

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMIA

ESCUELA DE PRODUCCION VEGETAL

TRABAJO DE DIPLOMA

DETERMINACION DE LA RELACION ENTRE LA SATISFACCION HIDRICA Y LOS
RENDIMIENTOS DEL MAIZ (Zea mays L.) EN LA IV REGION

AUTOR:

JORGE ANTONIO RODRIGUEZ RUBI.

ASESOR:

ING. BRUNO RAPIDEL.

Managua, Nicaragua 1990

DEDICATORIA

A mis padres:

Bianca Rubi Marengo

Salvador Rodríguez Wassmer.

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Bruno Rapidel, por ser buena gente, y brindarme todo su apoyo en la realización del trabajo.

A mis compañeros de trabajo y estudio, que de una forma ú otra ayudaron en este trabajo (especialmente a la Ing Rosa M. Torrez).

INDICE

Sección	Página
INDICE DE FIGURAS.....	i
INDICE DE CUADROS.....	ii
RESUMEN.....	iii
I INTRODUCCION.....	1
II MATERIALES Y METODOS.....	3
2.1 Descripción de la zona de estudio.....	3
2.1.1 Ubicación geográfica.....	3
2.1.2 Clima.....	3
2.1.3 Suelos.....	3
2.2 El balance hídrico.....	6
2.2.1 Ecuación del balance hídrico.....	7
2.2.3 Índice de satisfacción hídrica (ISH).....	9
2.3 Información básica del PDTAT.....	10
2.3.1 Trabajo realizado por el PDTAT.....	10
2.4 Etapas de la metodología.....	11
III RESULTADOS Y DISCUSION.....	15
3.1 Calibración del modelo de balance hídrico.....	15
3.1.1 Calibración de los tubos de acceso.....	15
3.1.2 Evolución de los términos del balance hídrico medido.....	16
3.1.3 Primera Simulación.....	19
3.1.4 Segunda Simulación.....	23
3.2 Selección de Cooperativas.....	25
3.3 Cálculo de los índices de satisfacción hídrica.....	25

3.4 Determinación de la relación entre la satisfacción hídrica y los rendimientos.....	26
3.4.1 Prólogo.....	26
3.4.2 Relación con el índice promedio sobre el ciclo.....	28
3.4.3 Relación con los índices de los cuatro períodos.....	28
IV CONCLUSIONES	30
4.1 Acerca del modelo de balance hídrico.....	30
4.2 Acerca de la relación entre satisfacción y rendimientos.....	31
V RECOMENDACIONES.....	32
VI BIBLIOGRAFIA.....	33
VII ANEXOS.....	35

INDICE DE FIGURAS

figura #		página
1	Ubicación de la zona y distribución de la zona de estudio.....	5
2	Representación teórica de la disminución del rendimiento.....	13
3	Evolución de los términos del balance hídrico medidos (coop. Róger Mendoza).....	16
4	Evolución de los términos del balance hídrico medidos (coop. E. Rojas, lote Panamá).....	16
5	Evolución de los términos del balance hídrico medidos (coop. E. Rojas, lote Cañalito).....	17
6	Evolución de los términos del balance hídrico medidos (coop. Macario Brenes).....	17
7	Primera simulación de ETR vs ETR medida (Coop. Roger Mendoza)	19
8	Primera simulación de ETR vs ETR medida (Coop. E. Rojas, lote Panamá).....	20
9	Primera simulación de ETR vs ETR medida (Coop. E. Rojas, lote cañalito).....	20
10	Segunda simulación de ETR vs ETR medida (Coop. Roger Mendoza)	23
11	Segunda simulación de ETR vs ETR medida (Coop. E. Rojas, lote Panamá).....	23
12	Segunda simulación de ETR vs ETR medida (Coop. E. Rojas, lote cañalito).....	24
13	Correlación entre los déficits hídricos del ciclo (DEFC) y la disminución relativa del rendimiento (RREL).....	29

INDICE DE CUADROS

cuadro #		página
1	Indices de satisfacción hídrica del maíz en fincas seleccionadas.....	26

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la IV región del país con el fin de obtener una relación entre los diferentes grados de abastecimiento hídrico y los rendimientos del cultivo del maíz, variedad NB-6, para así poder dar un mejor uso de los recursos hídricos (en nuestro caso las precipitaciones) mediante la determinación de fechas de siembra con el menor riesgo posible de pérdidas económicas.

Nos encontramos con la limitante de trabajar con un número no muy grande de muestras debido a pérdida de información (registros incompletos) y además de trabajar con solamente un ciclo de producción disminuyendo esto la variabilidad de los datos.

Se logró validar efectivamente un modelo de balance hídrico para las condiciones específicas del año en estudio (1989) y se encontró una relación clara, aunque no rígida, entre el índice de satisfacción hídrica del cultivo y los rendimientos obtenidos en ese año.

Sin embargo, se recomienda utilizar modelos mas precisos para este tipo de investigación y repetirlo sobre una serie mayor de años. Por ahora, solo contamos con esta relación obtenida y de utilización reservada.

INTRODUCCION

Nicaragua es un país eminentemente agrícola. La mayor parte de la producción agrícola se realiza durante el período lluvioso; Consecuentemente, esta producción está sujeta a la irregularidad climática, y particularmente a las precipitaciones, factor más variable del clima en el tiempo y en el espacio.

Es entonces fundamental hacer el mejor uso posible del agua disponible en la producción. Esto implica un conocimiento preciso del efecto del agua sobre el crecimiento, el desarrollo y el rendimiento de los cultivos.

Con el avance de la bioclimatología y de la informática, se han desarrollado muchos modelos informáticos que permiten razonar en términos sintéticos los problemas hídricos de las plantas, simulando los intercambios de agua entre el suelo, planta y atmósfera. Sin embargo, y a pesar del ahorro de tiempo y materiales que el uso de estos modelos implican, estos modelos presentan dos grandes problemas:

- Uno de ellos es consecuencia de la gran variabilidad de los factores ambientales que dichos modelos pretenden representar. Particularmente, esta variabilidad se pone de manifiesto entre diferentes países o diferentes continentes. Por ello, la transposición de un modelo a condiciones ambientales diferentes de las que presidieron a su elaboración requiere de una previa calibración y de una validación en el campo al que se quiere aplicar.

- Otro problema esencial resulta del carácter fundamentalmente incompleto de un modelo de balance hídrico. Proporciona elementos que permiten emitir un juicio sobre la alimentación en agua de los cultivos, empero, relacionar esta alimentación con los rendimientos alcanzados por los cultivos es un ámbito que estos modelos no contemplan.

Al Programa Nacional de Agrometeorología, en el marco del cual se realizó este trabajo, se plantean estos dos problemas: calibrar el modelo que se utiliza, y establecer una relación entre los índices de alimentación hídrica arrojados por este modelo, para explicar correctamente las relaciones entre el agua y los cultivos.

El primer problema se ha venido enfrentando desde hace varios años con cierto avance. Se han publicado estudios recientes sobre este tema (Farats A. 1989, Umaña E 1990).

En cambio, el segundo problema planteado todavía no había sido enfrentado por su complejidad.

A nivel internacional se ha publicado mucho sobre distintos aspectos de la relación del agua con el desarrollo de los cultivos. La Dirección de Fomentos de Tierras y Aguas de la FAD (1980) inició un estudio para establecer relaciones entre rendimiento y abastecimiento hídrico en varios cultivos de importancia económica (maíz, soya, ajonjolí, arroz, etc...). Para este estudio se dispuso de una gran cantidad de información referente a investigaciones relacionadas con la materia, proveniente de muchos países. Cabe destacar que todos estos estudios se realizaron en campos experimentales bajo condiciones irreales de producción. Los resultados obtenidos son muy generales y de poca aplicabilidad a las condiciones específicas de las zonas productoras de nuestro país.

Surgió en 1988 en el Programa Nacional de Agrometeorología la primera intención de encontrar la relación existente entre los índices de satisfacción hídrica y los rendimientos del maíz (Zea mays) en la IV región, enmarcándose bajo condiciones reales de producción. Sin embargo, esta primera intención no se concretó por falta de información agronómica y pluviométrica.

El presente estudio es el segundo intento de encontrar la relación entre el estrés hídrico y el rendimiento del cultivo del maíz en la IV región. De antemano se conoce que la realización de este no será muy sencilla, por la dificultad que representa aislar al factor hídrico de los demás factores que influyen en el rendimiento (plagas, enfermedades, malezas, etc).

Este estudio tiene como objetivos: Validar el modelo de balance hídrico con que cuenta el PNA con los datos de pluviometría del año 1989, en la región IV, y determinar en una primera aproximación la relación existente entre los índices de satisfacción hídrica (ISH) y los rendimientos del cultivo del maíz en la región IV.

II MATERIALES Y METODOS

2.1 Descripción de la zona de estudio.

2.1.1. Ubicación geográfica.

El estudio se realizó en la IV Región del país ubicada entre los paralelos 11.5 y 12.5 grados de latitud norte y entre los meridianos 86.5 y 87 grados de longitud oeste.

La distribución de las fincas se puede apreciar en la figura #1, la ubicación precisa se encuentra en Anexo #1, con el detalle de las coordenadas geodésicas. Las fincas donde se realizaron las calibraciones de balance hídrico son: la cooperativa Macario Brenes, en Masatepe; la cooperativa Róger Mendoza, en Los Altos; la cooperativa Eulogio Rojas, entre la ciudad de Rivas y el poblado de Veracruz.

2.1.2. Clima.

Las precipitaciones en la zona oscilan entre los 1100 y los 1400 mm anuales (Anexo #2) distribuidos en 7 meses, presentándose un periodo de bajas precipitaciones entre los meses de Julio y Agosto.

En el ciclo Agrícola (temporal) y para nuestra zona de estudio, existen tres periodos de siembra de los cultivos anuales: Primera, Postrerón y Postrera. Este estudio se realizó en la época de Primera.

2.1.3 Suelos

Los suelos estudiados son de origen Volcánicos Cuaternarios. Estos suelos han sido formados a partir de diferentes tipos de tobas, brechas y aglomerados, flujos lávicos basálticos y andesíticos, lápilli de basalto, pómez, etc (Marín 1972 citado por Umaña E. 1990).

Según el levantamiento de suelos de la Región Pacífica de Nicaragua (Catastro e Inventario de Recursos Naturales de Nicaragua), los suelos de la finca Róger Mendoza pertenecen a la serie Tisma (TI); son suelos moderadamente profundos, algo pobremente drenados, derivados de aluviales viejos ó depósitos lacustres mezclados con ceniza volcánica, de textura franco-limoso a franco-arcillo-limoso. Se caracterizan por tener una tabla alta de agua durante una parte del año.

Los suelos de la finca Macario Brenes pertenecen a la serie Masatepe (MS); estos suelos son moderadamente profundos, de permeabilidad moderada, bien drenados. Poseen un estrato endurecido "Talpetate" de espesor y profundidad variados, con humedad disponible moderada y densidad aparente baja.

Los suelos de la finca Eulogio Rojas pertenecen a la serie de los suelos Rivas (RI); estos son franco arcillosos, bien drenados, de color pardo rojizo. Se encuentran sobre lutitas, son profundos y de topografía plana a ondulada.

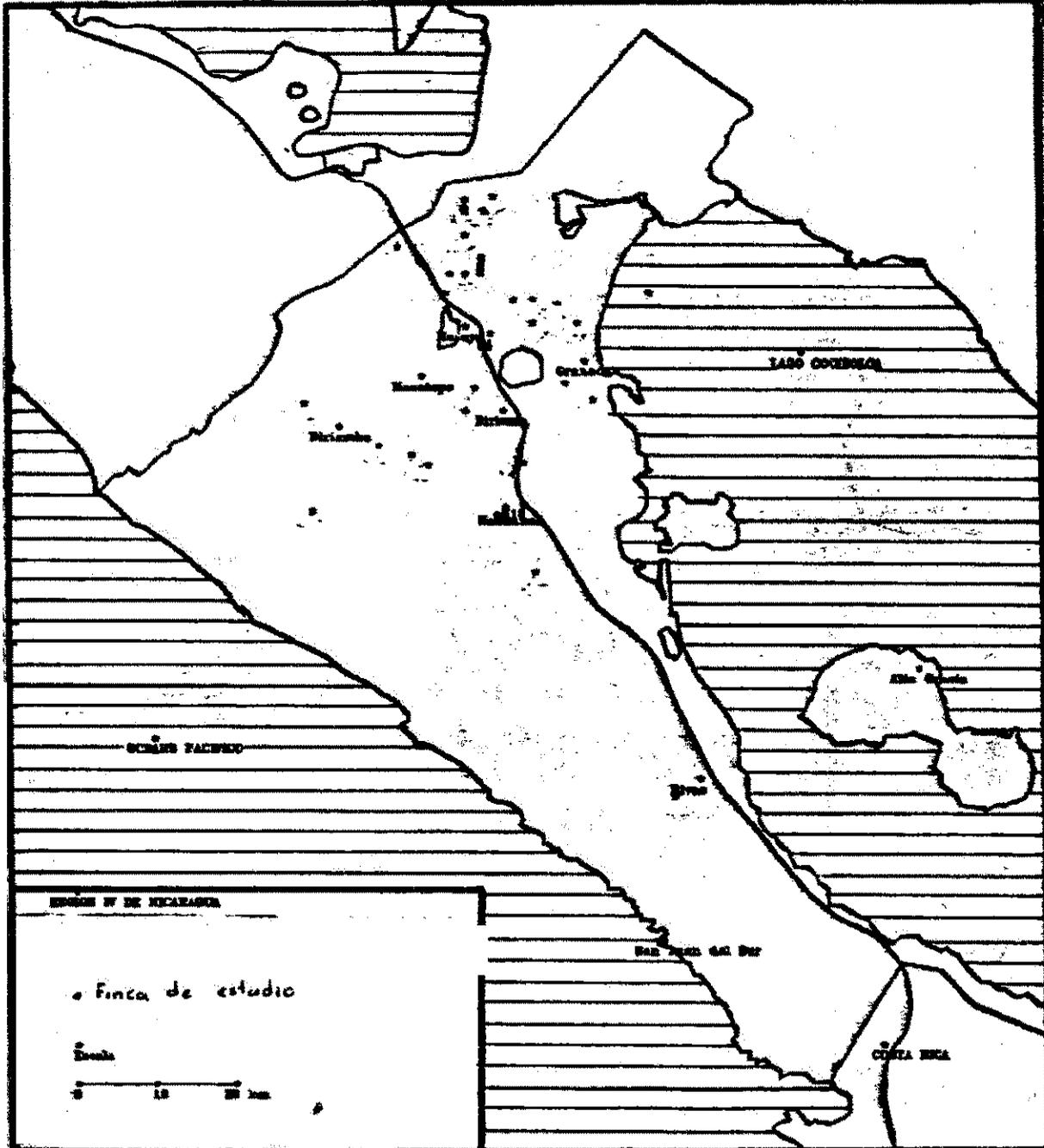
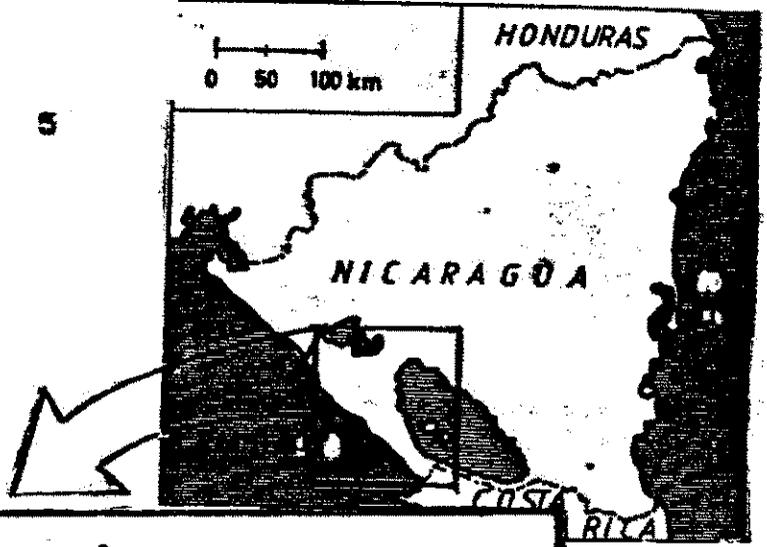


figura #1 : Ubicación de la zona y distribución de las fincas.

2.2. El Balance hídrico

2.2.1 Ecuación del balance hídrico.

El balance hídrico es una representación teórica de los intercambios de agua entre las plantas, el suelo y la atmósfera.

La ecuación fundamental del balance hídrico deriva del principio sencillo de la conservación general del agua: de la totalidad del agua que se precipita, por medio de las precipitaciones o del riego, ni una gota se pierde.

El agua puede:

- Ser aprovechada por una cobertura vegetal, o sea un cultivo (en este caso, se habla de Evapotranspiración Real E.T.R.)
- Filtrarse hacia la profundidad del suelo, fuera del alcance de las raíces de las plantas cultivadas (en este caso se habla de drenaje)
- Ser almacenada por el suelo, y recargar la reserva de agua del mismo.
- Escurrir por la superficie del suelo, y ser recolectada fuera de un área agrícola (en un cauce o un río). En este caso se habla de escurrimiento.

El agua no puede tener otro destino. Por lo tanto, entre dos fechas, uno puede escribir la ecuación del balance hídrico en estos términos:

$$PRE + RIE = ETR + DRE + ESC + VR$$

donde:

PRE = precipitaciones

RIE = riego

ETR = Evapotranspiración Real

DRE = drenaje

ESC = escurrimiento

VR = variación de la reserva entre las dos fechas

2.2.2. Modelo de balance hídrico.

El modelo utilizado para este estudio (y más generalmente en el Programa Nacional de Agrometeorología) es el BIP4 de Forest, el cual ha sido previamente calibrado en condiciones de cultivos en nuestro país (II región 1987 y 1988 y IV región 1989, 1990).

El modelo mencionado funciona como una simulación del funcionamiento hídrico de un complejo suelo-cultivo-atmósfera, en la cual se calculan cada cinco días los movimientos de agua entre estas tres entidades bajo condiciones de pluviometría reales (tomada de archivos pluviométricos), desde la siembra hasta la cosecha.

Cada término de la ecuación del balance hídrico se calcula en base a submodelos específicos que describimos rápidamente a continuación:

* Estimación de la reserva y del drenaje: Como primer paso se define la reserva útil (R.U.), que es un parámetro que caracteriza a una cantidad máxima de agua que puede almacenar el suelo, en la capa de suelo explorada por el sistema radical del cultivo, y que puede ser aprovechada por las plantas. En este sentido la R.U. es una característica física del suelo por un lado y agronómica por el otro.

La reserva inicial es la cantidad de agua almacenada en el suelo al momento de la siembra. Posteriormente, a cada paso de la simulación (cada 5 días), la diferencia entre el agua que ha precipitado y el agua que no ha sido aprovechada por el cultivo ni tampoco escurrida viene a sumarse al agua ya almacenada en la reserva del paso anterior para constituir la nueva reserva de agua en el suelo.

En el caso que la nueva reserva sea superior a la R.U. se considera que el excedente de agua se pierde por drenaje, quedando la reserva a su nivel máximo R.U.

* Estimación del escurrimiento: El agua perdida por escurrimiento no puede ser aprovechada por los cultivos por lo tanto es necesario estimarla, para descartarla de la cantidad de agua posiblemente utilizada por los cultivos.

Para estimar el escurrimiento de agua superficial, se dispone de pocos elementos cuantificados, ya que la observación experimental del fenómeno presenta dificultades serias. Sin embargo, algunos criterios pueden orientar a la cuantificación del fenómeno:

- Entre más intensas las lluvias, más escurrimiento.
- Entre más pendiente, más escurrimiento.
- Entre más densa es la cobertura vegetal, menos fuerte es el escurrimiento.

El presente modelo utiliza para la modelización del escurrimiento un submodelo lineal de este tipo:

- Si el valor de la precipitación diaria es menor que una cantidad "X", se considera que el escurrimiento es nulo.
- Si el valor es mayor que X, se considera que una fracción "Y%" de lo que pasa "X" se escurre.

Los niveles de los factores "X", "Y" son parámetros que uno ajusta en función de las características del suelo, cultivo y de pendiente. Sin embargo, no existe referencia precisa sobre el tema.

* Cálculo de la E.T.M.: La E.T.M. representa la evapotranspiración máxima que puede tener el cultivo, en caso de presentarse en óptimas condiciones de desarrollo y sin limitaciones hídricas. Por lo tanto, este valor depende de la E.T.P., o demanda climática, la cual depende únicamente del lugar considerado. La E.T.M. también depende del estadio de la planta a través de su coeficiente de cultivo (Kc). De tal manera tenemos que:

$$E.T.M. = E.T.P. * Kc$$

* Cálculo de la humedad relativa del suelo (H.R.): Este concepto (H.R.) es constituido por el cociente entre la reserva efectiva en un momento determinado y la reserva útil. Por lo tanto, siempre es menor que 1, ya que, por definición, la R.U. es el máximo que puede alcanzar la reserva. El término H.R. es entonces un indicador del nivel de saturación en agua que presenta el suelo. Entre menor será, más dificultades tendrá la planta para extraer agua del suelo.

* Cálculo de la E.T.R.: La E.T.R. se calcula como una función de dos variables: La E.T.M por un lado y la H.R. por otro. Concretamente se entiende bien que entre más seco sea el suelo con relación a lo que pueda almacenar de agua, más dificultad tendrá la planta para extraer el agua, y satisfacer a la demanda climática. En cambio, si la reserva de agua se acerca a la R.U., la planta estará en capacidad de evapotranspirar (de consumir) íntegramente sus necesidades (E.T.M.). El modelo FOREST estima la relación E.T.R./E.T.M. a través de una función polinomial de tercer grado, la cual ha sido calibrada en evapotranspirómetros bajo condiciones diferentes de déficit hídrico por EAGELMAN.

2.2.3 Índice de Satisfacción Hídrica (I.S.H.).

El I.S.H. (E.T.R./E.T.M.) es el parámetro de salida del modelo de mayor importancia y utilidad. El índice varía entre los valores 0 y 1: entre más seco el suelo, menor será la ETR en comparación con las necesidades del cultivo (ETM), y el ISH se aproximará a 0; en cambio, si el suelo está muy húmedo, las necesidades podrán estar satisfechas y el índice se acercará de 1.

Para el presente trabajo se utilizan estos índices para relacionarlos con el rendimiento de una forma que se explicará posteriormente en este estudio.

Sin embargo, como existen otras variables que influyen en el rendimiento (ataque de malezas, plagas, enfermedades, densidad poblacional, etc.) es necesario tener información precisa del comportamiento de estas variables para así poder "bloquearlas" y poder relacionar la satisfacción hídrica en las diferentes etapas del cultivo con los rendimientos que se hubieran alcanzado en condiciones no deficitarias de alimentación hídrica, pero en igualdad de condiciones técnicas por otra parte.

Por ello, se requiere de datos precisos de seguimiento técnico. El Programa de Desarrollo Tecnológico y de Asistencia Técnica (P.D.T.A.T) del Ministerio de Agricultura que funciona en la IV región del país precisamente este tipo de seguimiento. Lo describimos brevemente en el capítulo siguiente.

2.3 Información básica del PDTAT.

2.3.1. Trabajo realizado por el PDTAT.

El PDTAT realiza un seguimiento técnico en áreas comerciales de producción, con el propósito de detectar los principales problemas técnicos que limitan la producción, posteriormente orientar la investigación hacia la resolución de estas limitantes y dirigir la asistencia técnica hacia estos temas específicos y problemáticos. El PDTAT hace participar a los productores de en la resolución de estos limitantes, para que la asistencia técnica se vuelva más eficaz.

Para llevar a cabo estos objetivos, el PDTAT dispone de una red de fincas a las cuales da seguimiento y asistencia técnica. Para el rubro maíz, atiende a 174 fincas productoras que controlan cerca de 4900 ha. (fuente: D.G.A.-M.A.G. 1990.)

De las herramientas utilizadas por el PDTAT y que fueron utilizadas en el presente trabajo tenemos:

- Los libros de campo: Los libros de campo son aquellos en donde el técnico va reportando minuciosamente las intervenciones de los productores, para cada finca: tipo, fecha, condiciones, costos, materiales y productos utilizados, y todos los datos fundamentales de la producción (área de siembra, rendimiento alcanzado,...).
- Las hojas de información básica: En ellas, el técnico va reportando en cada visita de orientación técnica, seguimiento y control (aproximadamente una vez por semana) las variables medidas en la finca que describen el estado del cultivo (densidad poblacional de plantas, estado fitosanitario, nivel de enmalezamiento, estado nutricional, etc).

Estas hojas y los libros de campo constituyen una preciosa y confiable mina de información sobre las condiciones reales de producción.

Además, desde el año pasado, se instalaron en un gran número de fincas atendidas por el PDTAT pluviómetros que están atendidos por los productores.

Luego, al final de cada ciclo de producción, esta información es recogida a nivel central y analizada estadísticamente. Estos procesamientos son los que permiten identificar los limitantes principales de la producción.

Sin embargo, cabe destacar que la información del seguimiento de los cultivos es frecuentemente subjetiva (la variable estado nutricional, por ejemplo, es únicamente visual). Por ello, no se puede evitar ciertas diferencias de juicio entre los numerosos técnicos que participan de este trabajo, y consecuentemente, dificultades al momento de analizar los datos.

2.4. Etapas de la Metodología.

Para una mejor comprensión del desarrollo del trabajo, hemos dividido la metodología por etapas.

a). Calibración del modelo de balance hídrico

No vamos a desarrollar mucho la metodología y materiales utilizados en este tema, ya que se encuentran detallados en otras publicaciones (Farats A. 1989 y Umaña E 1990).

La calibración procede de la verificación de la adecuación entre los términos del balance hídrico medido y los resultados arrojados por la simulación del modelo, en cuatro parcelas de producción comercial de la región IV.

Las mediciones de los términos del balance hídrico se efectuaron con una frecuencia de dos veces por semana en cada uno de los sitios de medición, donde se habían instalado cuatro tubos de acceso (que representan cuatro repeticiones). Los datos de humedad del suelo fueron tomados con una sonda neutrónica, calibrada para cada tubo de acceso.

La calibración de los tubos de acceso es el establecimiento de una relación lineal entre los conteos de la sonda y los datos de humedad

volumétrica. Se midieron las humedades ponderales por el método gravimétrico al mismo tiempo que se realizaban conteos al momento de la instalación del tubo y al momento de su retiro.

Las densidades aparentes fueron medidas sobre muestras tomadas por el método de los cilindros, después de la apertura de una fosa en el propio lugar de los tubos, para no incurrir en problemas relacionados con la heterogeneidad espacial de las densidades en el suelo (ver anexo #4).

Los tensiómetros, instalados en los mismos lugares, proporcionaban información acerca de los movimientos verticales del agua en el perfil del suelo.

Se construyeron diques de tierra alrededor de la estación de medición para eliminar el escurrimiento.

b). Selección de las fincas sobre las cuales se realizó el análisis.

Los criterios de selección de las fincas son los siguientes: Tener datos completos y confiables de seguimiento Agronómico. Y segundo tener registros completos y confiables de precipitaciones .

c). Determinación de los Índices de Satisfacción Hídrica (ISH).

Consiste en correr el modelo de balance hídrico con los ajustes eventualmente hechos en la etapa "a" sobre las fincas seleccionadas en la etapa "b".

d). Determinación de la relación entre el déficit hídrico y el rendimiento.

El rendimiento es producto de una combinación de factores como son la incidencia de plagas o de enfermedades, la densidad poblacional, las características genéticas de la planta, el suelo, el clima, etc

Los factores genéticos determinan un rendimiento potencial, que depende

únicamente de la variedad escogida, que sería aquel que se obtendría bajo condiciones ideales (sin presión de plagas y enfermedades, densidades óptimas, condiciones de clima favorables, etc.)

Luego, la acción adversa de los factores ambientales (sensu largo) provoca una disminución del rendimiento real alcanzado al momento de la cosecha. La importancia de esta disminución depende evidentemente de la capacidad técnica del productor.

En la figura #2, se intenta representar la evolución temporal de este fenómeno.

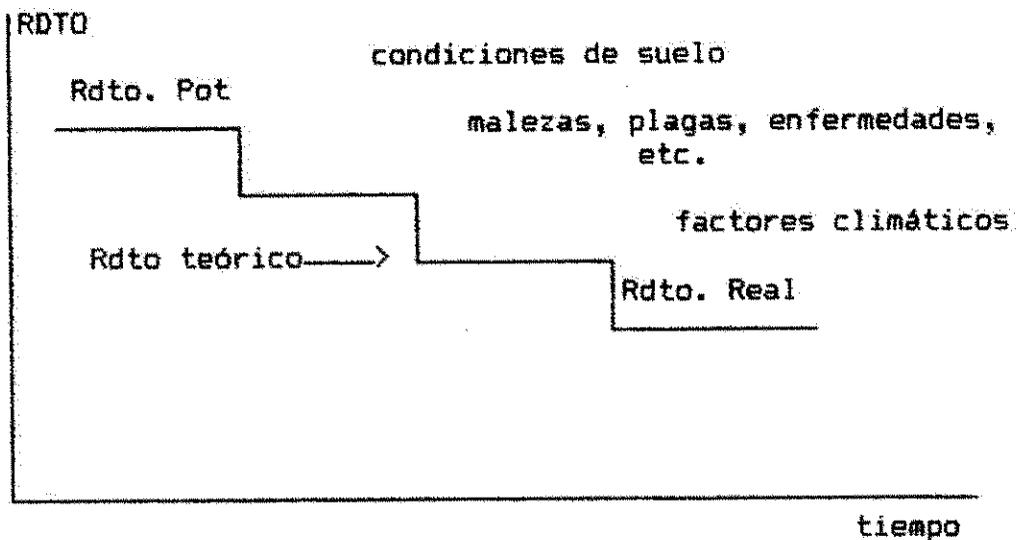


figura #2: Representación teórica de la disminución del rendimiento durante el ciclo del cultivo

Con la información del seguimiento técnico efectuado por el PDTAT se determina un rendimiento teórico, el cual integra en su ecuación una cantidad de factores que influyen en el rendimiento (exceptuando al factor climático). Esta ecuación fue ideada en el seno del P.D.T.A.T por M. Dulcire en 1988 y viene siendo utilizada con resultados satisfactorios en distintos trabajos de investigación (Dulcire M. 1988, Tórrez R. y Liagre F. 1990, Robleto C. 1990)

De tal manera que esta ecuación nos proporciona el posible rendimiento que

se obtendría en condiciones óptimas de clima (mas precisamente "de lluvia").

La ecuación de rendimiento teórico (RT) es la siguiente:

$$RT = 0.7 * DP * EM / 0.3$$

donde:

DP = densidad poblacional en miles de plantas por manzana (1 manzana= 0.7026 Ha).

$$EM = (En + Em + (Ep + Ee) / 2) / 3$$

EM = Eficiencia de manejo en %

En = Estado nutricional en %

Em = Eficiencia de control de malezas en %

Ep = Eficiencia de control de plagas en %

Ee = Eficiencia del control de enfermedades en %

Se supone que la diferencia que existe entre el rendimiento real y el teórico se debe al clima y fundamentalmente al abastecimiento hídrico.

Posteriormente, por medio de regresiones, se relaciona la disminución relativa del rendimiento $(1 - RT / RR)$ con los déficits hídricos $(1 - ETR / ETM)$, estos últimos calculados en las distintas fases de desarrollo del cultivo.

III RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Calibración del modelo de balance hídrico.

3.1.1. Calibración de los tubos de acceso de la sonda neutrónica.

Los resultados de las calibraciones de los tubos de acceso se pudieron sintetizar en una sola recta de correspondencia entre conteos y humedades volumétricas para cada parcela (se juntaron los datos de las calibraciones de los cuatro tubos de acceso en cada parcela). Además, en la finca Eulogio Rojas, en Rivas, se pudo obtener una misma calibración para las dos parcelas, lo que es lógico, ya que se trata evidentemente del mismo tipo de suelo.

Las ecuaciones se presentan a continuación:

coop. Róger Mendoza	$HV = 0.084*CON - 0.493,$	$r^2 = 0.83$
coop. Macario Brenes	$HV = 0.074*CON + 3.655,$	$r^2 = 0.88$
coop. Eulogio Rojas	$HV = 0.061*CON + 6.086,$	$r^2 = 0.67$

Donde:

HV: humedad volumétrica

CON: conteo de la sonda

r^2 : coeficiente de correlación lineal al cuadrado, que representa la proporción de la varianza de HV explicada por la regresión.

3.1.2. Evolución de los términos del balance hídrico medido

A continuación se presentan gráficamente los resultados de las mediciones de diferentes términos del balance hídrico (evolución de la reserva, ETR y precipitaciones) en los distintos lugares de medición.

* Escala de ETR a la derecha.

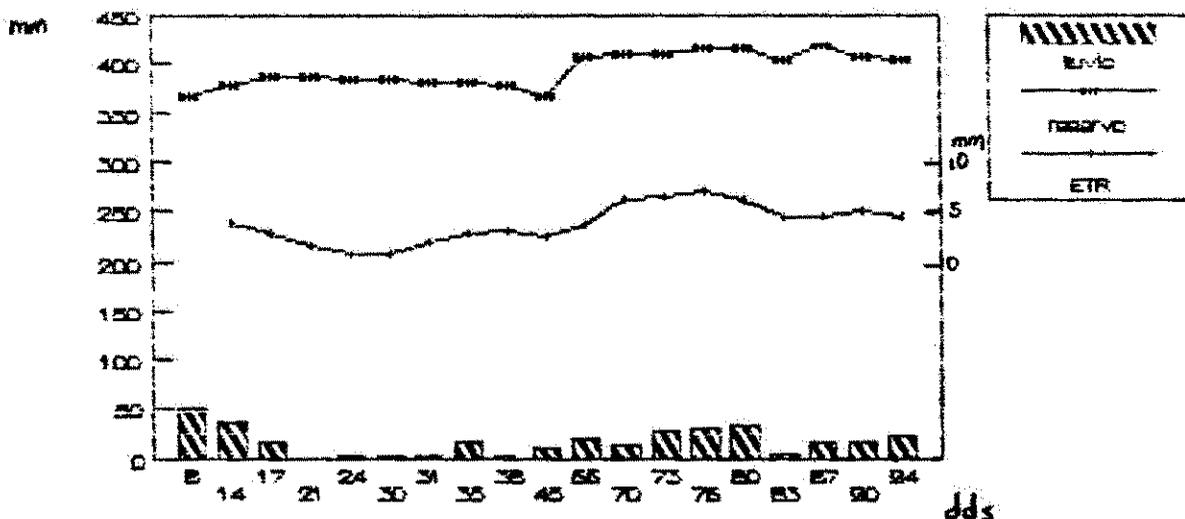


figura #3 : Evolución de los términos del balance hídrico (coop.:Roger Mendoza.)

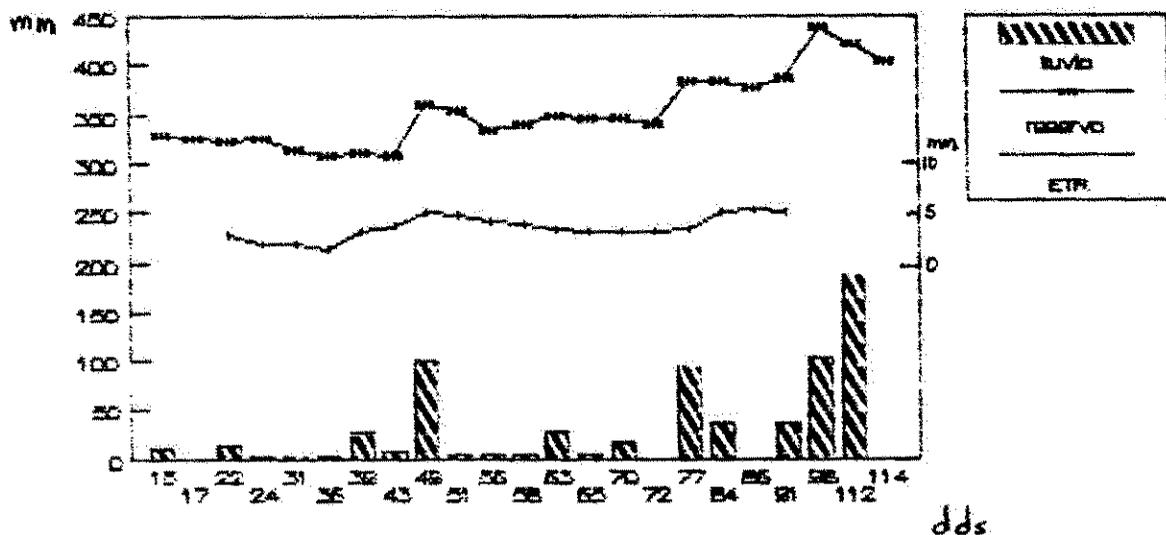


figura #4 : Evolución de los términos del balance hídrico (coop.:Eulógio Rojas, lote Panamá.)

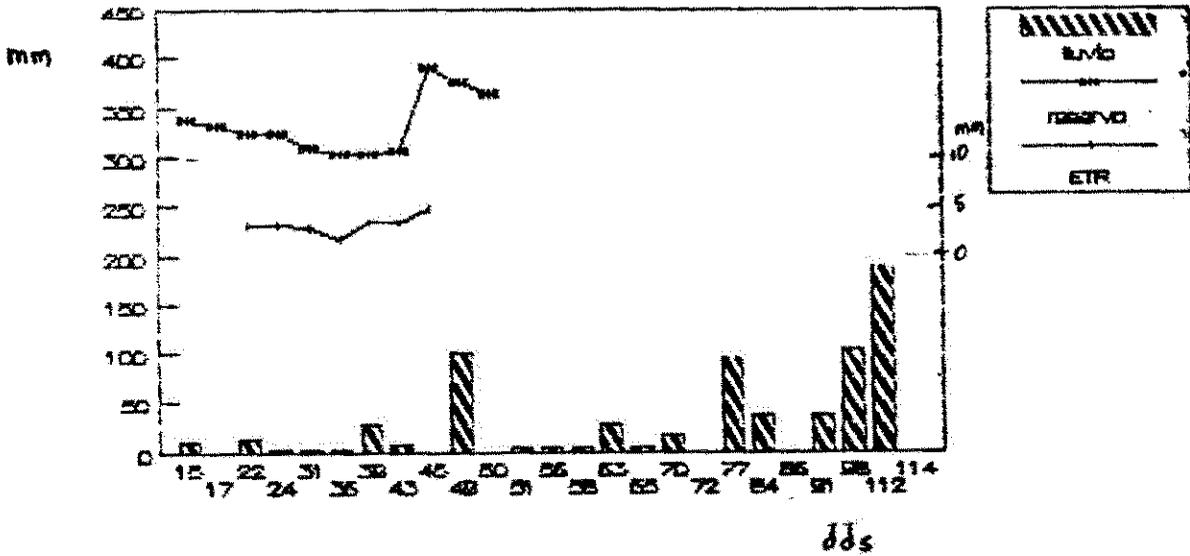


figura #5 : Evolución de los términos del balance hídrico (coop.:Eulógio Rojas, lote Cañalito.)

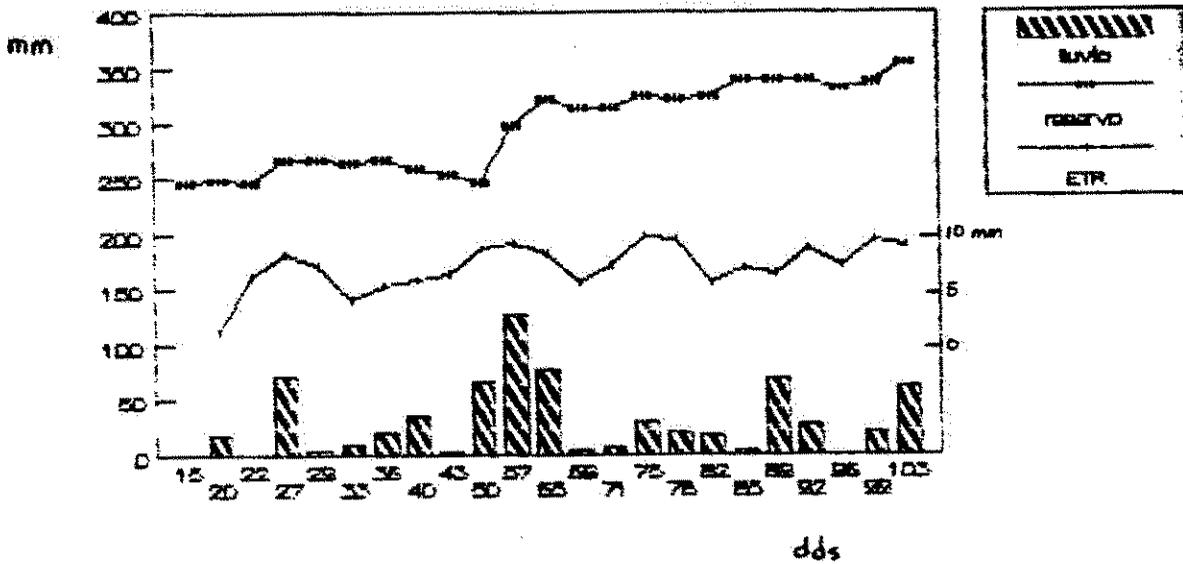


figura #6 : Evolución de los términos del balance hídrico (coop.:Macario Brenes.)

Se observa en la cooperativa Róger Mendoza (figura #3) un período de escasas precipitaciones al inicio (entre 10 y 45 dds), y esto se refleja en la reserva del suelo y en los valores de la ETR. Posteriormente con las lluvias caídas en el período siguiente se incrementa la reserva del suelo, así como también los valores de ETR.

De manera similar se observa ésta evolución en la coop. Eulogio Rojas, lote panamá (figura #4) y en el lote Cañalito (figura #5) en la parte que se pudo medir (el cual se perdió por los efectos combinados de la sequía y de un enmalezamiento mal controlado).

De una manera general, se constata una coherencia correcta entre los datos de precipitación, los resultados del seguimiento de la reserva del suelo y las observaciones visuales efectuadas en los mismos momentos.

En la finca Macario Brenes (figura #6), la situación pluviométrica fue muy diferente a la de las fincas anteriores. No se manifestó un déficit hídrico marcado, gracias a las fuertes lluvias que cayeron durante todo el ciclo. Se observa como la ETR toma valores excesivamente altos (más de 7 mm por día en promedio durante el ciclo) y con variaciones bruscas.

Los altibajos pueden ser explicados debido a que en el cálculo del stock no se toma en cuenta las mediciones en los primeros 10 cm del perfil (esto se debe a la mala estimación de la humedad del suelo por la sonda a este nivel, explicado por la fuga de neutrones a la superficie). Después de una lluvia, una gran cantidad de agua se queda en esta primera capa y no es tomada en cuenta para el cálculo de la reserva esto se traduce en una ETR alta ya que el cálculo supone que esta agua fue consumida por la planta. Posteriormente, esta reserva acumulada está efectivamente consumida por el cultivo, sin que las mediciones de la humedad en las capas inferiores den cuenta de esta extracción. La ETR calculada en estos períodos es entonces inferior a la realidad.

Sin embargo, esto no explica los valores muy generalmente excesivos de la ETR en este experimento. Esto se debe que existe agua que escap^a de nuestro control (sea por escurrimiento superficial que no logró eliminar el dique previsto a este efecto, o sea movimientos laterales del agua en el perfil, o mala medición de las precipitaciones). Los resultados muy similares obtenidos para cada uno de los cuatro tubos de acceso permiten descartar los

errores de medición de la reserva del suelo con la sonda neutrónica.

Se decidió entonces descartar los resultados de las mediciones en esta finca y no utilizarlos en el posterior análisis.

3.1.3 Primera Simulación

Se escogió realizar la comparación entre las ETR (medida y simulada) por varios motivos:

- De la ETR principalmente depende el ISH, que es el término que al final nos interesa

- Si las ETR se corresponden, con mayor razón se corresponderán las evoluciones de las reservas, ya que la ETR medida se calcula directamente a partir de la evolución de la reserva (e igual con la simulación).

A continuación se presenta gráficamente la evolución de la ETR medida y la ETR simulada en tres sitios de medición

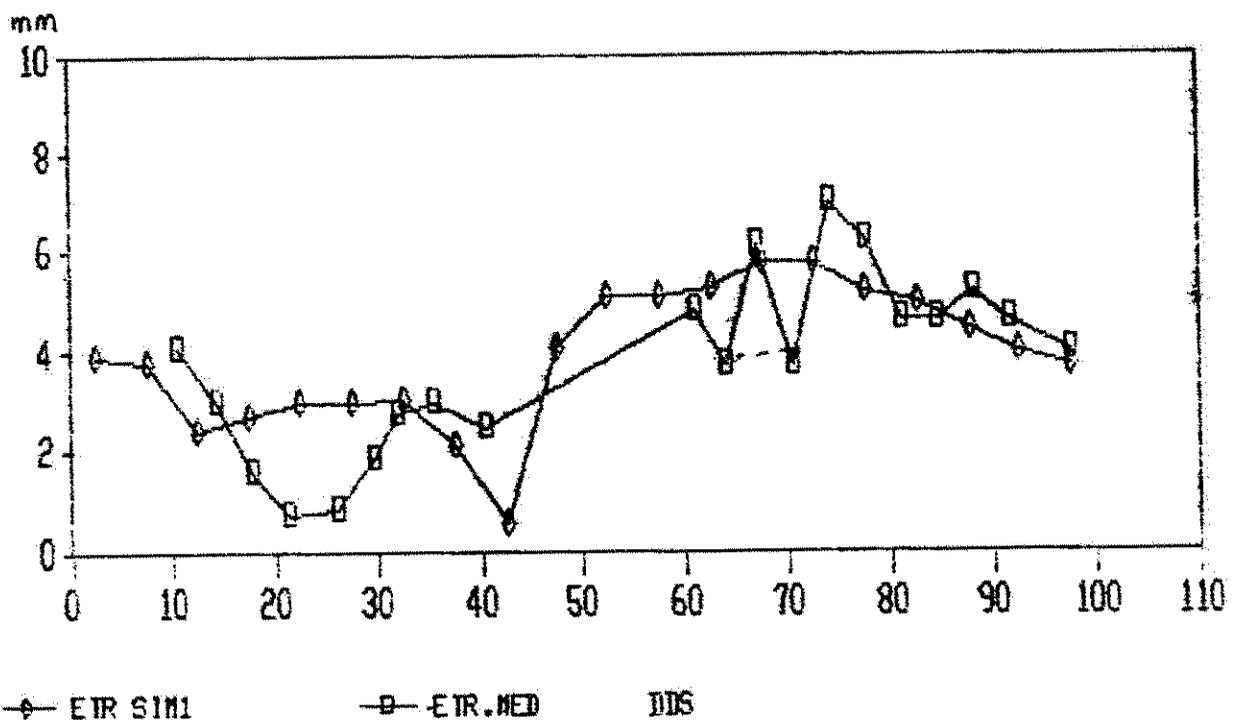
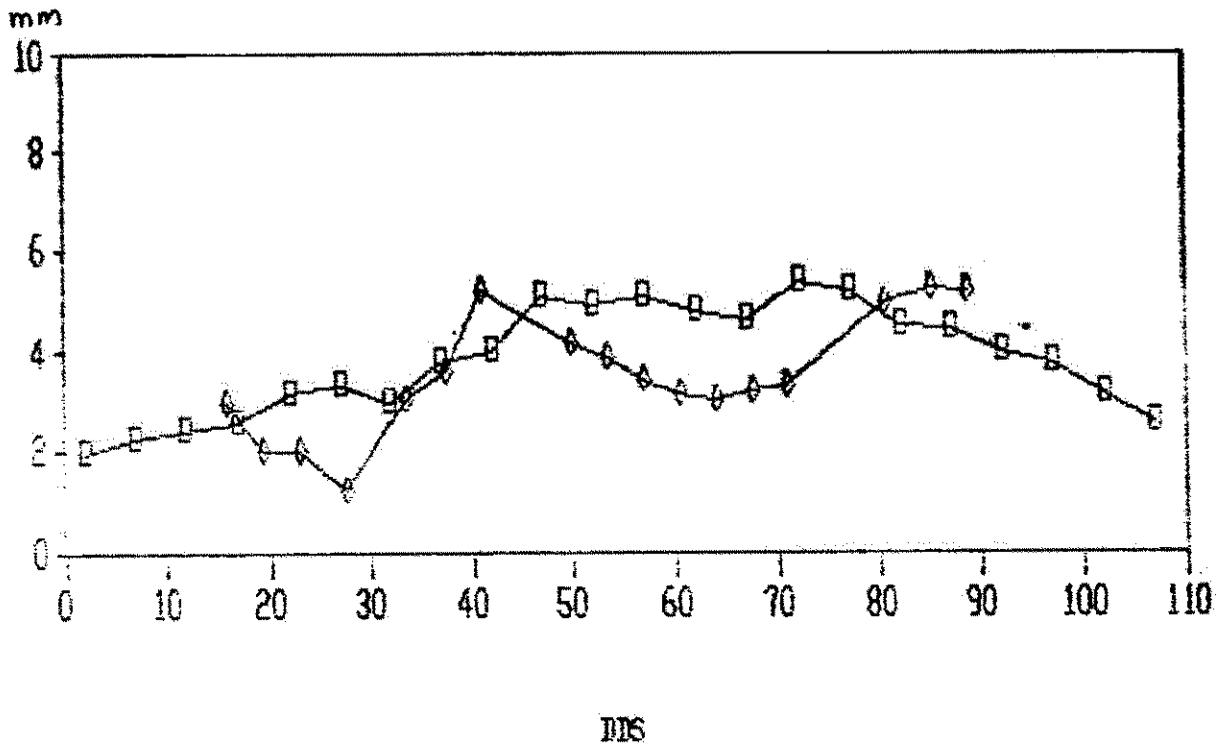
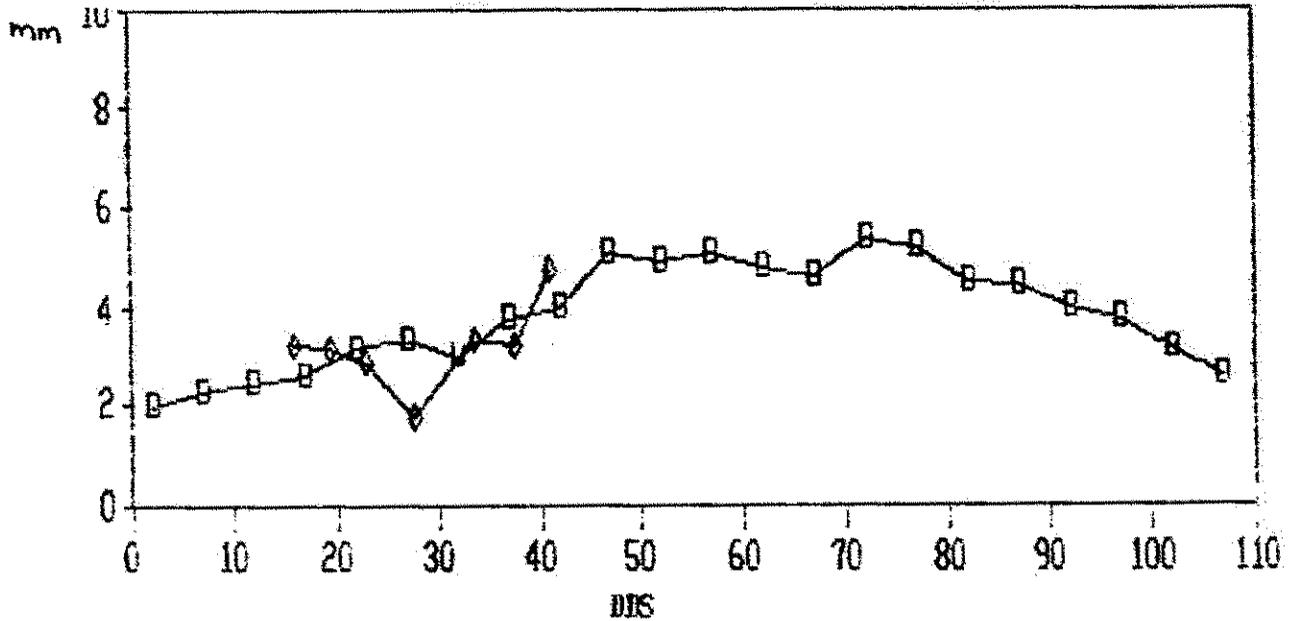


figura #7 : Primera simulación de ETR vs. ETR medida (coop Róger Mendoza)



◆ ETR PAN □ ETR SIMI

figura #8 : Primera simulación ETR simulada vs. ETR medida (coop Eulógio Rojas, lote Panamá.)



◆ ETR CAN □ ETR SIMI

figura #9 : Primera simulación ETR simulada vs. ETR medida (coop Eulógio Rojas, lote Cañalito.)

Observaciones

- Estimación de la ETR durante el período de estrés

Se pone de manifiesto una debilidad del modelo como es la sobre estimación de la ETR durante el período de estrés que azotó a los cultivos al inicio de su desarrollo. Al examinar más precisamente los resultados de las simulaciones de balance, se destaca que esta sobre estimación es una consecuencia de una sobre estimación de la reserva alcanzable por los cultivos en los primeros días del crecimiento de la planta cuando las raíces no han llegado a su máximo desarrollo.

Hay que señalar que este problema de sobre estimación de la reserva al inicio del crecimiento del cultivo solo sucede cuando ocurren precipitaciones importantes al inicio del ciclo. Repercute de manera importante en la estimación de la ETR únicamente si ocurre un déficit importante (marcado o relativamente grande) inmediatamente después de ese momento. Si estas dos condiciones no están reunidas, el modelo funciona satisfactoriamente.

Sin embargo, para el caso que nos interesa, se tiene que corregir el modelo para poder aplicarlo al maíz de las otras parcelas (del PDTAT), que se desarrolló bajo el mismo tipo de condiciones pluviométricas.

Lo ideal sería contar con un modelo que funcione estimando la reserva con capas de tal manera que al inicio tome una reserva que este de acuerdo con el desarrollo radicular y así, que la reserva aumente de acuerdo a la

¹ Este problema encuentra su origen en los estudios que presidieron a la elaboración de este modelo, realizados en África del Oeste, en suelos esencialmente arenosos. Al inicio de la estación lluviosa, las precipitaciones suelen presentarse paulatinamente. Las raíces de los cultivos frecuentemente siguen el frente de humectación en el suelo (o sea, la profundidad hasta donde llegó el agua en el suelo). Luego, se consideró en el modelo que la reserva en agua efectivamente al alcance de las raíces del cultivo es la parte de la reserva útil total que se ha llenado en cualquier momento del ciclo. No existe, como sería lógico, un modelo de crecimiento de las raíces con el tiempo.

En las condiciones climáticas de este año, el modelo considera que desde el inicio de su ciclo, el cultivo puede aprovechar las precipitaciones totales que se acumularon en el suelo al inicio de su ciclo, cuando en la realidad, la mayor parte de ella estaba fuera del alcance de sus raíces, pequeñas en este momento.

velocidad del crecimiento de las raíces.

Para fines de nuestro estudio decidimos bajar las precipitaciones al inicio, reduciendo "artificialmente" la reserva al inicio (primeras 3 pentadas) de tal manera que se manifieste el deficit posteriormente siempre y cuando, éste, exista.

- Estimación de la ETR al inicio del crecimiento

Otro factor que se manifiesta es que al inicio (primeras 2 o 3 pentadas) la ETR medida es mayor que la simulada. Esto se debe a una sub-estimación por parte del modelo de la evaporación del suelo desnudo.

Para corregir esto, duplicamos los coeficientes de cultivo de las primeras dos pentadas. Sin embargo, esta no es la solución correcta; lo ideal sería corregir el submodelo que calcula la evaporación del suelo desnudo.

Con estas dos correcciones,

- la modificación de la reserva durante el crecimiento del cultivo
 - la estimación correcta de la ETR en las primeras pentadas,
- corrimos el modelo nuevamente sobre los tres sitios de medición.

5.1.4. Segunda simulación

Los resultados se presentan gráficamente comparando la ETR medida con la ETR simulada por segunda ocasión.

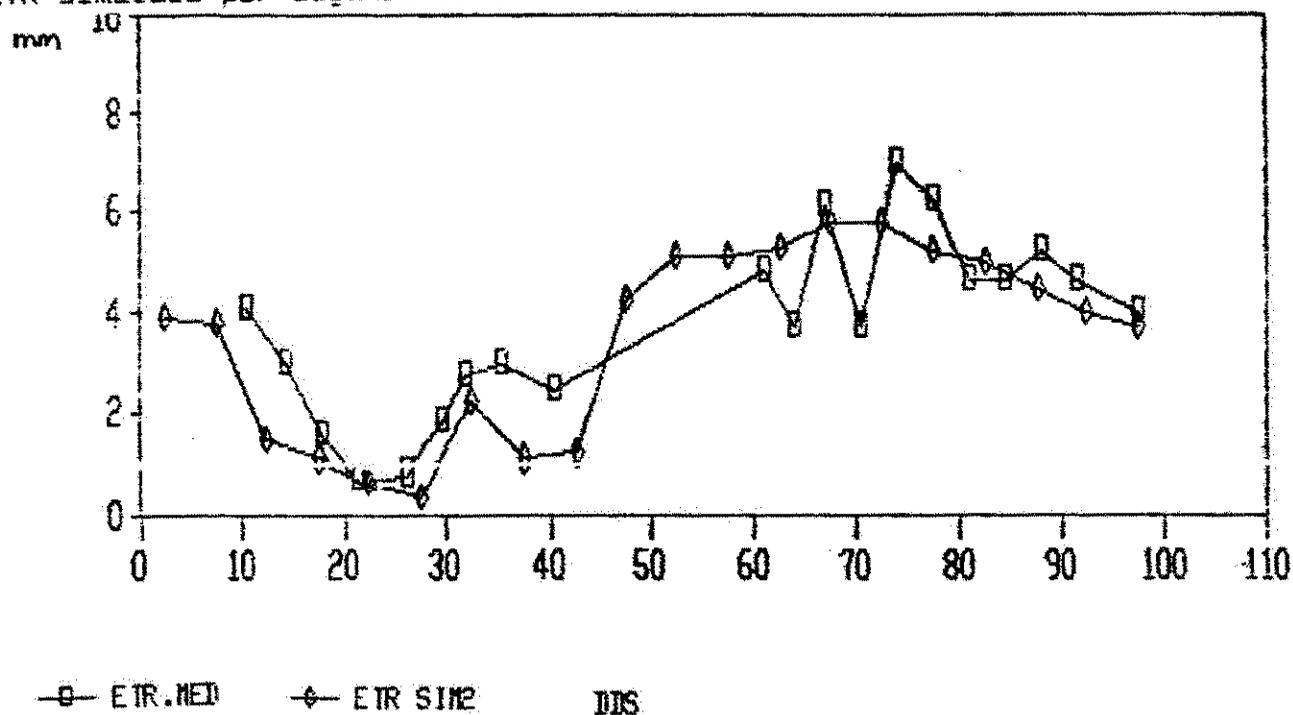


figura #10 : Segunda simulación ETR simulada vs. ETR medida (coop Róger Mendoza)

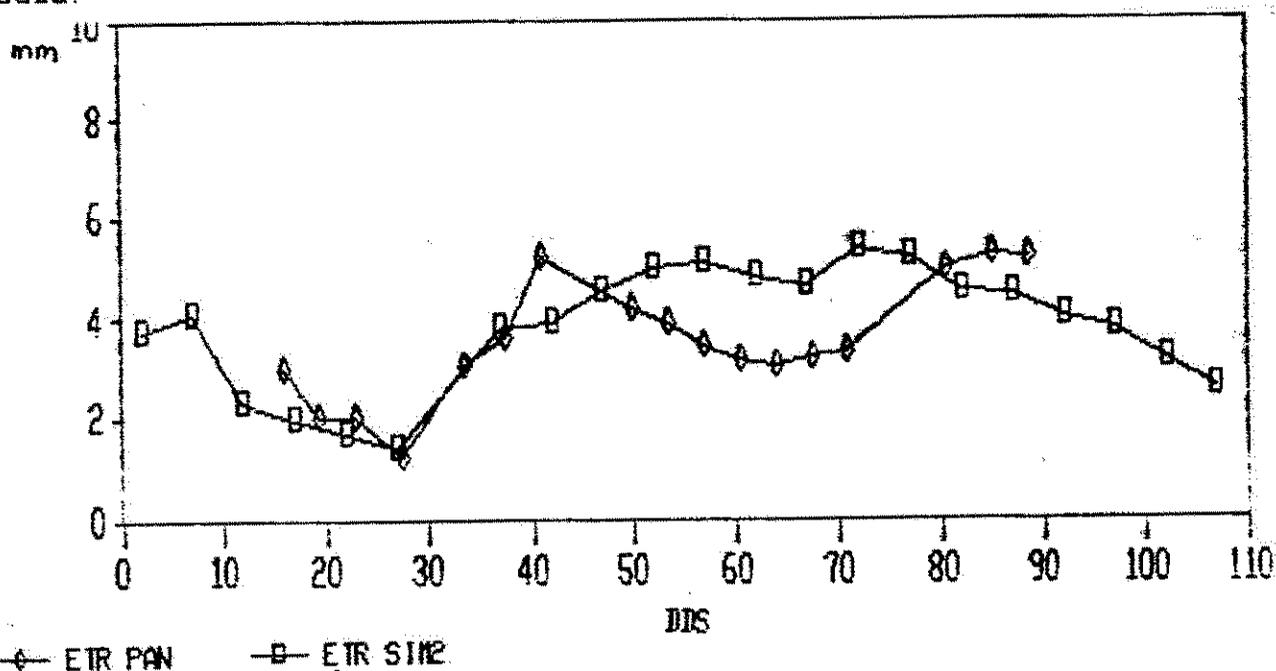
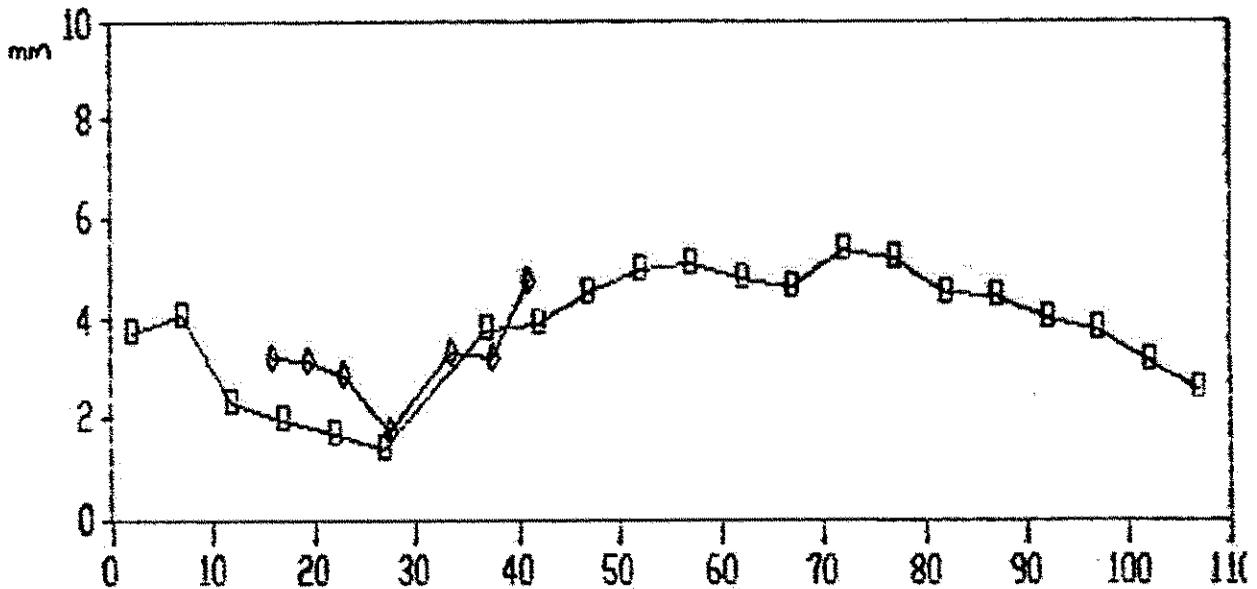


figura #11 : Segunda simulación ETR simulada vs. ETR medida (coop Eulógio Rojas, lote Panamá.)



DÍAS

—◇— ETR CAN

—□— ETR SIN2

figura #12 : Segunda simulación ETR simulada vs. ETR medida (coop Eulógio Rojas, lote Cañalito.)

Se puede apreciar como la ETR simulada se aproxima más a la medida en el periodo hasta los 50 dds aproximadamente, esto permite obtener ISM más acertados durante este período, el cual es de singular importancia por la repercusión que ocasiona un déficit en este momento.

Según FAO, 1980, el maíz es altamente sensible al suministro de agua durante el periodo de prefloración hasta la fecundación.

A este nivel de precisión, se considera que, para nuestros fines, la adecuación entre las simulaciones y los resultados de las mediciones es satisfactoria. Esto significa prácticamente que se considera que el modelo, tal como se ha modificado, se puede aplicar a los datos de las otras fincas para avanzar en la determinación de la relación entre satisfacción hídrica y rendimientos.

3.2 Selección de cooperativas

La base de datos del PDTAT nos proporcionaba los registros siguientes:

- en 98 cooperativas, se instalaron pluviómetros y se recogieron los datos
- entre estas, en 41 se dió seguimiento técnico al cultivo de maíz
- de estas, 22 tenían registros completos y confiables de precipitaciones y de seguimiento técnico.

Es con estas 22 últimas cooperativas que se realizó el análisis mencionado. ver en el anexo #1 la lista de las cooperativas seleccionadas y su ubicación.

3.3 Cálculo de los índices de satisfacción hídrica.

Se corrió el modelo con los ajustes detallados anteriormente sobre los datos de las 21 fincas seleccionadas.

Los resultados se presentan en el cuadro siguiente (cuadro #1), consolidado para cuatro fases de desarrollo del cultivo de maíz:

- ISH1, índice de satisfacción hídrica de 1 a 15 dds
- ISH2, índice de satisfacción hídrica de 16 a 45 dds
- ISH3, índice de satisfacción hídrica de 46 a 60 dds
- ISH4, índice de satisfacción hídrica de 61 a 110 dds

dds : días despues de la siembra.

Cuadro #1 Indices de satisfacción hídrica del maíz en las fincas seleccionadas (resultados de las simulaciones).

COOP. NUMERO	ISH1	ISH2	ISH3	ISH4	ISHC
1	84.0	70.0	91.0	96.0	87.0
2	74.0	44.0	87.0	88.0	77.0
3	95.0	70.0	91.0	96.0	87.0
4	55.0	45.0	94.0	95.0	79.0
5	93.0	82.0	94.0	96.0	93.0
6	69.0	21.0	55.0	67.0	51.0
7	97.0	81.0	85.0	84.0	83.0
8	65.0	48.0	94.0	95.0	82.0
9	98.0	21.0	40.0	83.0	59.0
10	80.0	55.0	94.0	95.0	86.0
11	85.0	87.0	87.0	96.0	90.0
12	32.0	41.0	60.0	71.0	57.0
13	81.0	32.0	46.0	81.0	63.0
14	55.0	59.0	36.0	85.0	61.0
15	57.0	78.0	34.0	88.0	68.0
16	46.0	29.0	91.0	94.0	72.0
17	97.0	98.0	93.0	97.0	96.0
18	78.0	95.0	95.0	97.0	94.0
19	88.0	97.0	95.0	97.0	96.0
20	62.0	44.0	46.0	82.0	62.0
21	44.0	58.0	70.0	67.0	63.0
22	50.0	54.0	86.0	88.0	70.0

3.4 Determinación de la relación entre los índices de satisfacción hídrica y los rendimientos.

3.4.1. Prólogo

Mediante regresiones múltiples entre la disminución relativa del rendimiento teórico $(1-RR/RT)$ y el déficit hídrico $(1-ETR/ETM)$ se obtuvieron los siguientes resultados.

Por analogía con los estudios presentados por la FAO en 1985, se intenta establecer una relación del tipo:

$$(1 - RR / RT) = a * (1 - ISHC) + b.$$

si se trabaja con el índice de satisfacción promedio,

$$(1 - RR / RT) = a_1 * (1 - ISH_1) + a_2 * (1 - ISH_2) + \dots + b$$

si se trabaja con los índices de satisfacción de cada fase.

Donde:

- RR es el rendimiento realmente alcanzado al final del ciclo
- RT es el rendimiento teórico según los cálculos del PDTAT
- ISH son los índices de satisfacción de las necesidades hídricas
- a, a₁, ... y b son los coeficientes que estamos buscando.

El análisis de correlaciones nos proporciona la matriz siguiente:

	DEF1	DEF2	DEF3	DEF4	DEFC
DEF1	1.000				
DEF2	0.230	1.000			
DEF3	0.349	0.492	1.000		
DEF4	0.547	0.487	0.555	1.000	
DEFC	0.531	0.796	0.834	0.813	1.000
RREL	0.434	0.557	0.416	0.476	0.602

donde:

$$DEF1 = (1 - ISH_1)$$

$$DEF2 = (1 - ISH_2)$$

$$DEF3 = (1 - ISH_3)$$

$$DEF4 = (1 - ISH_4)$$

$$DEFC = (1 - ISHC)$$

$$RREL = (1 - RR / RT)$$

Se observa que los coeficientes de correlación son todos relativamente bajos; el más alto de todos se obtiene con el índice promedio en todo el ciclo, con 0.602. Estamos lejos de explicar toda la diferencia entre los rendimientos teóricos del PDTAT y los rendimientos reales obtenidos.

3.4.2. Relación con el índice promedio sobre el ciclo

La regresión correspondiente nos arroja los resultados siguientes:

$$(1 - RR / RT) = 0.0064 * (1 - ISHc) + 0.4505$$

Los resultados completos del análisis están presentados en el anexo #3. Indican, entre otras cosas, que la existencia de una relación entre la disminución relativa de rendimiento y el déficit hídrico está segura (0.39 % de probabilidad de equivocarnos al afirmar esto).

En la gráfica correspondiente (figura #13), se aprecia como la tendencia de los puntos al aumentar el déficit hídrico se desvia de la recta; esto se puede explicar debido a que en este momento existen otros factores que afectan al rendimiento que están influenciados directa o indirectamente por la falta de humedad (ej. la presión de plagas es mayor en condiciones de baja humedad); esta disminución relativa del rendimiento ocasionada indirectamente por el déficit hídrico no está reflejada en esta relación sino, que fué tomada en cuenta en el cálculo del rendimiento teórico.

3.4.3. Relación con los índices de los cuatro períodos

Una regresión múltiple con los índices de déficit registrados en cada uno de los períodos nos arroja los resultados siguientes:

1. Por las correlaciones relativamente altas entre los diferentes índices y más bajas con la disminución relativa de rendimiento, sólo un índice entra en la regresión (ISH2, los otros tres no aportan ninguna información suplementaria en la explicación de los rendimientos).

2. La relación final es la siguiente:

$$RREL = 0.002 (DEF1) + 0.0023 (DEF2) + 0.0005 (DEF3) + 0.0014 (DEF4) + 0.4214$$

No aporta mucha información adicional con respecto al análisis anterior.

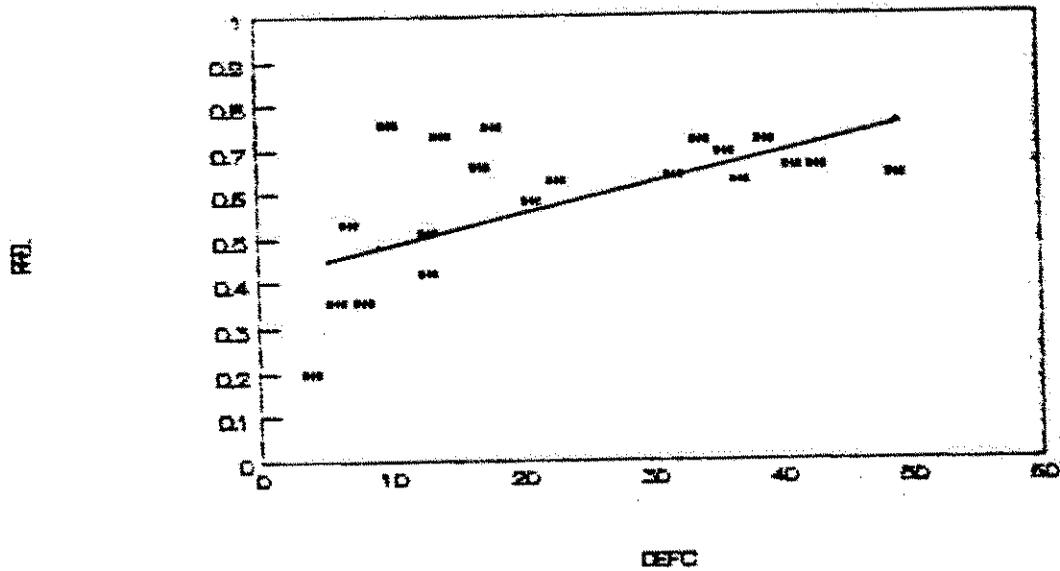


figura #13 : Correlación entre los deficits hídricos del ciclo (DEFC) y la disminución relativa del rendimiento (RREL).

IV CONCLUSIONES

Se ha separado las conclusiones en dos grandes ámbitos, el primero que abarca las observaciones referentes al modelo de balance hídrico, y el segundo que considera la relación entre rendimientos y abastecimiento hídrico.

4.1. Acerca del modelo utilizado.

- El modelo de Balance Hídrico utilizado presenta una sobre-estimación de la reserva del suelo que está al alcance de las raíces del cultivo al inicio del desarrollo del cultivo lo cual en condiciones de estrés lleva a considerar valores de ETR mayores de las reales.

- El modelo de balance hídrico subestima la ETR en los primeros 15 días después de la siembra debido a una mala estimación de la evaporación por parte del submodelo de evaporación en suelo desnudo. Esto no se puede corregir solamente con los coeficientes de cultivo; en efecto, este submodelo trabaja en otros momentos, por ejemplo interviene en la constitución de la reserva en agua del suelo antes de la siembra. Es propiamente este submodelo que hay que modificar.

- A pesar de la primera observación negativa, cabe insistir en que el modelo utilizado es de poca aplicabilidad a condiciones específicas de un año, sobre todo cuando se requiere de resultados muy precisos y tampoco ha sido elaborado a este fin. Arroja resultados satisfactorios cuando se utiliza sobre una serie larga de años (estudios de zonificación, determinación de períodos óptimos de siembra).

4.2. Acerca de la relación entre satisfacción hídrica y rendimientos

- No es de extrañarse tanto que no se obtenga una relación que considere todos los índices de los diferentes periodos; en efecto, por haber trabajado con un solo año climático, se tomaron en cuenta déficits esencialmente durante una fase del cultivo (fase de desarrollo en este caso).

- El seguimiento técnico que teníamos a nuestra disposición ha resultado ser relativamente poco variado (con la excepción de las densidades de población): globalmente, no existían diferencias muy grandes entre las parcelas. Esto puede resultar de una homogeneidad efectiva de las condiciones de la producción en las fincas del PDTAT de la región IV, o del carácter globalmente subjetivo de las observaciones técnicas. En todos los casos, no nos compete concluir sobre este tema.

- El número total de las fincas que se pudieron seleccionar resultó decepcionante. Efectivamente, se había contado con 150 fincas de seguimiento. Se disponía efectivamente de 150 pluviómetros para equipar el PDTAT.

V RECOMENDACIONES

- 1.- Mantener todavía cierto nivel de prudencia en la utilización de la relación que se estableció, ya que no cuenta con el respaldo suficiente, y que no consideró una variabilidad de situaciones suficientemente amplia como para pretender a algún tipo de generalización.
- 2.- Utilizar para estudios que requieren gran precisión modelos más específicos que permitan explicar mejor lo sucedido, por ejemplo el modelo de crecimiento del maíz CERES
- 3.- Desarrollar estudios similares a este sobre un mayor número de años con el fin de abarcar mayor variabilidad tanto intra como inter-anual y además de obtener una muestra lo suficientemente grande. Este tipo de estudios se pueden realizar en el mismo PDTAT aprovechando y mejorando las herramientas con que cuenta y con la colaboración del PNA.

VI BIBLIOGRAFIA

- AGROMETEOROLOGIA, (1988). Calibración de un modelo de balance hídrico, balance y perspectivas. Págs.20.
- CATASTRO E INVENTARIO DE RECURSOS NATURALES DE NICARAGUA, (1971). Levantamiento de Suelos de la Región Pacífica de Nicaragua. Vol. II parte 1 y 2 Ministerio de Agricultura y Ganadería, Managua, Nicaragua.
- C.I.E.H., IRAT, (1983). Valorisation agricole des ressources pluviométriques, synthese de l'atelier tenu á ouagadougoudu (1982).
- DULCIRE M. (1988). Un primer diagnostico del cultivo del maíz en la región IV de Nicaragua. DATDA/DGTA, DSA/CIRAD. Managua 1988. Págs.45.
- FAO, (1980). Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Relaciones entre el agua y rendimientos de los cultivos. Roma (1980). Pags.233.
- FARATS.A (1989). Seguimiento Hídrico del frijol a nivel de una pequeña región y calibración de un modelo de balance hídrico. IRAT - CIRAD. Págs.48.
- FOREST F.(1984). Simulation du Bilan Hydrique des Cultures Pluviales. Presentation et Utilisation du logiciel BIP IRAT/CIRAD.
- INRA, (1984). Crop water requirements INRA, PARIS (1985). Págs. 927.
- MAG, (1990). Requerimientos de agua de los cultivos DSA - CIRAD. Managua, 1990. Págs. 17.
- ROBLETO C. (1990). Diagnostico agronómico de maíz de riego en la II región en 1988. Págs. 55.

TORREZ H. Y LIABRE F,(1990). Evolución agronómica y económica de los efectos del PDTAT, zona de Masaya IV región, DGTA - CIRAD, Managua, Nicaragua. Págs. 70.

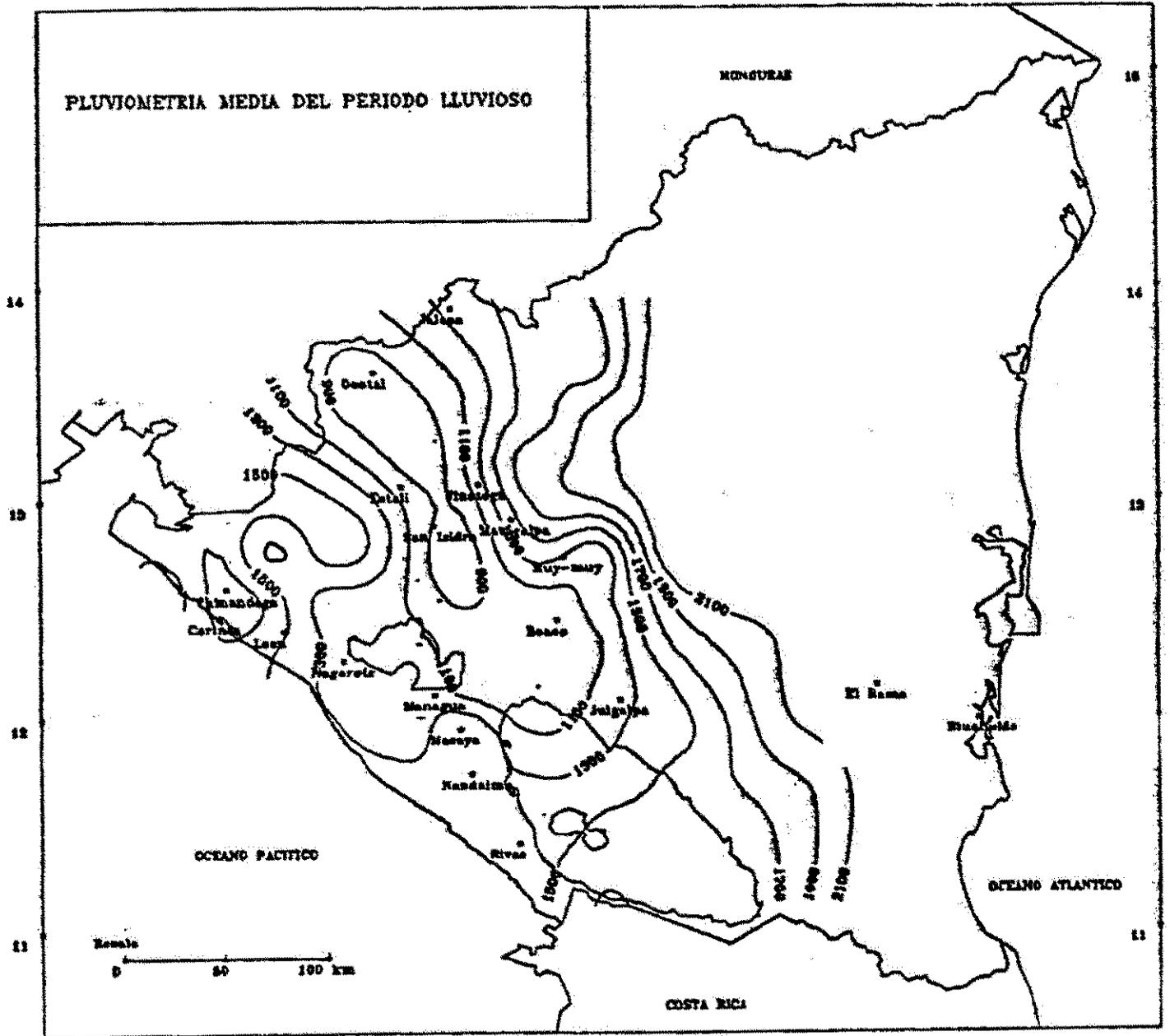
UMANA E.(1990). Evaluación del comportamiento de un modelo de simulación de balance hídrico en cuatro fincas de la región IV de Nicaragua. Págs.67.

VII ANEXOS

Anexo #1 : Lista de Cooperativas seleccionadas y su ubicación.

			coordenadas geodésicas	
1	COOPERATIVA	PEDRO ARAUZ	611.0	316.0
2	COOPERATIVA	ARNOLDO GURRERO	600.5	332.0
3	COOPERATIVA	ROGER MENDOZA	598.5	330.5
4	COOPERATIVA	CARLOS FONSECA A.	600.5	332.5
5	COOPERATIVA	BENJAMIN ZELEDON	599.5	315.5
6	COOPERATIVA	ELVIN CASTRO	596.5	330.5
7	COOPERATIVA	PABLO EMILIO S.	590.0	334.0
8	COOPERATIVA	ROLANDO CAJINA	335.5	589.5
9	COOPERATIVA	OSCAR ROBELO #1	601.5	328.0
10	COOPERATIVA	ALBINO CHAVARRIA	627.0	327.0
11	COOPERATIVA	FRANCISCO PICADO	604.5	327.0
12	COOPERATIVA	RAFAEL JOYA	614.5	314.0
13	COOPERATIVA	BENJAMIN MERCADO	607.0	324.0
14	COOPERATIVA	HERMANOS CHAVEZ	610.0	326.5
15	COOPERATIVA	ANDRES CASTRO	605.6	300.4
16	COOPERATIVA	H Y M DE NANDAIME	605.8	305.7
17	COOPERATIVA	U.FTE LA ABRESION	607.2	291.4
18	COOPERATIVA	GERMAN POMARES #1	587.7	307.9
19	COOPERATIVA	ALVARO RAMIREZ #1	593.8	305.4
20	COOPERATIVA	CARLOS CRUZ	591.7	306.8
21	COOPERATIVA	FRANCISCO GUTIRREZ	579.5	299.5
22	COOPERATIVA	SANTOS BISMARCK	601.0	324.0

Anexo #2 : Mapa de isohiétas de precipitaciones históricas anuales.



Anexo #3

---REGRESION MULTIPLE---

NUMERO DE INDIVIDUOS : 22 NUMERO DE VARIABLES : 6
 NUMERO DE INDIVIDUOS LEIDOS 22 NUMERO DE INDIVIDUOS PROCESADOS 22
 NUMERO DE VALORES FALTANTES 0 NUMERO DE CASOS VALIDOS 22

---DESCRIPCION DE LAS VARIABLES---

VARIABLE	PROMEDIO	VARIANZA	DESV.-EST.
1. def1	23.364	338.242	18.391
2. def2	41.500	763.500	27.632
3. def3	24.545	511.403	22.614
4. def4	11.273	96.113	9.804
5. defc	23.000	210.762	14.518
6. rrel	0.597	0.024	0.154

---MATRIZ DE LAS CORRELACIONES---

	1 def1	2 def2	3 def3	4 def4	5 defc
def1	1.000				
def2	0.230	1.000			
def3	0.349	0.492	1.000		
def4	0.547	0.487	0.555	1.000	
defc	0.531	0.796	0.834	0.813	1.000
rrel	0.434	0.557	0.416	0.476	0.602

REGRESION NO : 1 --- VARIABLE DEPENDIENTE 6. rrel

---VARIABLES EN LA ECUACION---

NOMBRE	B	ERROR BETA	EST. EN B	r**2 PARCIAL	F PROBA (%) (1, 17) EN F
1. def1	0.0022	0.2660	0.0019	0.078	1.439 24.56
2. def2	0.0023	0.4194	0.0012	0.173	3.545 7.40
3. def3	0.0005	0.0681	0.0016	0.005	0.085 77.11
4. def4	0.0014	0.0883	0.0041	0.007	0.115 73.77
CONSTANTE	0.4214				

---PARAMETROS GENERALES---

ERROR EST. DE LA ESTIMACION = 0.1300
 COEF. CORR MULTIPLE (R) = 0.6477
 R**2 = 0.4195

---ANALISIS DE VARIANZA---

FUENTE	S.C.	G.D.L.	CUAD. MED.	F	PROBA (%)
TOTAL	0.495	21			
REGRESION	0.208	4	0.052	3.072	4.46
RESIDUAL	0.287	17	0.017		

REGRESION NO : 2 --- VARIABLE DEPENDIENTE 6. rrel

---VARIABLES EN LA ECUACION---

NOMBRE	B	BETA	ERROR EST. EN B	r**2 PARCIAL	F (1, 20)	PROBA (%) EN F
5. defc	0.0064	0.6019	0.0019	0.362	11.364	0.31
CONSTANTE	0.4505					

---PARAMETROS GENERALES---

ERROR EST. DE LA ESTIMACION = 0.1256
 COEF. CORR MULTIPLE (R) = 0.6019
 R**2 = 0.3623

---ANALISIS DE VARIANZA---

FUENTE	S.C.	G.D.L.	CUAD. MED.	F	PROBA (%)
TOTAL	0.495	21			
REGRESION	0.179	1	0.179	11.364	0.31
RESIDUAL	0.316	20	0.016		

Anexo #4 : Densidades aparentes encontradas en los cuatro sitios de medición.

Profundidad	Macario Brenes	Róger Mendoza	Eulogio L. Panamá	Rojas L. Cañalito
10 cm.	0.74	0.79	1.13	1.20
20 cm.	0.74	0.79	1.13	1.20
30 cm.	0.73	0.79	1.10	1.09
40 cm.	0.73	0.65	1.00	1.00
50 cm.	0.75	0.65	0.75	1.00
60 cm.	0.75	0.63	0.75	1.00
70 cm.	0.75	0.63	0.72	0.90
80 cm.	0.53	0.61	0.72	0.79
90 cm.	0.53	0.61	0.72	0.79
100 cm.	0.53	0.70	0.72	0.79

Anexo #5 : Indices de satisfacción hidrica simulados y calculados con la ETR medida.

	PERIODOS	ISH 1a simul	ISH 2a simul	ISH con ETR med.
COOPERATIVA ROGER MENDOZA	0-15 dds	100%	82%	*
	16-45 dds	84%	30%	43%
	46-60 dds	89%	93%	81%
	61-110 dds	96%	96%	98%
COOPERATIVA EULOGIO ROJAS (LOTE PANAMA)	0-15 dds	100%	97%	*
	16-45 dds	86%	60%	67%
	46-60 dds	91%	88%	75%
	61-110 dds	94%	94%	87%
COOPERATIVA EULOGIO ROJAS (LOTE CAÑALITO)	0-15 dds	100%	97%	*
	16-45 dds	86%	60%	70%
	46-60 dds	91%	88%	*
	61-110 dds	94%	94%	*