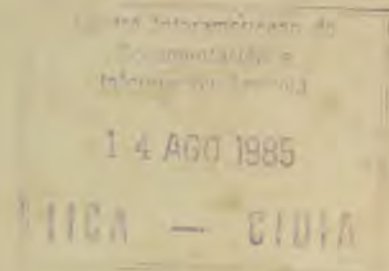


Serie Publicaciones Misceláneas No. 546  
ISSN-0534-5391



# ESTUDIO DE LAS CONDICIONES HIDRICAS DEL PACIFICO NORTE DE COSTA RICA

Oscar E. Rojas



INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA

SAN JOSE, COSTA RICA  
1985



Instituto Interamericano de  
Cooperación para la  
Agricultura

14 AGO 1985

IICA - GICIA

**ESTUDIO DE LAS CONDICIONES HIDRICAS DEL  
PACIFICO NORTE DE COSTA RICA**

Oscar E. Rojas  
Especialista en Agroclimatología  
del IICA

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

San José, Costa Rica

1985

© Oscar E. Rojas

© para esta edición, IICA.

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

~~004273~~

00000590

IICA

PM-546

Rojas, Oscar E.

Estudio de las condiciones hídricas del Pacífico Norte de Costa Rica. -- San José, Costa Rica : IICA, 1985.

73 p. -- (IICA / Publicación miscelánea; no. 546)

ISSN 0534-5391

1. Meteorología - Costa Rica. 2. Lluvia - Costa Rica. I. Título. II. Serie.

AGRIS  
F10

DEWEY  
551.572

SERIE PUBLICACIONES MISCELANEAS No. 546

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

San José, Costa Rica

1985

## CONTENIDO

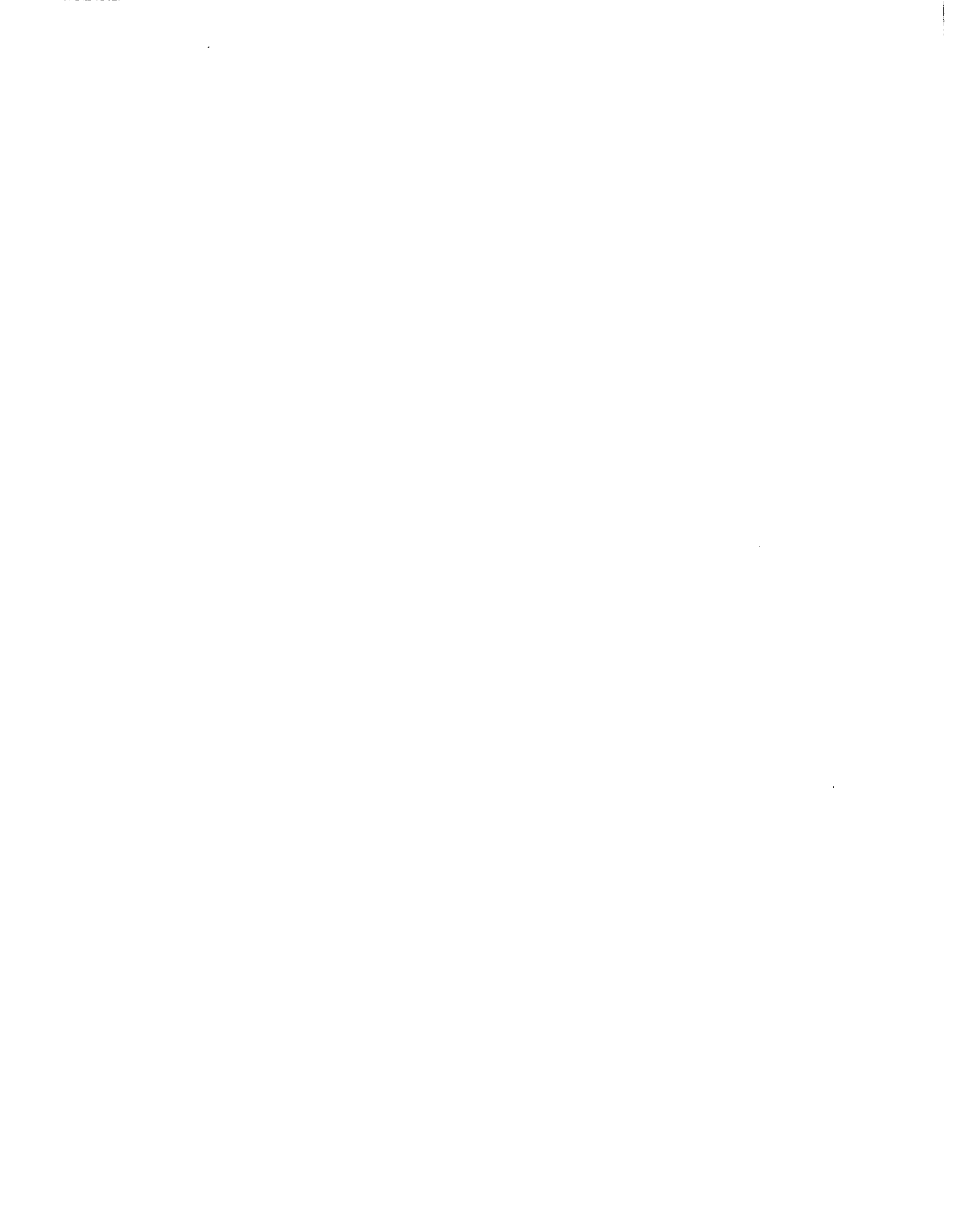
	<u>Página</u>
AGRADECIMIENTO .....	3
INTRODUCCION .....	5
<b>GENERALIDADES</b>	
1. Nociones relacionadas con la evapotranspiración .....	7
1.1 Evapotranspiración .....	7
1.2 Evapotranspiración potencial .....	7
1.3 Evapotranspiración máxima .....	7
1.4 Evapotranspiración real .....	8
1.5 Evapotranspiración óptima .....	8
2. Nociones relacionadas con el suelo .....	9
2.1 Humedad del suelo .....	9
2.1.1 Humedad de saturación .....	10
2.1.2 Humedad a la capacidad de retención o humedad a la capacidad de campo .....	10
2.1.3 Humedad equivalente .....	10
2.1.4 Humedad crítica .....	10
2.1.5 Humedad al punto de marchitez permanente .....	11
2.1.6 Humedad higroscópica .....	11
2.1.7 Agua de constitución .....	11
3. La reserva de agua en el suelo .....	12
3.1 Reserva útil .....	12
3.2 Reserva fácilmente utilizable .....	13
<b>MATERIALES Y METODOS</b>	
1. Descripción de la zona en estudio .....	15
2. Datos, programa y computador .....	15
3. Balance hídrico climático .....	17
4. Balance hídrico teórico .....	18
4.1 Presentación del modelo .....	18
4.1.1 Reserva útil del suelo .....	18
4.1.2 Lluvia eficaz .....	19
4.1.3 Drenaje .....	19
4.1.4 Evapotranspiración real .....	20
4.1.5 Ecuación del balance hídrico .....	21

	<u>Página</u>
4.2 Análisis frecuencial de la reserva hídrica del suelo .....	22
4.3 Estudio del período de sequía .....	22
4.4 Estudio de la diferencia de evapotranspiración .....	22
5. Modelo de irrigación .....	23
5.1 Análisis estadístico del número de irrigaciones .....	24
5.2 Análisis estadístico de la fecha de cada irrigación .....	24
<b>RESULTADOS</b>	
1. Balance hídrico climático .....	25
2. Balance hídrico teórico .....	25
2.1 Análisis frecuencial de la reserva hídrica del suelo .....	25
2.2 Estudio del período de sequía .....	26
2.3 Estudio de la diferencia de evapotranspiración .....	26
3. Modelo de irrigación .....	38
3.1 Análisis estadístico del número de irrigaciones .....	38
3.2 Análisis estadístico de la fecha de cada irrigación .....	38
CONCLUSION .....	47
<b>ANEXOS</b>	
Anexo A .....	51
Anexo B .....	67
BIBLIOGRAFIA .....	73

### AGRADECIMIENTO

Al Dr. Michel Montoya, Dr. Michel Eldin y  
Dr. Jean-Paul Lhomme, grandes amigos y maes-  
tros, así como a mi amigo y compañero de es-  
tudio Ing. Paul Bornemisza.

Gracias.





## INTRODUCCION

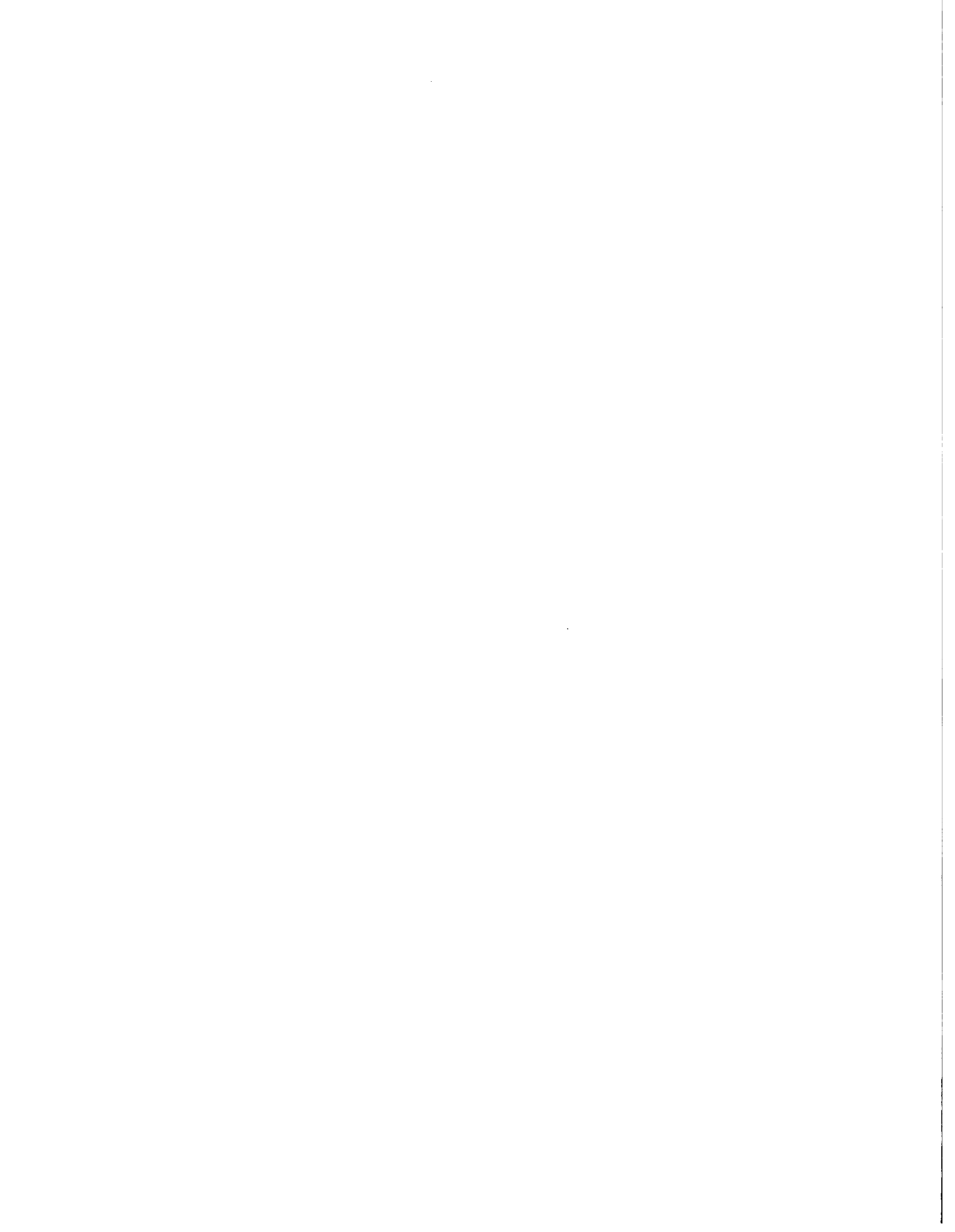
Las plantas son seres vivientes que necesitan del agua para producir la materia vegetal, y sobre todo, para asegurar la función de la transpiración.

Sus necesidades se manifiestan con una intensidad variable a lo largo de todo su ciclo vegetativo. Las condiciones naturales de abastecimiento en agua (humedad del suelo, cantidad y repartición de las lluvias) no siempre se adaptan a sus exigencias biológicas.

Si este abastecimiento es muy débil, el rol de la irrigación es aportar los complementos de agua necesarios y suficientes para obtener una buena producción.

El objetivo del presente estudio es analizar la región del Pacífico Norte de Costa Rica, que presenta problemas de sequía, los cuales han ocasionado serias pérdidas en los cultivos, y por ende económicas.

Para el análisis se utiliza un modelo simple, que calcula el balance hídrico teórico a nivel del día, y además, se propone un modelo que estima la irrigación, a partir de los resultados obtenidos de dicho balance hídrico. Para una mejor interpretación de los resultados, éstos se presentan en términos estadísticos.



## GENERALIDADES

### 1. Nociones relacionadas con la evapotranspiración

#### 1.1 Evapotranspiración, ET

Es un fenómeno complejo, que integra a la vez la evaporación del agua del suelo (fenómeno físico) y la transpiración de la vegetación (fenómeno fisiológico).

#### 1.2 Evapotranspiración potencial, ETP

Término introducido por Penman, en 1948, que ha sido ampliamente discutido y después de varias modificaciones se concibe, en la actualidad, como la evapotranspiración máxima de un césped que cubre completamente el suelo, bien alimentado en agua, en fase activa de crecimiento y en el seno de una parcela suficientemente grande. La ETP representa la "demanda climática" y depende ante todo de las condiciones meteorológicas (Zeller, 1983).

#### 1.3 Evapotranspiración máxima, ETM

Es el valor máximo de la evapotranspiración de un cultivo determinado, en un estado vegetativo definido y dentro de las condiciones climáticas existentes. Su valor es teóricamente inferior o igual a la ETP. Sin embargo, no es raro encontrar para ciertos cultivos altos (maíz, caña de azúcar, banano, etc.) valores de la ETM superiores a la ETP medida o calculada. Se define la ETM en relación a la ETP poniendo:

$$ETM = k \cdot ETP$$

Donde k depende del cultivo y de su estado vegetativo. El coeficiente k puede ser igualmente influenciado por el clima, por ejemplo, cuando la advección es importante, k adquiere valores altos.

#### 1.4 Evapotranspiración real, ETR

Es la evapotranspiración de un cultivo dentro de las condiciones reales existentes; esto es, la alimentación en agua podría estar limitada por restricciones de orden físico (succión del suelo), químico (concentración de soluciones), biológico (regulación estomática), y por lo tanto, se reduce el nivel de la transpiración en relación al valor máximo que ella podría alcanzar en ausencia de la restricción.

$$ETR \leq ETM$$

#### 1.5 Evapotranspiración óptima, $ETR_{opt}$

$$ETR_{opt} = k_{opt} ETP$$

Es una noción más difícil de definir que las precedentes, y su interés se siente cuando se comprueba que el óptimo económico es alcanzado para valores inferiores a la ETM, ya sea porque el rendimiento comercial máximo o calidad máxima se logra para los valores de la ETR inferiores a la ETM (caso de la caña de azúcar, cereales, etc.) o porque el rendimiento marginal alcanzado para valores cercanos a la ETM es poco significativo en comparación al costo marginal de la irrigación. Dentro de este último caso la noción de  $ETR_{opt}$  integra a la vez criterios económicos; y por lo tanto, puede estar sujeta a ciertas variaciones en función de la coyuntura.

Tenemos en principio:

$$ETR \leq ETM \leq ETP$$

La importancia de la ETP reside en el hecho de que ella constituye una evaluación máxima de las necesidades de agua de todos los cultivos y que, a partir de la misma, se pueden estimar las necesidades máximas (ETM) y óptimas ( $ETR_{opt}$ ), a través del conocimiento de los coeficientes  $k$  y  $k_{opt}$  medios, para las diferentes fases vegetativas de un cultivo determinado (Ministerio de Cooperación, 1979).

Observemos, por lo tanto, el desarrollo reciente, en materia de investigación bioclimática, de ciertas técnicas de medida directa de la ETR de un cultivo. Ellas consisten en medir e integrar, sobre cortos espacios de tiempo, los diversos flujos de energía que se establecen sobre la vegetación, entre dos niveles distantes verticalmente de 0,5 a 1 metro. Para lo cual, se necesitan instrumentos de medida extremadamente precisos, y al final todo un equipo en permanencia para el registro de los datos (Perrier, 1975; Itier, 1981).

## 2. 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 la 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).

### 2.1 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:

### 2.1.1 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.

### 2.1.2 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).

### 2.1.3 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.

### 2.1.4 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.

#### 2.1.5 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.

#### 2.1.6 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.

#### 2.1.7 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.

### 3. 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).

#### 3.1 Reserva útil

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

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

con:

RU	reserva útil en mm
$d_a$	densidad aparente de la tierra seca <sup>(1)</sup>
HCR	humedad ponderal <sup>(2)</sup> 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 promedia de las raíces

---

(1) Se denomina densidad aparente de un suelo a la masa del suelo seco por unidad del volumen del suelo in situ,  $d_a = M_s/V$

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



### 3.2 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

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

$$RFU = a RU$$

con:

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

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 suelo en el laboratorio. Los resultados obtenidos se ilustran en la Figura 1.

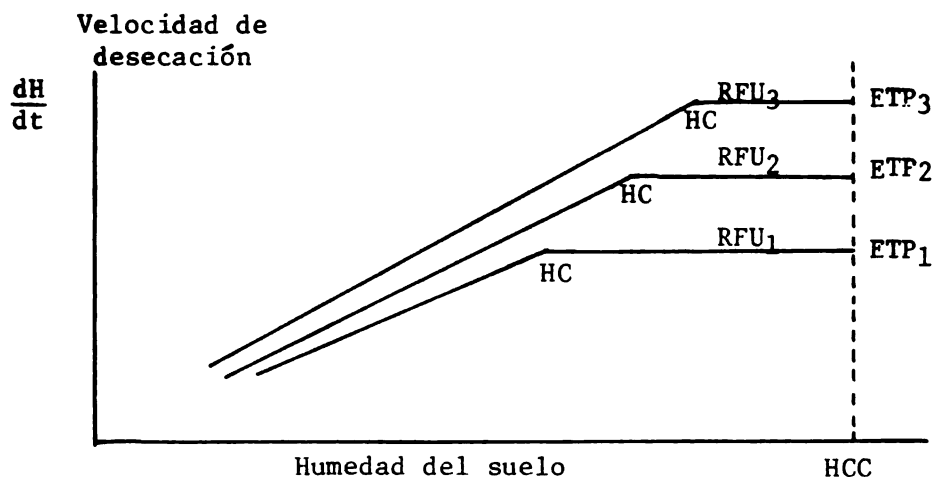


Fig. 1 Velocidad de desecación para un mismo suelo en función de su humedad para diferentes niveles de evapotranspiración

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 físico-geográfica en estudio es el Pacífico Norte de Costa Rica, en la cual se seleccionaron nueve estaciones meteorológicas para el análisis agroclimático (Fig. 2). Las coordenadas de dichas estaciones aparecen en el Cuadro 1.

Cuadro 1

Estaciones meteorológicas empleadas en el  
estudio agroclimático

<u>ESTACION</u>	<u>LATITUD NORTE</u>	<u>LONGITUD OESTE</u>	<u>ELEVACION</u> <u>(m.s.n.m.)</u>
Cañas	10°25'	85°05'	95
Filadelfia	10°26'	85°35'	17
Liberia	10°36'	85°32'	85
Nicoya	10°05'	85°27'	120
Puntarenas	9°58'	84°50'	3
Quebrada Grande	10°51'	85°30'	366
Santa Cruz	10°16'	85°35'	54
Taboga	10°21'	85°09'	40
Tilarán	10°28'	84°58'	562

### 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 (serie de registro superior a 25 años), 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).

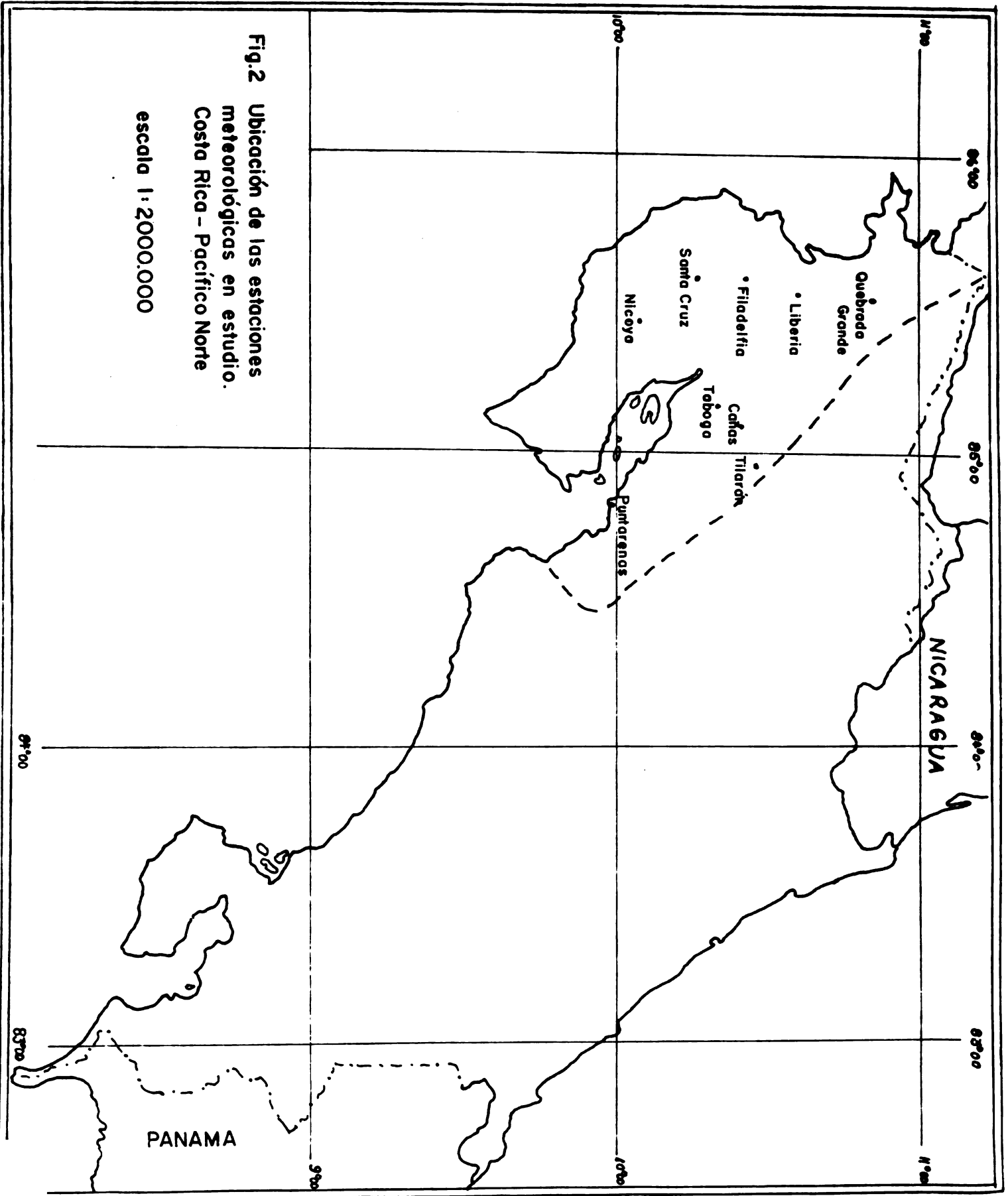


Fig.2 Ubicación de las estaciones meteorológicas en estudio. Costa Rica - Pacífico Norte

escala 1:2000.000

### 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:

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

ETP      Evapotranspiración potencial

$\Delta$       Pendiente de la curva que da la presión máxima de vapor de agua en función de la temperatura

$\gamma$       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:

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

La fórmula de Priestley-Taylor se utiliza generalmente a nivel diario, siendo en este caso t el promedio de la temperatura diaria 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 <sub>g</sub>	Radiación global diaria
R <sub>g<sub>0</sub></sub>	Radiación solar al tope de la atmósfera
n	Duración de la insolación
N	Duración astronómica del día
a y b	Coefficientes empíricos específicos de la región considerada y determinados estadísticamente. Los valores escogidos para nuestro estudio a = 0,23 y b = 0,46

Para el balance climático se utilizó el valor de la mediana de la precipitación en lugar del valor medio o promedio, ya que este valor es más representativo al no tener las precipitaciones una distribución normal.

Para la ETP sí se utilizó el promedio para cada década, justificándose por ser la variación interanual de la ETP débil.

#### 4. 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).

##### 4.1 Presentación del modelo

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

#### 4.1.2 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.

#### 4.1.3 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:

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

#### 4.1.4 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 fluctúe 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:

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

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 (estadio crítico por ejemplo):

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

#### 4.1.5 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  $RH_0 = 0$ , y si se encuentra en plena estación lluviosa,  $RH_0 = RU$ ; de lo contrario, se toma un valor promedio  $RH_0 = RU/2$ .

#### 4.2 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, 366), con n = número de años de registro. Con el objeto de determinar las décadas del año que presentan problemas de sequía, se calcula a partir de la matriz, para cada década, la frecuencia con la cual ocurren diez días consecutivos secos. Se considera un día seco como un día con una reserva hídrica inferior a la reserva difícilmente utilizable (RDU).

#### 4.3 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.

#### 4.4 Estudio de la diferencia de evapotranspiración

A partir de la matriz DH (n, 366) 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  $[(ETM - ETR)/ETM] \times 100$

##### 5. 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, 366).

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.

### 5.1 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.

### 5.2 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

### 1. Balance hídrico climático

Los resultados obtenidos se presentan de la Figura 3 a la Figura 11. Para cada estación se aprecian las décadas para las cuales el balance climático es negativo, presentándose un déficit hídrico, las cuales al ser acumuladas definen la época seca de la región. Esta época se extiende, en términos generales, desde mediados de noviembre hasta mediados de mayo; existiendo para algunas regiones del Pacífico Norte una pequeña época de sequía en los meses de julio y agosto, conocida como "canícula" o "veranillo", que se enfatiza dependiendo de la posición geográfica ocupada.

Sin embargo, es necesario señalar que el balance climático es solo una manera simple de analizar el balance hídrico real. Nótese que éste no considera la retención del agua de lluvia por parte del suelo (reserva hídrica), ni la evolución de las necesidades de agua en cada etapa fenológica del cultivo (coeficiente de los cultivos,  $k = \text{ETM}/\text{ETP}$ ), que al final podrían variar considerablemente los resultados obtenidos.

En el Anexo A se presentan los parámetros estadísticos de la precipitación por década para cada estación en estudio.

### 2. Balance hídrico teórico

#### 2.1 Análisis frecuencial de la reserva hídrica del suelo, RH

De la Figura 12 a la Figura 20 aparecen los resultados obtenidos con el análisis frecuencial. Se determinan las décadas que presentan problemas de sequía (10 días consecutivos secos,  $\text{RH} < \text{RDU}$ ) con una frecuencia alta, esto es superior a 0,75 (3 años sobre 4). Además, se ve la importancia del "veranillo", sobresaliendo éste para las estaciones: Cañas, Santa Cruz, Taboga y Puntarenas con una frecuencia alrededor de 0,5. También, se puede observar la diferente fecha de aparición; por ejemplo, en la estación Taboga el veranillo comienza en el mes de junio, mientras que en Cañas aparece hasta el mes de julio.

## 2.2 Estudio del período de sequía

En los Cuadros 2 y 3 aparecen los valores para cada parámetro estadístico del número de días consecutivos secos de cada estación meteorológica analizada, tanto para la época seca principal, como para el denominado veranillo. Se puede esperar que se presenten en promedio, como mínimo, 127 días consecutivos secos ( $RH < RDU$ ) en Tilarán y como máximo 170 días en Filadelfia. Con una probabilidad de 80% de que ocurran al menos 104 días consecutivos secos en Tilarán y 155 en Filadelfia. En relación al veranillo, se pueden presentar en promedio 7 días consecutivos secos en Tilarán y 21 días como máximo en Cañas.

Además en el Cuadro 4 se indican, en términos estadísticos, la fecha de inicio de cada período de días consecutivos secos para la principal estación seca de la región, esta fecha gira alrededor de la década 33 o sea al comienzo del mes de diciembre (valor de la mediana).

## 2.3 Estudio de la diferencia de evapotranspiración

Los resultados de este estudio se presentan 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. Además, la evolución del valor en milímetros de esta diferencia de evapotranspiración se representa de la Figura 12 a la Figura 20.

También en el Anexo A aparecen los resultados de esta diferencia en porcentaje para cada década, pudiéndose determinar la severidad del déficit y la reducción en porcentaje de la producción de materia seca, si se admite la proporcionalidad entre el nivel de evapotranspiración y la tasa fotosintética.

Cuadro 2

Parámetros estadísticos del número de días consecutivos secos  
para la región del Pacífico Norte

ESTACION	MINI	QNT 1	MEDN	QNT 4	MAXI	MED	DE	CV
Cañas	77	154	169	188	195	166	29	0,18
Filadelfia	133	155	174	186	200	170	19	0,11
Liberia	120	137	174	187	202	165	26	0,16
Nicoya	85	121	152	164	171	145	23	0,16
Puntarenas	96	132	170	182	192	158	28	0,18
Quebrada Grande	89	135	155	174	281	158	37	0,23
Santa Cruz	90	131	169	175	200	159	27	0,17
Taboga	88	109	147	171	177	142	29	0,21
Tilarán	70	104	131	153	169	127	27	0,21

Cuadro 3

Parámetros estadísticos del número de días consecutivos secos  
dentro del "veranillo" para la región del Pacífico Norte

ESTACION	MINI	QNT 1	MEDN	QNT 4	MAXI	MED	DE	CV
Cañas	0	0	22	38	46	21	16	0,77
Filadelfia	0	4	13	20	33	12	9	0,76
Liberia	0	7	14	18	66	17	17	1,01
Nicoya	0	0	2	9	26	5	7	1,38
Puntarenas	0	5	18	29	56	19	14	0,74
Quebrada Grande	0	0	9	19	75	14	21	1,47
Santa Cruz	0	0	13	25	54	15	14	0,92
Taboga	3	3	13	36	39	18	14	0,78
Tilarán	0	0	3	19	23	7	9	1,23



Cuadro 4

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

ESTACION	MINI	QNT 1	MEDN	QNT 4	MAXI	MED	DE	CV
Cañas	303	314	323	330	331	322	8	0,02
Filadelfia	307	311	325	328	346	322	11	0,03
Liberia	1	313	325	333	334	293	98	0,33
Nicoya	1	316	332	346	359	298	106	0,36
Puntarenas	1	323	334	340	364	311	87	0,28
Quebrada Grande	1	315	332	344	353	287	117	0,41
Santa Cruz	308	318	328	337	359	330	14	0,04
Taboga	1	323	336	340	349	302	101	0,33
Tilarán	1	1	341	359	364	236	159	0,67

Cuadro 3

Parámetros estadísticos del número de días consecutivos secos  
dentro del "veranillo" para la región del Pacífico Norte

ESTACION	MINI	QNT 1	MEDN	QNT 4	MAXI	MED	DE	CV
Cañas	0	0	22	38	46	21	16	0,77
Filadelfia	0	4	13	20	33	12	9	0,76
Liberia	0	7	14	18	66	17	17	1,01
Nicoya	0	0	2	9	26	5	7	1,38
Puntarenas	0	5	18	29	56	19	14	0,74
Quebrada Grande	0	0	9	19	75	14	21	1,47
Santa Cruz	0	0	13	25	54	15	14	0,92
Taboga	3	3	13	36	39	18	14	0,78
Tilarán	0	0	3	19	23	7	9	1,23

Cuadro 4

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

ESTACION	MINI	QNT 1	MEDN	QNT 4	MAXI	MED	DE	CV
Cañas	303	314	323	330	331	322	8	0,02
Filadelfia	307	311	325	328	346	322	11	0,03
Liberia	1	313	325	333	334	293	98	0,33
Nicoya	1	316	332	346	359	298	106	0,36
Puntarenas	1	323	334	340	364	311	87	0,28
Quebrada Grande	1	315	332	344	353	287	117	0,41
Santa Cruz	308	318	328	337	359	330	14	0,04
Taboga	1	323	336	340	349	302	101	0,33
Tilarán	1	1	341	359	364	236	159	0,67

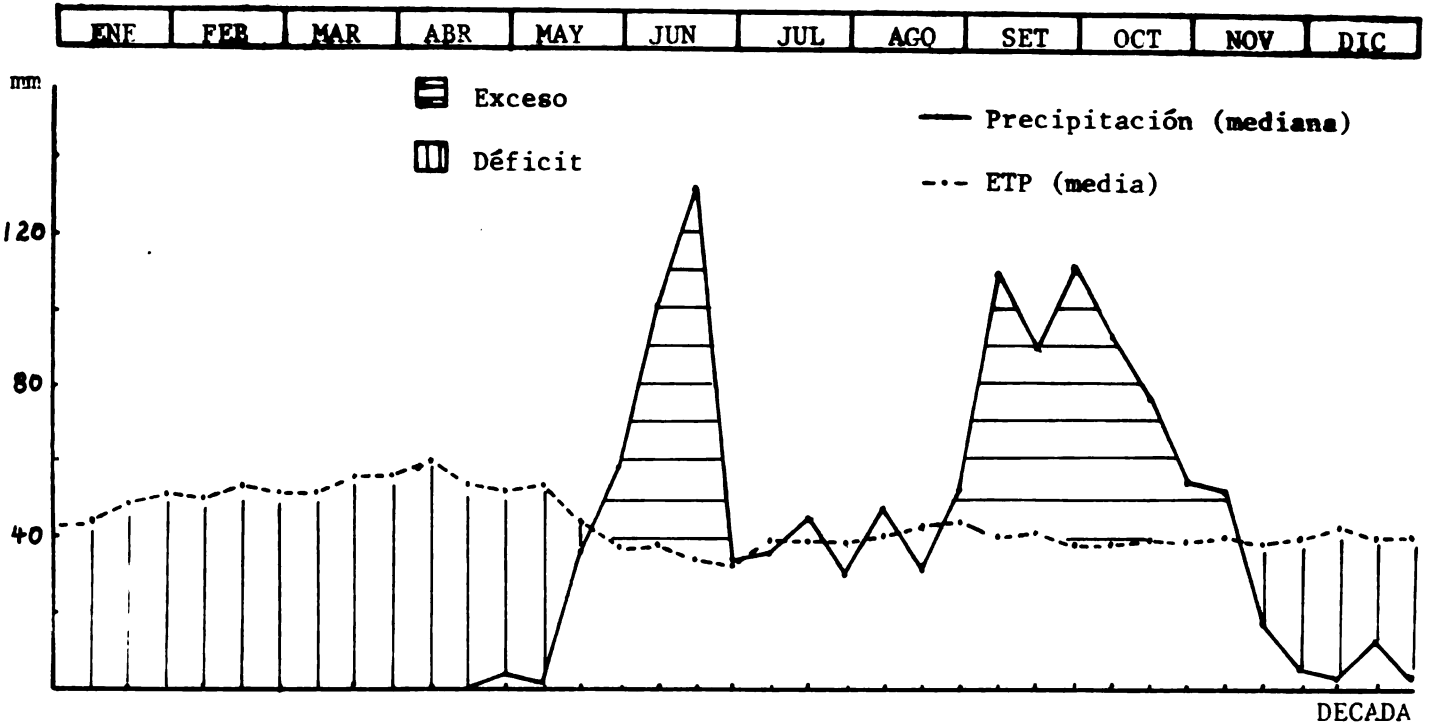


Fig. 3 Balance hídrico climático (P - ETP) para la estación Cañas

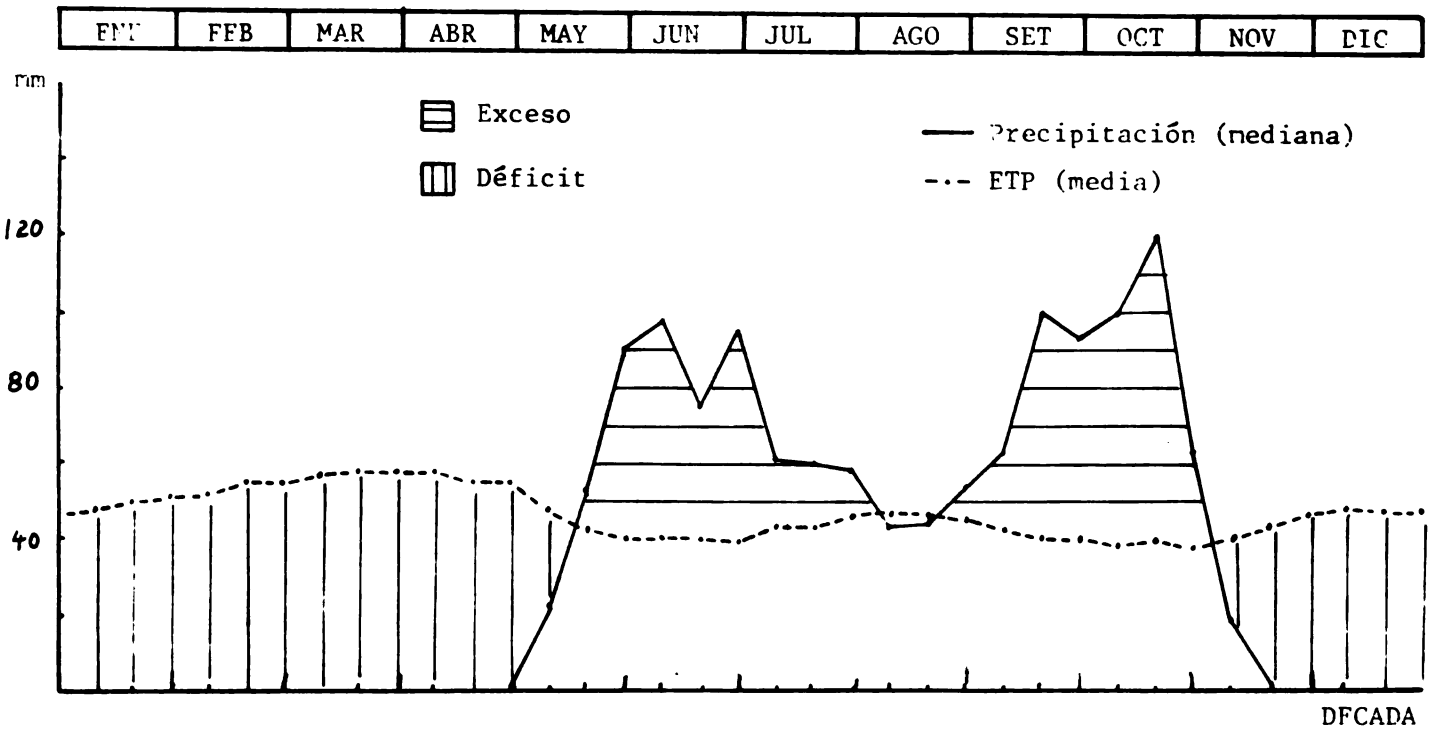


Fig. 4 Balance hídrico climático (P - ETP) para la estación Filadelfia

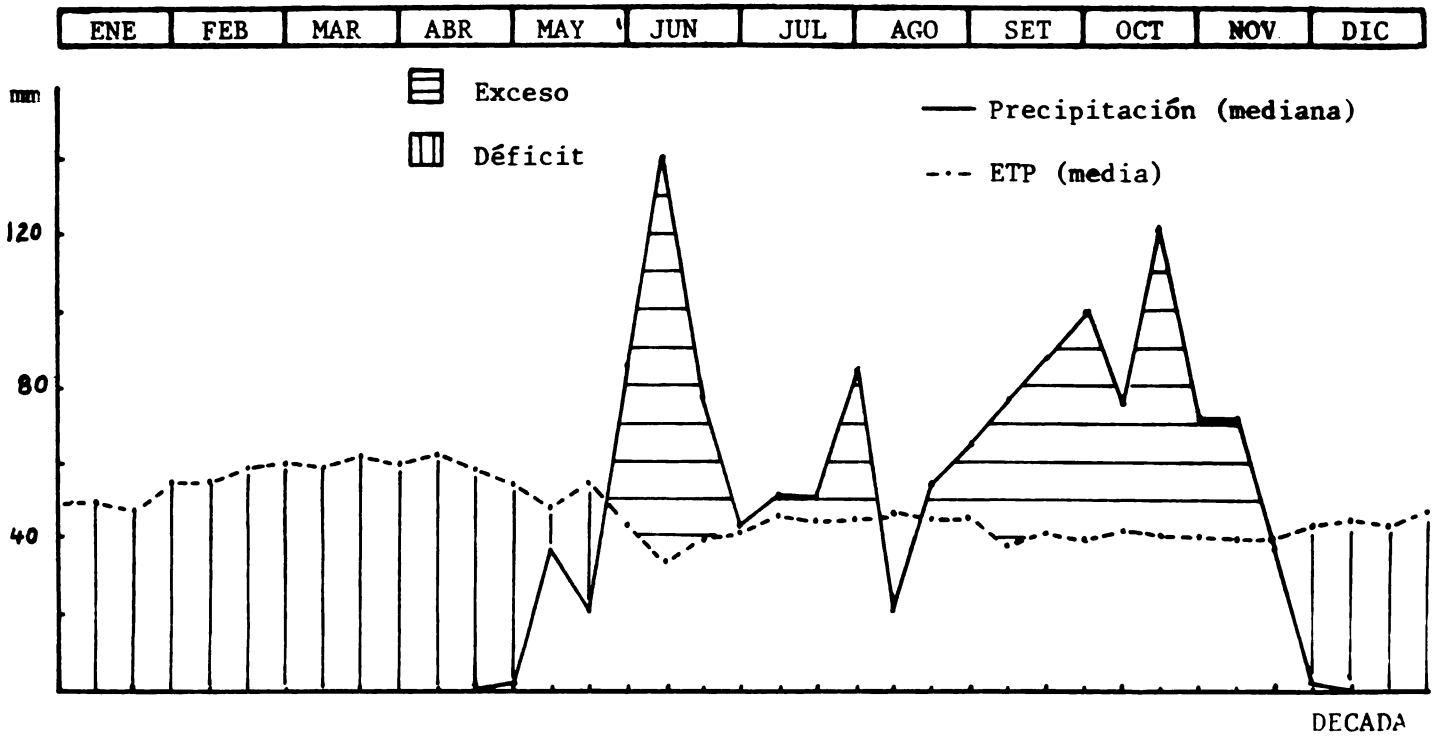


Fig. 5 Balance hídrico climático (P - ETP) para la estación Liberia

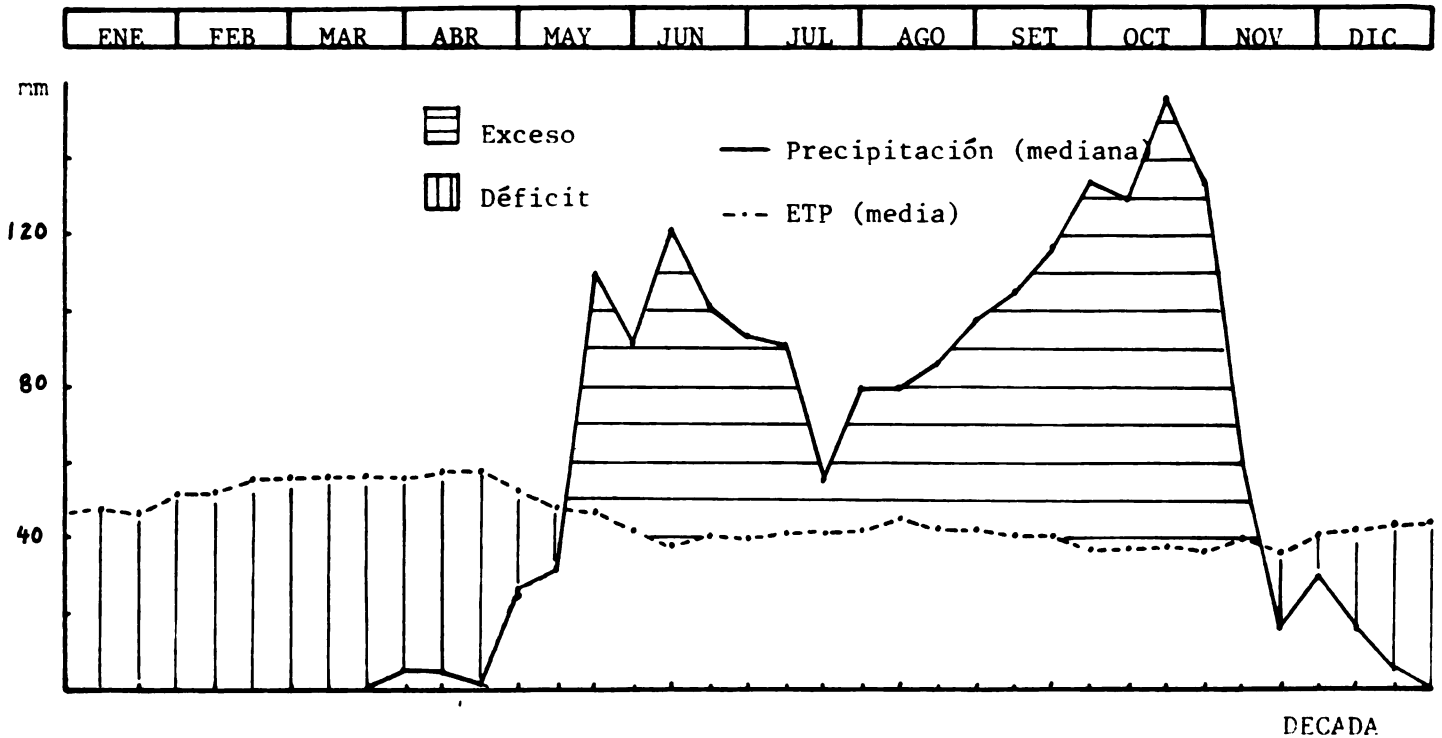


Fig. 6 Balance hídrico climático (P - ETP) para la estación Nicoya

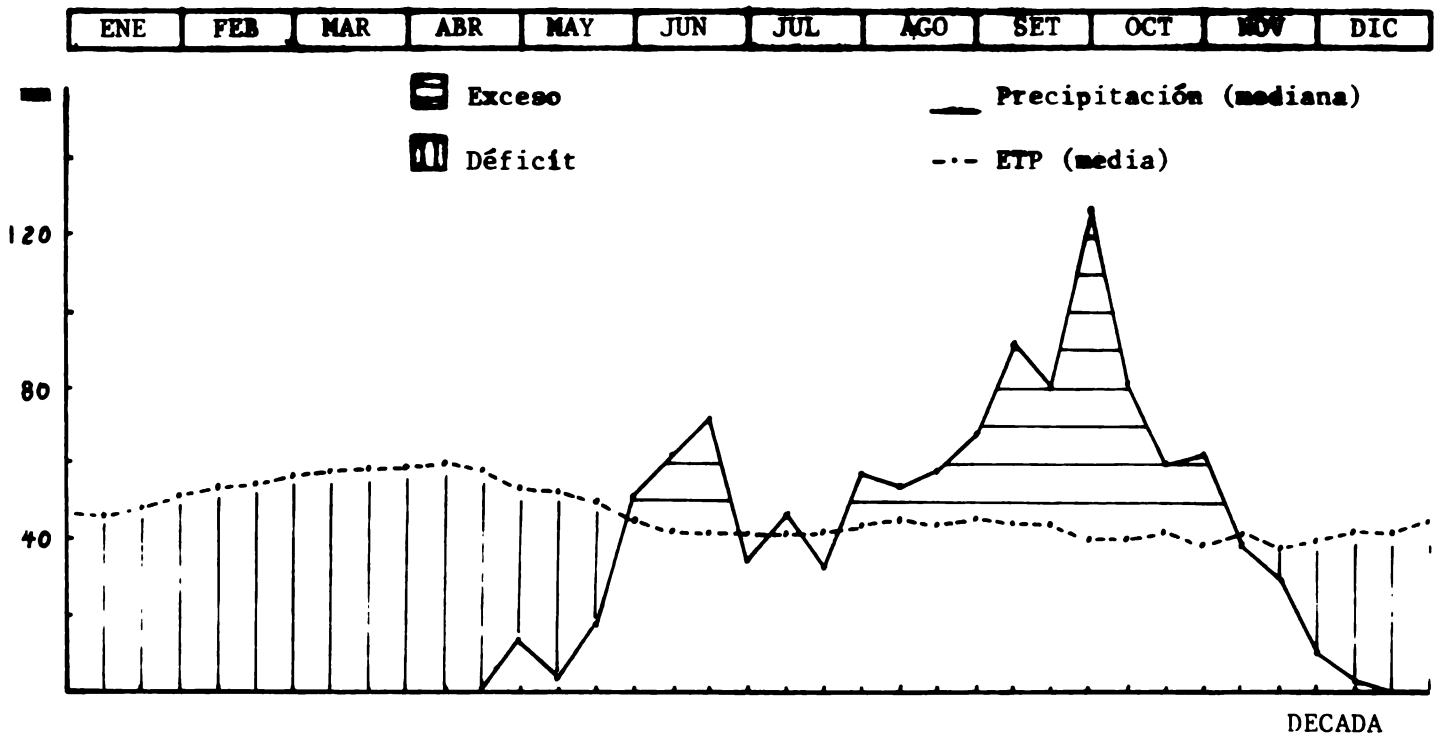


Fig. 7 Balance hídrico climático (P - ETP) para la estación Puntarenas

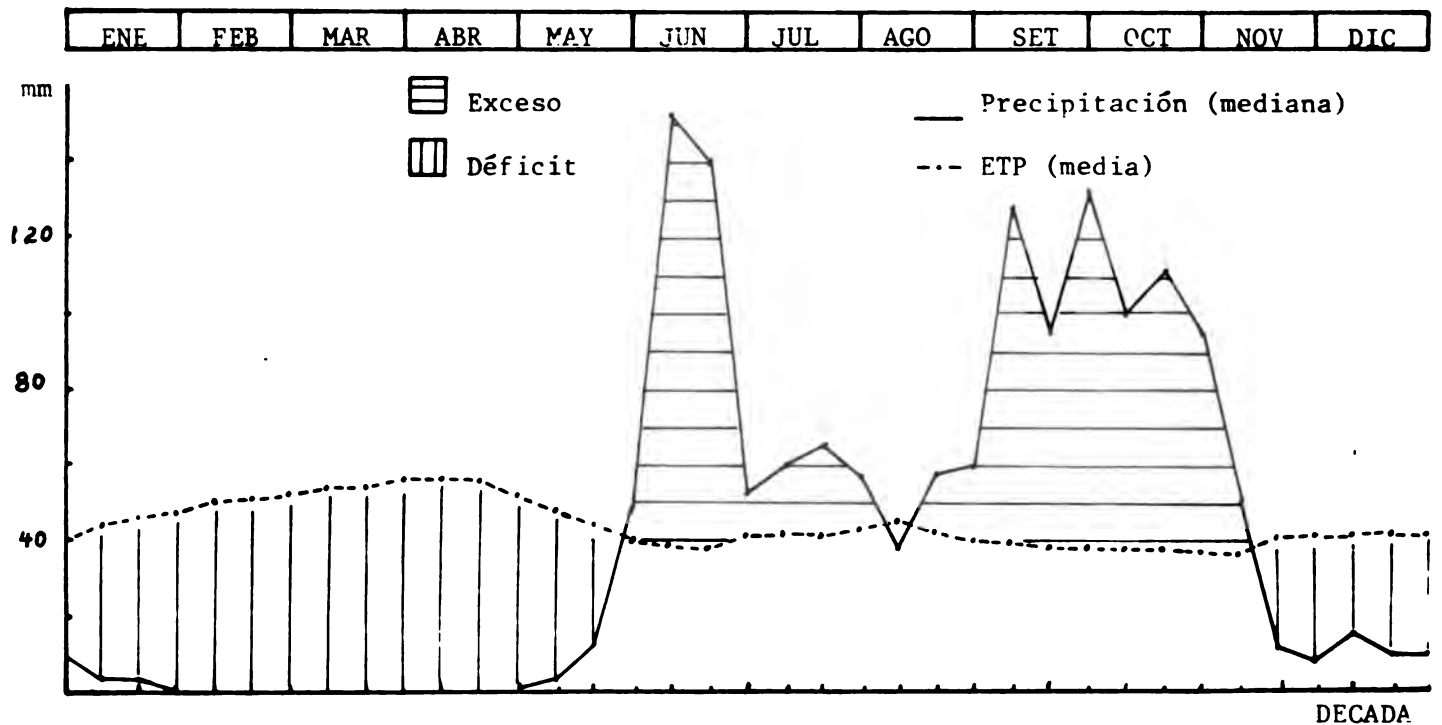


Fig. 8 Balance hídrico climático (P - ETP) para la estación Quebrada Grande

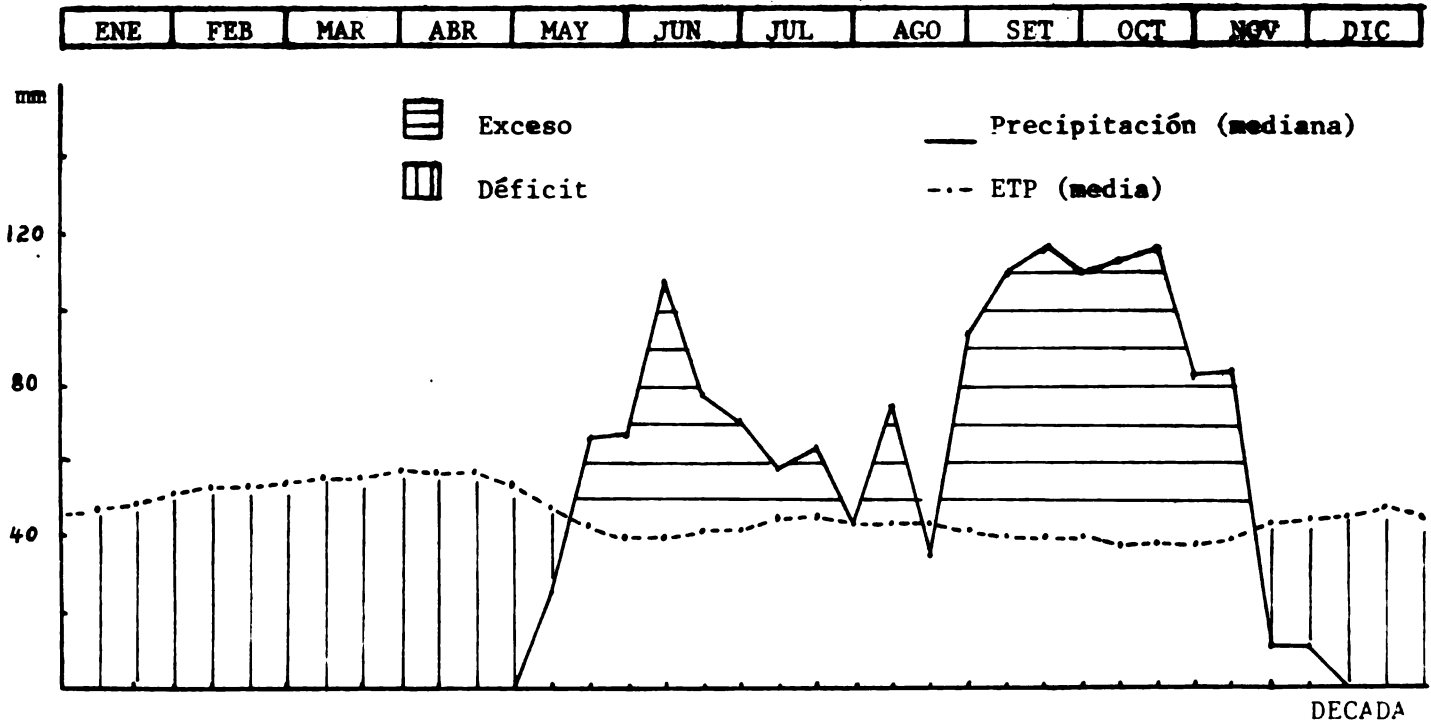


Fig. 9 Balance hídrico climático (P - ETP) para la estación Santa Cruz

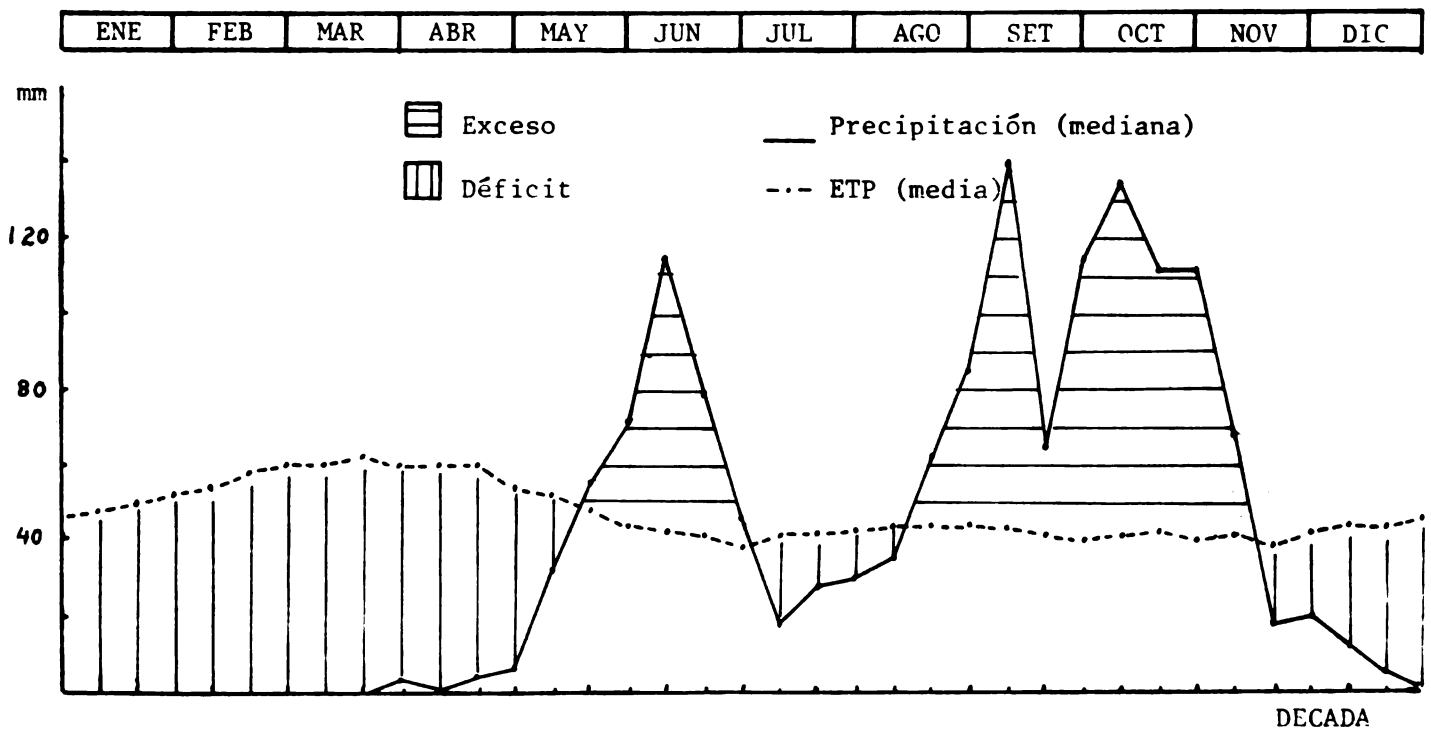


Fig. 10 Balance hídrico climático (P - ETP) para la estación Taboga

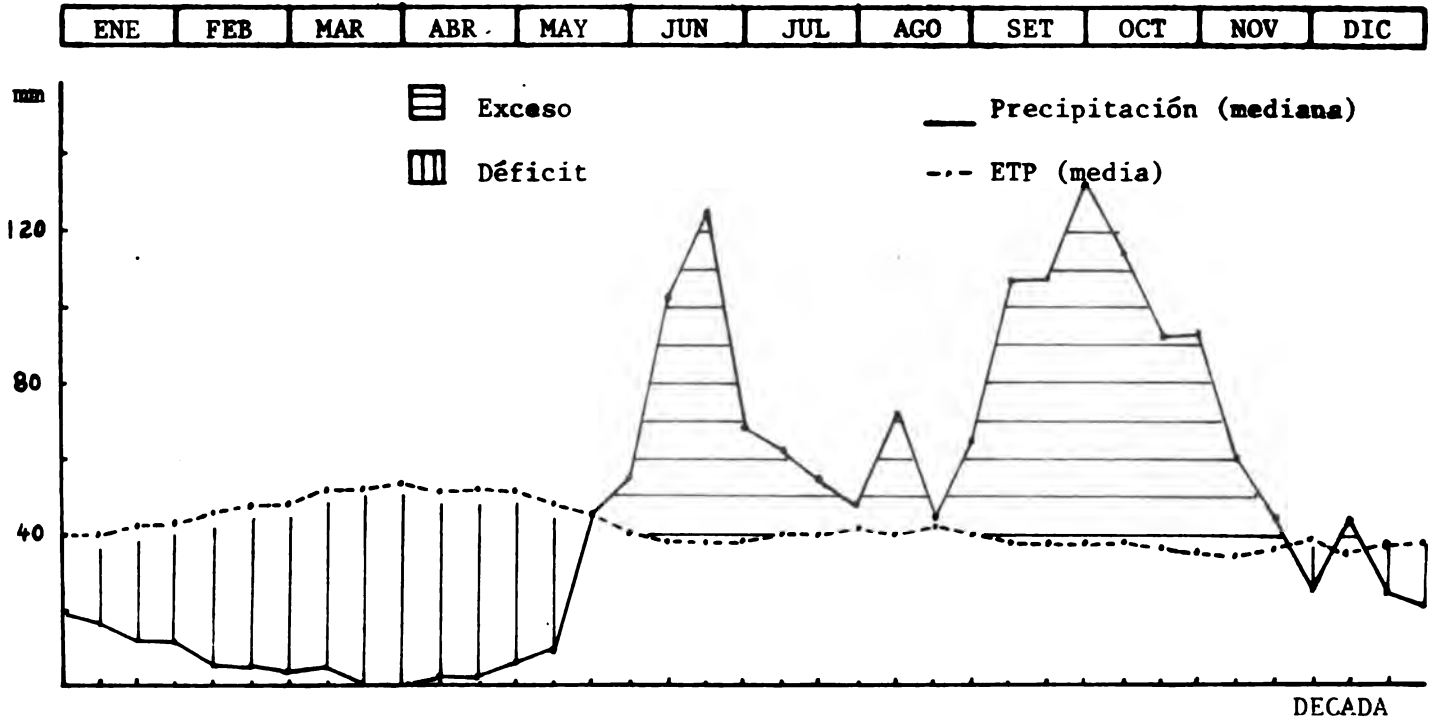


Fig. 11 Balance hídrico climático (P - ETP) para la estación Tilarán



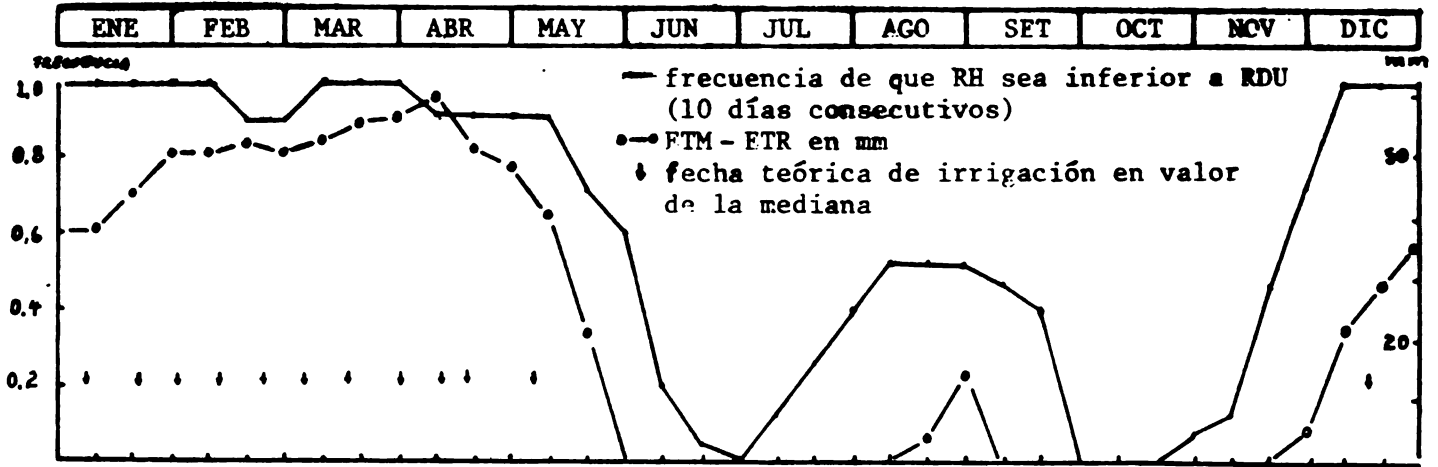


Fig. 12 Reserva hídrica, diferencia de evapotranspiración (ETM - ETR) y fecha teórica de irrigación para la estación Cañas

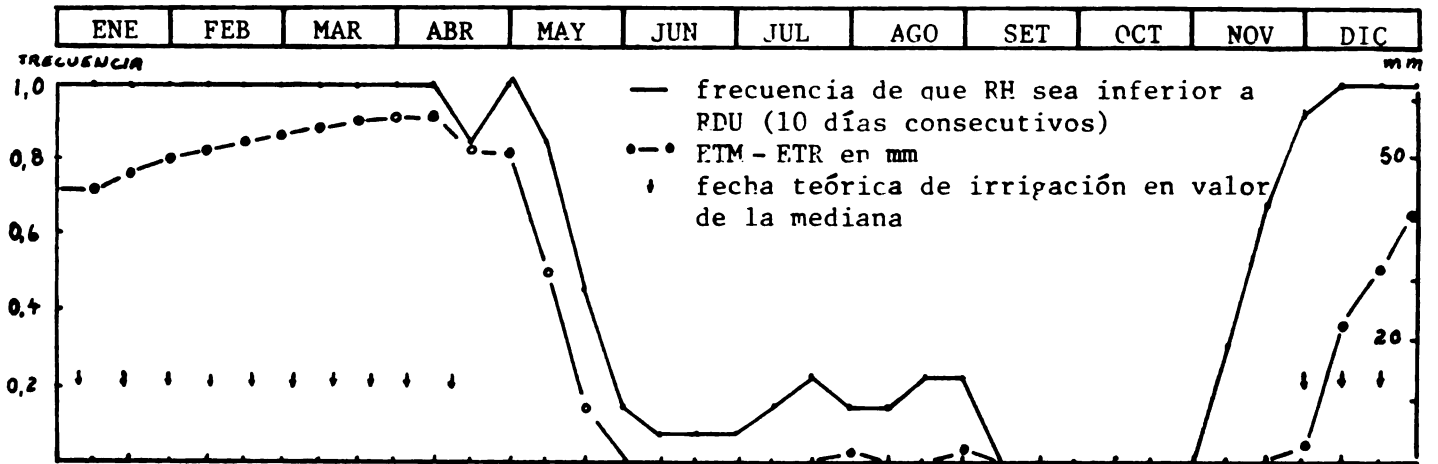


Fig. 13 Reserva hídrica, diferencia de evapotranspiración (ETM - ETP) y fecha teórica de irrigación para la estación Filadelfia

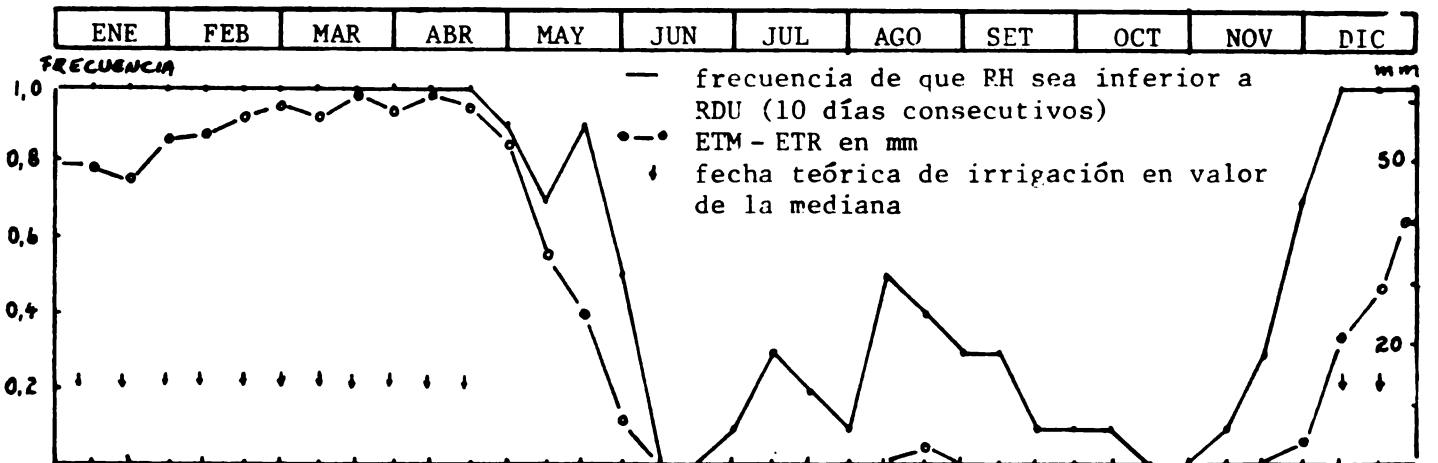


Fig. 14 Reserva hídrica, diferencia de evapotranspiración (ETM - ETP) y fecha teórica de irrigación para la estación Liberia

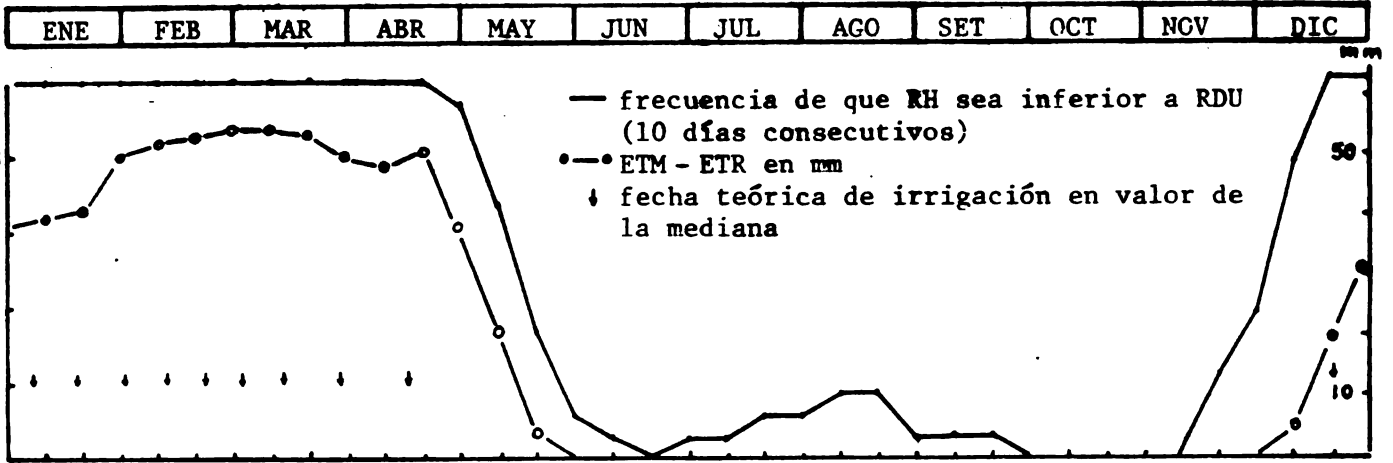


Fig. 15 Reserva hídrica, diferencia de evapotranspiración (ETM - ETR) y fecha teórica de irrigación para la estación Nicoya

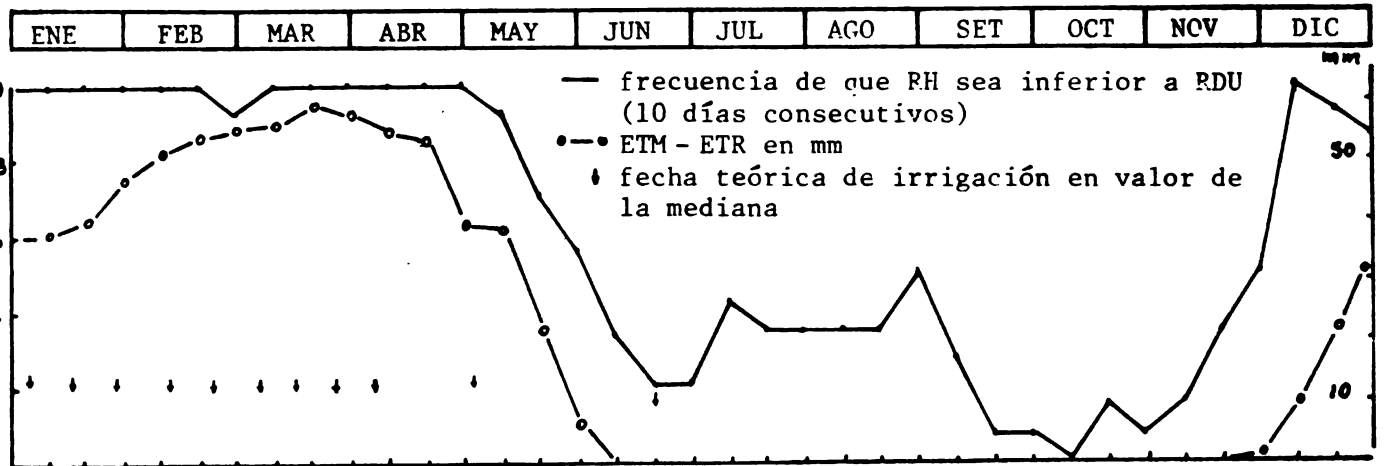


Fig. 16 Reserva hídrica, diferencia de evapotranspiración (ETM - ETR) y fecha teórica de irrigación para la estación Puntarenas

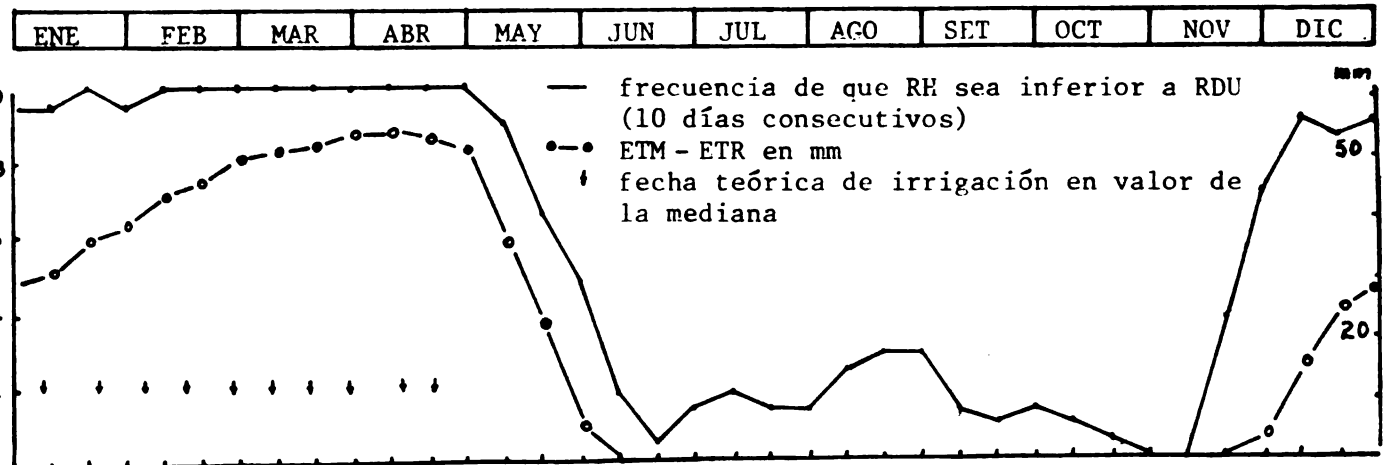


Fig. 17 Reserva hídrica, diferencia de evapotranspiración (ETM - ETR) y fecha teórica de irrigación para la estación Quebrada Grande

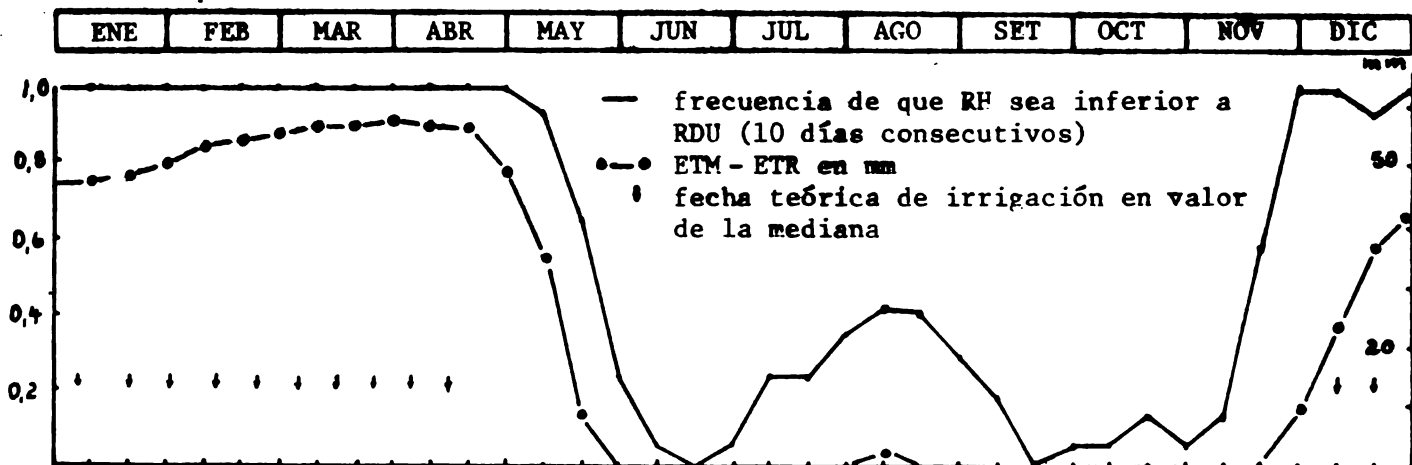


Fig. 18 Reserva hídrica, diferencia de evapotranspiración (ETM - ETR) y fecha teórica de irrigación para la estación Santa Cruz

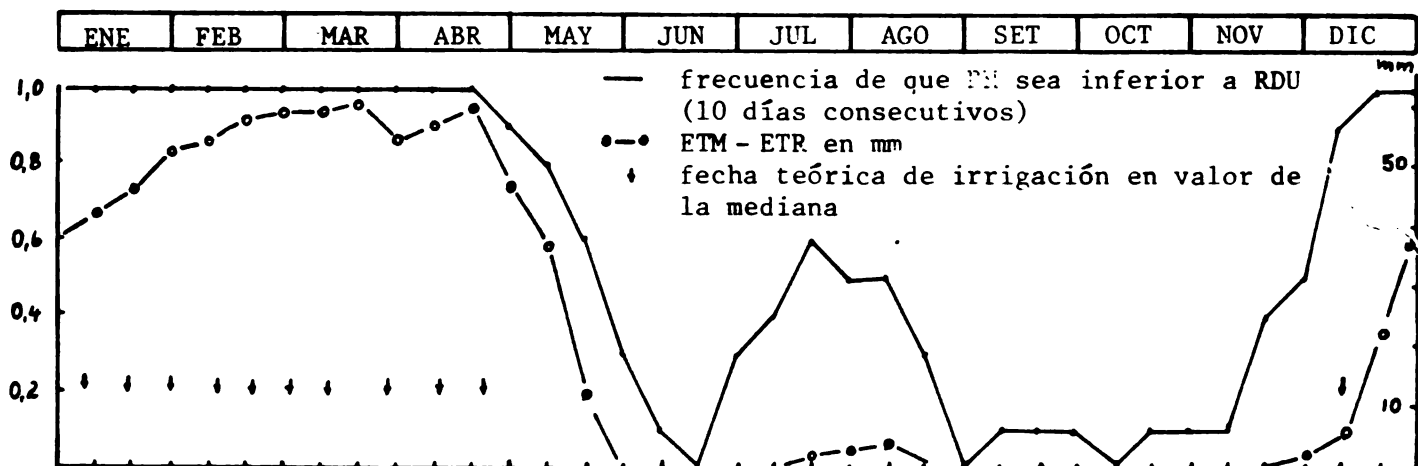


Fig. 19 Reserva hídrica, diferencia de evapotranspiración (ETM - ETR) y fecha teórica de irrigación para la estación Taboga

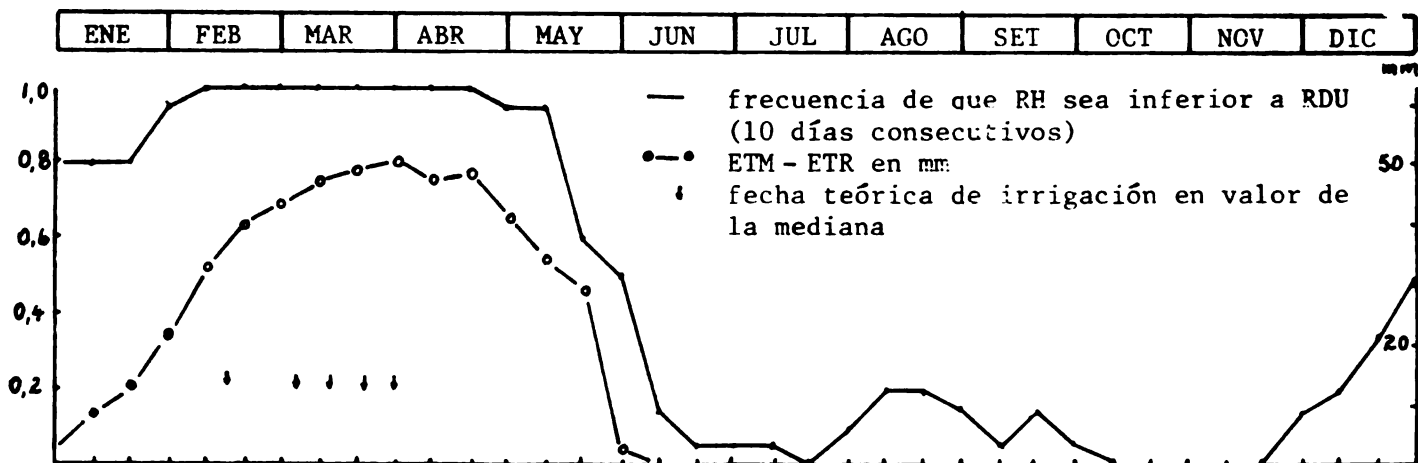


Fig. 20 Reserva hídrica, diferencia de evapotranspiración (ETM - ETR) y fecha teórica de irrigación para la estación Tilarán

### 3. Modelo de irrigación

#### 3.1 Análisis estadístico del número de irrigaciones

El número de irrigaciones teóricas que calcula el modelo de irrigación se presentan en el Cuadro 5. Se puede apreciar que se proponen en promedio, como mínimo seis riegos en Tilarán y como máximo trece para Filadelfia y Liberia. Conociendo que RH toma el valor de RU cuando el modelo propone cada riego, se derivaron los resultados que aparecen en el Cuadro 6. Si se analiza el primer quintil, se observa que existe una probabilidad de un 80% de que el déficit hídrico teórico sea superior a 200 mm en Tilarán y como máximo 600 mm en Liberia. Esto equivale a un déficit de 2000 y 6000 m<sup>3</sup> de agua por hectárea respectivamente.

Estos últimos resultados se ilustran en la Figura 21 en la cual se observa la distribución espacial del déficit hídrico teórico en la región del Pacífico Norte (en valor promedio).

#### 3.2 Análisis estadístico de la fecha de cada irrigación

Del Cuadro 7 al Cuadro 15 se encuentran los parámetros estadísticos para la fecha de cada irrigación. Sin embargo, hay que señalar que solamente las primeras irrigaciones contarán con el número total de años de la muestra y que, a partir del valor mínimo que aparece en el Cuadro 5, el tamaño de la muestra se reduce, por lo que para las últimas fechas el valor obtenido puede presentar incoherencias. Además, cada fecha de cada irrigación debe ser analizada en forma independiente.

De la Figura 12 a la Figura 20 se indica, con una flecha, el momento en que se debe hacer cada irrigación, si se considera el valor de la mediana.

Cuadro 5

Número de irrigaciones teóricas con RU = 100 mm  
para la región del Pacífico Norte

ESTACION	MINI	QNT 1	MEDN	QNT 4	MAXI	MED	ET	CO-VA
Cañas	7	9	12	13	14	11	2	0,17
Filadelfia	11	11	13	14	15	13	1	0,10
Liberia	12	12	13	15	16	13	1	0,10
Nicoya	5	9	10	11	12	10	2	0,18
Puntarenas	9	10	11	13	14	11	2	0,15
Quebrada Grande	5	8	10	12	19	10	3	0,29
Santa Cruz	8	11	12	13	16	12	2	0,15
Taboga	9	9	11	12	15	11	2	0,16
Tilarán	2	4	6	8	11	6	2	0,38

Cuadro 6

Déficit hídrico teórico acumulado en mm para la  
región del Pacífico Norte con RU = 100 mm

ESTACION	MINI	QNT 1	MEDN	QNT 4	MAXI	MED	ET	CO-VA
Cañas	350	450	600	650	700	550	2	0,17
Filadelfia	550	550	650	700	750	650	1	0,10
Liberia	600	600	650	750	800	650	1	0,10
Nicoya	250	450	500	550	600	500	2	0,18
Puntarenas	450	500	550	650	700	550	2	0,15
Quebrada Grande	250	400	500	600	950	500	3	0,29
Santa Cruz	400	550	600	650	800	600	2	0,15
Taboga	450	450	550	600	750	550	2	0,16
Tilarán	100	200	300	400	550	300	2	0,38

Cuadro 7

Parámetros estadísticos de la fecha teórica de  
irrigación para la estación Cañas

<u>MINI</u>	<u>QNT 1</u>	<u>MEDN</u>	<u>QNT 4</u>	<u>MAXI</u>	<u>MED</u>	<u>E-T</u>	<u>CO-VA</u>
2	3	7	11	16	7	4	0,53
15	15	21	23	38	21	6	0,27
26	27	32	37	82	36	14	0,38
37	38	43	51	92	47	13	0,28
48	51	55	64	102	59	13	0,22
59	63	66	75	343	86	69	0,80
70	74	78	85	357	97	70	0,72
74	83	91	103	333	107	61	0,57
84	93	101	114	361	118	66	0,56
94	101	106	236	354	156	94	0,60
104	114	126	354	357	226	116	0,52
114	127	347	357	365	267	107	0,40

Cuadro 8

Parámetros estadísticos de la fecha teórica de  
irrigación para la estación Filadelfia

<u>MINI</u>	<u>QNT 1</u>	<u>MEDN</u>	<u>QNT 4</u>	<u>MAXI</u>	<u>MED</u>	<u>E-T</u>	<u>CO-VA</u>
1	1	7	11	14	6	4	0,68
13	13	19	22	25	18	4	0,23
24	24	30	33	36	29	4	0,14
35	35	41	44	47	40	4	0,10
46	46	52	55	58	51	4	0,08
57	57	63	65	68	62	3	0,06
67	67	74	75	88	73	5	0,08
77	77	84	85	98	83	5	0,07
87	90	94	98	123	96	9	0,10
97	101	105	313	347	161	98	0,61
107	112	339	351	359	239	117	0,49
121	328	346	355	364	323	68	0,21
338	342	351	363	364	352	10	0,03

Cuadro 9

Parámetros estadísticos de la fecha teórica de  
irrigación para la estación Liberia

MINI	QNT 1	MEDN	QNT 4	MAXI	MED	E-T	CO-VA
1	2	6	10	13	6	4	0,59
12	14	18	22	24	18	4	0,21
24	25	29	32	35	29	3	0,11
34	37	39	42	45	39	3	0,07
44	47	50	52	55	50	3	0,06
54	57	60	62	65	60	3	0,05
64	67	70	72	75	70	3	0,04
74	77	79	83	102	81	7	0,09
84	87	89	93	112	91	7	0,08
94	97	99	103	131	102	10	0,10
104	108	109	342	353	180	109	0,60
114	119	349	358	365	261	116	0,44
126	131	339	361	361	264	107	0,41



Cuadro 10

Parámetros estadísticos de la fecha teórica de  
irrigación para la estación Nicoya

MINI	QNT 1	MEDN	QNT 4	MAXI	MED	E-T	CO-VA
1	2	6	10	16	7	5	0,70
13	14	19	22	28	19	4	0,23
25	26	31	33	64	32	9	0,27
36	37	42	44	94	44	13	0,29
47	48	52	59	104	55	13	0,23
57	58	62	71	348	80	67	0,84
67	68	73	88	361	109	92	0,85
77	78	89	99	111	90	11	0,12
87	92	104	349	357	181	119	0,66
97	102	348	358	364	270	119	0,44

Cuadro 11

Parámetros estadísticos de la fecha teórica de  
irrigación para la estación Puntarenas

MINI	QNT 1	MEDN	QNT 4	MAXI	MED	E-T	CO-VA
1	2	5	14	16	7	5	0,73
13	14	18	25	27	19	5	0,26
25	26	29	36	38	31	5	0,15
36	37	42	47	48	42	4	0,10
47	48	53	58	72	54	6	0,12
57	58	65	69	82	65	7	0,10
67	68	75	79	92	75	7	0,09
77	78	85	99	104	87	9	0,11
87	90	95	113	340	115	63	0,55
99	101	121	354	358	211	122	0,58
111	115	170	351	357	223	112	0,50

Cuadro 12

Parámetros estadísticos de la fecha teórica de  
irrigación para la estación Quebrada Grande

MINI	QNT 1	MEDN	QNT 4	MAXI	MED	E-T	CO-VA
1	3	7	31	57	16	16	1,00
14	16	22	43	68	30	15	0,50
26	28	34	55	79	42	15	0,36
38	41	45	68	89	54	15	0,28
49	52	59	79	99	65	15	0,23
58	62	67	87	110	75	15	0,20
68	73	78	96	121	84	14	0,17
78	84	88	105	134	95	14	0,15
88	95	102	118	357	137	87	0,64
98	104	109	341	365	178	108	0,61

Cuadro 13

Parámetros estadísticos de la fecha teórica de  
irrigación para la estación Santa Cruz

MINI	QNT 1	MEDN	QNT 4	MAXI	MED	E-T	CO-VA
1	1	7	15	30	10	9	0,94
13	16	20	27	41	22	8	0,37
25	27	31	38	52	34	8	0,24
36	38	43	54	63	45	8	0,18
47	50	55	64	83	58	10	0,17
58	61	65	74	93	68	9	0,14
68	71	75	84	103	78	9	0,12
78	81	85	99	352	103	63	0,61
88	91	95	107	353	126	80	0,64
98	101	105	341	365	175	110	0,63
108	113	341	351	357	268	111	0,41
119	330	350	354	365	315	82	0,26

Cuadro 14

Parámetros estadísticos de la fecha teórica de  
irrigación para la estación Taboga

MINI	QNT 1	MEDN	QNT 4	MAXI	MED	E-T	CO-VA
1	2	7	12	14	7	5	0,65
13	14	19	23	25	19	4	0,23
24	25	30	34	36	30	4	0,14
35	36	44	45	62	43	7	0,17
45	46	54	59	72	54	8	0,14
55	56	64	77	83	65	10	0,15
65	68	74	87	93	77	9	0,12
75	81	88	108	332	114	74	0,65
85	91	101	280	357	160	102	0,64
95	99	113	356	357	181	115	0,64
105	116	341	353	357	256	115	0,45

Cuadro 15

Parámetros estadísticos de la fecha teórica de  
irrigación para la estación Tilarán

MINI	QNT 1	MEDN	QNT 4	MAXI	MED	E-T	CO-VA
17	29	45	64	73	45	17	0,37
30	41	63	83	91	61	19	0,31
42	51	73	95	104	72	20	0,27
39	59	82	101	125	80	22	0,27
48	58	80	105	138	83	25	0,30
57	60	85	106	145	88	25	0,28

## CONCLUSION

Existe un 80% de probabilidad de que ocurra un déficit hídrico teórico superior a los 450 mm en el Pacífico Norte, si se exceptúa la estación de Tilarán, donde a la probabilidad 0,8 el déficit alcanza solamente el valor de 200 mm. Para superar dicho déficit, el modelo de irrigación propone en promedio de 10 a 13 riegos de 500 m<sup>3</sup> de agua por hectárea. Sobresale la región de Liberia al presentar un déficit del orden de los 600 mm, con una probabilidad de 0,8 de ser superado.

La época seca principal se inicia entre la década 32 y 33, o sea, a inicios del mes de diciembre para la mayor parte de las estaciones analizadas.

Existe una probabilidad de 0,8 de que esta época contenga más de 100 días secos consecutivos ( $RH < RDU$ ) para toda la región. A esta misma probabilidad (80%) para Filadelfia, se pueden esperar al menos 155 días consecutivos secos y que se sobrepasen los 186 días secos, dos años de cada diez (20%).

Con relación al veranillo, éste no presenta gran significado a la probabilidad 0,8, pero sí a la 0,2, o sea, que un año de cada cinco el "veranillo" puede tomar importancia al incidir negativamente en la producción agrícola. Esto sobre todo para las estaciones Cañas, Puntarenas, Taboga, Liberia y Santa Cruz.

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

Por otra parte, en relación al modelo de irrigación propuesto, habrá que tomar en cuenta variables de tipo socio-económico, porque como ha sido demostrado (Robelin, 1967), todos los aportes de agua no tienen la misma influencia sobre la producción total. Estos aportes, por lo tanto, no tendrán el mismo valor en un sentido económico, por lo cual algunos de ellos podrían ser suprimidos.

Además, es necesario abordar lo que los economistas llaman "la teoría del costo de oportunidad", para seleccionar el cultivo que mejor se adapte desde el punto de vista, no solamente bioclimático, sino también económico, para cada región analizada.

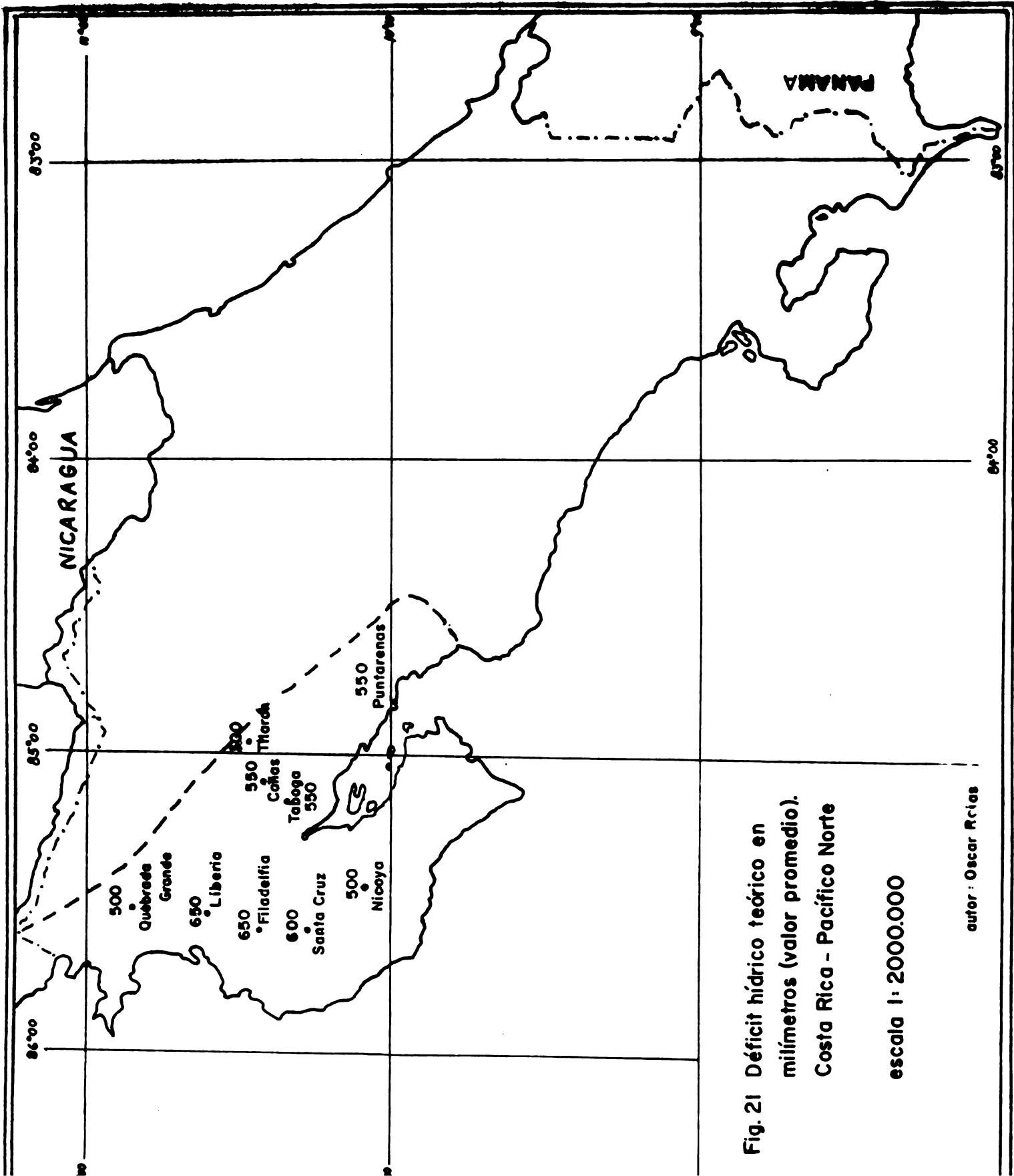


Fig. 21 Déficit hídrico teórico en milímetros (valor promedio).  
Costa Rica - Pacífico Norte

escala 1: 2000.000

autor: Oscar Rojas





**A N E X O A**



A N E X O A



CUADRO A1 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA PRECIPITACION POR DECADA PARA LA ESTACION CARAS

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-T	CO-VA
0	60	J	0	13	234	73	26	65	2.47
0	61	0	0	28	50	71	11	18	1.61
0	60	0	0	15	355	64	30	89	3.93
0	60	J	0	0	530	65	37	132	5.61
0	60	0	0	9	755	65	75	207	2.63
0	60	0	0	58	575	65	81	185	2.29
0	60	0	0	0	111	71	11	28	2.64
0	63	0	0	0	170	65	18	47	2.66
0	61	U	0	85	261	73	29	67	3.33
0	60	0	0	87	298	61	105	251	5.39
0	60	0	0	171	515	61	30	163	3.04
0	66	0	0	403	1430	65	233	380	1.63
0	63	U	30	521	1534	62	276	468	1.70
0	74	63	360	999	1862	61	564	516	0.97
0	66	221	887	1673	2135	61	875	684	0.78
158	66	411	1622	1439	2140	65	948	572	0.60
45	61	620	1331	1460	5005	67	1305	1090	0.83
249	63	135	328	1000	1509	62	561	477	0.85
115	60	136	335	817	1911	53	503	470	0.93
55	69	125	455	738	2854	62	608	682	1.13
17	73	82	305	513	715	72	313	232	0.74
0	61	87	475	860	1624	71	495	450	0.91
45	62	79	315	342	1425	64	471	436	0.32
70	69	128	551	1207	3130	63	791	798	1.01
28	62	318	1106	1772	2115	65	1014	680	0.67
324	73	412	899	1223	2251	53	337	502	0.54
3304	70	722	1122	1532	2255	69	1170	507	0.43
3304	66	563	336	1327	2500	64	1145	698	0.61
383	73	488	725	1208	5771	63	1143	1285	1.12
108	74	126	545	1537	2527	52	832	745	0.90
21	74	137	222	1129	2660	65	698	697	1.00
0	61	60	181	984	2225	56	539	612	1.20
0	60	0	65	213	371	67	113	112	0.49
0	61	0	3	70	175	64	31	50	1.60
0	62	J	13	38	442	60	46	109	2.37
0	60	U	4	63	278	70	37	72	1.55
0	60	0	0	0	138	73	11	35	3.08

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

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-T	CO-VA
133	60	369	410	424	427	70	387	71	0.18
324	60	423	475	480	480	69	454	42	0.09
458	60	510	510	510	510	74	496	18	0.04
275	65	493	510	510	510	74	477	74	0.16
47	65	453	530	530	530	74	478	128	0.27
85	65	428	510	510	510	74	447	133	0.30
101	65	483	530	530	530	74	484	109	0.22
374	65	525	560	560	560	74	537	50	0.09
423	65	522	560	560	560	74	541	33	0.06
308	68	503	591	600	600	74	551	85	0.15
0	61	470	523	530	530	74	457	157	0.34
131	62	257	493	510	510	74	413	142	0.34
0	62	148	222	503	520	56	336	383	0.54
0	60	95	231	322	418	62	241	140	0.58
0	61	0	7	228	353	53	105	128	0.18
0	60	0	0	52	262	66	39	12	2.02
0	60	0	0	0	33	71	4	4	3.59
0	60	0	0	2	15	72	1	7	3.74
0	60	0	0	2	23	71	3	4	3.52
0	60	0	0	2	15	72	2	55	1.85
0	60	0	0	123	274	69	201	90	0.76
0	60	0	0	140	333	73	308	98	1.62
0	60	0	0	110	333	70	306	120	2.32
0	60	0	0	137	322	66	1	121	0.98
0	60	0	0	136	333	70	4	103	1.35
0	60	0	0	83	278	68	4	72	1.68
0	60	0	0	0	65	72	3	17	2.34
0	60	0	0	0	0	74	0	0	3.88
0	60	0	0	0	0	74	0	0	3.74
0	60	0	0	0	1	68	0	0	3.50
0	60	0	1	35	83	74	10	24	1.90
0	63	51	186	231	186	74	26	49	1.05
9	64	120	228	306	231	74	41	85	0.49
145	60	283	337	358	376	74	286	64	0.21
217	60	315	489	373	393	74	343	37	0.11
208	60	374	410	414	424	74	331	53	0.13





CUADRO A7 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA PRECIPITACION POR DECADA PARA LA ESTACION LIBERIA

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-T	CO-VA
0	75	0	0	0	0	84	0	0	***
0	75	0	0	0	7	83	1	2	3.00
0	76	0	0	0	63	75	7	21	3.00
0	75	0	0	0	0	84	0	0	***
0	75	0	0	0	86	76	9	26	3.00
0	75	0	0	0	56	76	6	17	3.00
0	76	0	0	3	12	31	2	4	2.20
0	75	0	0	0	0	84	0	0	***
0	75	0	0	4	695	83	70	208	2.96
0	75	0	0	0	73	83	7	22	3.00
0	75	0	0	0	0	34	0	0	***
0	75	0	15	342	1223	82	199	370	1.86
0	75	0	377	1027	2049	84	583	646	1.11
0	78	8	213	634	1041	77	315	335	1.06
308	82	492	866	2042	2557	91	1184	773	0.65
264	83	1403	1803	3503	6569	82	2145	1888	0.88
103	81	272	775	1173	1368	77	734	423	0.58
86	81	179	438	1051	1273	79	586	419	0.72
15	83	264	522	903	1207	77	574	353	0.62
79	81	211	512	1427	1830	79	749	614	0.82
76	76	336	854	1352	2420	81	325	673	0.73
23	75	49	219	788	1934	81	453	573	1.26
0	80	171	546	1023	1752	84	654	507	0.78
105	75	302	651	989	3200	84	847	836	0.99
117	80	305	787	1416	1710	76	844	526	0.62
194	80	518	881	1559	4162	82	1218	1076	0.98
179	80	353	1006	1370	1485	82	951	418	0.43
41	81	332	765	1046	1771	83	738	476	0.64
234	76	513	1227	1673	2862	79	1206	744	0.62
320	80	427	714	1064	1458	81	759	353	0.47
97	81	158	717	2167	2503	77	1008	308	0.90
0	79	15	378	1026	2539	77	623	722	1.16
0	76	0	37	174	391	78	93	125	1.32
0	75	0	2	262	460	81	106	175	1.66
0	75	0	0	91	172	32	35	64	1.80
0	75	0	0	0	333	78	34	100	2.92
0	75	0	0	0	9995	84	1000	2398	3.00

CUADRO A8 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA DIFERENCIA ABSOLUTA DE EVAPOTRANSPIRACION (ETM - ETR) POR DECADA PARA LA ESTACION LIBERIA CON RU = 100 mm

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-T	CO-VA
176	75	407	431	500	520	76	445	39	0.22
67	75	443	470	470	470	84	444	32	0.07
07	75	542	550	550	530	94	544	13	0.02
16	75	550	550	550	550	94	474	10	0.02
34	76	576	580	580	580	84	575	14	0.02
48	76	590	590	590	590	84	590	13	0.02
66	76	580	580	580	580	84	580	8	0.01
84	76	620	620	620	620	84	620	3	0.00
153	83	590	590	590	590	84	590	4	0.06
200	83	610	610	610	610	84	610	13	0.24
0	82	590	590	590	590	84	590	3	0.07
0	82	477	530	530	530	78	488	3	0.19
0	84	46	430	430	480	78	430	1	0.68
0	75	21	278	532	540	78	430	1	0.88
0	75	0	0	290	376	78	430	1	1.03
0	75	0	0	0	33	33	0	0	***
0	75	0	0	0	0	81	0	1	3.00
0	75	0	0	5.1	50	81	0	1	0.07
0	75	0	0	13	130	83	0	4	1.68
0	76	0	0	4	224	83	0	4	2.82
0	78	0	0	130	186	80	0	6	1.39
0	77	0	39	167	339	80	0	106	1.22
0	76	0	0	59	384	80	0	116	2.78
0	75	0	0	90	99	80	0	43	1.54
0	75	0	0	15	216	80	0	64	2.83
0	75	0	0	0	241	80	0	72	3.00
0	75	0	0	0	55	80	0	17	3.00
0	76	0	0	0	21	81	0	6	3.00
0	77	0	0	4	0	84	0	0	***
0	77	0	0	14	102	75	0	3	2.23
0	77	0	46	157	253	75	0	31	1.37
42	77	101	223	311	348	75	209	97	0.46
83	81	204	291	384	383	76	208	45	0.34
95	81	361	405	444	446	76	396	46	0.12
74	75	354	445	470	479	76	419	66	0.16



CUADRO A9 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA DIFERENCIA RELATIVA DE EVAPOTRANSPIRACION EN X POR DECADA PARA LA ESTACION LIBERIA CON RU - 100 mm

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-T	CO-VA
30	75	80	90	100	100	76	85	20	0.24
60	75	85	90	90	90	84	85	20	0.06
85	75	85	90	90	90	84	85	20	0.03
80	75	90	90	90	90	84	85	20	0.03
80	76	90	90	90	90	84	85	20	0.03
95	75	90	90	90	90	84	85	20	0.03
100	75	100	100	100	100	84	85	20	0.07
70	83	90	90	90	90	84	85	20	0.07
70	83	100	100	100	100	84	85	20	0.26
73	83	90	90	90	90	84	85	20	0.27
30	82	75	80	80	83	84	74	15	0.20
0	77	0	80	70	70	79	42	11	0.73
0	76	0	80	80	80	80	40	18	0.96
0	75	0	80	80	60	78	17	11	1.26
0	75	0	0	0	0	84	0	0	****
0	75	0	0	0	0	84	0	0	****
0	75	0	0	0	20	81	2	2	3.00
0	75	0	0	0	33	83	3	3	3.00
0	75	0	0	0	20	83	6	6	3.00
0	76	0	0	20	30	80	7	7	1.57
0	77	0	0	20	50	80	11	15	1.38
0	75	0	0	5	60	80	7	18	2.56
0	76	0	0	10	10	75	3	5	1.53
0	75	0	0	0	30	80	3	3	3.00
0	75	0	0	0	30	80	3	3	3.00
0	75	0	0	0	0	84	0	0	****
0	75	0	0	0	0	84	0	0	****
0	75	0	0	0	0	84	0	0	****
0	76	0	0	0	10	75	1	3	3.00
0	77	0	0	20	40	75	10	13	1.26
10	77	10	3	45	50	76	30	15	0.42
10	91	45	45	60	60	76	42	17	0.40
80	81	55	60	70	70	76	60	9	0.15
80	75	55	70	70	70	84	64	10	0.16

CUADRO A10 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA PRECIPITACION POR DECADA PARA LA ESTACION NICoya

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-T	CO-VA
0	77	0	0	0	254	33	19	62	3.21
0	77	0	0	0	336	90	24	74	3.23
0	77	0	0	0	40	33	5	13	2.38
0	77	0	0	0	74	91	4	17	4.12
0	77	0	0	0	130	32	17	45	2.70
0	77	0	0	44	423	87	53	129	2.46
0	78	0	0	17	1180	38	33	282	2.86
0	78	0	0	67	925	82	82	216	2.67
0	80	0	55	139	710	73	33	164	1.65
0	77	0	55	191	603	92	137	184	1.34
0	77	0	195	195	540	38	32	163	1.78
0	87	103	272	569	1990	84	407	472	1.16
30	83	136	325	836	2145	35	603	602	1.00
0	85	273	1105	1422	2730	86	996	682	0.65
118	34	283	918	1695	2680	81	1052	697	0.66
570	83	726	1213	2139	2265	85	1331	607	0.44
160	33	1023	1417	1417	2072	37	1201	504	0.50
216	90	531	932	1382	2633	91	1038	607	0.58
108	89	324	813	1491	2670	85	930	652	0.70
60	84	168	563	1367	3015	79	836	750	0.90
120	88	448	806	1233	2750	33	358	698	0.73
0	90	207	803	1675	2112	88	904	667	0.74
40	83	864	864	959	2885	85	913	698	0.77
208	87	503	986	2166	3340	82	1291	909	0.70
81	94	555	1052	2090	3212	31	1318	876	0.66
411	77	702	1194	1658	2276	78	1176	482	0.81
3370	84	863	1351	2344	3125	83	1555	790	0.51
258	90	822	1301	2124	6039	88	1621	1265	0.78
236	78	667	1575	2113	5032	30	1674	1030	0.62
260	79	330	1250	1920	3350	82	1330	712	0.54
84	78	330	598	1207	2440	79	870	659	0.76
0	79	330	172	1163	1803	93	494	551	1.12
0	82	38	302	508	1352	31	333	465	1.13
0	73	0	16	269	1245	80	171	327	1.91
0	80	0	7	259	750	37	120	206	1.72
0	77	0	0	18	530	83	485	175	2.79
0	78	0	0	12	9935	34	574	2286	3.94

CUADRO A7 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA PRECIPITACION POR DECADA PARA LA ESTACION LIBERIA

HINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MEDN	E-T	CO-VA
0	75	0	0	0	0	84	0	0	****
0	75	0	0	0	7	83	2	2	1.00
0	76	0	0	0	63	75	7	21	3.00
0	75	0	0	0	0	84	0	0	****
0	75	0	0	0	86	76	9	26	3.00
0	75	0	0	0	56	76	6	17	3.00
0	76	0	0	3	12	31	2	8	2.20
0	75	0	0	0	0	84	0	0	****
0	75	0	0	0	63	83	70	208	2.96
0	75	0	0	0	73	83	7	22	3.00
0	75	0	0	0	0	84	0	0	****
0	75	0	1	38	0	82	199	370	1.86
0	75	0	3	102	122	82	583	646	1.11
0	78	8	21	102	204	82	315	335	1.06
308	83	452	86	204	255	91	1184	773	0.65
264	83	786	140	350	656	82	2145	1888	0.88
103	81	272	77	117	135	77	734	423	0.58
86	81	179	43	10	127	79	586	419	0.72
15	83	264	52	9	120	77	574	353	0.62
79	81	211	51	18	183	79	749	614	0.82
76	76	336	85	52	242	81	925	673	0.73
23	75	49	21	17	193	81	453	573	1.26
0	80	171	58	10	175	84	654	507	0.78
105	75	302	65	9	320	84	847	836	0.99
17	80	305	78	15	171	76	844	526	0.62
194	80	881	88	15	416	82	1218	1076	0.98
173	80	553	100	13	148	82	951	414	0.43
41	81	332	100	10	177	83	738	476	0.64
234	80	514	142	16	286	79	1206	744	0.62
57	80	427	114	10	145	81	759	353	0.47
0	81	116	71	21	260	77	1008	308	0.90
0	79	15	37	17	253	77	623	722	1.16
0	76	0	0	2	331	78	933	125	1.32
0	75	0	0	9	460	81	1066	175	0.66
0	75	0	0	1	172	81	355	64	1.80
0	75	0	0	0	333	78	348	100	2.92
0	75	0	0	0	995	84	1000	2398	3.00

CUADRO A8 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA DIFERENCIA ABSOLUTA DE EVAPOTRANSPIRACION (ETH - ETR) POR DECADA PARA LA ESTACION LIBERIA CON RU = 100 mm

HINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MEDN	E-T	CO-VA
176	75	407	431	500	500	76	445	39	0.22
167	75	444	370	500	270	84	454	32	0.07
107	75	442	500	500	50	84	448	13	0.02
16	75	420	500	500	50	84	447	10	0.02
38	76	400	500	500	80	84	475	14	0.02
54	76	450	500	500	90	84	456	13	0.01
616	76	450	500	500	90	84	477	8	0.00
72	83	400	500	500	90	84	486	1	0.00
153	83	400	500	500	10	84	464	3	0.06
163	83	400	500	500	90	84	477	13	0.28
220	82	477	500	500	50	84	477	3	0.07
0	82	477	500	500	30	73	488	32	0.19
0	84	477	500	500	480	78	289	196	0.68
0	77	477	500	500	540	78	471	339	0.88
0	75	477	500	500	378	78	432	436	1.03
0	75	0	0	3	33	33	5	11	2.12
0	75	0	0	0	84	84	0	0	****
0	75	0	0	0	50	81	5	15	3.00
0	75	0	0	5	130	81	24	40	1.67
0	75	0	0	13	222	83	35	66	2.68
0	76	0	0	4	142	83	15	42	2.82
0	77	0	0	130	186	83	49	68	1.33
0	78	0	39	167	339	80	87	106	1.22
0	77	0	0	59	384	80	51	116	2.28
0	76	0	0	90	99	80	78	43	1.54
0	75	0	0	15	216	80	55	64	2.63
0	75	0	0	0	241	80	24	72	3.00
0	75	0	0	0	55	80	6	17	3.00
0	75	0	0	0	21	81	6	6	3.00
0	75	0	0	0	0	84	0	0	****
0	76	0	0	4	18	75	3	6	2.23
0	77	0	0	14	102	75	13	31	2.37
0	77	0	46	157	258	75	76	87	1.15
62	77	101	223	311	348	75	209	97	0.46
83	81	294	291	384	383	76	281	45	0.34
295	81	361	405	444	446	76	396	66	0.12
274	75	354	445	470	479	76	419	46	0.16





CUADRO A13 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA PRECIPITACION POR DECADA PARA LA ESTACION PUNTARENAS

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MEDN	E-T	CO-VA
0	76	0	0	3	22	88	25	75	3.33
0	77	0	0	4	27	89	19	2	1.87
0	78	0	0	11	29	90	10	2	2.43
0	77	0	0	0	30	80	1	3	2.88
0	77	0	0	24	57	80	7	228	2.03
0	78	0	0	12	105	80	1	3	2.75
0	77	0	0	0	95	80	7	228	2.63
0	77	0	0	51	158	96	2	46	1.59
0	77	0	0	117	165	90	4	58	1.58
0	77	0	0	120	197	89	6	118	1.79
0	77	0	0	153	284	35	12	243	1.35
0	84	1	14	336	449	97	14	151	0.87
0	79	0	37	357	333	73	16	239	0.83
0	84	6	187	1332	2376	87	32	747	1.18
65	81	268	523	1428	2240	77	78	676	1.26
268	87	328	634	1215	1304	75	74	398	0.54
47	90	342	722	1041	1827	32	71	447	0.62
121	84	173	354	779	1220	77	45	356	0.74
0	85	160	432	955	1446	86	64	350	0.54
164	87	212	585	976	1501	81	52	426	0.81
19	88	133	581	1159	1273	34	57	360	0.63
60	83	178	686	1041	1280	89	55	589	0.78
167	83	289	687	1153	1825	89	80	490	0.75
40	82	275	925	1741	2333	33	10	830	0.76
300	81	346	1004	1329	1952	88	89	515	0.58
214	81	255	1286	1922	3551	99	131	1051	0.80
69	81	465	811	1253	2100	85	46	529	0.61
10	84	325	600	1134	2053	35	75	533	0.71
373	85	425	631	1677	3015	30	104	756	0.72
0	84	83	335	1248	1277	83	72	641	1.02
24	87	93	107	745	1500	88	46	425	1.01
0	80	14	100	585	749	72	24	263	1.07
0	78	0	22	165	490	84	33	130	1.57
0	77	0	0	75	383	35	11	52	2.32
0	79	0	20	140	1140	77	12	340	2.53
0	78	0	0	3	248	34	2	74	3.07

CUADRO A14 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA DIFERENCIA ABSOLUTA DE EVAPOTRANSPIRACION (ETH - ETR) POR DECADA PARA LA ESTACION PUNTARENAS CON RU = 100 mm

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MEDN	E-T	CO-VA
124	65	46	42	44	45	30	35	115	3.32
333	77	358	450	468	470	30	42	50	0.42
433	86	457	459	470	510	30	45	20	0.05
436	79	517	250	230	230	30	22	17	0.02
483	80	517	250	230	230	30	22	17	0.02
197	80	31	250	230	230	30	22	17	0.02
864	80	544	250	230	230	30	22	17	0.02
897	86	544	250	230	230	30	22	17	0.02
4	83	55	250	230	230	30	22	17	0.02
333	83	31	250	230	230	30	22	17	0.02
222	85	44	250	230	230	30	22	17	0.02
168	78	14	220	484	530	30	30	20	0.31
44	82	0	249	485	431	34	24	155	0.59
0	77	0	79	323	383	81	45	153	0.98
0	77	0	0	181	330	81	16	107	1.81
0	77	0	0	23	163	80	17	84	2.53
0	77	0	0	11	131	80	20	44	2.23
0	77	0	0	73	192	80	38	61	1.59
0	78	0	0	74	141	88	28	46	1.65
0	78	0	0	113	208	88	10	74	1.84
0	78	0	0	122	340	89	52	96	1.86
0	78	0	10	127	233	89	57	76	1.34
0	79	0	8	97	191	82	44	62	1.41
0	77	0	0	79	226	83	35	65	1.35
0	77	0	0	0	200	82	17	52	3.02
0	77	0	0	0	85	82	6	22	3.61
0	77	0	0	0	10	82	1	3	3.61
0	77	0	0	0	23	81	2	6	2.71
0	77	0	0	0	106	84	9	27	3.18
0	77	0	0	0	129	84	11	33	3.08
0	77	0	0	68	174	85	36	60	1.67
0	77	1	16	187	253	89	67	95	1.41
0	78	155	105	260	320	35	129	133	0.89
110	85	318	307	307	361	80	235	78	0.33
151	85	318	382	382	409	80	280	122	0.84
82	77	250	392	420	433	80	332	112	0.34









CUADRO A21 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA DIFERENCIA RELATIVA DE EVAPOTRANSPIRACION EN X POR DECADA PARA LA ESTACION SANTA CRUZ CON RU = 100 mm

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	Z-T	CO-VA
20	43	63	90	100	100	57	82	20	0.25
10	49	70	80	80	30	55	63	20	0.29
40	62	54	80	80	80	65	74	11	0.15
70	62	60	90	90	90	65	86	11	0.07
80	65	40	90	90	90	49	89	6	0.33
30	60	40	90	90	30	65	86	15	0.16
70	60	100	100	100	100	65	98	7	0.07
90	49	39	100	100	100	65	98	8	0.08
70	49	100	100	100	100	65	98	7	0.07
90	49	90	100	100	100	65	97	5	0.05
20	60	90	100	100	100	65	91	18	0.20
10	51	50	80	30	90	50	74	20	0.27
0	50	30	60	71	80	55	52	21	0.41
0	49	0	10	31	70	53	18	20	1.11
0	49	0	0	0	40	58	11	11	2.77
0	49	0	0	0	20	58	2	5	2.31
0	49	0	0	0	0	65	0	0	***
0	49	0	0	0	30	64	0	0	3.10
0	49	0	0	1	50	64	5	12	2.64
0	49	0	0	20	40	62	6	12	1.91
0	51	0	0	10	50	55	6	13	2.05
0	49	0	0	20	60	56	10	17	1.68
0	49	0	0	10	30	56	8	8	1.87
0	49	0	0	1	20	55	3	7	2.26
0	49	0	0	0	10	55	1	0	2.74
0	49	0	0	0	0	65	0	0	***
0	49	0	0	0	10	53	1	0	4.00
0	49	0	0	0	20	53	1	0	4.00
0	49	0	0	0	0	65	0	0	***
0	49	0	0	0	0	65	0	0	***
0	49	0	0	1	30	55	3	7	2.55
10	53	10	40	51	50	55	15	15	1.01
40	53	40	60	70	70	55	37	18	0.48
50	58	50	70	70	80	55	54	18	0.34
40	49	60	80	80	80	55	59	23	0.40
								13	3.19

CUADRO A22 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA PRECIPITACION POR DECADA PARA LA ESTACION TABOGA

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	Z-T	CO-VA
0	77	0	0	1	125	30	13	38	2.97
0	78	0	0	51	64	79	21	26	1.24
0	77	0	0	0	0	86	0	0	***
0	77	0	0	0	532	73	53	160	3.00
0	77	0	0	11	33	85	6	11	2.05
0	77	0	0	86	425	79	60	132	2.21
0	79	0	0	97	950	77	115	283	2.46
0	77	0	0	16	38	86	7	14	2.01
0	77	0	32	138	366	80	79	110	4.40
0	77	0	0	94	153	81	36	62	1.72
0	82	5	4	383	657	79	186	222	1.20
0	80	5	4	232	305	73	153	234	1.55
0	77	11	20	255	2007	85	612	655	1.07
55	82	11	20	1315	1614	80	654	519	0.74
241	79	471	712	1013	1972	84	804	457	0.57
138	79	262	1163	1723	2191	36	1107	671	0.61
55	82	200	798	1251	2134	73	340	592	0.71
75	90	236	471	1175	2426	81	719	667	0.56
8	85	33	188	626	840	85	304	290	0.92
35	83	165	292	453	643	94	312	170	0.55
49	80	157	303	897	1831	85	531	551	1.04
0	80	153	464	1505	1703	73	640	611	0.30
88	81	148	620	1021	2055	77	692	555	0.89
200	78	449	843	1143	2033	31	865	513	0.52
217	90	543	1407	2123	2334	35	1404	690	0.44
360	77	636	637	309	1021	66	660	223	0.34
142	86	592	1153	1694	2414	84	1187	525	0.53
336	80	546	1355	2345	2427	35	1418	746	0.53
99	80	545	1112	1856	2333	77	1190	718	0.60
362	80	658	1125	2158	3313	84	1396	596	0.64
163	81	201	681	1394	1716	82	788	537	0.64
27	79	30	188	1360	1947	85	593	684	1.16
0	78	35	200	330	1491	77	424	470	1.11
0	81	0	12	33	345	74	142	140	0.24
0	79	0	6	104	666	94	97	196	2.25
0	79	0	2	104	330	33	63	117	1.85
0	77	0	0	62	9995	26	1012	2095	2.96

CUADRO A23 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA DIFERENCIA ABSOLUTA DE EVAPOTRANSPIRACION (ETN - ETR) POR DECADE PARA LA ESTACION TABOGA CON RU = 100 mm

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-T	CO-VA
157	77	385	480	454	456	82	88	87	0.22
30	77	438	473	488	488	82	88	87	0.08
80	77	400	473	488	488	82	88	87	0.03
80	79	400	473	488	488	82	88	87	0.03
40	79	400	473	488	488	82	88	87	0.18
40	79	400	473	488	488	82	88	87	0.19
60	77	400	473	488	488	82	88	87	0.17
10	77	400	473	488	488	82	88	87	0.30
70	77	400	473	488	488	82	88	87	0.11
60	80	400	473	488	488	82	88	87	0.13
40	78	400	473	488	488	82	88	87	0.22
0	79	400	473	488	488	82	88	87	0.36
0	79	400	473	488	488	82	88	87	0.65
0	79	400	473	488	488	82	88	87	1.08
0	78	400	473	488	488	82	88	87	2.00
0	77	400	473	488	488	82	88	87	3.00
0	77	400	473	488	488	82	88	87	3.00
0	77	400	473	488	488	82	88	87	3.00
0	77	400	473	488	488	82	88	87	3.00
0	77	400	473	488	488	82	88	87	3.00
0	77	400	473	488	488	82	88	87	3.00
0	78	400	473	488	488	82	88	87	3.00
0	80	400	473	488	488	82	88	87	3.00
0	84	400	473	488	488	82	88	87	3.00
95	84	165	484	259	421	79	120	128	1.07
166	80	248	484	299	421	79	241	288	0.37
245	77	367	463	373	443	73	330	98	0.25
			420	445	456	79	400	60	0.15

CUADRO A24 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA DIFERENCIA RELATIVA DE EVAPOTRANSPIRACION EN 2 POR DECADE PARA LA ESTACION TABOGA CON RU = 100 mm

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	MED	E-T	CO-VA
30	77	75	30	90	90	86	90	18	0.22
60	77	70	75	80	83	86	74	7	0.09
80	77	80	80	80	80	86	90	0	0.0
60	73	90	90	90	90	95	89	3	0.03
40	79	90	90	90	90	86	85	15	0.18
40	79	95	100	100	100	86	93	18	0.19
60	77	70	100	100	100	86	90	15	0.17
10	77	65	100	100	100	86	87	26	0.30
70	77	80	90	100	100	83	89	10	0.11
60	80	65	30	100	100	83	89	11	0.13
40	78	70	90	100	100	79	93	18	0.22
0	79	55	70	80	30	32	64	23	0.36
0	79	10	20	75	80	82	47	30	0.65
0	78	0	0	50	80	82	26	28	1.08
0	77	0	0	10	40	82	6	12	2.00
0	77	0	0	0	10	73	1	3	3.00
0	77	0	0	0	0	86	0	0	3.00
0	77	0	0	0	0	86	0	0	3.00
0	77	0	0	0	0	84	5	10	2.05
0	77	0	0	15	20	84	6	8	1.33
0	78	0	0	25	40	83	11	14	1.25
0	77	0	0	35	50	80	15	19	1.27
0	77	0	0	20	60	80	10	18	1.84
0	77	0	0	5	10	30	10	8	2.00
0	77	0	0	0	10	90	1	3	3.00
0	77	0	0	0	10	80	1	3	3.00
0	77	0	0	0	10	80	1	3	3.00
0	77	0	0	0	0	86	0	0	3.00
0	77	0	0	0	0	86	0	0	3.00
0	77	0	0	0	20	88	2	6	3.00
0	78	0	0	10	30	88	0	0	3.00
0	77	0	0	25	40	84	1	1	3.00
10	80	26	80	46	60	79	11	21	1.16
20	80	40	80	60	70	73	16	17	0.47
40	77	55	70	60	70	73	26	15	0.29
			70	70	70	86	63	10	0.16

CUADRO A25 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA PRECIPITACION POR DECADA PARA LA ESTACION TILARAM

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	SED	F-T	CO-VA
0	56	35	175	445	1113	66	265	284	1.07
15	57	57	127	319	920	60	191	199	1.04
0	54	54	119	242	465	60	157	126	0.80
0	0	0	69	168	480	53	96	114	1.19
0	57	19	61	132	200	56	70	63	0.91
0	51	18	48	179	548	50	108	132	1.21
0	48	0	51	73	180	61	56	45	0.80
0	50	0	6	70	384	50	54	107	1.97
0	50	0	0	55	330	50	63	191	3.03
0	49	0	27	137	700	61	117	207	1.76
0	50	0	25	142	880	65	108	213	1.97
0	49	0	55	365	515	58	160	186	1.16
0	57	4	100	356	1016	52	258	337	1.31
0	57	38	470	1028	2183	65	647	711	1.10
10	57	182	565	1063	1786	58	646	499	0.77
20	55	548	1021	1553	2894	53	1170	728	0.62
30	55	758	1278	1655	3135	57	1366	874	0.64
40	65	396	688	1043	1200	63	722	292	0.41
50	63	355	637	388	1855	62	738	441	0.60
60	66	283	560	981	2187	53	651	478	0.74
70	67	355	483	810	1035	62	553	264	0.47
80	67	342	713	588	2380	64	733	499	0.68
90	50	286	455	667	1765	62	576	410	0.71
0	65	353	658	1078	1388	53	718	336	0.47
10	61	212	1095	2026	3535	53	1128	897	0.30
20	57	558	1093	1703	2555	53	1074	609	0.57
30	57	639	1335	1682	2971	65	1250	609	0.43
40	55	610	1140	1914	2810	63	1227	702	0.57
50	55	623	326	1909	5375	53	1098	1098	0.40
60	55	624	953	1319	2074	67	964	459	0.48
70	62	313	605	1319	2015	58	736	530	0.67
80	61	213	453	991	1930	61	648	534	0.84
90	61	172	267	610	300	53	375	249	0.66
0	59	239	448	786	1262	48	538	308	0.57
10	65	147	260	576	1648	54	427	415	0.57
20	65	131	215	594	1995	52	409	368	1.12
30	56	80	222	370	331	54	273	242	0.87

CUADRO A26 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA DIFERENCIA ABSOLUTA DE EVAPOTRANSPIRACION (ETM - ETR) POR DECADA PARA LA ESTACION TILARAM CON RU = 100 mm

MINI	AN	QNT1	MEDN	QNT4	MAXI	AN	SED	F-T	CO-VA
0	51	0	78	206	253	35	104	95	0.91
10	51	87	133	263	305	37	148	102	0.69
20	60	126	240	287	364	57	218	108	0.50
30	60	262	323	333	443	57	312	92	0.29
40	53	333	387	442	467	57	380	73	0.19
50	56	338	414	473	433	57	404	68	0.16
60	50	393	462	486	500	67	435	68	0.15
70	50	453	488	507	510	67	474	45	0.10
80	50	430	506	520	520	67	459	114	0.25
90	60	425	473	510	500	37	448	71	0.16
0	51	362	491	510	470	67	427	140	0.33
10	55	275	428	506	510	55	388	137	0.35
20	55	229	353	458	470	55	338	120	0.35
30	0	0	319	380	417	57	223	151	0.66
40	0	0	16	76	400	57	130	152	1.17
50	0	0	0	0	284	57	33	7	1.89
60	0	0	0	0	30	57	2	7	3.00
70	0	0	0	0	73	55	4	17	4.36
80	0	0	0	0	31	50	2	7	4.36
90	0	0	0	0	0	68	0	0	4.84
0	0	0	0	0	0	68	0	0	4.29
10	0	0	0	0	63	67	14	36	2.20
20	0	0	0	0	125	67	14	36	2.96
30	0	0	0	0	134	67	24	49	2.19
40	0	0	0	0	118	67	1	25	2.31
50	0	0	0	0	106	67	1	23	2.72
60	0	0	0	0	134	67	1	23	3.23
70	0	0	0	0	127	67	1	28	4.16
80	0	0	0	0	59	65	0	1	4.36
90	0	0	0	0	0	65	0	0	4.36
0	0	0	0	0	0	67	0	0	4.36
10	0	0	0	0	0	67	0	0	4.36
20	0	0	0	0	0	67	0	0	4.36
30	0	0	0	0	0	67	0	0	4.36
40	0	0	0	0	0	67	0	0	4.36
50	0	0	0	0	0	67	0	0	4.36
60	0	0	0	0	0	67	0	0	4.36
70	0	0	0	0	0	67	0	0	4.36
80	0	0	0	0	0	67	0	0	4.36
90	0	0	0	0	0	67	0	0	4.36
0	53	12	73	146	207	55	33	67	0.80



A N E X O B



## ANEXO B

### 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

$$E_a = \frac{\Delta P_u}{V}$$

con:

$\Delta P_u$  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 (masa o volumen)

V Cantidad de agua aportada

#### 2. Eficiencia económica

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

con:

$\Delta IB$  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  $m^3$  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.



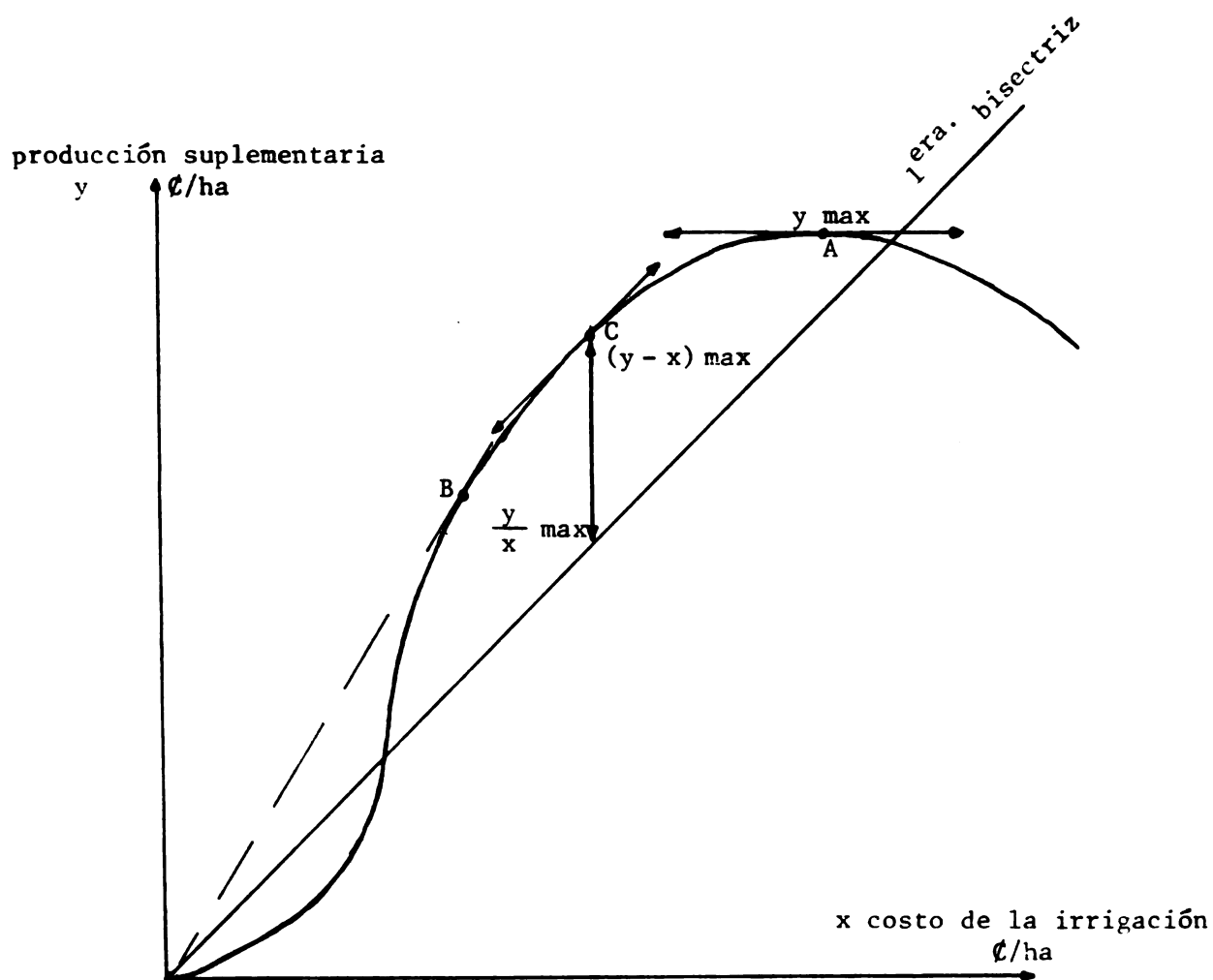
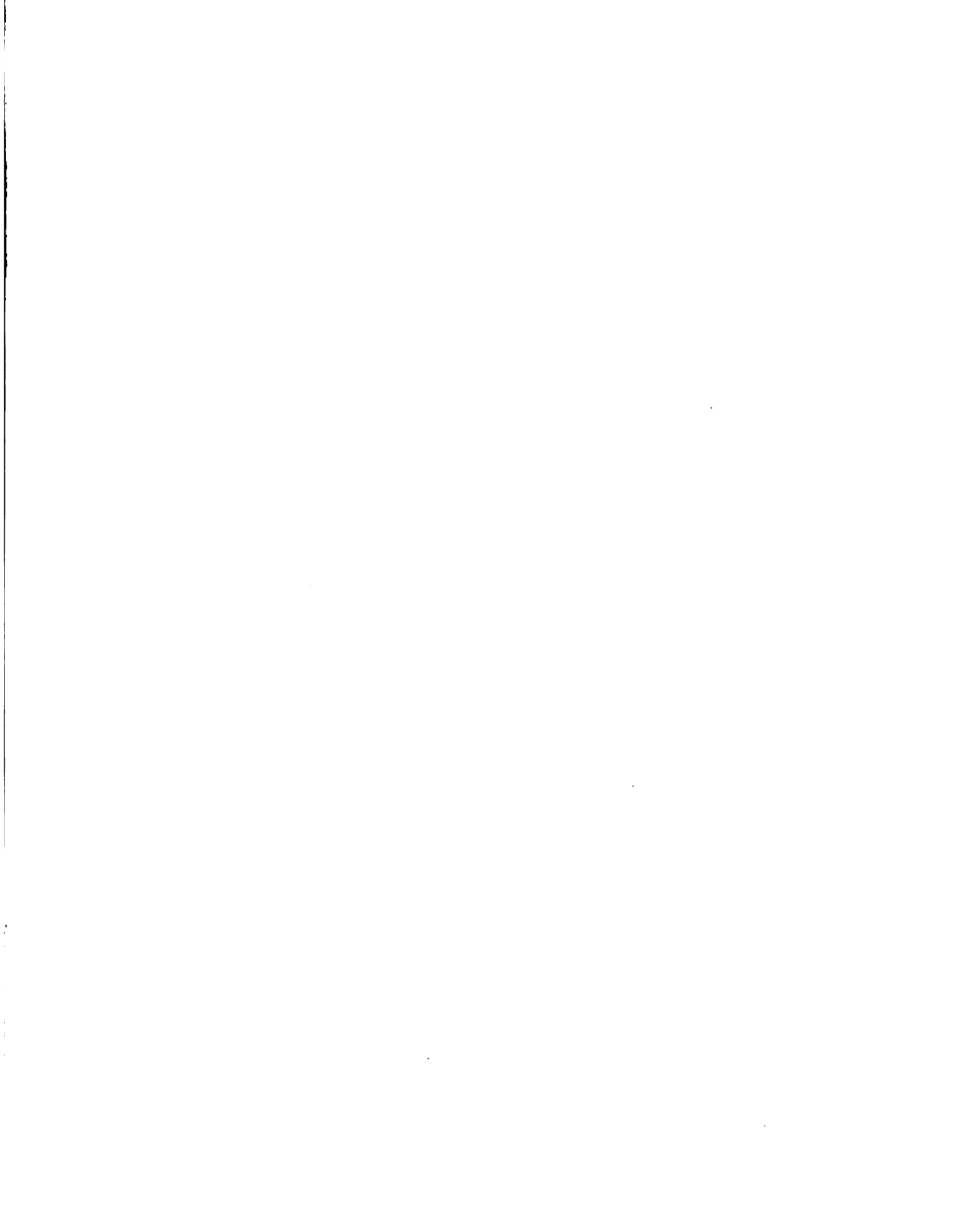


Fig. B-1 Curva de la variación del valor de la producción suplementaria debido a la irrigación en función del costo de la irrigación

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



BIBLIOGRAFIA CITADA

- 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.
- ITIER, B. (1981) - Une méthode simple pour la mesure de l'évapotranspiration réelle à l'échelle de la parcelle. *Agronomie*, 1(10), 869-876.
- LHOMME, J.P., GOMEZ, L. y JARAMILLO, A. (1984) - Modelo matemático del balance hídrico. In Turrialba, 34(4).
- MINISTERE DE LA COOPERATION (1979) - Evaluation des quantités d'eau nécessaires aux irrigations. Collection Techniques rurales en Afrique, République Française. 204 p.
- PENMAN, H.L. (1948) - Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. London. Ser A, Vol. 193. p. 120-145.
- PERRIER, A. (1975) - Etude physique de l'évapotranspiration dans les conditions naturelles. In:  
I. Evaporation et bilan d'énergie des surfaces naturelles. *Ann. Agron.* 26(1), 1-18, 1975.  
II. Expressions et paramètres donnant l'évapotranspiration réelle d'une surface "mince". *Ann. Agron.* 26(2), 105-123, 1975.  
III. Evapotranspiration réelle et potentielle des couverts végétaux. *Ann. Agron.* 26(3), 229-243, 1975.
- 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. (1984) - Etude agrometeorologique du bilan hydrique theorique et essai de modelisation d'irrigation dans le Sud-Ouest de la France. INA Paris-Grignon, France. 74 p.
- ROJAS, O., ELDIN, M. y LHOMME, J.P. (1982) - Información del banco de datos agroclimáticos de Costa Rica. IICA, ORSTOM e IMN. San José, Costa Rica. 7 volúmenes.
- ZELLER, B. (1983) - Essai de modélisation du bilan hydrique d'une parcelle de blé d'hiver. Institut National Agronomique. Paris, France. s np.



100



