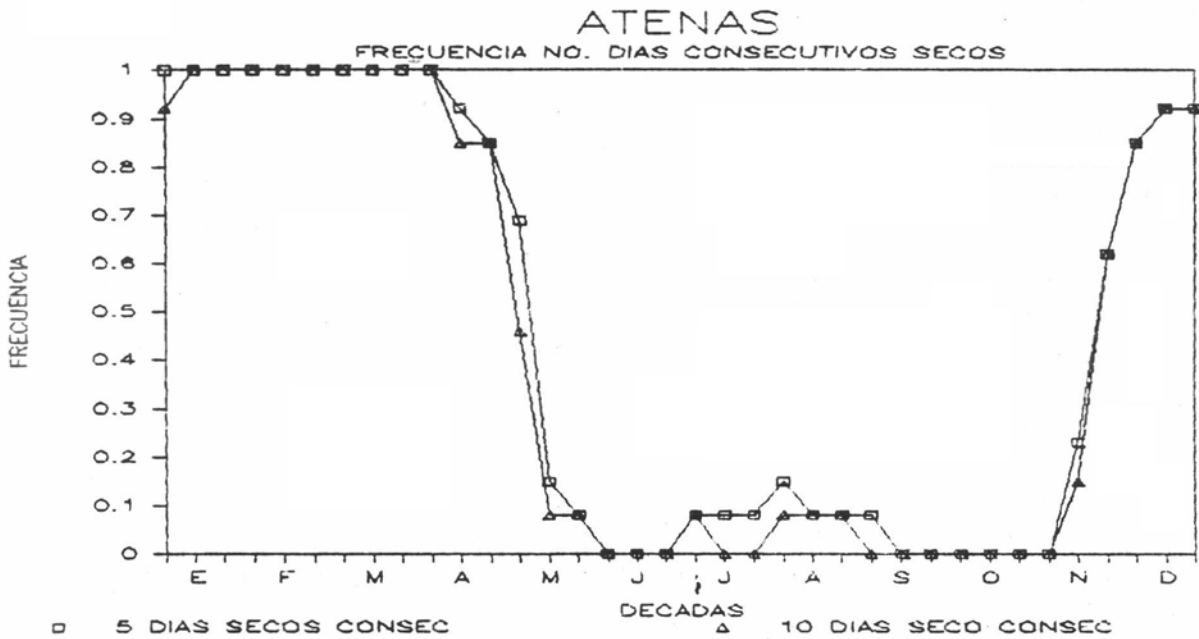


FIG. 14

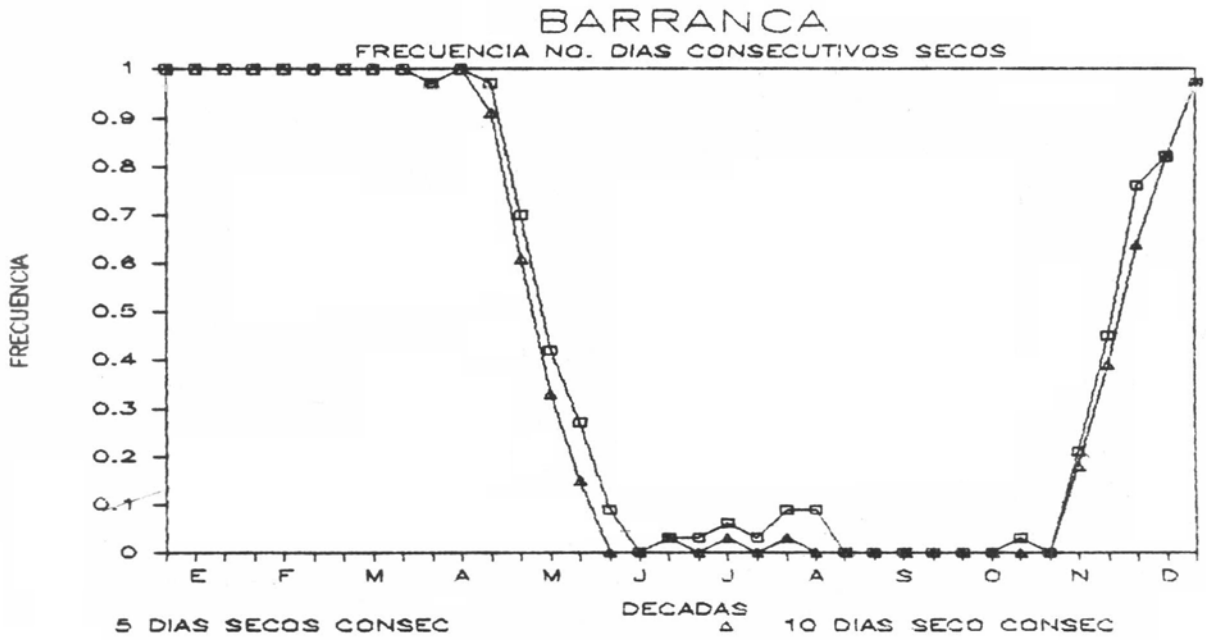


FIG. 15

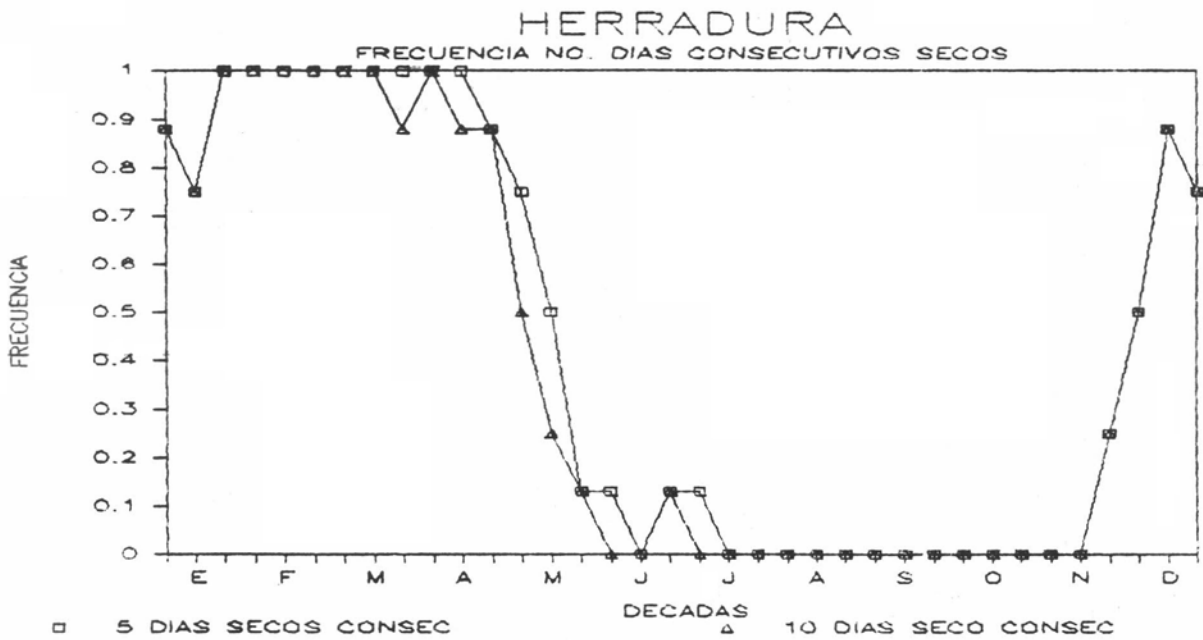


FIG. 16

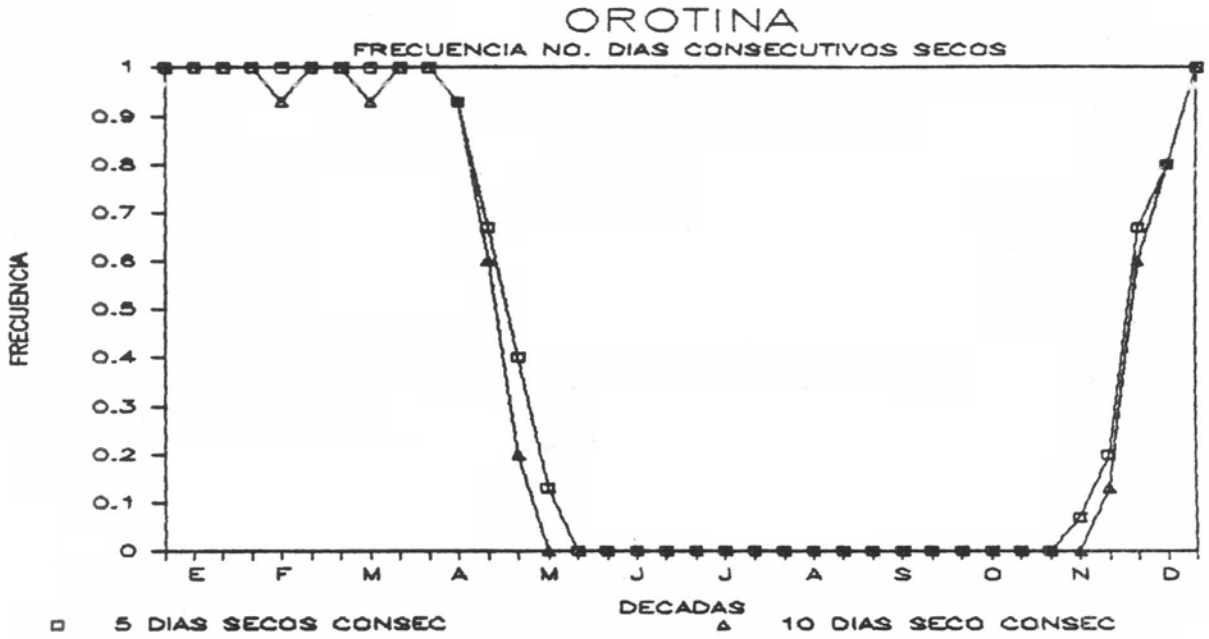


FIG. 17

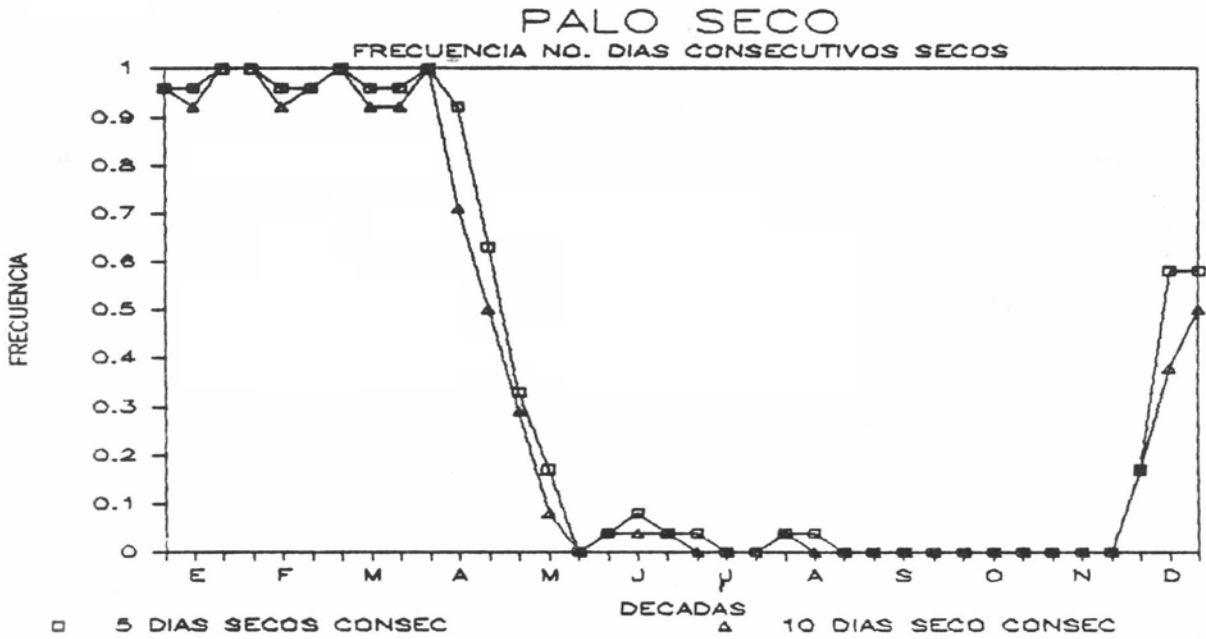
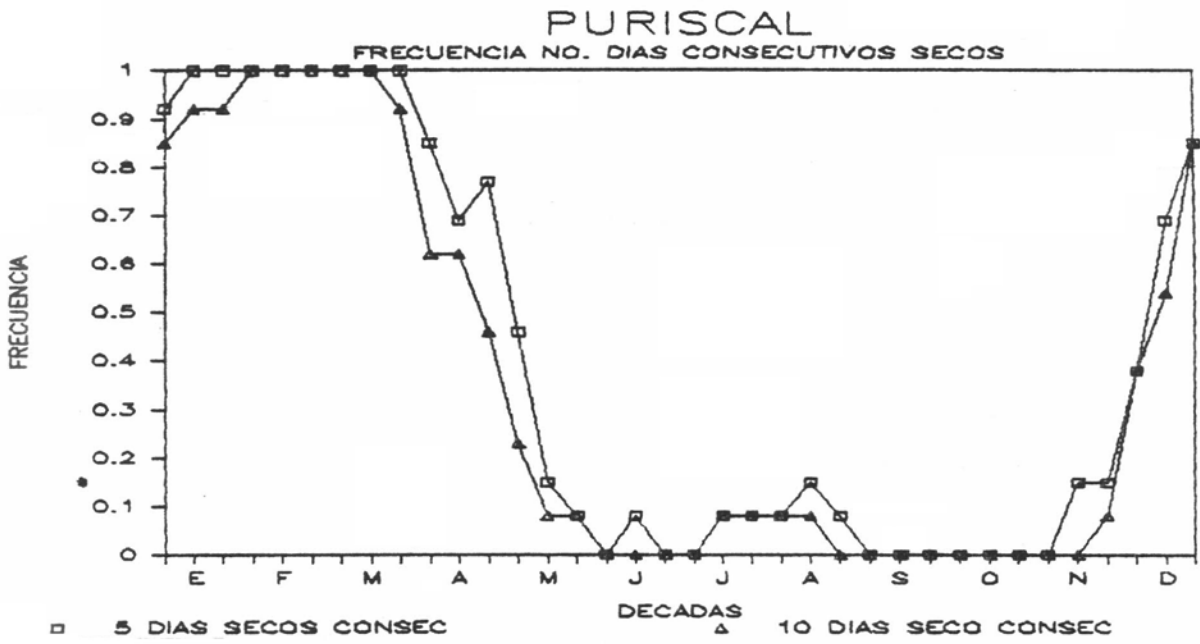


FIG. 18



Cuadro 3

Parámetros estadísticos del número de días consecutivos secos
para la región ocupada por el Proyecto C.E.E.

ESTACION	MINI	AN	QNT 1	MEDN	QNT 4	MAXI	AN	MED	DE	CV
Acosta	67	63	81	94	159	167	76	111	36	0.33
Atenas	92	41	115	156	169	175	64	146	28	0.19
Barranca	84	60	138	154	163	200	64	153	20	0.13
Herradura	65	72	83	114	155	177	61	120	35	0.29
Orotina	75	54	106	140	150	158	57	131	24	0.19
Palo Seco	43	50	82	109	121	141	57	102	26	0.26
Puriscal	66	53	81	117	130	157	51	112	25	0.22

Cuadro 4

Parámetros estadísticos del número de días consecutivos secos
dentro del "veranillo" para la región ocupada por el Proyecto C.E.E.

ESTACION	MINI	AN	QNT 1	MEDN	QNT 4	MAXI	AN	MED	DE	CV
Acosta	0	60	0	6	19	43	72	11	13	1.
Atenas	0	41	0	2	5	27	53	4	7	1.
Barranca	0	38	0	0	2	14	72	1	3	.
Herradura	0	61	0	0	0	12	72	2	4	.
Orotina	0	50	0	0	0	2	51	0	1	.
Palo Seco	0	42	0	0	0	27	72	2	6	.
Puriscal	0	41	0	0	4	38	51	4	10	.

Es necesario recordar, que en el presente estudio, un día seco es considerado como aquel día para el cual el nivel de la reserva hídrica del suelo, RH, no alcanza el valor de la reserva difícilmente utilizable, RDU.

Por otra parte, en el Cuadro 5, aparecen las estadísticas para la fecha de inicio de cada período de días consecutivos secos; dentro de la época seca de la región. Esta fecha gira alrededor de la década 34, esto es a mediados de diciembre (valor de la mediana).

2.3 Estudio de la diferencia de evapotranspiración

De la Fig. 19 a la 39 se presentan para cada estación meteorológica la diferencia de evapotranspiración (ETM-ETR) en porcentaje en términos del primer quintil, la mediana y el cuarto quintil. Esta diferencia en evapotranspiración puede ser considerada con un buen índice de sequía, significando el 100% que el nivel de la ETR toma el valor cero, esto es que existe un 100% de disminución en la producción de materia seca del cultivo debido a un cierre estomático total. Por lo tanto, cuantifica el efecto negativo de una sequía en relación a la producción de biomasa.

Se puede apreciar que para las estaciones Barranca y Orotina se dará la mayor disminución de producción de materia seca en la época seca de la región. Es interesante resaltar que solo en la estación de Acosta aparece una disminución de la producción (20%) en términos del cuarto quintil.

Además en el Anexo A para cada década del año se indica el valor en décimas de milímetros de la diferencia de evapotranspiración absoluta (ETM-ETR) que se puede considerar como un déficit hídrico a nivel del cultivo.

Cuadro 5

Parámetros estadísticos de la fecha de inicio del período
de días consecutivos secos para la época seca principal

ESTACION	MINI	AN	QNT 1	MEDN	QNT 4	MAXI	AN	MED	DE	CV
Acosta	1	62	327	342	347	362	72	307	103	0.33
Atenas	1	72	323	330	343	353	41	307	89	0.29
Barranca	1	42	330	340	352	360	72	331	59	0.18
Herradura	1	67	336	345	358	365	72	306	116	0.38
Orotina	323	66	337	340	347	352	51	340	8	0.02
Palo Seco	1	42	45	352	359	363	66	272	3	0.01
Puriscal	1	53	328	343	351	357	67	291	124	0.43

FIG. 19

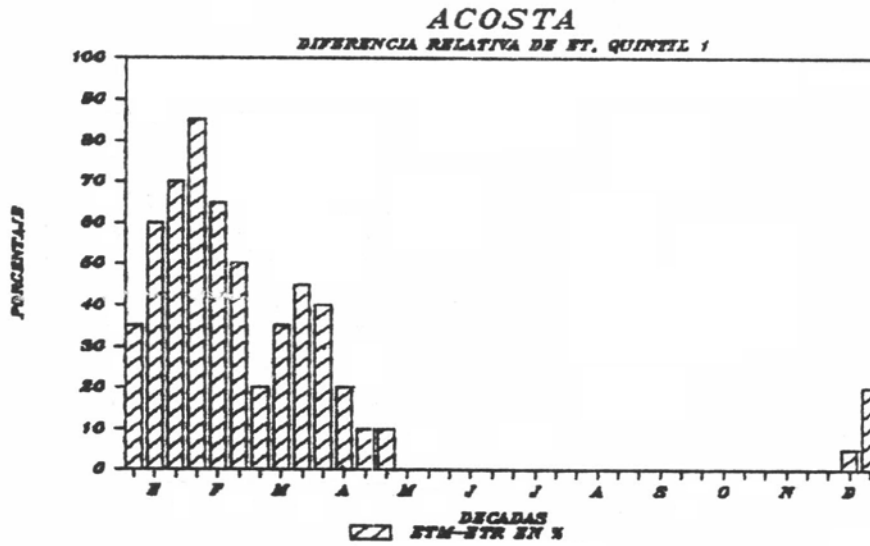


FIG. 20

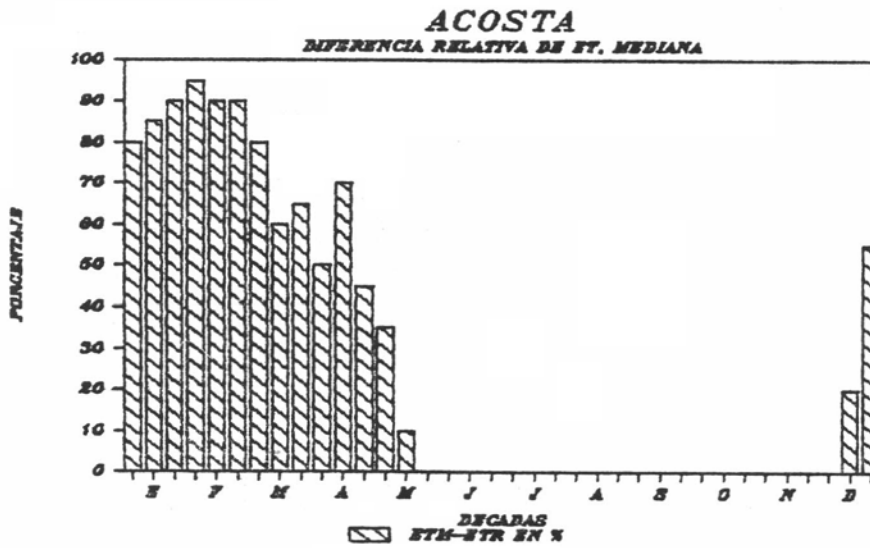


FIG. 21

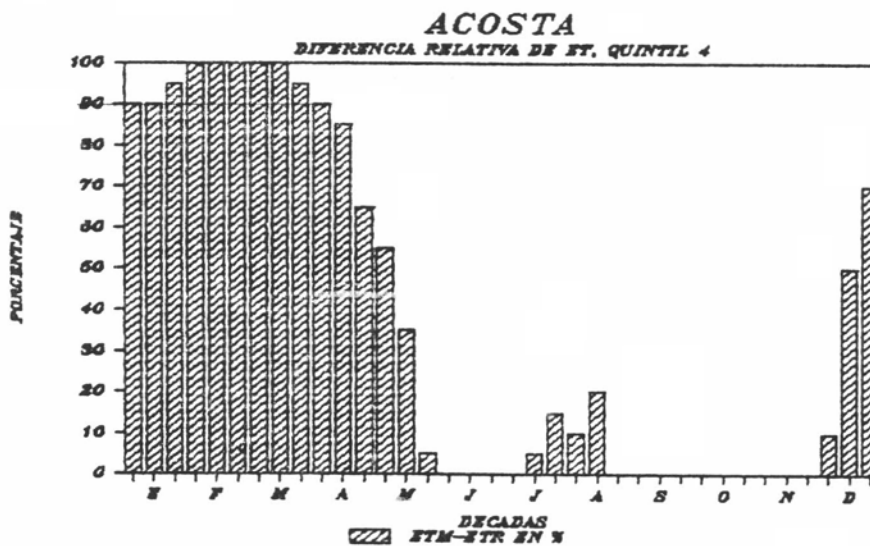


FIG. 22

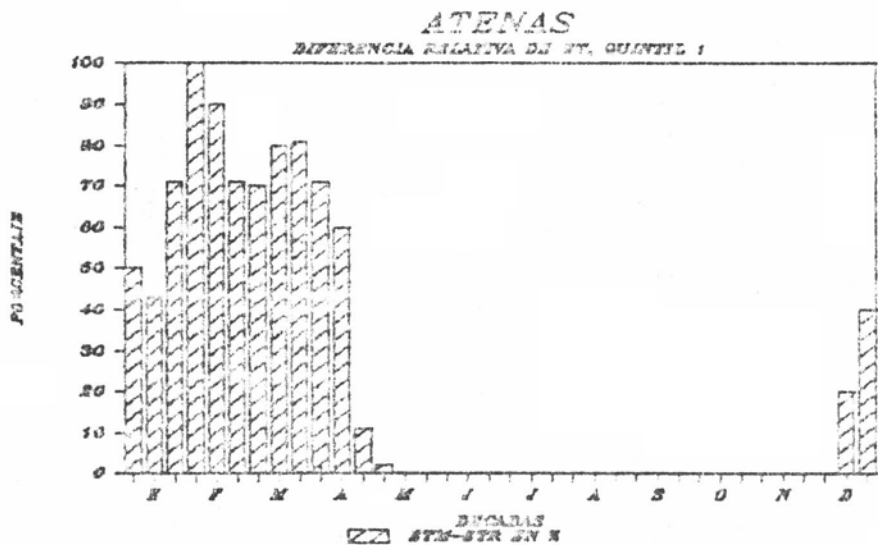


FIG. 23

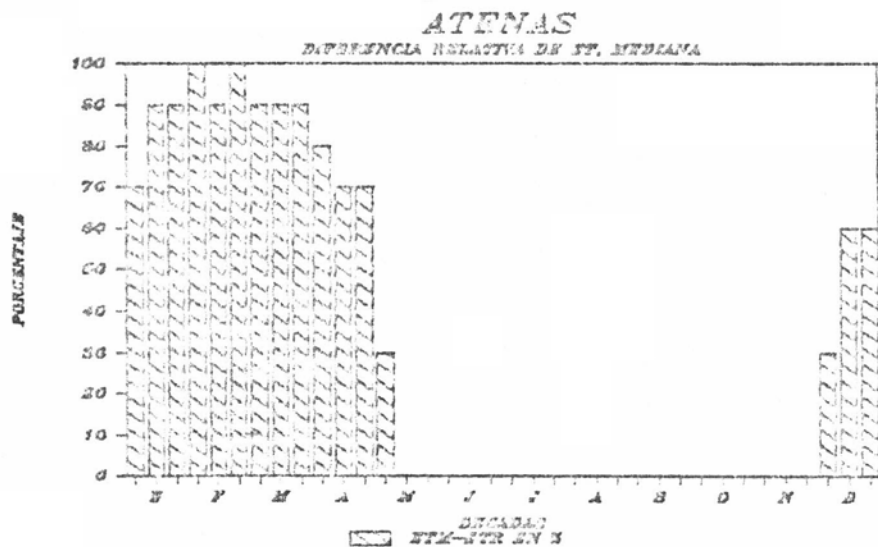


FIG. 24

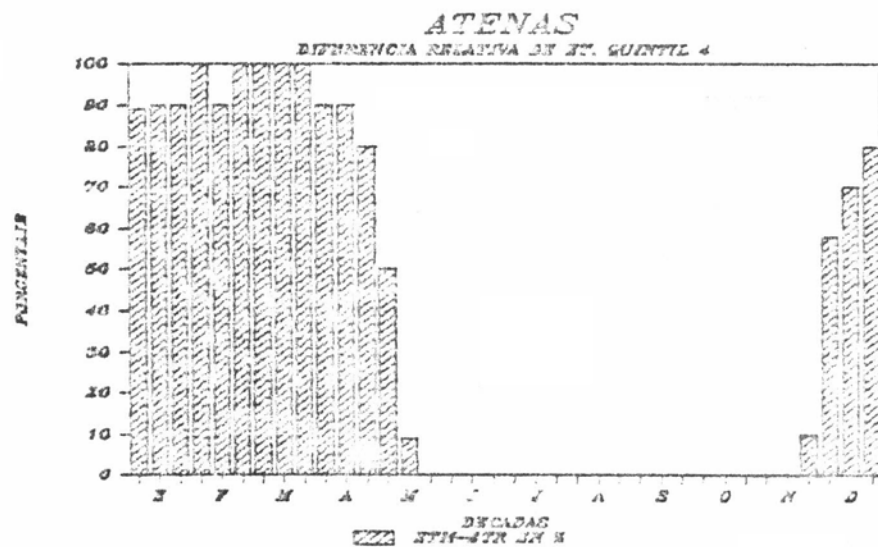


FIG. 25

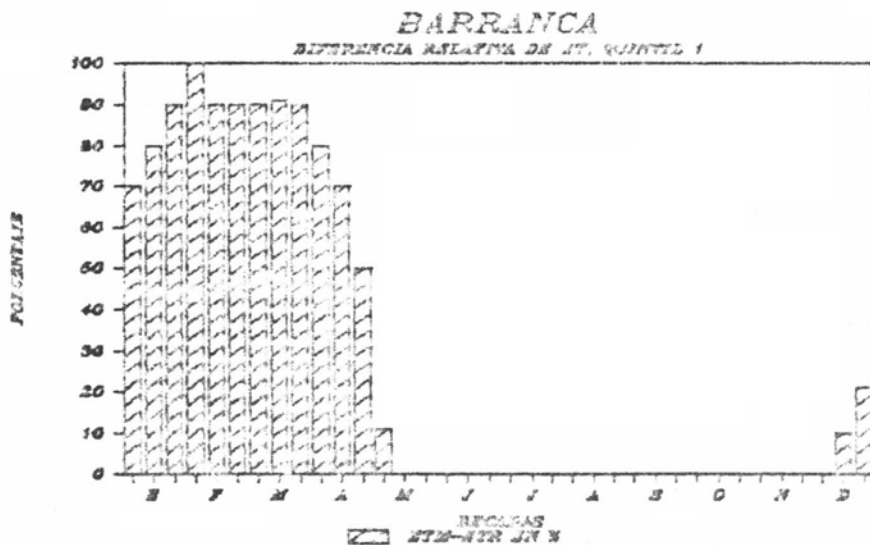


FIG. 26

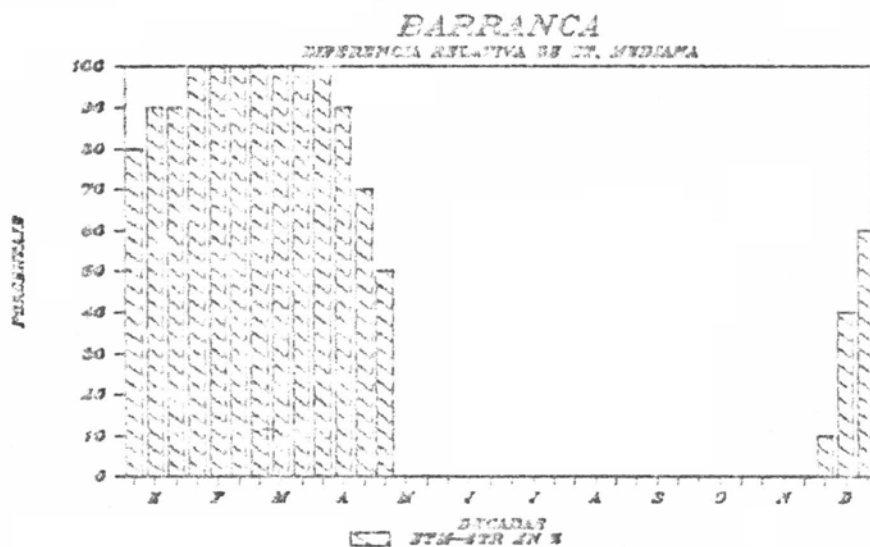


FIG. 27

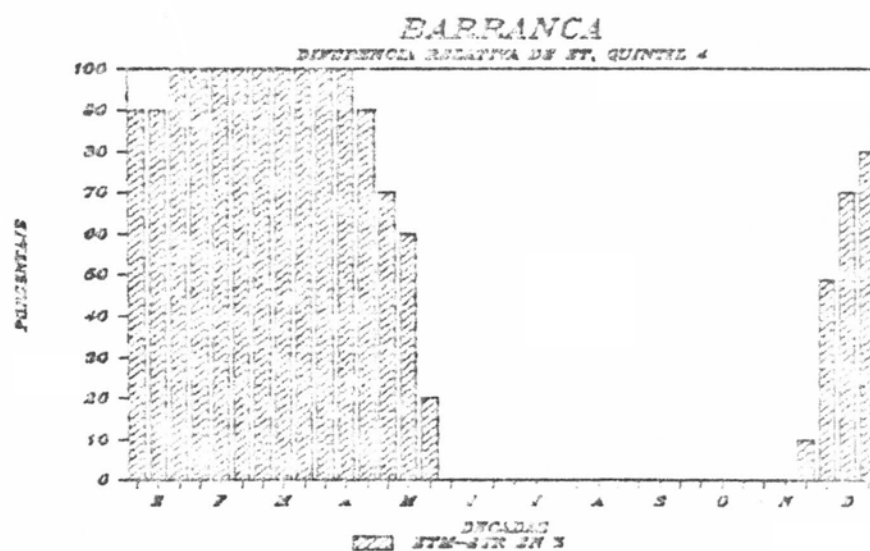


FIG. 28

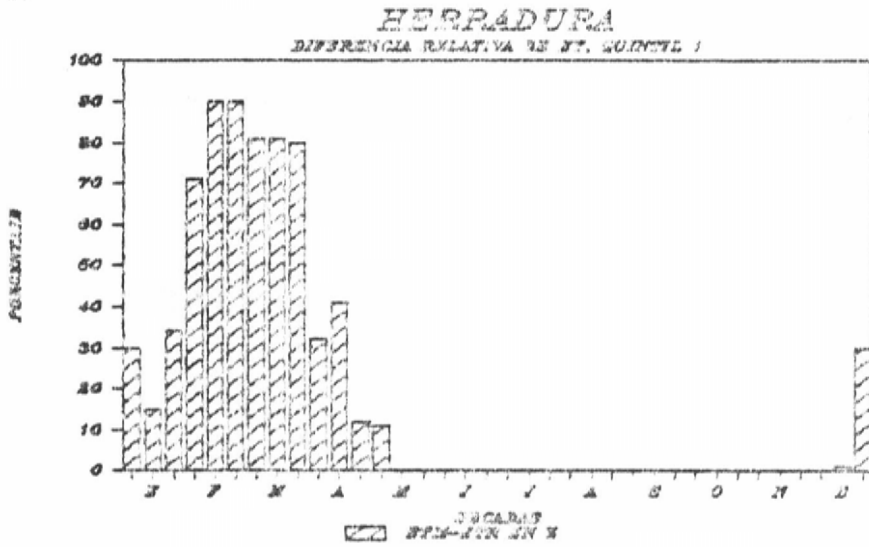


FIG. 29

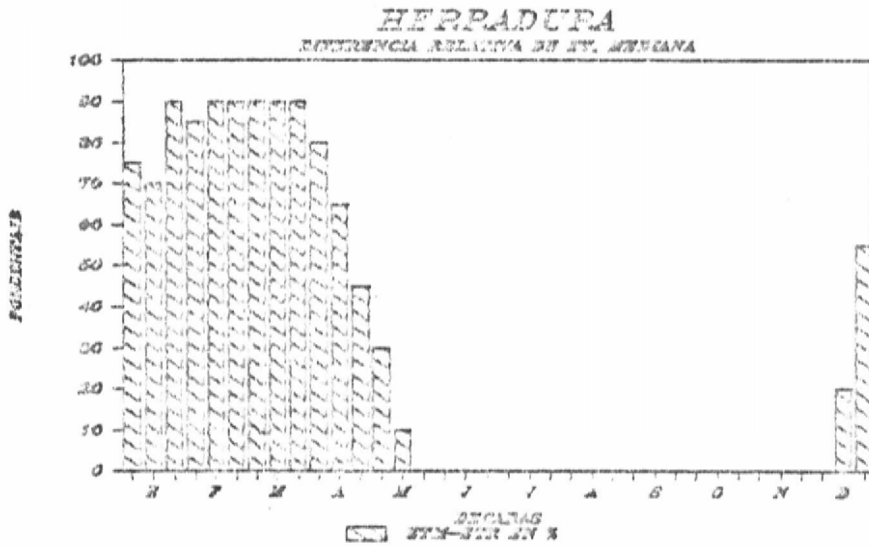


FIG. 30

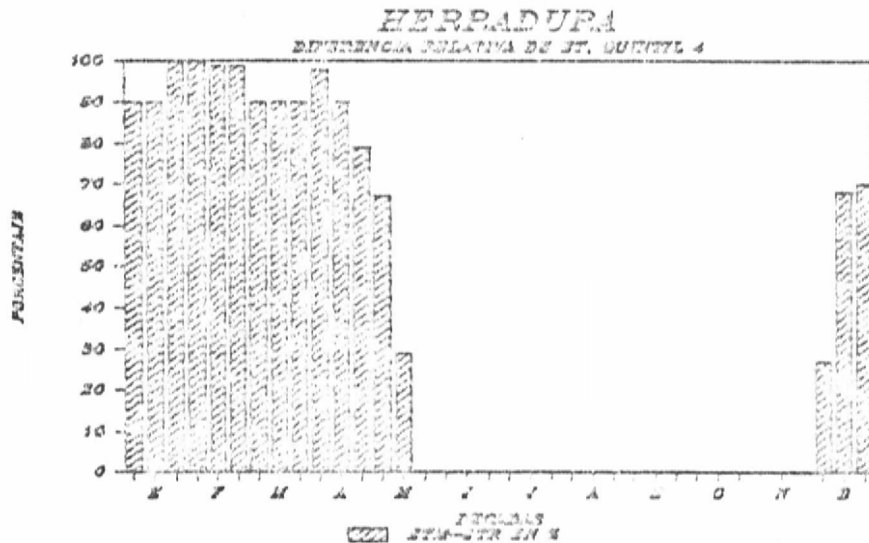


FIG. 31

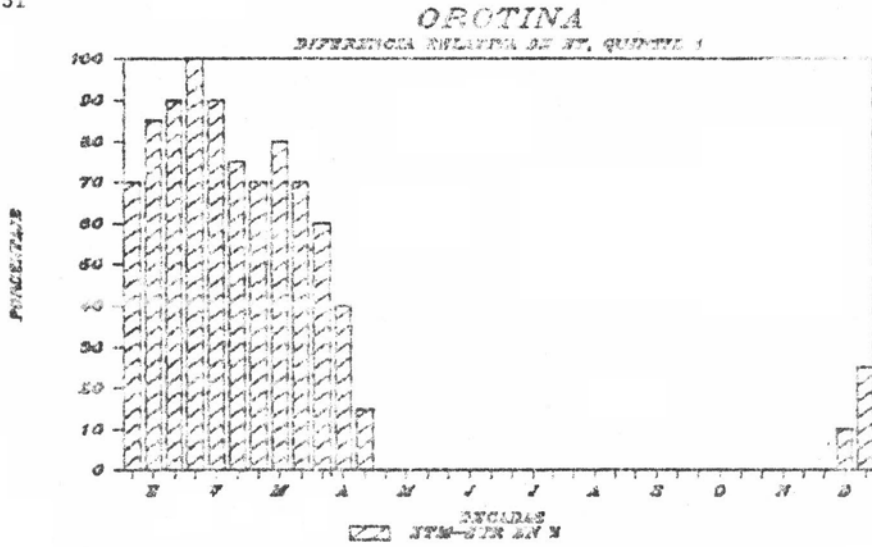


FIG. 32

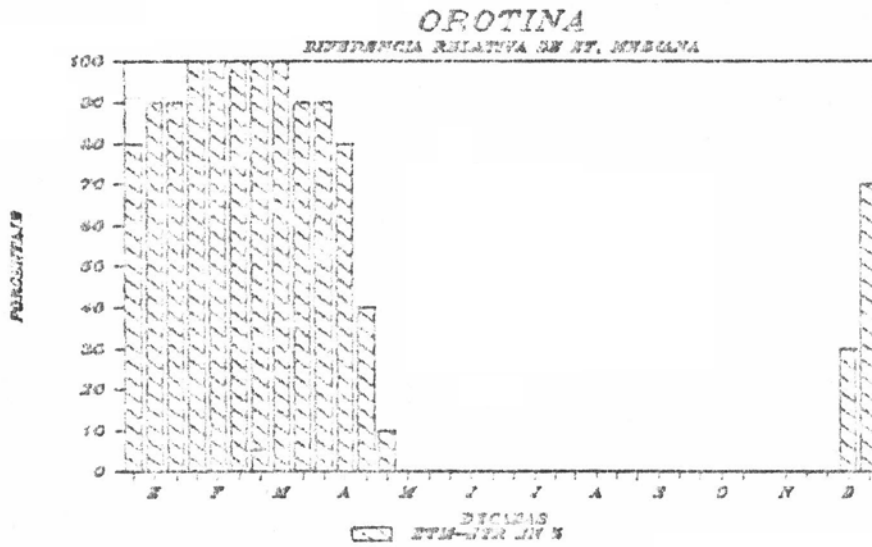


FIG. 33

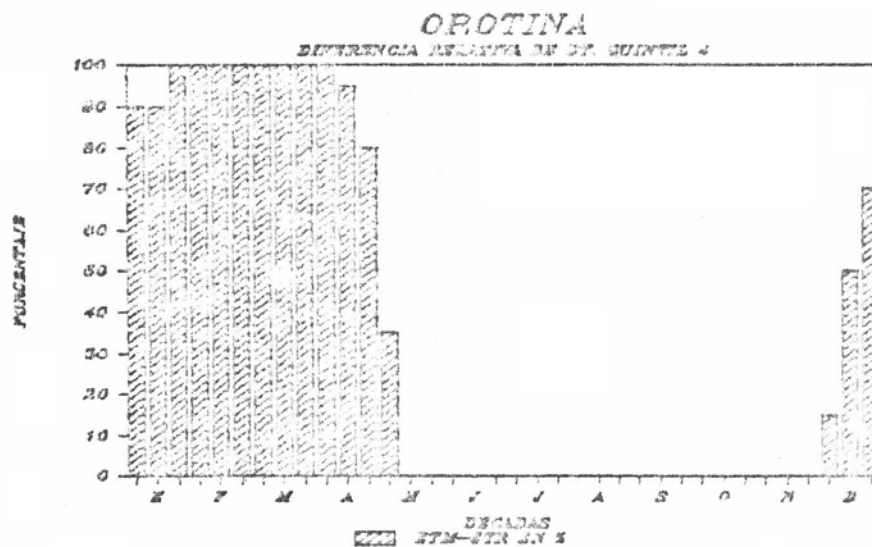


FIG. 34

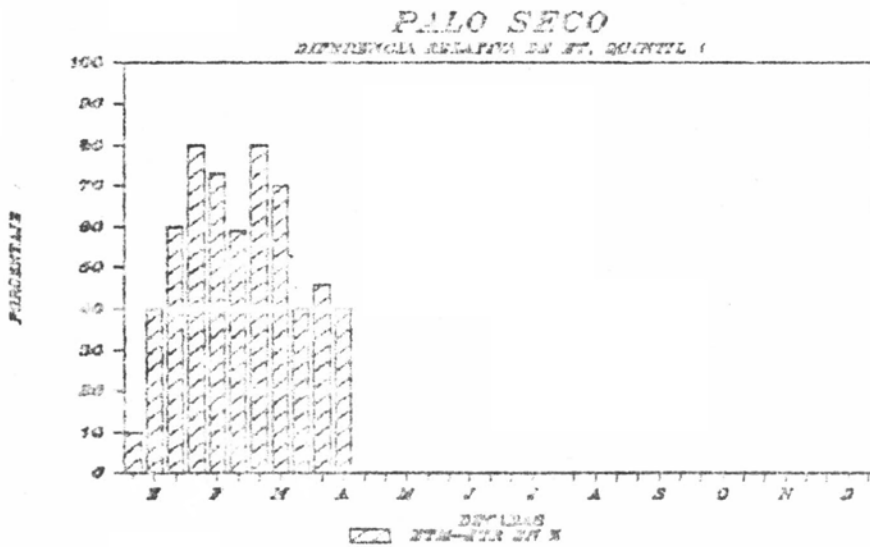


FIG. 35

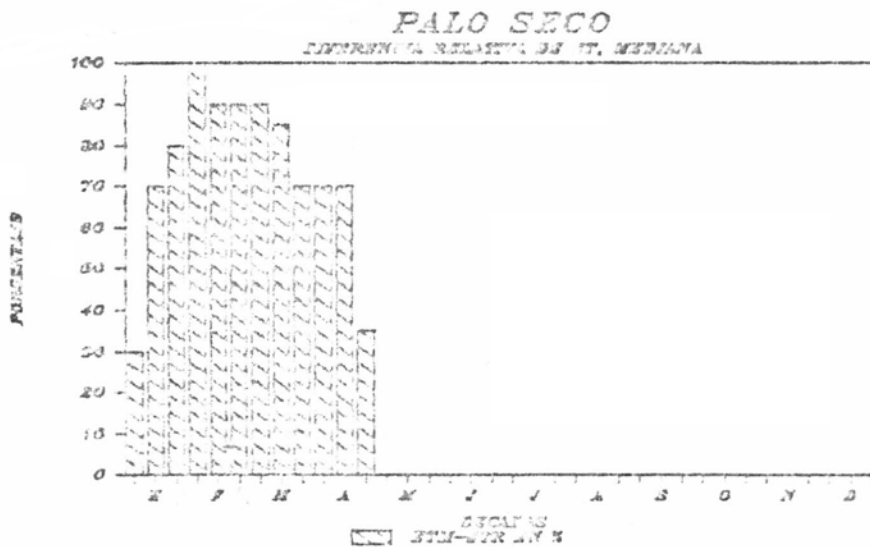


FIG. 36

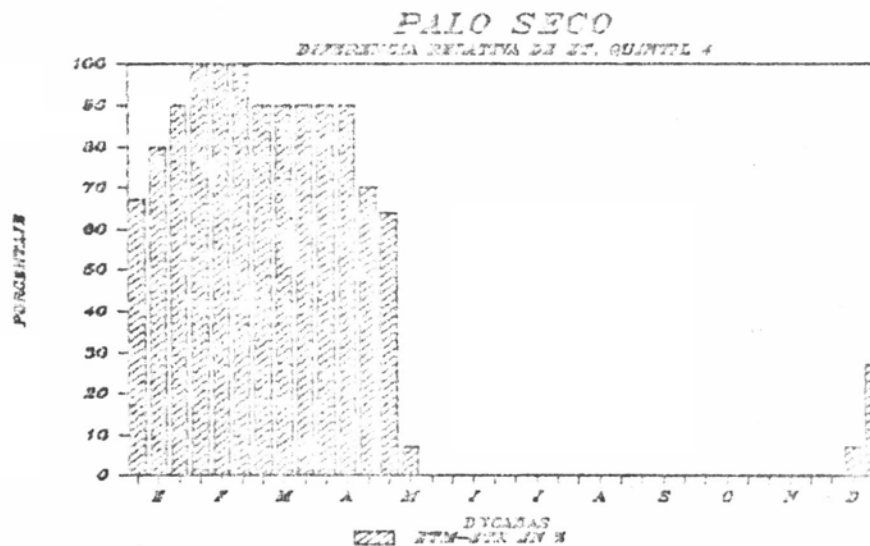


FIG. 37

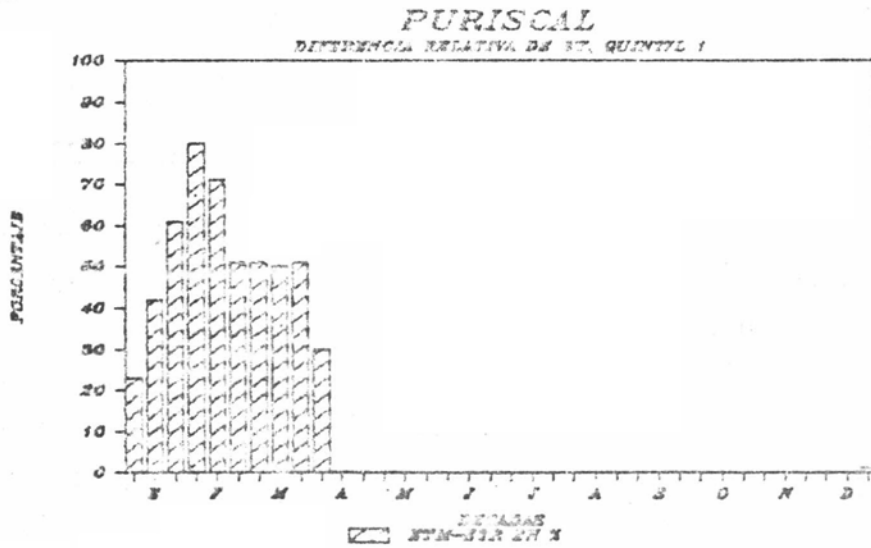


FIG. 38

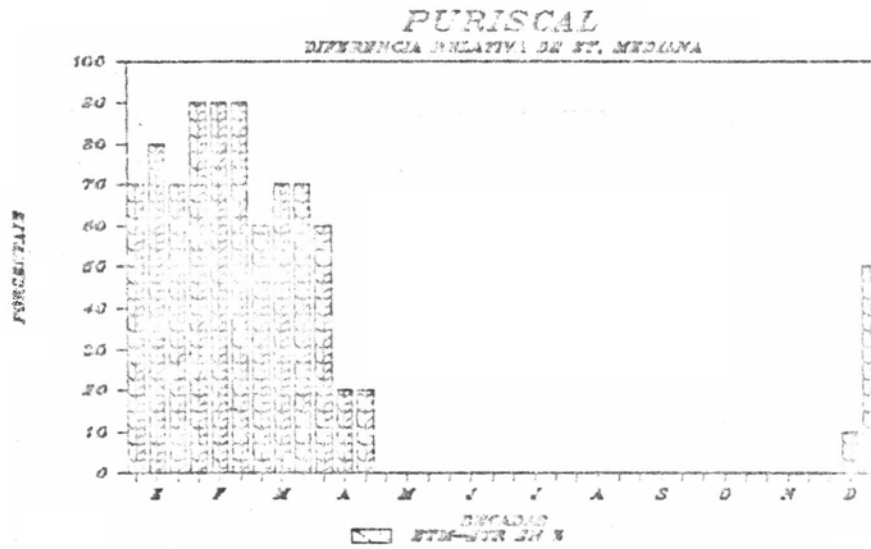
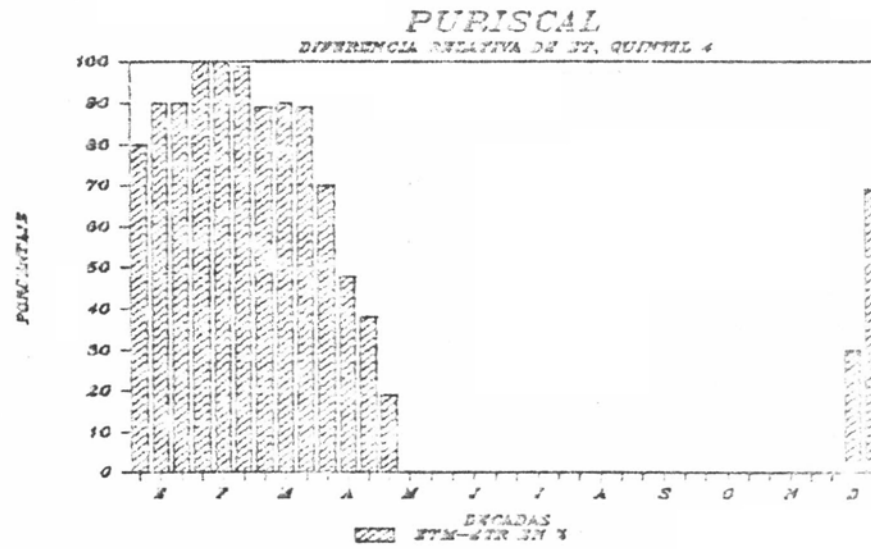


FIG. 39



3. Modelo de irrigación

3.1 Análisis estadístico del número de riegos

El número de irrigaciones teóricas que calcula el modelo de irrigación se presentan en el Cuadro 6. El modelo propone en promedio como mínimo 4 riegos en Puriscal y como máximo 10 en Barranca. Conociendo que RH toma el valor de RU en cada riego, se derivan los resultados del Cuadro 7. Existe una probabilidad de un 80% de que el déficit hídrico a nivel del suelo sea mayor de 100 mm en Acosta y como máximo 400 mm en Barranca. Esto es de 1000 y 4000 m³ de agua por hectárea, respectivamente.

Estos resultados se ilustran, en términos del primer quintil, la mediana y el cuarto quintil de la Figura 40 a la 42. De esta manera se puede ver la distribución espacial del déficit hídrico teórico a nivel del suelo en la región estudiada.

3.2 Análisis estadístico de la fecha de cada irrigación

Del Cuadro 8 a 14 se encuentran las estadísticas para la fecha correspondiente a cada riego. Sin embargo, hay que señalar que solamente los primeros riegos contarán con el número total de años de la muestra y que, a partir del valor mínimo que aparece en el Cuadro 6, el tamaño de la muestra se reduce, por lo que para las últimas fechas el valor obtenido puede ser inconerente. Además es importante que cada fecha de riego sea analizada en forma independiente.

Cuadro 6

Número de riegos teóricos con RU = 100 mm para
la región ocupada por el Proyecto C.E.E.

ESTACION	MINI	AN	QNT 1	MEDN	QNT 4	MAXI	AN	MED	DE	CV
Acosta	1	60	2	6	9	10	76	6	3	0.52
Atenas	5	70	7	8	9	10	64	8	1	0.18
Barranca	6	60	8	10	11	14	57	10	2	0.17
Herradura	4	71	6	7	10	12	76	8	2	0.31
Orotina	6	50	7	8	10	11	56	8	2	0.20
Palo Seco	3	66	5	6	6	9	45	6	1	0.25
Puriscal	1	67	3	3	6	9	51	4	2	0.51

Cuadro 7

Déficit hídrico teórico a nivel del suelo acumulado en mm
para la región ocupada por el Proyecto C.E.E. con RU = 100 mm

ESTACION	MINI	AN	QNT 1	MEDN	QNT 4	MAXI	AN	MED	DE	CV
Acosta	50	60	100	300	450	500	76	300	3	0.52
Atenas	250	70	350	400	450	500	64	400	1	0.18
Barranca	300	60	400	500	550	700	57	500	2	0.17
Herradura	200	71	300	350	500	600	76	400	2	0.31
Orotina	300	50	350	400	500	550	56	400	2	0.20
Palo Seco	150	66	250	300	300	450	45	300	1	0.25
Puriscal	50	67	150	150	300	450	51	200	2	0.51

CUADRO 8
ESTADISTICOS DE LA FECHA TEORICA DE IRRIGACION PARA LA ESTACION
ACOSTA

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-T	CO-VA
1	61	3	10	23	31	70	12	10	0.79
13	61	16	23	34	44	72	25	10	0.40
25	61	23	36	52	355	63	68	96	
37	61	40	48	55	87	72	51	13	0.27
49	61	55	63	77	359	72	93	89	0.96
61	61	65	69	76	68	65	71	8	0.11

CUADRO 9
ESTADISTICOS DE LA FECHA TEORICA DE IRRIGACION PARA LA ESTACION
ATENAS

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-T	CO-VA
1	63	4	7	22	31	72	12	10	0.78
13	63	17	19	34	42	72	25	9	0.37
25	63	29	31	46	53	72	36	9	0.24
37	63	41	53	64	70	71	53	11	0.20
49	63	52	65	75	98	71	65	13	0.20
63	42	67	76	86	346	71	96	70	0.75
69	71	79	88	102	357	72	127	97	0.76
79	71	84	107	354	357	53	193	127	0.66

CUADRO 10
ESTADÍSTICOS DE LA FECHA TEÓRICA DE IRRIGACIÓN PARA LA ESTACIÓN
BARRANCA

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-T	CO-VA
1	39	1	5	11	28	38	7	6	0.96
12	74	13	17	25	57	60	20	9	0.46
24	74	25	29	36	67	60	32	9	0.27
35	74	36	40	47	77	60	43	9	0.20
46	74	48	51	59	109	60	55	12	0.21
57	74	59	62	69	344	60	73	43	0.67
67	74	69	73	80	104	38	75	8	0.11
77	74	79	83	92	354	51	117	89	0.76
88	50	90	95	179	363	40	145	103	0.71
98	54	100	105	347	360	72	176	114	0.65

CUADRO 11
ESTADISTICOS DE LA FECHA TEORICA DE IRRIGACION PARA LA ESTACION
HERRADURA

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-T	CO-VA
1	67	1	14	32	36	72	16	13	0.81
13	67	13	29	44	47	72	29	13	0.46
25	67	26	41	58	86	71	45	19	0.43
36	67	37	57	70	356	71	90	101	
47	67	47	58	77	81	74	61	13	0.22
58	67	58	69	116	357	72	110	95	0.87
68	67	68	79	326	355	72	145	121	0.83

CUADRO 12
ESTADISTICOS DE LA FECHA TEORICA DE IRRIGACION PARA LA ESTACION
OPTIMA

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-T	CO-VA
1	51	1	5	11	13	50	6	5	0.80
13	51	13	17	23	32	50	18	5	0.28
25	51	25	29	35	44	50	30	5	0.17
36	51	37	40	55	65	54	45	9	0.19
47	51	48	51	67	36	63	58	11	0.20
58	51	59	71	90	364	63	91	74	0.81
69	51	70	82	354	357	64	169	130	0.77
79	62	80	95	230	357	54	142	106	0.75

CUADRO 13
ESTADISTICOS DE LA FECHA TEORICA DE IRRIGACION PARA LA ESTACION
PALO SECO

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-T	CO-VA
1	59	9	20	25	34	72	18	9	0.53
15	44	21	32	43	61	71	33	11	0.34
26	44	34	48	53	82	69	49	15	0.30
36	66	44	59	70	92	69	59	15	0.25
47	66	54	63	84	109	71	70	17	0.25
58	66	65	78	98	365	59	112	94	0.84

CUADRO 14
ESTADISTICOS DE LA FECHA TEORICA DE IRRIGACION PARA LA ESTACION
PURISCAL

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-T'	CO-VA
1	57	2	9	29	43	53	15	14	0.93
14	57	15	31	50	67	65	34	17	0.52
27	51	27	43	70	34	54	49	20	0.40

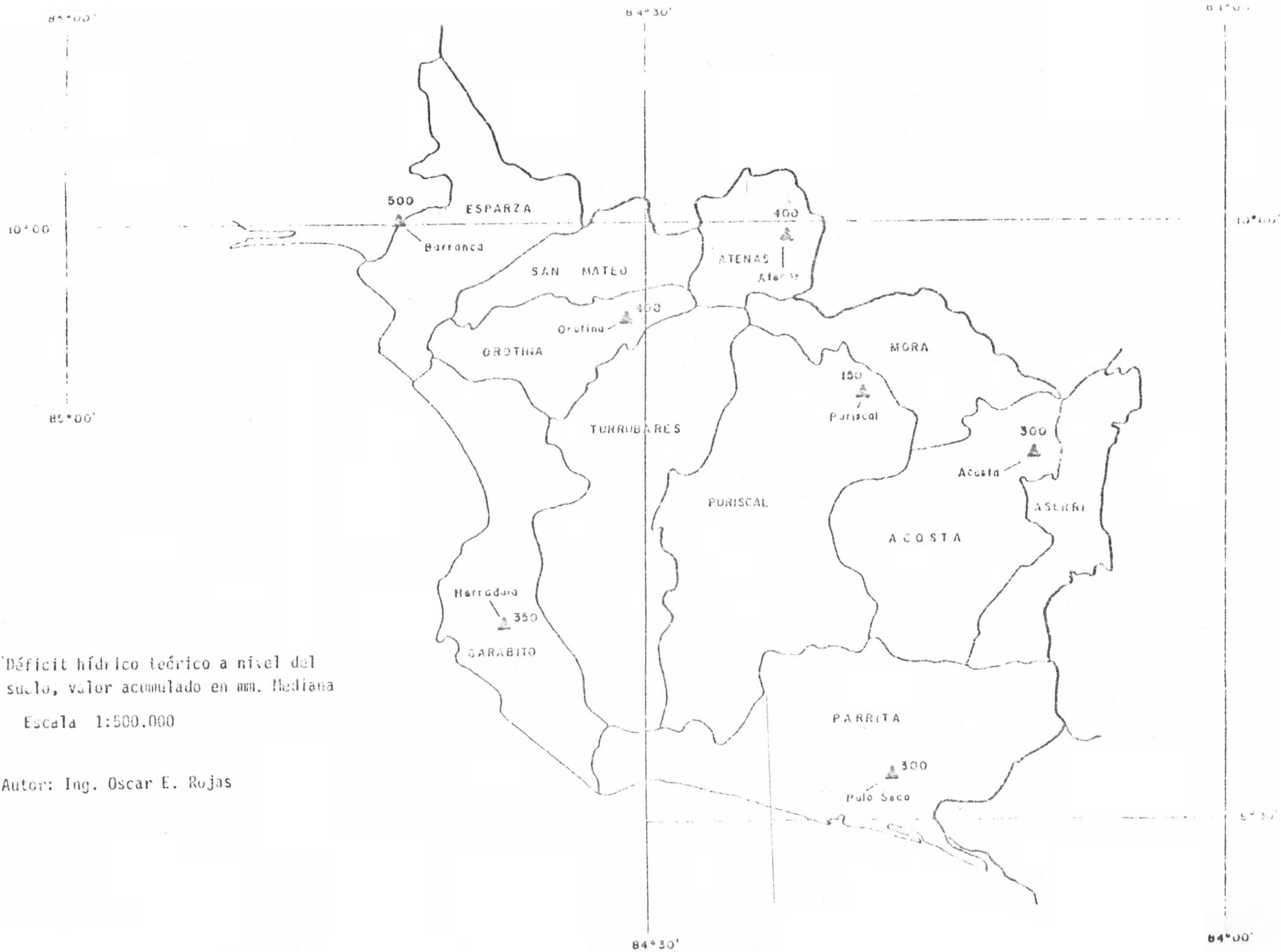
85°00'
10°00'
85°00'



Déficit hídrico teórico a nivel del suelo,
valor acumulado en mm. Primer Quintil

Escala 1:500.000

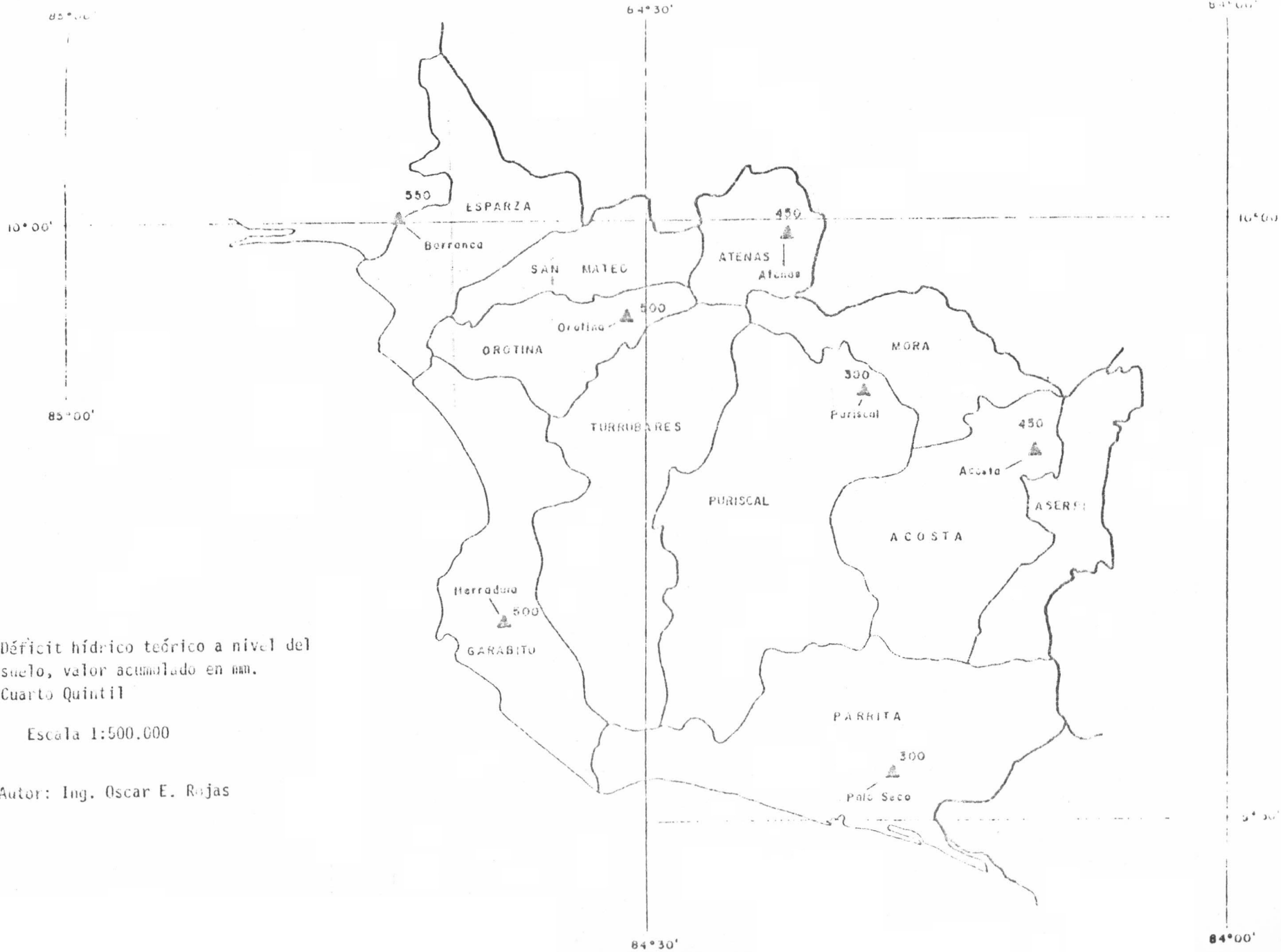
Autor: Ing. Oscar E. Rojas



Déficit hídrico teórico a nivel del suelo, valor acumulado en mm. Mediana

Escala 1:500.000

Autor: Ing. Oscar E. Rojas



Déficit hídrico teórico a nivel del suelo, valor acumulado en mm. Cuarto Quintil

Escala 1:500.000

Autor: Ing. Oscar E. Rojas

CONCLUSION

Existe un 80% de probabilidad de que ocurran más de 81 días consecutivos secos en el área de estudio. A esta misma probabilidad se puede esperar que el déficit hídrico teórico a nivel del suelo sea superior, al valor acumulado, de 100 mm en Acosta y 400 mm en Barranca. En promedio el modelo de irrigación propone 4 riegos de 500 m^3 de agua por hectárea en Puriscal (mínimo) y 10 riegos en Barranca (máximo).

La influencia del "veranillo" o "canícula" en la región estudiada no es muy marcada. Sobresale su efecto en Acosta, donde se puede esperar que cada cinco, una reducción de la producción en materia seca de un 20% en los meses de julio y agosto.

Si bien es cierto, que se calcula el valor del déficit hídrico acumulado a nivel del suelo, la cantidad real que deberá suministrar el agricultor dependerá del tipo de cultivo, de la rentabilidad obtenida en cada riego y además de la eficiencia del sistema de riego utilizado.

Para finalizar, se recuerda que el modelo ha sido aplicado al caso de un cultivo perenne, y si se desea referirlo al caso particular de cultivo anual, será necesario considerar la fecha de siembra y de cosecha, lo que es más importante, la variación de la ETM según el estado vegetativo del cultivo, esto es, la variación del coeficiente de cultivo (k).

LITERATURA CITADA

- BROCHET, P. y GERBIER, N. (1975) - L'évapotranspiration. Aspect agrométéorologique
logique évaluation pratique de l'évapotranspiration potentielle. Monographie
N° 65, Météorologie Nationale. 96 p.
- BOULAINÉ, J. (1978) - Cours d'hydropédologie. Institut National Agronomique,
Paris-Grignon, France. 193 p.
- HALLAIRE, M. et al (1964) - L'eau et la production végétale. Institut National
de la Recherche Agronomique. Versailles, France.
- LHOMME, J.P., GOMEZ, L. y JARAMILLO, A. (1984)-Modelo matemático del balance
hídrico. In Turrialba, 34(4). 503-507pp.
- PRIESTLEY, C. and TAYLOR, P.A. (1972)-On the assessment of surface heat flux
and evaporation using large scale parameters. Mon Weath. Rev.100,81-92,
1972.
- ROBELIN, M. (1967)-Etude de la sensibilité du maïs à la sécheresse. Période
critique de sensibilité. C.R. Acad. Agric.
- ROJAS, O., ELDIN, M. y LHOMME, J.P. (1982)- Información del banco de datos agro-
climáticos de Costa Rica. IICA, ORSTOM e IMN. San José, Costa Rica. 7 vo-
lúmenes.
- ROJAS, O. y ELDIN, M. (1982)- Zonificación agroecológica del cultivo de la caña
de azúcar (Saccharum sp) en Costa Rica. San José: IICA-LAICA. 108 p.
- ROJAS, O. (1984)- Etude agrométéorologique du bilan hydrique théorique et essai
de modélisation d'irrigation dans le Sud-Ouest de la France. INA Paris-
Grignon, France. 74 p.
- ROJAS, O. (1985)- Estudio de las condiciones hídricas del Pacífico Norte de Costa
Rica. IICA. Serie Publicaciones Misceláneas No.545. 70 p.

ANEXO A

CUADRO A1 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA PRECIPITACION POR DECAD EN 1/10 MM PARA LA ESTACION ACOSTA

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-	CO-VA
0	61	0	0	32	110	72	17	36	.
0	61	0	10	230	380	70	91	131	1.
0	60	0	0	0	10	70	1	3	.
0	65	0	25	220	1120	63	169	328	1.
0	61	0	0	50	415	63	51	125	.
0	61	0	0	455	595	60	164	228	1.
0	60	0	15	468	695	63	209	295	1.
0	65	0	153	470	650	63	222	224	1.
0	60	0	8	290	670	70	137	217	1.
0	62	0	55	578	1135	70	293	409	1.
0	61	90	226	440	1120	70	317	304	0.9
0	61	12	183	419	600	70	222	194	0.68
45	70	153	267	640	1570	68	416	379	0.91
0	65	422	998	1468	2570	71	1029	695	0.67
450	62	942	1629	1975	2370	60	1533	575	0.58
60	70	731	1225	1953	2660	68	1299	714	0.55
430	60	680	1010	1435	2430	65	1128	548	0.49
230	61	535	893	1310	1925	65	933	464	0.50
0	72	272	562	1388	2510	63	807	720	0.89
0	65	128	603	1333	2505	63	823	739	0.90
180	72	284	570	1103	1590	70	674	464	0.69
0	72	157	480	635	1370	71	472	366	0.77
0	68	303	525	728	1400	71	561	350	0.62
225	61	594	965	1370	1700	71	975	431	0.44
385	68	1160	1445	1883	4275	61	1659	966	0.58
260	75	627	973	1680	1905	63	1085	510	0.47
257	76	892	1303	1700	1835	71	1256	460	0.36
80	61	1018	1493	1705	2075	71	1355	519	0.38
605	70	925	1598	2062	2330	68	1524	558	0.37
108	75	855	1523	2450	3945	60	1693	1024	0.60
0	65	251	1248	1828	2233	60	1091	762	0.70
0	60	90	568	1460	1915	63	749	673	0.90
0	70	0	410	843	1925	68	559	559	1.
0	61	0	65	573	1245	63	279	390	1.
0	63	0	108	195	780	68	152	223	1.
0	60	0	0	365	815	68	155	292	1.
0	60	0	0	50	110	72	21	42	.

CUADRO A2 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA DIFERENCIA DE EVAPOTRANSPIRACION (ETM-ETR) POR DECADA, CON RU= 100 PARA LA ESTACION AGOSTA

INI	AN	QNT1	MEDN	QNT4'	MAXI	AN	MED	E-T	CO-VA
81	70	179	385	416	427	65	322	122	0.38
163	70	307	394	436	442	68	368	84	0.23
250	70	354	430	449	450	68	399	62	0.16
327	60	397	439	459	459	68	426	41	0.10
0	63	334	443	460	460	76	381	136	0.36
0	63	248	438	463	463	76	364	143	0.41
7	63	124	433	490	490	76	331	162	0.55
0	63	206	320	490	490	76	317	148	0.47
85	63	241	363	472	490	76	344	126	0.37
128	70	208	271	466	470	76	318	126	0.40
0	70	106	352	422	453	76	284	159	0.56
0	72	72	237	330	426	61	215	131	0.61
36	72	65	165	236	370	61	164	99	0.61
0	60	0	67	155	237	65	79	76	0.96
0	60	0	0	23	61	65	12	21	.
0	60	0	0	0	0	76	0	0	****
0	60	0	0	0	0	76	0	0	****
0	60	0	0	0	0	76	0	0	****
0	60	0	0	0	3	72	0	1	.
0	60	0	0	32	156	72	22	46	.
0	60	0	0	67	161	72	30	57	.
0	60	0	0	53	237	72	39	65	.
0	60	0	0	109	190	72	42	68	.
0	60	0	0	40	127	68	21	41	.
0	60	0	0	0	0	76	0	0	****
0	60	0	0	0	0	76	0	0	****
0	60	0	0	0	0	76	0	0	****
0	60	0	0	0	0	76	0	0	****
0	60	0	0	0	0	76	0	0	****
0	60	0	0	0	0	76	0	0	****
0	60	0	0	0	0	76	0	0	****
0	60	0	0	1	5	76	1	2	.
0	61	0	0	9	132	76	15	39	.
0	62	0	5	62	232	76	42	65	.
0	63	32	105	226	334	76	132	111	0.84
0	63	107	245	307	394	76	221	112	0.50
124	70	201	313	374	385	65	285	89	0.31

CUADRO A4 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA PRECIPITACION POR DECADA EN 1/10 MM PARA LA ESTACION ATENAS

MINI	AV	QNT1	MEDN	QNT4	MAKI	AN	MED	E-T	CD-VA
0	42	0	0	307	583	53	138	182	.
0	41	0	0	53	597	72	59	158	.
0	41	0	0	0	10	70	1	3	.
0	41	0	0	0	54	52	5	14	.
J	41	0	0	67	275	65	46	86	.
J	41	0	0	146	433	71	76	136	.
0	41	0	0	82	207	63	43	74	.
0	41	0	0	42	285	70	40	77	.
0	42	0	10	153	285	66	75	92	.
J	52	4	103	293	425	41	156	142	0.91
J	52	25	101	415	827	70	218	249	.
J	42	86	179	405	950	75	277	262	0.95
65	65	244	475	736	1055	53	520	281	0.54
312	64	600	955	1773	2005	72	1079	520	0.43
273	64	643	1009	1733	2537	53	1155	639	0.55
292	70	574	797	1282	1824	52	944	444	0.47
284	52	522	874	1353	1759	64	926	443	0.48
357	41	451	830	1213	1475	70	831	351	0.42
20	72	336	515	696	1240	54	529	281	0.53
150	65	430	514	641	1300	41	575	301	0.52
140	42	308	560	970	1539	73	635	406	0.64
114	72	190	659	850	1239	65	573	346	0.61
J	54	411	848	1254	1462	64	812	447	0.55
312	53	681	905	1500	2751	73	1031	625	0.53
133	66	593	944	1351	2075	73	981	470	0.48
364	54	473	968	1605	1933	73	1015	575	0.57
342	64	606	950	1497	3004	71	1127	661	0.59
350	41	677	784	1169	1412	71	900	295	0.33
365	41	513	855	1503	2373	54	1074	575	0.54
140	41	307	930	1295	1590	52	989	370	0.37
220	53	409	777	895	1572	71	743	389	0.52
0	54	92	295	472	750	63	296	215	0.71
0	54	21	174	467	1003	65	256	287	.
0	53	10	43	305	420	41	117	145	.
J	54	1	81	145	303	70	95	91	0.56
J	52	1	80	193	345	72	174	250	.
0	41	0	10	202	295	71	75	104	.

CUADRO A5 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA DIFERENCIA DE EVAPOTRANSPIRACION (ETM-ETR) POR DECADA, CON R0=100 PARA LA ESTACION ATENAS

ANI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-T	CO-VA
57	41	265	336	405	457	63	312	107	0.34
58	72	209	406	414	499	63	350	124	0.38
23	72	359	406	439	450	64	398	62	0.16
99	72	453	471	486	485	42	466	24	0.05
63	72	470	481	489	490	64	480	9	0.02
44	65	396	490	492	492	73	443	62	0.18
70	71	392	495	510	510	73	453	74	0.16
00	70	433	478	510	510	73	464	57	0.12
34	70	432	489	510	510	73	475	40	0.08
13	66	374	419	463	463	65	414	46	0.11
21	70	309	379	458	450	65	347	130	0.38
36	70	67	338	409	480	65	278	131	0.55
0	70	36	145	226	353	65	154	106	0.69
0	41	0	9	54	119	65	26	37	.
0	41	0	0	0	170	64	11	37	.
0	41	0	0	0	17	64	1	4	.
0	41	0	0	0	0	73	0	0	****
0	41	0	0	0	0	73	0	0	****
0	41	0	0	0	9	72	1	2	.
0	41	0	0	0	116	72	9	31	.
0	41	0	0	13	23	42	5	9	.
0	41	0	0	8	15	42	2	4	.
0	41	0	0	3	123	53	13	34	.
0	41	0	0	0	85	53	7	23	.
0	41	0	0	0	51	53	4	14	.
0	41	0	0	0	32	53	2	9	.
0	41	0	0	0	4	53	0	1	.
0	41	0	0	0	0	73	0	0	****
0	41	0	0	0	0	73	0	0	****
0	41	0	0	0	0	73	0	0	****
0	41	0	0	0	0	73	0	0	****
0	41	0	0	3	32	53	4	9	.
0	41	0	12	65	170	54	35	51	0.16
0	41	1	137	233	255	53	119	92	0.78
0	41	117	270	312	355	66	219	110	0.59
0	41	182	264	372	337	56	262	97	0.37
54	41	206	314	357	395	63	298	72	0.24

CUADRO A6 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA DIFERENCIA RELATIVA DE EVAPOTRANSPIRACION EN %, POR DECAJA, CON RJ= 100 PARA LA ESTACION ATENAS

MINI	AV	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-T	CO-VA
10	41	50	70	89	90	54	64	24	0.38
10	72	43	90	90	90	63	70	27	0.39
40	72	71	90	90	100	64	82	25	0.19
30	72	100	100	100	100	73	98	21	0.06
90	41	90	90	90	100	64	92	14	0.04
40	65	71	100	100	100	73	86	20	0.23
50	71	70	90	100	100	73	85	18	0.19
50	70	80	90	100	100	73	87	13	0.15
70	70	81	90	100	100	73	90	9	0.10
60	66	71	80	90	100	65	82	10	0.13
0	70	60	70	90	100	65	67	28	0.41
0	70	11	70	80	100	65	54	33	0.00
0	54	2	30	50	30	65	34	24	0.72
0	41	0	0	9	20	63	4	7	.
0	41	0	0	0	30	64	2	7	.
0	41	0	0	0	0	73	0	0	****
0	41	0	0	0	0	73	0	0	****
0	41	0	0	0	0	73	0	0	****
0	41	0	0	0	0	75	0	0	****
0	41	0	0	0	20	72	2	5	.
0	41	0	0	0	0	73	0	0	****
0	41	0	0	0	0	73	0	0	****
0	41	0	0	0	30	53	3	8	.
0	41	0	0	0	20	53	2	5	.
0	41	0	0	0	10	53	1	3	0.
0	41	0	0	0	0	73	0	0	****
0	41	0	0	0	0	73	0	0	****
0	41	0	0	0	0	73	0	0	****
0	41	0	0	0	0	73	0	0	****
0	41	0	0	0	0	73	0	0	****
0	41	0	0	0	0	73	0	0	****
0	41	0	0	0	0	73	0	0	****
0	41	0	0	10	40	54	6	11	.
0	41	0	30	58	60	64	28	22	0.79
0	41	20	60	70	30	66	48	25	0.55
10	41	40	60	80	90	71	58	24	0.41
30	41	42	70	80	90	63	65	18	0.27

CUADRO A7 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA PRECIPITACION POR DECADA EN 1/10 MM PARA LA ESTACION BARRANCA

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-T	CO-VA
0	39	0	0	20	631	72	38	117	.
0	38	0	0	2	253	59	13	40	.
0	39	0	0	9	172	38	11	31	.
0	38	0	0	0	702	60	31	123	.
0	38	0	0	9	172	70	13	36	.
0	38	0	0	0	300	71	19	50	.
0	38	0	0	0	57	66	2	8	.
0	39	0	0	11	353	38	25	73	.
0	38	0	0	47	241	39	33	67	.
0	39	0	37	229	1153	53	127	224	.
0	39	0	37	157	524	49	90	115	.
0	48	17	164	383	1086	62	249	271	.
0	59	73	454	1045	2773	66	395	613	.
5	54	364	730	1495	2145	70	869	546	0.63
164	47	495	1032	1435	3831	53	1023	634	0.67
114	39	781	1107	1582	2435	42	1177	538	0.47
26	72	658	1032	1592	2823	50	1193	623	0.57
142	60	406	899	1123	2050	73	891	521	0.58
215	71	441	726	1189	2334	55	859	503	0.59
114	72	369	873	1290	2533	66	937	659	0.70
53	63	451	803	1304	1920	73	867	444	0.51
0	73	351	506	934	1795	38	676	457	0.63
266	53	406	686	1123	3397	73	813	561	0.69
123	47	492	862	1461	4097	75	1072	795	0.74
335	59	614	1090	1490	5239	73	1287	946	0.74
549	49	532	942	1244	3170	73	1050	593	0.57
317	40	667	1230	1765	3347	74	1270	757	0.60
265	41	719	1146	1463	2855	69	1165	536	0.46
87	40	528	1060	1724	3005	55	1252	912	0.73
103	49	466	1003	2147	4034	60	1317	971	0.74
26	57	271	726	1455	3135	52	942	756	0.80
4	54	141	511	790	1535	72	514	437	0.85
0	65	40	294	694	1731	73	424	437	.
0	53	9	47	333	1553	42	143	164	.
0	40	1	41	511	927	57	193	274	.
0	51	0	35	127	795	42	111	184	.
0	39	0	0	16	651	72	32	113	.

CUADRO A8 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA DIFERENCIA DE EVAPOTRANSPIRACION (ETM-ETR) POR DECADA, CON KO= 100 PARA LA ESTACION BARRANCA

MINI	AN	QNT1	MEDM	QNT+	MAXI	AN	MED	E-T	CJ-VA
68	47	348	409	460	475	55	385	96	0.25
263	72	417	457	475	480	65	440	49	0.11
330	69	462	474	480	480	74	461	34	0.07
204	60	300	525	525	525	74	504	57	0.11
202	50	515	530	530	530	74	515	47	0.09
392	60	507	534	534	534	74	519	34	0.07
440	71	562	570	570	570	74	551	25	0.04
344	38	566	570	570	570	74	555	46	0.08
436	71	534	570	570	570	51	552	35	0.06
114	63	444	540	540	540	57	483	102	0.21
84	63	400	500	540	540	52	465	95	0.20
120	52	312	395	500	540	50	399	105	0.26
0	41	73	225	325	397	55	207	119	0.58
0	38	0	22	273	344	55	102	127	.
0	38	0	0	117	319	64	54	92	.
0	36	0	0	3	135	61	17	40	.
0	36	0	0	0	21	39	1	4	.
0	36	0	0	0	31	72	1	5	.
0	36	0	0	0	34	72	2	11	.
0	38	0	0	0	25	72	1	4	.
0	38	0	0	0	57	39	2	12	.
0	38	0	0	0	58	72	3	13	.
0	38	0	0	0	171	72	9	31	.
0	36	0	0	0	1	42	0	0	.
0	33	0	0	0	29	47	1	5	.
0	38	0	0	0	0	74	0	0	****
0	36	0	0	0	0	74	0	0	****
0	38	0	0	0	0	74	0	0	****
0	38	0	0	0	0	74	0	0	****
0	33	0	0	0	15	41	0	3	.
0	36	0	0	0	23	41	1	3	.
0	33	0	0	2	34	57	5	15	.
0	36	0	0	55	155	74	28	47	.
0	39	0	39	195	304	64	60	97	.
0	42	49	167	351	371	64	177	122	0.69
0	42	115	238	364	411	74	255	125	0.49
133	47	289	369	414	441	54	343	77	0.22

CUADRO A10 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA PRECIPITACION POR DECADA EN 1/10 MM PARA LA ESTACION HERRADURA

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-T	CO-VA
0	61	0	0	144	1325	71	186	434	.
0	61	0	0	294	850	72	153	203	.
0	61	0	0	0	180	72	20	60	.
0	67	0	0	145	233	74	57	98	.
0	61	0	0	0	35	73	11	23	.
0	61	0	0	13	250	71	35	85	.
0	67	0	0	115	380	71	64	127	.
0	61	0	0	90	273	71	47	92	.
0	67	0	27	273	605	72	132	202	.
0	67	0	48	223	750	77	143	241	.
0	74	0	130	635	812	71	244	301	.
0	76	76	234	580	743	67	329	263	0.5
0	61	13	247	612	1500	76	411	463	.
200	75	339	589	865	2404	71	807	647	0.80
20	67	273	735	1002	1045	76	650	336	0.52
620	73	739	1173	1893	1955	72	1232	507	0.40
0	72	503	1215	1559	3412	67	1297	940	0.72
168	72	443	1146	1555	3014	67	1200	646	0.71
377	71	523	656	2329	2550	77	1057	850	0.80
300	73	400	665	1187	2053	67	824	545	0.66
662	72	709	1026	1765	2495	73	1232	599	0.49
0	72	109	836	1347	2568	67	870	782	0.90
490	74	829	1178	1903	2010	67	1361	696	0.51
620	75	1130	1407	3046	3270	61	1737	902	0.51
340	75	494	1054	2638	5421	61	1641	1594	0.97
398	61	584	1100	1725	2635	74	1222	703	0.57
233	61	852	1875	3268	4339	67	2067	1329	0.64
801	71	1121	1692	2024	2250	77	1615	449	0.28
366	61	721	1339	1961	5250	73	1697	1445	0.85
270	77	344	1309	2803	3799	67	1533	1196	0.78
0	73	238	501	1245	1461	67	633	466	0.77
95	61	765	1041	2490	2750	77	1286	662	0.68
0	72	91	269	1693	2900	77	747	900	.
0	72	21	266	375	2093	67	426	645	.
0	67	0	0	115	220	73	44	79	.
0	71	0	37	850	935	67	288	395	.
0	61	0	0	83	1325	71	178	435	.

CUADRO A13 PARAMETROS ESTADÍSTICOS DE LA PRECIPITACION POR DECADA EN 1/10 MM PARA LA ESTACION OROFINA

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-T	CO-VA
0	51	0	0	70	181	50	32	62	.
0	50	0	0	0	0	66	0	0	****
0	50	0	0	0	0	66	0	0	****
0	51	0	0	0	650	63	47	162	.
0	50	0	0	113	539	54	71	160	.
0	50	0	0	0	153	54	13	40	.
0	50	0	0	63	643	53	77	131	.
0	51	0	0	113	503	50	70	149	.
0	50	0	0	101	257	53	47	94	.
0	50	0	0	213	696	55	135	203	.
0	51	0	120	341	1121	53	224	273	.
0	51	20	343	830	1430	61	451	446	0.99
0	55	355	675	1405	3225	66	1051	922	0.88
25	64	512	1169	1836	2445	54	1221	692	0.57
470	64	725	1047	2009	3335	53	1405	322	0.58
230	54	747	1214	1470	1943	57	1113	466	0.42
392	56	653	1100	1590	1912	59	1120	477	0.43
310	58	779	1070	1635	2603	56	1195	566	0.47
100	59	302	1024	1305	1955	63	831	511	0.58
360	62	679	1030	1980	2655	50	1247	662	0.53
307	51	438	675	1330	3245	64	1000	853	0.66
60	64	328	630	1678	2292	55	926	645	0.70
102	54	262	672	1474	2230	56	859	613	0.72
240	58	642	1190	1472	1920	61	1137	452	0.40
160	59	617	973	1237	5060	61	1190	1092	0.92
279	50	425	1075	1565	2370	51	1077	627	0.58
305	66	712	1118	1797	2237	56	1215	553	0.46
260	58	660	1190	1419	1955	52	1110	442	0.40
650	65	1502	1670	2032	4841	55	1973	1020	0.52
456	57	1072	1325	1325	3637	55	1506	635	0.45
164	59	473	1023	1471	2965	56	1112	682	0.61
23	53	117	436	806	1650	61	531	491	0.92
0	56	57	395	953	1275	54	461	422	0.88
0	53	0	0	444	1291	50	225	391	.
0	50	0	0	212	351	56	83	122	.
0	50	0	0	35	335	53	49	96	.
0	51	0	0	103	181	50	35	57	.

CUADRO A14 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA DIFERENCIA DE EVAPOTRANSPIRACION (ETM-ETR) POR DECADA, CON RJ= 100 PARA LA ESTACION DROTINA

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-T	CJ-VA
88	50	353	413	456	461	59	389	92	0.24
304	50	416	460	475	477	59	443	45	0.10
421	50	460	476	480	480	59	470	16	0.03
331	63	500	507	507	507	55	492	64	0.09
199	63	470	510	510	510	55	479	77	0.16
76	54	396	513	513	513	55	456	115	0.25
288	58	410	540	540	540	56	486	63	0.17
273	58	459	540	540	540	57	497	74	0.15
196	50	380	529	540	540	51	475	93	0.21
187	53	313	451	490	490	59	408	105	0.26
17	53	223	413	475	490	56	357	132	0.37
45	61	89	215	409	490	51	246	150	0.61
0	59	0	42	167	367	55	94	111	.
0	51	0	0	16	194	55	21	50	.
0	51	0	0	0	24	64	3	7	.
0	50	0	0	0	0	66	0	0	***
0	50	0	0	0	0	66	0	0	***
0	50	0	0	0	0	66	0	0	***
0	50	0	0	0	0	66	0	0	***
0	50	0	0	0	3	65	0	1	.
0	50	0	0	0	0	66	0	0	***
0	50	0	0	0	0	66	0	0	***
0	50	0	0	0	5	51	0	1	.
0	50	0	0	0	0	66	0	0	***
0	50	0	0	0	0	66	0	0	***
0	50	0	0	0	0	66	0	0	***
0	50	0	0	0	0	66	0	0	***
0	50	0	0	0	0	66	0	0	***
0	50	0	0	0	0	66	0	0	***
0	50	0	0	0	0	66	0	0	***
0	50	0	0	0	7	53	0	2	.
0	50	0	0	0	0	66	0	0	***
0	50	0	0	0	0	66	0	0	***
0	50	0	0	0	3	57	1	2	.
0	50	0	0	16	60	66	8	16	.
0	51	0	5	82	252	66	43	70	.
0	50	48	142	244	366	66	150	107	0.72
103	51	133	301	332	407	66	256	93	0.36
177	50	318	369	400	410	58	351	61	0.17

ADRO A16 PARAMETROS ESTADÍSTICOS DE LA PRECIPITACION POR DECAADA
EN 1/10 MM PARA LA ESTACION PALO SECO

INI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-T	CJ-VA
0	42	0	26	318	1143	71	175	286	.
0	42	0	0	180	555	59	91	150	.
0	42	0	0	67	379	65	48	94	.
0	42	0	0	71	297	65	44	89	.
0	42	0	0	87	753	69	115	233	.
0	42	0	0	122	423	60	55	109	.
0	42	0	0	118	875	66	75	183	.
0	45	0	70	354	945	61	177	257	.
0	43	0	67	295	925	77	170	223	.
0	50	0	64	367	572	55	162	174	.
0	43	5	160	719	1670	78	355	429	.
22	53	199	457	1209	1755	73	646	508	0.79
65	55	217	506	969	2375	42	709	640	0.90
132	59	488	804	1726	3962	66	1201	1041	0.87
161	69	695	1075	1843	4863	53	1366	928	0.68
0	72	714	1331	2197	2947	43	1428	823	0.58
138	72	469	837	1500	3140	42	1040	738	0.71
168	72	796	1216	1806	3477	45	1318	694	0.53
380	71	512	916	1591	2191	55	1057	540	0.51
100	77	523	834	1355	1593	64	912	413	0.45
203	68	799	1512	2327	2707	73	1519	752	0.49
15	72	675	1078	1730	2403	52	1177	571	0.49
516	72	923	1462	1866	3074	61	1516	713	0.47
445	68	812	1336	1881	4611	73	1446	835	0.58
528	50	776	1072	1721	3006	61	1476	1114	0.75
448	78	765	1247	1636	2834	71	1351	829	0.47
501	53	742	1062	1797	3537	71	1368	786	0.58
156	61	847	1068	1974	4328	69	1402	956	0.68
410	65	987	1597	2334	6543	55	1922	1541	0.80
483	72	800	957	2763	7550	60	1763	1642	0.93
147	71	481	1166	1738	5222	42	1479	1409	0.95
233	71	319	803	1637	3655	64	1080	877	0.81
0	66	354	538	1064	1886	57	717	506	0.71
0	61	83	319	1020	2061	55	536	650	.
0	68	108	284	503	1595	42	371	360	0.97
0	57	35	139	567	2179	72	382	491	.
0	44	0	60	435	1100	69	213	292	.

CUADRO A19 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA PRECIPITACION POR DECADE
EN 1/10 MM PARA LA ESTACION JURISCAL

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MEO	E-T	CO-VA
0	51	0	33	173	686	53	116	185	.
0	41	0	9	122	279	53	53	65	.
0	41	0	46	196	750	57	102	199	.
0	41	0	0	62	127	53	24	39	.
0	51	0	0	113	310	41	53	100	.
0	41	0	6	315	455	54	129	159	.
0	51	3	152	370	535	58	182	179	0.98
0	51	0	100	249	452	60	130	141	.
0	51	0	60	257	651	53	143	183	.
160	60	251	410	612	974	74	400	224	0.48
55	74	143	313	530	945	65	373	256	0.71
0	68	255	355	541	1092	53	409	257	0.63
215	57	350	610	945	1067	51	625	272	0.43
231	67	483	1302	1535	2452	60	1121	611	0.54
56	67	1099	1269	1915	2233	60	1319	587	0.44
519	74	657	976	1336	1887	57	1025	418	0.41
365	69	714	1031	1379	1825	51	998	375	0.33
315	57	433	722	1291	1879	51	906	439	0.48
218	67	438	621	1065	1870	54	784	443	0.56
191	43	268	881	1413	1908	60	896	555	0.62
13	51	313	715	800	1730	50	656	412	0.63
38	51	271	770	1145	1663	43	731	451	0.62
201	54	315	1137	1272	2210	58	895	583	0.55
140	58	420	1105	1450	2392	74	1078	629	0.53
525	58	804	1085	1823	2259	60	1230	496	0.40
478	43	721	1080	1187	1511	41	965	232	0.29
815	58	1156	1431	2211	2425	50	1594	508	0.32
393	43	490	1279	1585	3133	59	1232	738	0.60
292	63	563	1436	1969	2607	59	1305	632	0.52
510	57	648	1715	2061	4137	60	1563	945	0.60
239	53	363	795	1095	1460	69	770	367	0.48
0	57	162	580	945	1573	60	584	424	0.73
175	58	234	600	973	2650	54	807	764	0.95
0	51	0	167	301	1210	59	233	313	.
0	51	1	155	381	2230	59	332	580	.
0	43	0	12	328	911	69	179	309	.
0	51	0	30	135	230	69	58	75	.

CUADRO A20 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA DIFERENCIA DE EVAPOTRANSPIRACION
(ETM-ETR) POR DECADE, CON RU= 100 PARA LA ESTACION TRISICAL

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-	CO-VA
0	74	107	332	377	411	57	280	134	0.48
50	53	224	357	416	433	57	322	119	0.37
65	53	299	345	432	440	57	339	96	0.28
74	67	368	426	475	475	58	393	110	0.28
253	67	383	434	480	480	57	424	71	0.17
174	65	255	460	480	481	51	393	109	0.28
153	57	278	331	450	490	68	366	94	0.26
238	58	255	376	453	490	68	366	91	0.25
235	58	267	365	470	490	68	366	86	0.24
10	53	141	293	340	368	54	251	115	0.46
0	57	7	127	255	312	54	119	106	0.89
0	57	9	91	198	259	68	102	91	0.89
0	43	1	17	97	127	41	42	45	.
0	43	0	0	18	84	41	13	25	.
0	43	0	0	0	95	41	7	26	.
0	43	0	0	0	10	41	1	3	.
0	41	0	0	0	29	60	2	8	.
0	41	0	0	0	0	74	0	0	****
0	41	0	0	0	0	74	0	0	****
0	41	0	0	0	0	74	0	0	****
0	41	0	0	0	135	51	10	36	.
0	41	0	0	0	273	51	21	73	.
0	41	0	0	0	325	51	27	87	.
0	41	0	0	0	40	51	3	11	.
0	41	0	0	0	0	74	0	0	****
0	41	0	0	0	0	74	0	0	****
0	41	0	0	0	0	74	0	0	****
0	41	0	0	0	0	74	0	0	****
0	41	0	0	0	0	74	0	0	****
0	41	0	0	0	0	74	0	0	****
0	41	0	0	0	0	74	0	0	****
0	41	0	0	0	13	57	1	5	.
0	41	0	0	8	23	51	4	8	.
0	41	0	0	51	114	74	23	40	.
0	60	1	49	152	277	51	85	90	.
0	53	37	226	289	351	51	169	123	0.73
160	41	186	222	337	359	57	254	70	0.28

CUADRO A21 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA DIFERENCIA RELATIVA DE EVAPOTRANSPIRACION EN %, POR DECADA, CON KU= 100 PARA LA ESTACION PURISCAL

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-T	CO-VA
0	74	23	70	80	90	57	60	30	0.49
10	53	42	80	90	90	51	68	27	0.39
10	53	61	70	90	100	57	72	22	0.30
10	67	80	90	100	100	58	83	25	0.30
50	67	71	90	100	100	57	85	15	0.18
30	65	51	90	99	100	51	78	23	0.30
30	57	51	60	89	100	68	68	20	0.29
40	57	50	70	90	100	68	71	21	0.29
40	58	51	70	89	100	68	71	16	0.26
0	53	30	60	70	90	54	53	26	0.48
0	41	0	20	48	60	54	22	22	1.
0	41	0	20	38	50	68	18	17	0.95
J	43	0	0	19	30	68	8	11	1.
0	43	0	0	0	20	41	2	0	.
0	43	0	0	0	20	41	2	5	.
0	41	0	0	0	0	74	0	0	****
0	41	0	0	0	0	74	0	0	****
0	41	0	0	0	0	74	0	0	****
J	41	0	0	0	0	74	0	0	****
J	41	0	0	0	0	74	0	0	****
0	41	0	0	0	30	51	2	8	.
0	41	0	0	0	70	51	5	19	.
0	41	0	0	0	80	51	6	21	.
0	41	0	0	0	10	51	1	3	.
0	41	0	0	0	0	74	0	0	****
0	41	0	0	0	0	74	0	0	****
0	41	0	0	0	0	74	0	0	****
0	41	0	0	0	0	74	0	0	****
0	41	0	0	0	0	74	0	0	****
0	41	0	0	0	0	74	0	0	****
0	41	0	0	0	0	74	0	0	****
0	41	0	0	0	0	74	0	0	****
0	41	0	0	9	30	74	5	11	.
0	41	0	10	30	50	51	18	20	.
0	53	1	50	69	80	74	58	31	0.80
40	41	40	50	79	80	56	58	16	0.28

ANEXO B

ANEXO.8

EFICIENCIA O PRODUCTIVIDAD DEL
AGUA DE IRRIGACION

Esta noción no se refiere al agua transpirada, sino al agua que es aportada en forma de irrigación. Esta cantidad de agua I es utilizada de diferentes maneras (evapotranspiración, drenaje, escorrentía, almacenamiento en el suelo, etc.), no representa la totalidad de agua suministrada al cultivo, porque no incluye ni el agua de la lluvia ni el agua de la reserva hídrica del suelo. La noción de eficiencia del agua de irrigación es, por lo tanto, una noción práctica que se mide en el campo.

Esta puede ser expresada en términos físicos (eficiencia agronómica) o en términos monetarios (eficiencia económica).

1. Eficiencia Agronómica

$$Ea = \frac{\Delta Pu}{V}$$

con:

ΔPu Aumento de la producción útil (partes aéreas de los forrajes, granos en los cereales, frutos en los frutales, etc.) expresados en la unidad de medida de la producción (maca o volumen)

V Cantidad de agua aportada

2. Eficiencia económica

$$E_e = \frac{\Delta IB}{C_i}$$

con:

ΔIB Aumento del ingreso bruto debido a un aumento de la producción, gracias a la irrigación

C_i Cargas debido al agua (es decir el costo total de la irrigación). Este término comprende el costo del agua (precio, bombeo, etc.), el costo de la mano de obra necesaria para el riego, amortización del material de irrigación.

La curva de la variación del suplemento de la producción "y" (en cantidad o en valor), en función de la irrigación "x" (en cantidad o en valor), no es lineal, como se puede apreciar en la Figura B-1.

La eficiencia máxima agronómica es definida por $\frac{y}{x}$ max., o sea, por la tangente a la curva que pasando por el origen tenga la mayor pendiente. Corresponde al mayor valor del rendimiento en qx/ha por m³ de agua de irrigación.

La eficiencia máxima económica corresponde al suplemento máximo del ingreso por hectárea resultante de la irrigación, esto es (y-x) max. Está definida por la tangente a la curva, paralela a la primera bisectriz.

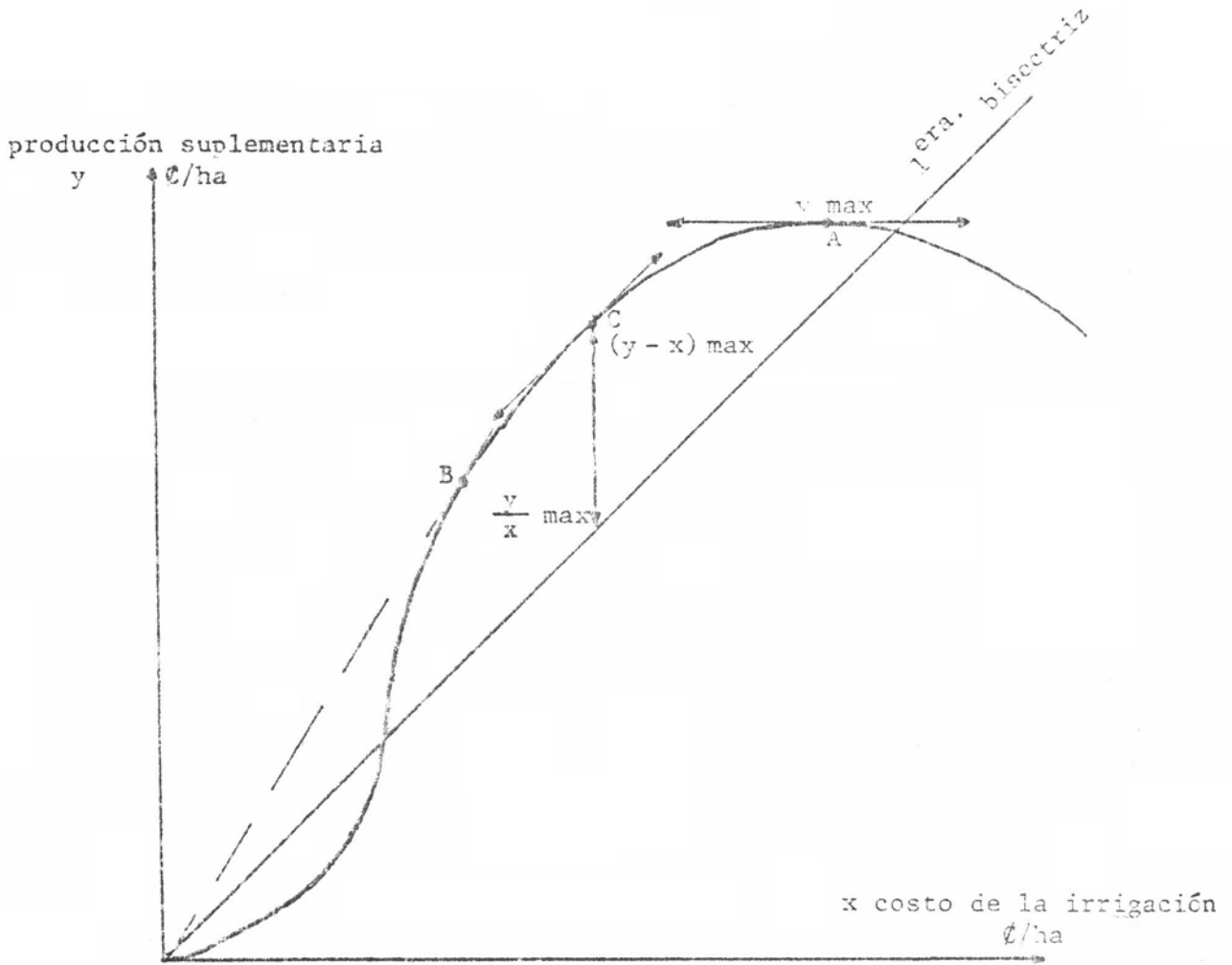


Fig. B-1 Curva de la variación del valor de la producción suplementaria debido a la irrigación en función del costo de la irrigación

- A - producción máxima $y \text{ max}$
- B - eficiencia máxima agronómica $y/x \text{ max}$
- C - eficiencia máxima económica $(y - x) \text{ max}$

ANEXO C

ANEXO C

Explicación de los parámetros estadísticos empleados en el estudio.

1. Parámetros de tendencia central.

1.1 Media aritmética.

La característica central más usada, la media o promedio aritmético de una serie numérica x_1, x_2, \dots, x_n de la variable x es por definición: el cociente de la suma de los valores por el número de valores y se denota generalmente por el símbolo \bar{x}

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

1.2 Varianza (o fluctuación) σ^2 y la desviación estándar σ (o diferencia cuadrática media)

La varianza σ^2 es el promedio aritmético de las diferencias al cuadrado de n observaciones con respecto su promedio \bar{x} . La desviación estándar σ es igual a la raíz cuadrada de la varianza

$$\sigma = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 / N}$$

Para el cálculo de estos valores, es conveniente utilizar para observaciones no agrupadas la siguiente fórmula equivalente

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}^2}$$

1.3 Mediana (M_e)

Si los términos de una serie están ordenados según sus valores en forma creciente, la mediana es el término para el cual existe un número igual de observaciones que le son inferiores y de observaciones que le son superiores.

Si la serie está compuesta por un número impar ($2n + 1$) de términos, la mediana es el término central, es decir el $(n + 1)$ enésimo término.

Si la serie presenta un número par $2n$ de términos, la mediana en principio se indefine, sin embargo, para efectos prácticos se la considera como igual al promedio aritmético de los dos términos centrales, esto es del n enésimo y $(n + 1)$ enésimo términos (corrientemente denominada como "mediana aritmética").

1.4 Coeficiente de variación (C_V)

Es el más utilizado:

$$C_V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad \text{o} \quad C_V = 100 \frac{\sigma}{\bar{x}}$$

El caracteriza numéricamente la importancia de la dispersión alrededor de la media o promedio, por lo tanto el valor representativo de la misma.

2. Parámetros de dispersión

2.1 Intervalo total de variación

Es el resultado de la diferencia entre el más grande y el más pequeño valor de la serie

$$w = x_{\max} - x_{\min}$$

Este intervalo puede dar una idea falsa de la dispersión de los datos en el caso de que los valores extremos sean aberrantes. Además, los valores extremos tendrán mayor probabilidad de aparecer cuando el efectivo de la muestra es considerable.

En vista de estos inconvenientes, se ha considerado la diferencia entre dos valores particulares de la variable, valores llamados "cuantiles", tal que el porcentaje de observaciones inferiores al valor más pequeño sea igual al porcentaje de observaciones superiores al más grande. Estas diferencias constituyen los parámetros de dispersión.

En cuanto a los cuantiles, los más utilizados son los cuartiles, los quintiles, los deciles y los percentiles, ellos representan de hecho, parámetros de posición.

2.2 Quintiles

Se distinguen cuatro quintiles que dividen la serie de observaciones en cinco grupos de efectivos iguales:

El primer, Q_1' y cuarto quintiles, Q_4'

1/5 de las observaciones es $< Q_1'$;

1/5 de las observaciones es $> Q_4'$;

El segundo, Q_2' y tercer quintiles, Q_3'

2/5 de las observaciones son $< Q_2'$;

2/5 de las observaciones son $> Q_3'$;

El empleo de los quintiles ha sido recomendado por la Organización Mundial de Meteorología, OMM, en los mensajes del clima.

3776		Valor máximo
2715		
2690		
2468		
2449		
2350	2335	20% prob. (Q_4')
2320		
2305		
2290		
2283		
2228		
2213	2188	40% prob. (Q_3')
2164		
2136		
2128	2117	mediana
2107		
2107		
2081	2027	60% prob. (Q_2')
1973		
1963		
1951		
1944		
1883		
1871	1811	80% prob. (Q_1')
1751		
1733		
1715		
1714		
1686		
1653		Valor mínimo

EJEMPLO. Serie de 30 años de precipitación en mm, valores anuales para la estación Barranca

