

Attack. #1
Final Report

XD-ABH-127-A

Isn 85127

AQUA

MODELO DE BALANCE HIDRICO PARA AGRICULTURA TROPICAL

VERSION 1.0

Ricardo Radulovich

Fernando Sánchez



Editorial de la Universidad de Costa Rica

189-

Edición aprobada por la Comisión Editorial de la Universidad de Costa Rica

Primera edición: 1993

(C) Ricardo Radulovich /
Fernando Sánchez

631.702.85
R-132a

Radulovich, Ricardo

AQUA: modelo de balance hídrico para agricultura tropical / Ricardo Radulovich, Fernando Sánchez. --
Versión 1.0 -- San José, C.R. : Editorial de la Universidad de Costa Rica, 1993.

p. : il.

ISBN 9977-67-224-5

1. AQUA (Programa para computador) - Manuales.
I. Sánchez, Fernando, coautor. II. Título.

CCC/BUCR-347

Prohibida la reproducción total o parcial.
Todos los derechos reservados.

190

INDICE.

SECCION	PAGINA
1. INTRODUCCION.....	1
2. DESCRIPCION DEL MODELO.....	4
2.1 BALANCE HIDRICO.....	4
2.1.1 CALCULO DE ADC_N	5
2.1.2 CALCULO DE ETR_N , T_N Y D_N	7
2.1.3 VARIABLES.....	8
2.2 INDICES.....	8
2.3 DURACION DEL AÑO AGRICOLA.....	10
2.3.1 FECHA MAS TEMPRANA DE SIEMBRA.....	10
2.3.2 ULTIMA FECHA A CAPACIDAD DE CAMPO.....	11
2.4 RIEGO.....	12
2.5 ANALISIS DE PRECIPITACION.....	12
3. FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA.....	14
3.1 GENERALIDADES E INSTALACION.....	14
3.2 ESTRUCTURA GENERAL DE AQUA.....	15
3.3 OPCION DE DATOS.....	17
3.3.1 CULTIVOS.....	19
3.3.1.1 Duración efectiva.....	19
3.3.1.2 Tipo de cultivo.....	19
3.3.1.3 Tipo de dato.....	20
3.3.1.4 Etapas.....	20
3.3.2 CAPAS.....	21
3.3.3 PERFILES.....	21
3.3.4 ESTACIONES METEOROLOGICAS.....	21
3.3.5 ETP.....	21

3.3.5.1 ETP Diaria.	22
3.3.5.2 ETP Mensual.	22
3.3.5.3 ETP Promedio.	22
3.3.6 LLUVIA.	23
3.3.7 SIEMBROS.	24
3.3.8 DESCRIPCION DE LAS LISTAS DE DATOS.....	24
3.4 OPCION DE ANALISIS.	28
3.4.1 BALANCE.	28
3.4.1.1 Incremento de tiempo.	28
3.4.1.2 Datos de balance.....	30
3.4.1.3 Efectuar el cálculo.	30
3.4.1.4 Reporte en... ..	30
3.4.2 PRECIPITACION.	31
3.4.2.1 Incremento de tiempo.	31
3.4.2.2 Datos de precipitación.....	31
3.4.2.3 Días con y sin lluvia.....	32
3.4.2.4 Correlación de períodos.	32
3.4.2.5 Acumulados.	32
3.4.2.6 Lluvia probable.....	32
3.4.2.7 Criterios.....	33
3.4.3 FECHA MAS TEMPRANA DE SIEMBRA.	33
3.4.3.1 Datos de fecha más temprana.	33
3.4.3.2 Efectuar cálculo.	33
3.4.3.3 Criterios.....	34
3.4.3.4 Reporte.....	34
3.4.4 ULTIMO DIA A CAPACIDAD DE CAMPO.	35
3.4.4.1 Datos de último día a CC.....	35
3.4.4.2 Efectuar cálculo.	35
3.4.4.3 Reporte.....	35
3.4.5 RIEGO.....	36
3.4.5.1 Datos para el calendario.	36
3.4.5.2 Efectuar cálculo.	36

3.4.5.3 Criterios.....	36
3.4.6 OPCIONES.....	37
3.4.6.1 Datos dudosos.....	37
3.4.6.2 Agua hasta PMP.	37
3.4.6.3 Tipo de ETP.....	37
3.4.7 SIEMBROS.	38
3.4.8 GRAFICOS.....	38
3.4.8.1 Gráfico actual.	38
3.4.8.2 Tipo de gráfico.....	41
3.4.8.3 Incremento de tiempo.	41
3.4.8.4 Código del vértice.	42
3.4.8.5 Gráfico inverso.	42
3.4.8.6 Gráfico por impresora.	42
3.4.8.7 Generar el gráfico.....	42
3.4.9 DISPOSITIVO.....	43
3.4.9.1 Pantalla.....	43
3.4.9.2 Impresora.....	43
3.4.9.3 Disco.....	43
3.5 OPCION DE UTILITARIOS.	43
3.5.1 DIRECTORIO DE DATOS.	44
3.5.2 RECUPERAR INDICES.....	44
3.5.3 IMPORTAR ARCHIVOS ASCII.....	44
3.5.3.1 CliCom.	44
3.5.3.2 Columnar.	45
4. USO Y APLICACIONES.	48
4.1 INTRODUCCION.	48
4.2 PRESENTACION.	49
4.3 SECCION DE UTILITARIOS.....	51
4.3.1 DIRECTORIO DE DATOS.	51
4.3.2 RECUPERACION DE INDICES DE LOS DATOS.	52
4.3.3 IMPORTACION DE ARCHIVOS ASCII.	52

4.4 SECCION DE DATOS.....	57
4.4.1 CULTIVOS.....	58
4.4.2 CAPAS DE SUELO.....	61
4.4.3 PERFILES DE SUELO.	62
4.4.4 ESTACIONES METEOROLOGICAS.	63
4.4.5 EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL.....	64
4.4.6 LLUVIA.	68
4.4.7 SIEMBROS.	70
4.5 SECCION DE ANALISIS.	72
4.5.1 BALANCE HIDRICO.....	73
4.5.1.1 Datos de balance.....	74
4.5.1.2 Efectuando el cálculo.	77
4.5.1.3 Análisis del balance de una región.	81
4.5.1.4 Análisis de secuencias de cultivos.	87
4.5.2 PRECIPITACION.	90
4.5.2.1 Incremento de tiempo.	91
4.5.2.2 Datos de precipitación.....	92
4.5.2.3 Días con y sin lluvia.....	94
4.5.2.4 Correlación de períodos.....	97
4.5.2.5 Acumulados.	101
4.5.2.6 Lluvia probable.....	104
4.5.2.7 Criterios de precipitación.	107
4.5.3 FECHA MAS TEMPRANA DE SIEMBRA.	108
4.5.3.1 Datos de fecha más temprana de siembra.	109
4.5.3.2 Efectuando el cálculo.	110
4.5.3.3 Criterios de fecha más temprana.	116
4.5.4 ULTIMO DIA A CAPACIDAD DE CAMPO.	117
4.5.4.1 Datos para último día a capacidad de campo.	118
4.5.4.2 Efectuando el cálculo.	119

4.5.5 CALENDARIO DE RIEGO.....	123
4.5.5.1 Datos para el calendario.....	124
4.5.5.2 Efectuando el cálculo.....	125
4.5.5.3 Criterios para el calendario de riego.....	128
4.5.6 OPCIONES PARA EFECTUAR LOS ANALISIS.....	129
4.5.7 SIEMBROS.....	130
4.5.8 GRAFICOS.....	130
4.5.8.1 Gráfico actual.....	131
4.5.8.2 Tipo de gráfico.....	132
4.5.8.3 Código del vértice.....	133
4.5.8.4 Gráfico inverso y gráfico por impresora.....	133
4.5.8.5 Ejemplos de gráficos.....	134
4.5.9 DISPOSITIVO DE SALIDA.....	145
5. BIBLIOGRAFIA.....	149

RECONOCIMIENTOS.

El modelo AQUA, versión 1.0, ha sido desarrollado gracias al aporte financiero de:

- Escuela de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Costa Rica.
- Programa de Cooperación Científica y Tecnológica de la Agencia para el Desarrollo Internacional, E.E.U.U.
- Fondos de Investigación McNamara, Banco Mundial, Washington, E.E.U.U.

Agradecemos muy especialmente al Lic. Reinaldo Pineda L. por su valiosa colaboración en la programación del modelo y al Ing. Rodolfo Chaves por su gran aporte en la validación de campo.

Su distribución se realiza sin fines de lucro. Su uso es libre mientras se otorgue el crédito adecuado en publicaciones, presentaciones y reportes. La cita a utilizar es:

Radulovich, R. y F. Sánchez. 1993. AQUA, modelo de balance hídrico para agricultura tropical. Versión 1.0. Editorial Universidad de Costa Rica, San José. 150 p.

Se invita a los usuarios a registrarse utilizando el formulario adjunto o con:

Ricardo Radulovich
Escuela de Ingeniería Agrícola
Universidad de Costa Rica
San José, Costa Rica.

Con el objetivo de mejorar y ampliar el modelo, se agradece el envío de comentarios y sugerencias, así como copias de los trabajos en los que se ha utilizado el mismo.

1996

a Mile

a María

1. INTRODUCCION.

El agua es uno de los factores ambientales que más limitan el uso racional de las tierras agrícolas, particularmente en los trópicos, en donde la temperatura media es estable a través del año y la estacionalidad es dictada principalmente por el agua. Considerando la enorme variabilidad espacio-temporal de la precipitación y las limitaciones que presenta el desarrollo generalizado del riego, es necesario un entendimiento y aprovechamiento sistemático del agua de lluvia para un buen desempeño de las labores agrícolas.

En el trópico semiseco (o húmedo-seco), como es el caso de la mayor parte de la vertiente del Pacífico de Centro América, se presenta un régimen de lluvias bimodal caracterizado por una época seca prolongada y otra lluviosa (Figura 1.1). El año agrícola de secano (sin riego) se define entonces como el período entre el inicio de las lluvias y el fin de éstas, aunque en realidad comienza antes, con las lluvias pre-estación y continúa por un período variable después de las lluvias, con los cultivos creciendo con el agua almacenada en los suelos más lluviosos post-estación.

La época de lluvias presenta variaciones importantes en cantidad y distribución, que incluyen el fenómeno conocido como "veranillo", el cual consiste en una disminución de la precipitación, variable en intensidad y duración, así como geográficamente. Se presenta también el caso de meses con precipitaciones excesivas, como son junio, setiembre y octubre.

Este comportamiento tan complejo de las lluvias es frecuentemente perjudicial a la productividad agrícola, más aún si las siembras no se planifican adecuadamente (Radulovich, 1990). En este sentido, el aprender a utilizar óptimamente el agua de lluvia representa una poderosa herramienta para aumentar y estabilizar los rendimientos (Carmona y Radulovich, 1988; Radulovich, 1989). Para ésto, el modelo AQUA se ha desarrollado como una herramienta para diseñar y evaluar estrategias que permitan enfocar eficazmente la problemática desde varias perspectivas, particularmente en función de:

- estrategias de siembra para confrontar mejor los períodos críticos de déficit y exceso hídricos;
- maximización del aprovechamiento de las lluvias cuando son escasas;
- maximización del aprovechamiento del agua almacenada en el suelo;
- caracterización regional;
- aplicaciones a aspectos de planificación y proyección de rendimientos (seguridad alimentaria y seguros de cosecha);
- interfase con riego.

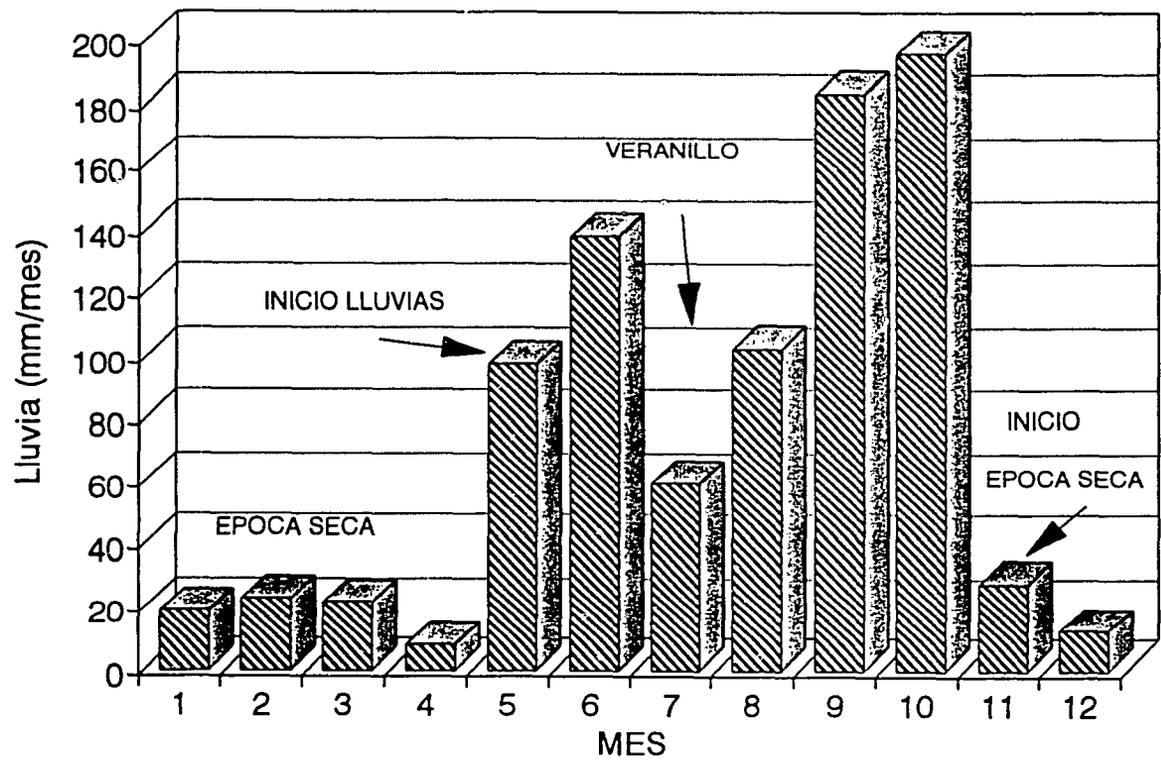


Figura 1.1. Lluvia promedio para la Estación Meteorológica La Central (Estación Fabio Baudrit), Alajuela, Costa Rica.

1997

El uso del modelo y los beneficios que se deriven de él dependen, por supuesto, de la imaginación y tenacidad del usuario en la búsqueda de soluciones y alternativas de producción que mejor se adapten a las características biofísicas y socio-económicas del entorno.

Los cálculos y orientación de este modelo de balance hídrico computarizado siguen los lineamientos del proyecto de investigación "Optimización Hídrica de la Agricultura Tropical de Secano", de la Escuela de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Costa Rica, en convenio con la Agencia para el Desarrollo Internacional de los E.E.U.U (Programa para la Cooperación Científica y Tecnológica), las cuales financiaron el Proyecto. Una etapa preliminar del mismo se desarrolló con financiamiento del Banco Mundial. Básicamente los objetivos del Proyecto fueron proveer a los usuarios de una herramienta flexible, poderosa y fácil de usar, adaptada a los datos climáticos, de cultivos y de suelos usualmente disponibles en el Trópico Latinoamericano. Por esta razón, tanto la información requerida para utilizar el modelo como los resultados del mismo se adaptan a un enfoque pragmático, que es fomentar su uso en pos de los beneficios derivables actualmente, sin esperar un refinamiento en la disponibilidad de datos para ofrecer un modelo más sofisticado que posiblemente brindaría resultados más precisos.

Es así como la aplicación del modelo presenta algunas restricciones. Particularmente, destaca el hecho de que el modelo difícilmente explicará el rendimiento de un siembro individual a menos que éste haya estado afectado principalmente por déficit y/o exceso hídrico, lo cual es poco probable ya que la maraña de interacciones físicas y biológicas difícilmente excluyen otros componentes explicativos del rendimiento (por ej., nutrientes, plagas, malezas). Fundamentado en el concepto de que a nivel regional el agua se convierte en el común denominador que afecta los rendimientos de un cultivo, con las otras variables compensándose unas a otras (ver Radulovich, 1989), el modelo ha sido desarrollado y validado con excelentes resultados (Radulovich, 1987a y 1990) para explicar la variabilidad de rendimientos a un nivel de región. De allí, es posible extrapolar recomendaciones para el nivel de finca, aunque la multitud de aplicaciones a nivel regional constituyen por sí mismas un amplio objetivo.

En este manual del usuario se ilustran y ejemplifican las múltiples aplicaciones del modelo; sin embargo, para una mayor comprensión de su conceptualización, validación y aplicaciones, el usuario es invitado a estudiar la siguiente literatura citada en la Bibliografía: Carmona, 1986; Carmona y Radulovich, 1988; Espinoza, 1992; Mena, 1993; Radulovich 1986, 1987a, 1989 y 1990; Radulovich et al., 1989; Sánchez, 1991; Sánchez y Radulovich, 1992.

2. DESCRIPCION DEL MODELO.

2.1 BALANCE HIDRICO.

La ecuación básica para el cálculo del balance hídrico, parte central de este programa, es:

$$B_N = B_{N-1} + PPT_N - ETR_N + (ADC_N - ADC_{N-1}) \quad (2.1)$$

donde:

- B_N = balance hídrico, expresado como la cantidad de agua (mm) disponible en el suelo para el cultivo al final del día N, su límite superior es capacidad de campo;
- N = día del ciclo efectivo de crecimiento del cultivo desde la fecha de siembra;
- PPT_N = precipitación efectiva (mm) durante el día N;
- ETR_N = evapotranspiración real del cultivo (mm) durante el día N;
- ADC_N = agua fácilmente disponible para el cultivo (mm) en el día N.

El balance hídrico siempre se lleva a cabo sobre lo que se denomina SIEMBRO, que se define como un área sembrada en una misma fecha de un único cultivo y que posee un único perfil de suelo; el área sembrada es tal que su clima puede ser descrito en base a un único juego de datos climáticos, es decir, en base a los datos de una sólo estación meteorológica. Para efectos prácticos, el siembro puede ser desde un área pequeña en una finca hasta todas las siembras del mismo cultivo en una ecorregión (conformada por similitud espacial en clima y suelos).

Este balance se efectúa generalmente durante el CICLO EFECTIVO DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO, definido como el número de días requeridos por el mismo para pasar del momento de la siembra a la madurez efectiva. La madurez efectiva se da cuando la parte cosechable adquiere independencia de la planta y no hay más requerimientos de agua, aunque el cultivo permanezca en el campo.

Para la PRECIPITACION EFECTIVA usada en la ecuación (2.1) se utiliza el valor medido diariamente (en mm). Si la PPT_N es mayor a lo que le falta al balance B_N para alcanzar su valor máximo, se considera la cantidad en exceso como perdida por escorrentía o percolación; es decir, toda PPT_N primero repone el agua de B_N y el resto se desprecia. Esta simplificación puede no ser aceptable en suelos de muy baja tasa de infiltración.

El método de balance hídrico aquí utilizado considera el suelo a capacidad de campo el día de la siembra. Esta simplificación se justifica ya que se inicia el cálculo con períodos de suficiente precipitación para recargar las capas superficiales del suelo. Al comenzar el cálculo, el balance se toma con un valor inicial igual al agua disponible (diferencia entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente) modificado por la capacidad de extracción del cultivo, o coeficiente de agotamiento (estos términos son explicados con más detalle posteriormente).

El término $(ADC_N - ADC_{N-1})$ en la ecuación (2.1) es para simular el hecho de que más agua se va haciendo disponible conforme las raíces crecen en profundidad, penetrando suelo que se asume a capacidad de campo.

Conforme transcurre el tiempo N, diferentes variables que determinan la ADC_N o la ETR_N , como el coeficiente de agotamiento de agua del suelo (CA_N), profundidad de raíces (PR_N) y coeficiente de evapotranspiración del cultivo ($k_{C,N}$), varían, lo cual debe tomarse en cuenta al estipular los cálculos.

2.1.1 CALCULO DE ADC_N .

El agua fácilmente disponible para el cultivo (mm) en el día N viene dado por (ver Figura 2.1):

$$ADC_N = CA_N * (\sum(AD_C * E_C) + AD_{UC} * RestoPR) \quad (2.2)$$

donde:

- AD_C = agua disponible en la capa número C del perfil del suelo (mm de agua por metro de suelo), que se define como el agua entre los puntos de capacidad de campo y marchitez permanente. Su valor fluctúa normalmente entre 50 y 200 mm/m;
- CA_N = coeficiente de agotamiento en el día N, que se define como la fracción del AD_C que puede consumirse sin que el cultivo sufra por déficit hídrico; este valor fluctúa generalmente entre 0.4 y 0.7 (Doorenbos y Pruitt, 1986);
- E_C = espesor de la capa número C (enésima) del suelo;
- UC = número de la última capa que toca la raíz;
- $RestoPR$ = longitud de la raíz que pertenece a la última capa que ha penetrado la raíz, sin atravesarla totalmente.

Nótese que para cada unidad de suelo, $ADC_N = AD_C * CA_N * E_C$.

El modelo permite la definición de perfiles de suelo, cada uno con un máximo de cinco capas, las cuales también puede definir el usuario.

2.02

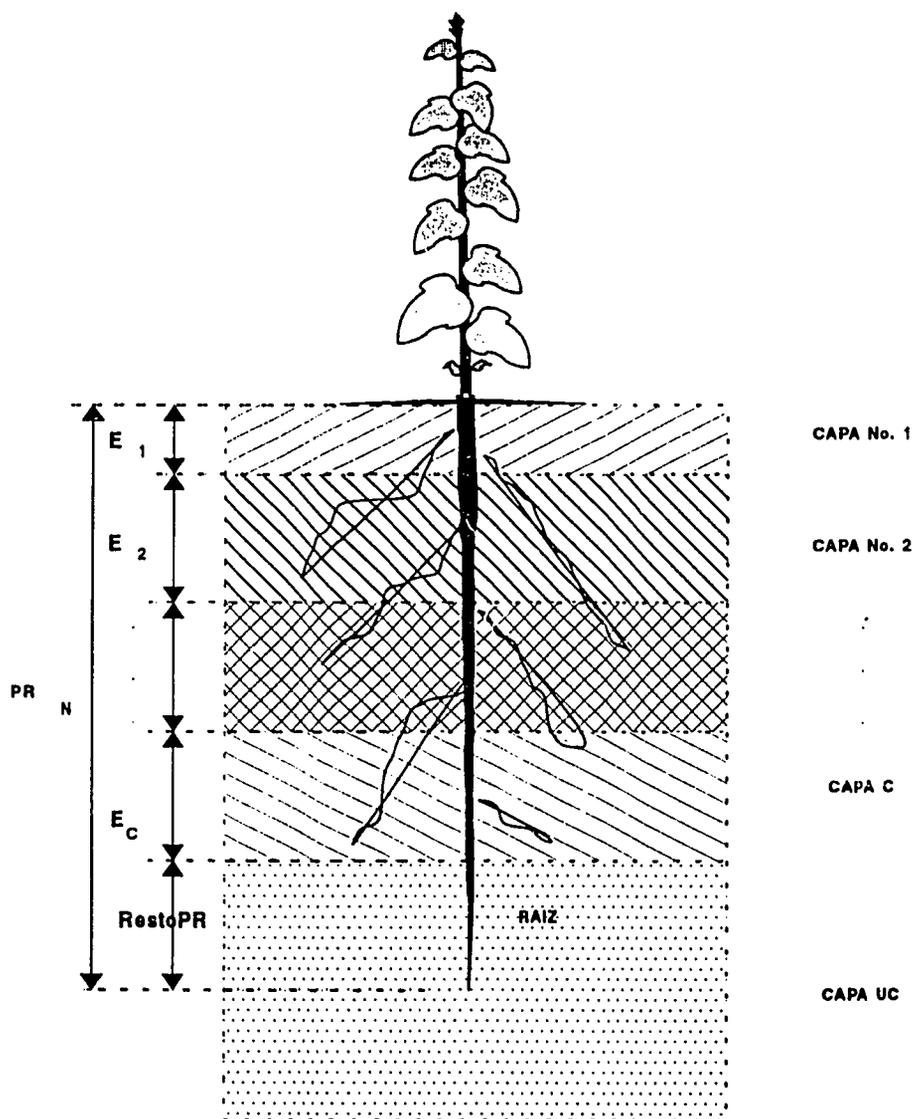


Figura 2.1. Esquema gráfico que explica algunas variables usadas para calcular ADCN (ver Ec. 2.2).

2027

2.1.2 CALCULO DE ETR_N , T_N Y D_N .

El método en que la evapotranspiración real del cultivo ETR_N se calcula según la forma en que se efectúe el balance hídrico: considerando sólo el ADC_N (uso más frecuente), o considerando el agua que se encuentra desde capacidad de campo (CC) hasta el punto de marchitez permanente (PMP), o sea, el agua disponible total para el cultivo T_N .

Cuando se toma en cuenta sólo el ADC_N (que es la forma que por defecto usa el modelo), el valor de ETR_N es igual a la ETC_N , que se calcula según la siguiente relación:

$$ETR_N = ETC_N = k_{C,N} * ETP_N \quad (2.3)$$

donde:

- ETC_N = evapotranspiración del cultivo (mm) durante el día N.
- $k_{C,N}$ = coeficiente k_C del cultivo en el día N, que depende de cada cultivo y de su estado de desarrollo; su valor varía normalmente entre 0.4 y 1.2 (Doorenbos y Pruitt, 1986).
- ETP_N = evapotranspiración potencial (mm) en el día N.

Ya que en muy pocas estaciones meteorológicas de la región se miden directamente variables para el cálculo de la ETP diaria, se recomienda utilizar un valor de ETP mensual calculado, el cual luego se transforma a valores diarios. Otra razón que permite el uso de valores mensuales de ETP es la poca variación diaria de la misma en nuestra zona climática, en comparación con la variación diaria de PPT_N (ver Radulovich 1987a).

En etapas más sofisticadas de uso del modelo, cuando se escoge usar el agua hasta PMP, la T_N se calcula usando la ecuación 2.2 con $CA_N = 1$, es decir, T_N representa toda el agua que puede extraer el cultivo aunque se haya iniciado el déficit hídrico. La cantidad de agua almacenada en el suelo que el cultivo puede aprovechar, pero con tal esfuerzo que se produce estrés por déficit hídrico, se denomina D_N , y viene dada por $(T_N - ADC_N)$.

Si se efectúa el balance tomando en cuenta el agua hasta PMP, la ETR_N es igual al valor de ETC_N si $B_N > D_N$, y se calcula con la siguiente ecuación si $B_N < D_N$.

$$ETR_N = ETC_N * B_N / D_N \quad (2.4)$$

La ecuación 2.4 indica que cuando el B_N es menor al agua fácilmente disponible (lo que implica que el cultivo entró en estrés por déficit hídrico y se están

contabilizando días con déficit hídrico), la ETR_N disminuye linealmente hasta que se agote toda el agua del suelo. Esta suposición se ajusta bastante a la realidad, dado un cierre gradual y progresivo de estomas cuando el cultivo entra en déficit hídrico. Esta consideración se fundamenta en investigación de campo que indica que el consumo de agua en estas condiciones puede ser incluso más allá de PMP (Radulovich, datos sin publicar).

2.1.3 VARIABLES.

Según se desprende de lo anterior, las variables necesarias para correr el modelo son (ver Cuadro 3.1 para más detalles):

- Estación meteorológica: nombre de la estación, su elevación, localización y tipo.
- PPT_N : datos diarios de 10 ó más años (preferiblemente) para cada estación meteorológica bajo estudio.
- ETP: promedio o mensual para los años en estudio.
- Datos de cultivo: para cada cultivo que el usuario desea estudiar, se deben definir de 1 a 7 etapas de cultivo, cada una con los valores de k_c , CA y PR para cada etapa, con sus respectivas duraciones.
- Perfiles de suelo: nombre del perfil y de 1 a 5 capas que lo conforman, cada una con su respectivo espesor.
- Capas de un perfil: nombre y su capacidad de almacenamiento de agua.
- Siembros: unidad básica que maneja el programa, en la cual se define un área con un único perfil de suelo, un sólo cultivo con una única fecha de siembra y cuyo clima se describe con una sólo estación meteorológica.

2.2 INDICES.

El cálculo de los índices de déficit, exceso y estrés permite estimar el potencial de una zona para la producción de un cultivo, así como estimar los períodos críticos del año desde el punto de vista hídrico (períodos de sequía o de exceso). Igualmente, este cálculo permite estimar cuál es la mejor secuencia de cultivos para una región, mediante una correlación lineal que puede realizarse entre índices y rendimientos obtenidos para la región. En caso de no existir una sólida base de datos sobre rendimientos, el análisis puede realizarse parcialmente, relativizando entre índices. Ya que los índices se estiman en función inversa de los días con estrés, a menores índices menores serán los rendimientos (ver Radulovich, 1987a y 1990).

Los índices están dados por las siguientes ecuaciones:

$$I_{Def} = ((DurEf - DDef) / DurEf) * 100 \quad (2.5)$$

$$I_{Exc} = ((DurEf - DExc) / DurEf) * 100 \quad (2.6)$$

$$I_{Est} = ((DurEf - DEst) / DurEf) * 100 \quad (2.7)$$

donde:

- I_{Def} = índice de déficit hídrico;
- $DurEf$ = duración efectiva del cultivo (ciclo efectivo de crecimiento);
- $DDef$ = días con déficit hídrico;
- I_{Exc} = índice de exceso hídrico;
- $DExc$ = días con exceso hídrico;
- I_{Est} = índice de estrés hídrico;
- $DEst$ = días con estrés hídrico ($DDef + DExc$).

Para determinar los índices, primero se calculan el número de días con déficit, exceso y estrés durante el ciclo efectivo de crecimiento del cultivo (u otro período seleccionado) mediante el uso del balance hídrico (Ec. 2.1).

Un DIA CON DEFICIT se da cuando se ha gastado el agua fácilmente disponible para el cultivo. Si no se está tomando en cuenta el agua hasta PMP, un día con déficit se da cuando el balance B_N es menor que cero. Si se hace el balance usando el agua hasta PMP (opción específica de uso limitado), dicho día se da si el balance B_N es menor al D_N .

Un DIA CON EXCESO es cuando el balance es mayor a su límite superior más la lámina de agua (llamada LAMINA PARA EXCESO en el programa) que se considera que produce estrés por exceso de agua en el cultivo (Radulovich, 1987 y 1990). Si el balance se realiza tomando en cuenta sólo el ADCN, el límite superior del balance es ADCN; si el balance se realiza tomando en cuenta el agua hasta PMP, el límite superior viene dado por TN. El límite superior del balance se da cuando el perfil del suelo se encuentra a capacidad de campo. Cada día que el valor del BN sobrepasa su límite superior, tras realizar los cálculos, BN se hace igual a su límite superior, pues se considera que el resto escurre o percola ese día.

El número de DIAS CON ESTRES es la suma de los días con déficit y los días con exceso. Esto implica que se reconocen tanto el déficit y el exceso hídrico como estrés hídrico, y ambos pueden darse durante un período dado (Radulovich, 1987a y 1990).

2.3 DURACION DEL AÑO AGRICOLA.

El cálculo de la fecha más temprana de siembra permite definir el inicio del año agrícola y utilizarlo para siembras tempranas. Por otro lado, la determinación de la última fecha del año en que el suelo es llevado a capacidad de campo por las lluvias de estación ayuda a definir la última fecha de siembra a partir de la cual un cultivo sobrevivirá únicamente con el agua almacenada en el suelo y las pocas lluvias restantes (Radulovich, 1989).

Estos cálculos ayudan a definir la duración del año agrícola de secano en una zona determinada, lo que permite un mejor planeamiento de las labores agrícolas requeridas y la estimación de las potencialidades de una zona para la producción agrícola. Por otro lado, sembrar temprano en el año generalmente permite evadir o enfrentar mejor los efectos adversos del veranillo (Carmona y Radulovich, 1988).

Tanto la fecha más temprana de siembra como el último día con el suelo a capacidad de campo son parámetros sumamente variables temporal y espacialmente, y definen el inicio y el fin de la estación de lluvias, respectivamente.

2.3.1 FECHA MAS TEMPRANA DE SIEMBRA.

Una fecha es considerada la fecha más temprana de siembra si es la primera del año en que se cumplen una serie de condiciones y características, que pueden ser variadas a criterio del usuario. A continuación se dan las condiciones que el programa utiliza por defecto, y se indican en letra mayúscula los nombres que se les dan dentro del programa en el menú de criterios de fecha más temprana de siembra (ver por ej., Figura 4.62):

- A. La precipitación (PPT) en la década (diez días) anterior al día de siembra debe ser mayor o igual a 30 mm (PRECIPITACION MINIMA EN DECADA ANTERIOR A LA SIEMBRA). Esta condición tiene el propósito de garantizar que la capa superior del suelo se encuentre cerca de capacidad de campo el día de la siembra. Además, es indicio parcial de un posible inicio cercano de las lluvias.
- B. Deben darse al menos 3 días (DIAS CON PPT MENOR A PPT MAXIMA) con precipitación menor o igual a 5 mm (PPT MAXIMA PARA LABORES) ó 2 días sin lluvia (DIAS CON PPT NULA), en la década anterior al día de siembra. Esta condición busca asegurarse que se puedan realizar las operaciones de campo.
- C. En los 20 días después de la siembra (DIAS PARA ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO), que corresponden a 5 días para emerger, en los que a escogencia del usuario no se contabilizan días con estrés, y 15 de establecimiento del cultivo, no se pueden presentar más de 2 días con déficit para cultivos resistentes al déficit hídrico, o más de 1 día con déficit

para cultivos susceptibles (DIAS PERMITIDOS CON DEFICIT). Para calcular el número de días con déficit se realiza el balance hídrico del cultivo siguiendo el procedimiento explicado en la sección anterior (Ec. 2.1). Esta condición sirve para garantizar que la fecha seleccionada es efectivamente seguida por el inicio formal de la estación de lluvias y para asegurar que el cultivo sobrevivirá la etapa de establecimiento.

D. Dado que en los 5 días antes de emerger lo que domina el proceso de evapotranspiración es la evaporación del suelo, se puede considerar que en esos días no es posible gastar toda el agua disponible para el cultivo, por lo que existe un AGUA RESIDUAL que permanece en el suelo hasta que el cultivo emerja y que puede ser utilizada en los demás días del establecimiento. Para cultivos resistentes se toma el AGUA RESIDUAL igual a 8 mm, y para susceptibles a 5 mm. Esta consideración es relevante sólo en el caso de que la precipitación sea mínima o nula una vez que se siembra.

En los ejercicios realizados para la región del Pacífico Norte y Central de Costa Rica, la fecha más temprana de siembra se encuentra generalmente después del mes de marzo, y más a menudo desde finales de abril hasta mediados de mayo, de acuerdo al patrón de lluvia que se presenta. Esto no es igualmente válido para otras zonas del país ni del mundo.

Los criterios expuestos pueden ser variados para satisfacer otras características de precipitación a disposición del usuario.

2.3.2 ULTIMA FECHA A CAPACIDAD DE CAMPO.

Para el cálculo de esta fecha se efectúa el balance hídrico a partir de una fecha en que se tiene seguridad que el suelo está a capacidad de campo. Para la Zona Central y el Pacífico Seco de Centro América, esta condición se da aún a principios del mes de octubre, e incluso llega a darse hasta finales de noviembre y principios de diciembre.

Para hacer el balance se utilizan los parámetros de un cultivo ya establecido. El balance se efectúa hasta pasado el final de la estación lluviosa (finales de diciembre en las zonas ya citadas), obteniéndose de esta forma la última fecha con el suelo a capacidad de campo, o sea, la última fecha de la estación de lluvias cuando B_N llega a ser igual a su límite superior.

2.4 RIEGO.

Otra utilidad del programa es en la operación y diseño de sistemas de riego, ya que permite el cálculo del CALENDARIO DE RIEGO (calendario que muestra las fechas de riego y las cantidades de agua por aplicar).

Para determinar el calendario de riego, el programa efectúa el balance diario y cada vez que se presenta un día con déficit, se establece como un día de riego, calculándose la lámina (mm) neta de agua a regar como un porcentaje (escogido por el usuario) del ADC_N . La lámina neta aplicada entra a la ecuación (2.1) como precipitación, por lo que se repone total o parcialmente el agua del suelo. El volumen neto a aplicar se encuentra multiplicando la lámina neta por el área del siembro, y el caudal neto se encuentra dividiendo ese volumen por el tiempo entre riegos. El volumen aplicado y el caudal aplicado se calculan dividiendo los netos entre la eficiencia del sistema de riego.

Si el programa se está utilizando para diseño, el cálculo se debe efectuar para la cantidad de años que se considere necesaria, y luego se escogen las láminas y caudales que se den con un período de retorno escogido por el diseñador.

Si se está calculando el calendario de riego para el manejo de un sistema de riego ya construido y en operación, los datos meteorológicos reales se deben introducir día a día, en combinación con un estimado probabilístico de los días futuros. Así, el programa dirá si se debe regar el día de hoy y cuales pueden ser los riegos futuros. Cada día en que se introducen nuevos datos reales se puede recalcular el calendario de riego para obtener mejores estimaciones de los riegos presentes y futuros.

2.5 ANALISIS DE PRECIPITACION.

El programa también es capaz de analizar la precipitación de dos formas: encontrando precipitación diaria probable para un juego determinado de datos y calculando acumulados de precipitación para el incremento de tiempo que el usuario desee (décadas, péntadas, etc.). Este tipo de análisis no es tan preciso como el obtenido usando balance hídrico, pero se incluyó en el programa dado que es bastante extendido y utilizado.

La cantidad de DIAS SECOS y DIAS MUY HUMEDOS se calculan comparando cada precipitación en el período especificado con una precipitación máxima y una precipitación mínima (también especificadas por el usuario): cuando la precipitación en un día está por debajo de la mínima, se le considera un día seco, y cuando está por encima de la máxima, se le considera un día muy húmedo. Este cálculo sirve para detectar épocas del año que se pueden considerar demasiado secas o demasiado húmedas, así como la magnitud y variabilidad de los eventos.

Los ACUMULADOS se calculan sumando las precipitaciones de los días dentro del incremento de tiempo escogido por el usuario (pentadal, decadal, mensual, del período, etc.). Igual que el anterior, sirve para detectar épocas del año muy lluviosas o muy secas.

Para calcular la LLUVIA PROBABLE para una fecha determinada, el programa ordena de mayor a menor todos los datos que posee para dicha fecha, asignándole una probabilidad (probabilidad de que el valor sea superado) de $1/NV*100$ a cada valor, donde l es el orden que ocupó el valor después de ser ordenado (1 para el valor más alto) y NV es el número de valores que el programa tiene para la precipitación en dicha fecha.

3. FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA.

3.1 GENERALIDADES E INSTALACION.

El modelo AQUA (Agricultural QUery and Analysis) es un programa que implementa un modelo matemático para la planificación de siembras, la zonificación agrícola y el análisis agro-climático básico. A partir del cálculo del balance hídrico, el programa es capaz de estimar, entre otras aplicaciones: la fecha más temprana de siembra para un cultivo, la última fecha en que el suelo está a capacidad de campo en el año, los índices de estrés hídrico y el calendario de riego. También efectúa análisis básico de precipitación.

Las capacidades mencionadas anteriormente permiten diseñar y evaluar, por simulación, diferentes cultivos, fechas de siembra y secuencias de cultivos con el propósito de optimizar los rendimientos en función del agua de lluvia. Para efectuar estos cálculos el programa requiere de datos climáticos (evaporación mensual y lluvia diaria), datos de suelo y datos del cultivo.

El modelo ha sido desarrollado y validado para condiciones de Centro América, lo cual considera la simplificación de las variables empleadas para incluir solamente aquellas fácilmente disponibles.

Otras capacidades del paquete son la generación de reportes por pantalla, impresos o a disco (los reportes a disco permiten cierta exportación de los resultados de los cálculos y de los datos de lluvia diaria) y de gráficos a pantalla o impresora (basados en los resultados de los diferentes tipos de cálculos), y la importación de datos en formato ASCII.

Por otra parte, AQUA está diseñado para ser de uso sencillo por personal calificado en el tema, así como para proporcionar un manejo fácil y una buena validación de los datos.

Los requerimientos mínimos para utilizar AQUA son:

Un microcomputador IBM compatible con

- 640KB de RAM (o memoria principal)
- 700KB de espacio en disco
- Una tarjeta gráfica CGA, EGA, VGA, HERCULES, IBM 3270 o AT&T 6300.

Para instalar el programa el usuario debe introducir el disco de instalación y dar el comando "AQUA", seguido del directorio en el que desea instalar el programa. Por ejemplo, si se desea instalar el programa en el directorio C:\AQUA, el usuario debe dar el comando "AQUA C:\AQUA".

Una vez instalado el programa, puede instalarse otra copia en cualquier otro directorio dando el comando "INSTALA" desde el directorio donde se instaló originalmente, seguido del directorio donde se instalará la nueva copia del programa. Por ejemplo, para instalar otra copia del programa en el disco A:, se debe escribir "INSTALA A:"

Para correr el programa ya instalado, el usuario debe dar el comando "AQUA" en el directorio donde se instaló. Si el programa no despliega bien los colores o los gráficos, es necesario que el usuario dé el comando AQUA seguido por el tipo de tarjeta graficadora de video (CGA, EGA, VGA, HERCULES, 3270, 6300, LCD). Por ejemplo, si se tiene una pantalla de cristal líquido con tarjeta graficadora CGA, es necesario que el usuario dé el comando "AQUA LCD".

3.2 ESTRUCTURA GENERAL DE AQUA.

AQUA está compuesto por tres grandes módulos principales:

- Opción de DATOS, donde se actualizan los conjuntos de datos que se van a utilizar como entrada para los cálculos.
- Opción de ANALISIS, donde se ejecutan los diferentes tipos de cálculos, se generan los gráficos respectivos y se seleccionan algunas opciones especiales de configuración.
- Opción de UTILITARIOS, donde se realizan operaciones opcionales como lo son la especificación del directorio de trabajo y la importación de archivos.

En la Figura 3.1 se presenta un diagrama general de AQUA, que muestra sus dos primeros niveles de menús.

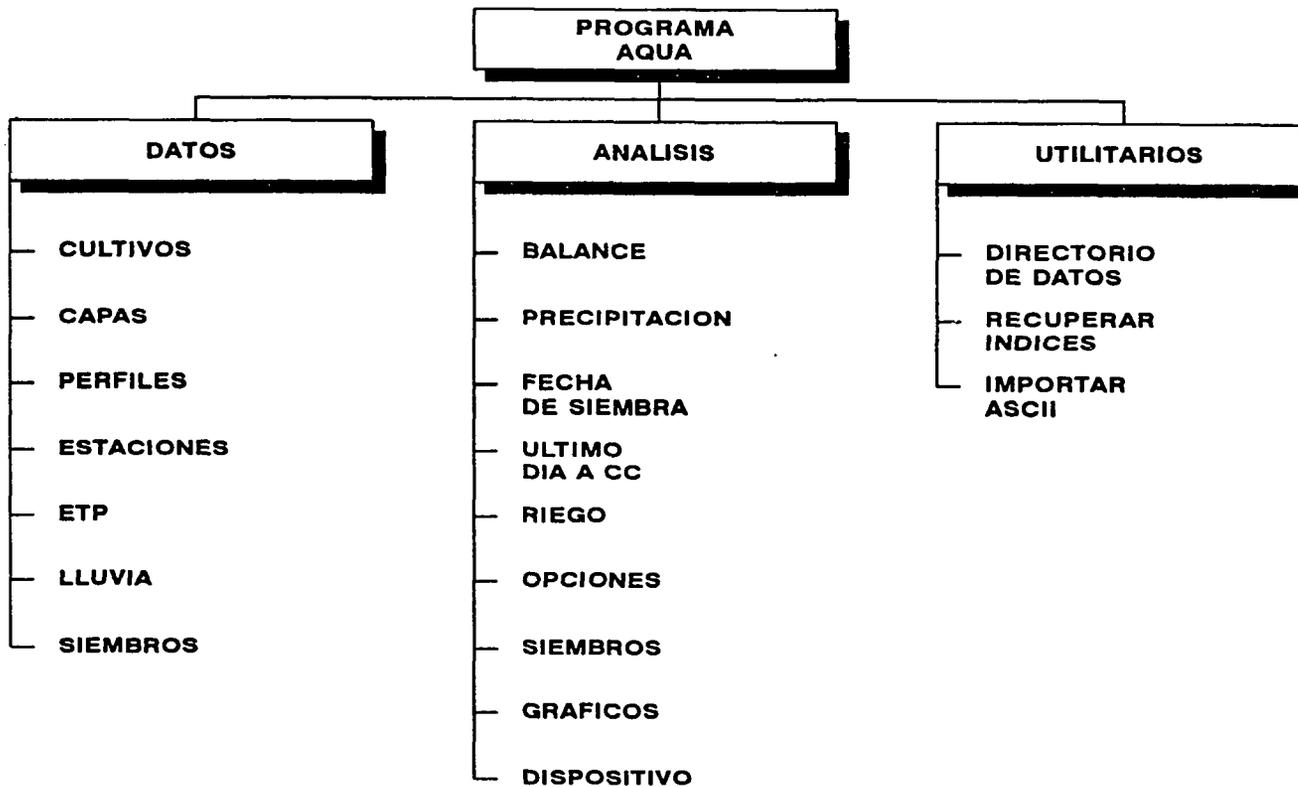


Figura 3.1: Diagrama de los dos primeros niveles de menús del programa AQUA.

213

3.3 OPCION DE DATOS.

Esta opción se encarga del manejo de los diferentes tipos de datos. Actualmente AQUA maneja los siguientes siete juegos de datos:

Cultivos

Capas

Perfiles

Estaciones meteorológicas

ETP

Lluvia

Siembros

En el Cuadro 3.1 se puede observar un desglose de cada juego de datos. La actualización de cada uno de estos juegos de datos conlleva el siguiente procedimiento (NOTA: Los casos de ETP y Lluvia son casos especiales y sus procedimientos de actualización son distintos. Ver el siguiente apartado para aclarar este punto):

- A. Seleccionar en el Menú de DATOS la opción respectiva.
- B. Aparecerá la lista completa del tipo de datos escogido que está en memoria. En ella se despliega únicamente el "campo llave" del dato, es decir, el campo que identifica plenamente cada ítem del mismo. Además, esta lista está ordenada alfabéticamente en orden ascendente.
- D. Seleccionar el dato que se desea modificar, copiar o eliminar; o, si no, presionar la tecla de inserción de un nuevo dato.
- E. Presionar ESC para volver al Menú de DATOS.

JUEGO DE DATOS	INFORMACION UTILIZADA
Cultivo	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nombre del cultivo. ■ Duración efectiva. ■ Tipo de cultivo (resistente o susceptible). ■ Tipo de dato (valores al final de etapa o promedio durante etapa). ■ Lista de 7 etapas máximo con: nombre de etapa, duración, Kc (coeficiente de cultivo), CA (coeficiente de agotamiento), PR (profundidad de raíces).
Capa	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nombre de capa. ■ Capacidad aprovechable.
Perfil	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nombre de perfil. ■ Lista de 5 capas máximo, cada una con su nombre y espesor.
Estación	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nombre de estación. ■ Elevación. ■ Localización (latitud y longitud). ■ Tipo (A, B o C).
ETP	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nombre de estación meteorológica. ■ Si es ETP diaria : Fecha (mes/año) y 31 valores diarios. ■ Si es ETP mensual : Fecha (año) y 12 valores diarios (uno por mes). ■ Si es ETP promedio: 12 valores diarios (uno por mes).
Lluvia	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nombre de estación meteorológica. ■ Fecha (mes/año) y 31 valores diarios.
Siembro	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nombre de siembro. ■ Fecha de siembra (día/mes/año). ■ Area del siembro. ■ Nombre del perfil de suelo. ■ Nombre del cultivo. ■ Nombre de estación meteorológica.

Cuadro 3.1: Desglose de los datos utilizados por el programa AQUA.

A continuación se presenta una explicación un poco más detallada de cada uno de los tipos de datos necesarios:

3.3.1 CULTIVOS.

La información que se mantiene en la base de datos sobre cultivos incluye el NOMBRE DEL CULTIVO (ej. especie y cultivar), su DURACION EFECTIVA (ciclo efectivo de crecimiento), el TIPO DEL CULTIVO (resistente [por defecto] o susceptible al déficit hídrico), el TIPO DE DATO (es decir, si se utilizarán valores al final de cada etapa o valores promedio) y una LISTA DE ETAPAS de desarrollo del cultivo, donde cada etapa está formada por el NOMBRE DE LA ETAPA (o número), su DURACION, su kc (coeficiente del cultivo), su CA (coeficiente de agotamiento) y su PR (profundidad de raíces).

3.3.1.1 Duración efectiva.

El dato de ciclo efectivo de crecimiento que se utiliza es el número de días desde la siembra hasta que el producto cosechable se independiza de la planta. En cultivos agronómicos, esto ocurre básicamente cuando el grano comienza el proceso de secado, tras adquirir madurez fisiológica. Una apreciación concurrente es el inicio de senescencia foliar. En caso de no contarse con esta información, se puede utilizar el valor corrientemente dado para el cultivo menos 10 días. Debe ponerse particular atención al período de pre-emergencia, en función de contabilizar o no los días entre siembra y emergencia. Esto último se explica a continuación.

Debe notarse que existe una etapa especial, llamada "PRE EMERGENCIA", que se utiliza para el estado de preemergencia de los cultivos. Cuando AQUA detecta que la primera etapa del cultivo tiene este nombre, no contabiliza los días con déficit o exceso hídrico que ocurran durante la etapa (lo cual es lo recomendable en la mayoría de los casos), ni tampoco considera que se agote toda el agua del suelo. Lo anterior es útil para el cálculo de la fecha más temprana de siembra.

Para estudios de secuencias de cultivos y otras aplicaciones, se debe considerar que el dato utilizado aquí no representa el ciclo total del cultivo, que sería de siembra a cosecha (de mayor duración que lo analizado).

3.3.1.2 Tipo de cultivo.

Se han identificado dos tipos de cultivo respecto a la tolerancia del déficit hídrico en la época de establecimiento del cultivo (primeros 20 días después de la siembra): resistente, que es lo utilizado por defecto (por ej., maíz, sorgo, girasol, soya, algodón) y susceptible (por ej., arroz, maní, frijol, la mayoría de las hortalizas).

Las diferencias entre estos dos tipos se expresan en las variables del cálculo de la fecha más temprana de siembra y en otras aplicaciones (ver Sección 2.3.1).

3.3.1.3 Tipo de dato.

Este campo tiene la finalidad de que el usuario pueda introducir datos para las diferentes etapas del cultivo de dos formas diferentes.

Si se le da un valor de 1 a este campo, el programa interpreta que los valores que se den en cada etapa representan los valores de cada característica del cultivo (PR, CA, Kc) al final (el último día) de la etapa, y para los demás días de cada etapa calculará cada característica haciendo una interpolación lineal entre el valor final de la etapa anterior y el final de la presente.

Si a este campo se le asigna el valor 2, los valores que se den para cada característica en cada etapa serán interpretados como valores promedio y constantes a lo largo de toda la etapa. Este es el modo en que el programa trabaja por defecto.

Se previeron estos dos tipos de datos porque en la literatura pueden darse cualquiera de los dos casos.

3.3.1.4 Etapas.

Se pueden definir un máximo de siete etapas, cada una con su nombre, duración, kc, CA y PR.

La duración de cada etapa significa el día, a partir de la fecha de siembra, hasta el que son válidos los valores de cada característica de cultivo. Por ej., si la primera etapa tiene una duración de 10 días y la segunda de 20, eso significa que la primera etapa dura hasta el día 10 después de la siembra, y la segunda etapa dura desde el día 11 hasta el día 20 después de la siembra.

Los valores de kc pueden variar de 0.4 al inicio (en la primera etapa) hasta 1.0 ó 1.2 en las etapas finales.

El coeficiente de agotamiento CA puede variar desde 0.4 a 0.5 al principio hasta 0.6 a 0.7 al final del desarrollo, dependiendo del cultivo (resistente o susceptible al déficit hídrico).

La profundidad de raíces PR puede ser de 10 a 20 cm al emerger, llegando de 50 a 150 cm o más en las etapas finales, según el tipo de cultivo y suelo.

3.3.2 CAPAS.

La información de capas incluye el NOMBRE DE LA CAPA (o número) y su CAPACIDAD APROVECHABLE de agua (contenido de agua entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente, en mm/m). Las capas son utilizadas para definir los perfiles de los suelos. Los valores fluctuarán desde 50 mm/m o menos para suelos arenosos hasta incluso 200 mm/m para suelos limosos con alto contenido de materia orgánica. Un suelo franco puede tener un valor entre 100 y 150 mm/m.

3.3.3 PERFILES.

La información de perfiles incluye el NOMBRE DEL PERFIL (o número) de suelo (en otras palabras, el nombre del suelo) y una LISTA DE CAPAS en la cual se pueden especificar un máximo de 5 capas, cada una de ellas con un ESPESOR dado.

Cada capa que forma parte del perfil debe estar previamente definida en la opción CAPAS.

3.3.4 ESTACIONES METEOROLOGICAS.

La información de las estaciones meteorológicas incluye el NOMBRE DE LA ESTACION meteorológica, su ELEVACION (m s.n.m.), su localización dada en LATITUD y LONGITUD y su TIPO (A/B/C). El dato requerido o mínimo es el nombre, los otros son opcionales.

3.3.5 ETP.

Al escoger la opción ETP aparece un submenú donde se presentan los tres tipos de evapotranspiración que AQUA maneja:

- A. Diaria: Un valor por día (mm/día), cuando existe la posibilidad de calcularla diariamente o hay datos diarios de tanque de evaporación.
- B. Mensual: Un valor por mes (mm/día), 12 por cada año considerado.
- C. Promedio: Un valor fijo para cada mes (mm/día), para todos los años, es decir, hay 12 valores en total ya promediados o calculados para todos los años.

Una vez escogido el tipo de evapotranspiración que se desea introducir o actualizar, se presenta una lista con todas las estaciones meteorológicas actualmente definidas; por ejemplo, en el caso de escoger evapotranspiración MENSUAL, aparecen únicamente las estaciones a las que se les ha definido los valores mensuales de al menos un año. El usuario puede entonces escoger una estación de la lista presionando la tecla RETURN. Una vez escogida, se le presenta otra lista con todas las "llaves" para acceder los datos de evapotranspiración correspondientes a esa estación. La información "llave" que se presenta depende del tipo de evapotranspiración. Continuando con el ejemplo de ETP mensual, se desplegaría una lista de fechas (mes/año) en las que se tienen datos para la estación escogida.

Para poder introducir datos de evapotranspiración deben existir estaciones meteorológicas previamente definidas.

3.3.5.1 ETP Diaria.

La llave es MES/AÑO y para cada dato se incluye el NOMBRE DE LA ESTACION escogida, el MES/AÑO escogido y una LISTA MENSUAL con 31 valores de ETP. Los datos de ETP diaria que se tengan en hojas electrónicas o en CLICOM se pueden importar a AQUA utilizando el comando "Importar archivos ASCII" del menú de Utilitarios (ver Sección 4.3.3).

3.3.5.2 ETP Mensual.

La llave es AÑO y para cada dato se incluye el NOMBRE DE LA ESTACION escogida, el AÑO escogido, el MES y una LISTA ANUAL con 12 valores de ETP. Los datos de ETP Mensual también se pueden importar usando la opción "Importar archivos ASCII" del menú de Utilitarios (ver Sección 4.3.3).

3.3.5.3 ETP Promedio.

La llave es el NOMBRE DE LA ESTACION y para cada dato se incluye el NOMBRE DE LA ESTACION escogida y una LISTA ANUAL con 12 valores de ETP.

El rango de los valores de ETP va de 00.0 a 99.9. Para indicar un "valor faltante" debe digitarse un "-9.9" y un "valor dudoso" se especifica introduciendo el dato en forma negativa (por ejemplo, el valor "-3.4" significa el dato 3.4 y es "dudoso"). Los valores dudosos serán usados para efectuar los cálculos si así se especifica en la escogencia "Datos dudosos" del menú de "Opciones" de los cálculos (ver Sección 4.5.6); si se especifica lo contrario, los datos dudosos se tomarán como valores faltantes y el programa no efectuará el cálculo para el ciclo del siembro en que aparezcan datos dudosos.

Al usuario se le ofrece también información adicional sobre los datos de ETP que puede ser útil como forma de control durante la digitación de los mismos. Esta información incluye la SUMATORIA (Σ) y el PROMEDIO (X) de los datos, en forma decadal, mensual y anual, dependiendo del tipo de evapotranspiración que se esté actualizando.

Una vez terminada la actualización de los datos para una estación dada, se debe presionar la tecla ESC para "volver" a la lista de estaciones meteorológicas (en el caso de ETP promedio se "vuelve" al Menú de Tipos de ETP).

3.3.6 LLUVIA.

Al escoger esta opción aparece inicialmente una lista con todas las estaciones meteorológicas definidas. Para poder introducir datos de precipitación deben existir estaciones meteorológicas previamente definidas. El usuario puede entonces escoger una de ellas presionando la tecla RETURN. Una vez escogida la estación se le presenta otra lista con todos los datos de precipitación correspondientes a esa estación. La información "llave" que se presenta es MES/AÑO, y para cada dato se incluye el NOMBRE DE LA ESTACION escogida, el MES/AÑO escogido y una LISTA MENSUAL con 31 valores de PPT.

El rango de los valores de PPT va de 000.0 a 999.9. Para indicar un "valor faltante" debe digitarse un "-999.9" y un "valor dudoso" se especifica introduciendo el dato en forma negativa (por ejemplo, el valor "-80.7" significa el dato 80.7 es "dudoso"). De manera semejante a los datos dudosos de ETP, si se especifica en la sección de "Opciones" de los cálculos (Sección 4.5.6) que se deben utilizar los datos dudosos de lluvia, éstos se tomarán como un dato normal, y si se especifica lo contrario, los datos dudosos de lluvia serán tomados como valores faltantes y el cálculo no se efectuará para el ciclo de cultivo que contenga dichos datos.

Al igual que para ETP, al usuario se le ofrece también información adicional sobre los datos de PPT que puede ser útil como forma de control durante la digitación de los mismos. Esta información incluye la SUMATORIA (Σ) y el PROMEDIO (X) de los datos, en forma decadal y mensual.

La importación de datos de precipitación se puede efectuar utilizando la opción "Importar archivos ASCII" del menú de Utilitarios (Sección 4.3.3).

Una vez terminada la actualización de los datos para una estación dada, se debe presionar la tecla ESC para "volver" a la lista de estaciones meteorológicas.

3.3.7 SIEMBROS.

Para poder introducir datos de siembros deben existir estaciones meteorológicas, perfiles, capas y cultivos previamente definidos.

La información de siembros incluye el NOMBRE DEL SIEMBRO, el DIA/MES/AÑO DE SIEMBRA, su AREA de siembra y además un NOMBRE DE PERFIL, un NOMBRE DE CULTIVO y un NOMBRE DE ESTACION METEOROLOGICA. La estación se utiliza para indicar los juegos de datos de ETP y PPT que deben utilizarse para los cálculos, para ese siembro. El nombre del perfil y del cultivo proveen la información restante necesaria.

El dato SIEMBRO es la unidad mínima utilizada para realizar los cálculos; es decir, si se desea realizar algún tipo de cálculo, debe escogerse sobre cuál o cuáles siembros se desea realizarlo. El siembro es el cultivo en estudio, específico espacial y temporalmente. Por ejemplo, una misma variedad de arroz puede sembrarse en varias localidades con diferente clima, o en una misma localidad con diferentes suelos o fechas de siembra, etc. Una consideración a tomarse en cuenta es que el ciclo de vida de un cultivo varía con la temperatura de la localidad. Este tipo de variación implica utilizar una entrada diferente de CULTIVO, aunque sea la misma variedad.

Para realizar los cálculos en base a uno o varios siembros, AQUA permite que sean marcados un máximo de 10 siembros de la lista. La lista de siembros marcados es almacenada en disco una vez que termina el programa, y es de nuevo restaurada al reiniciarse el mismo: esto se hace con el fin de mantener una configuración automática, liberando al usuario de tener que marcar los siembros que le interesan cada vez que entra al programa.

3.3.8 DESCRIPCION DEL MANEJO DE LAS LISTAS DE DATOS.

A continuación se presenta una descripción de los comandos permitidos para la actualización de datos, o sea, las funciones existentes para el manejo de las listas de datos que se tienen en la unidad de almacenamiento (disco fijo, duro o flexible). Recuérdese que las listas de datos despliegan los "campos llave" de cada dato; así, para cultivos, capas, perfiles, estaciones, ETP promedio y siembros la llave es el nombre, para ETP mensual la llave es el año y para PPT y ETP diaria es el mes/año. Recuérdese también que el dato sobre el cual pueden aplicarse los comandos está especificado por una barra de escogencia que aparece en "color invertido" en pantalla, para su identificación.

FLECHA CURSOR ABAJO

Posicionar la barra de escogencia en el siguiente elemento de la lista.

FLECHA CURSOR ARRIBA

Posicionar la barra de escogencia en el elemento anterior de la lista.

FLECHA CURSOR DERECHA

Posicionar la barra de escogencia en el primer mes del próximo año. Este comando es únicamente para datos de precipitación y evapotranspiración diaria (cuyas llaves son mes/año) y su función es permitir al usuario "navegar" por la lista de datos más rápidamente, dada la gran cantidad de estos datos climáticos que pueden existir, para una estación meteorológica dada.

FLECHA CURSOR IZQUIERDA

Posicionar la barra de escogencia en el último mes del año anterior. Este comando es únicamente para datos de precipitación y evapotranspiración diaria y su función es la misma que la del comando anterior (flecha cursor derecha).

PG DN

[Page Down] Posicionar la barra de escogencia una "pantalla" de datos hacia abajo en la lista.

PG UP

[Page Up] Posicionar la barra de escogencia una "pantalla" de datos hacia arriba en la lista.

HOME

Posicionar la barra de escogencia en el primer elemento de la lista, de la parte actualmente desplegada en pantalla.

END

Posicionar la barra de escogencia en el último elemento de la lista, de la parte actualmente desplegada en pantalla.

CTRL HOME

Posicionar la barra de escogencia en el primer elemento absoluto de la lista.

-222-

CTRL END

Posicionar la barra de escogencia en el último elemento absoluto de la lista.

TAB

Este comando funciona únicamente cuando se están actualizando datos de siembros y se utiliza para Marcar/Desmarcar siembros. Los siembros marcados son identificados con un número a la izquierda de su nombre. El número máximo de siembros que se pueden marcar para una misma corrida es 10.

INS

Insertar un nuevo dato. Cuando se presiona la tecla INS estando en una lista de datos, aparece la pantalla de entrada de datos respectiva. Una vez que la información del dato es digitada, se debe presionar la tecla F10 para almacenarla, volviendo a aparecer de nuevo la pantalla de entrada de datos vacía, lista para insertar un nuevo dato. Esta operación continuará hasta que se presione la tecla ESC cuando aparece la pantalla de datos vacía.

En la parte inferior de la pantalla aparece un mensaje indicando que actualmente AQUA está en modo de inserción de datos.

DEL

Eliminar (borrar) el dato actual, o sea, donde se encuentra la barra de escogencia. Por seguridad, antes de eliminarlo se pide una verificación de esta operación.

Por otra parte, nótese la particularidad de los siguientes casos: si se elimina un cultivo o un perfil, en todos los siembros que lo usaban se borra su nombre; si se elimina una capa, en todos los perfiles que la usaban se borra su nombre; si se elimina una estación, en todos los siembros que la usaban se borra su nombre, y además, todos los datos climáticos (los diferentes tipos de ETP y PPT) asociados a esa estación son eliminados automáticamente.

Nótese también que los datos en donde se borran los nombres de cultivos, perfiles, capas o estaciones van a quedar incompletos luego de eliminar el dato asociado, por lo que se recomienda actualizar esa "información perdida". Por ej., si se eliminó la estación meteorológica Cañas de la lista de estaciones y se tiene un siembro que utiliza los datos climáticos de dicha estación, es necesario reasignar ese siembro a otra estación. En todo caso, si faltase alguno de estos nombres durante la ejecución de los cálculos, se dará el respectivo mensaje de error.

RETURN

[Enter] Modificar la información del dato actual, o sea, donde se encuentra la barra de escogencia. Cuando se presiona la tecla RETURN aparece la pantalla de entrada de datos respectiva con la información actualizada del dato; el usuario puede entonces hacer las modificaciones deseadas y luego presionar la tecla F10 para almacenar el dato ya modificado. La tecla ESC aborta la operación de modificación.

En la parte inferior de la pantalla aparece un mensaje indicando que actualmente AQUA está en modo de modificación de datos.

CTRL RETURN

Hacer una copia del dato actual, o sea, donde se encuentra la barra de escogencia, cambiándole la información del campo llave. Este comando es similar a INS (Insertar) salvo que la pantalla de entrada de datos no aparece vacía, sino que aparecer "llena" con la información del dato actual. Una vez hechos los cambios deseados se debe presionar la tecla F10 para almacenar el dato. Este es luego insertado como un dato nuevo.

En la parte inferior de la pantalla aparece un letrero indicando que actualmente AQUA está en modo de copiado de datos.

F10

Esta tecla tiene varios usos no conflictivos. Sirve para almacenar los datos de cualquier pantalla de datos, para aceptar los cambios hechos a algún dato que se esté copiando o cambiando, para salir de las listas de datos, de los menús y del programa y para producir el gráfico que se escoja en la sección de gráficos.

ESC

Terminar la actualización ("salir" de la lista) y volver al Menú de Datos. Sirve también para abandonar cualquier pantalla de datos sin almacenar los cambios que se le hayan efectuado o los datos que se hayan introducido.

3.4 OPCION DE ANALISIS.

Esta opción se encarga de la realización de todos los tipos de cálculos que AQUA permite. El Cuadro 3.2 muestra cada uno de los submenús de la opción de ANALISIS. Antes de pasar a explicar cada tipo de cálculo en detalle, nótese las siguientes consideraciones:

- Todos los cálculos toman como datos base a los SIEMBROS actualmente marcados en la lista de SIEMBROS.
- Cada vez que se efectúa un cálculo sus resultados se almacenan temporalmente. Así, si se repite el mismo cálculo, se pregunta al usuario si desea ver los resultados del cálculo previo o si desea rehacerlo. En el caso de que se efectúe un cálculo distinto, los resultados del cálculo previo se sustituyen por los nuevos.
- En el reporte de los resultados de cualquier cálculo se presentan una serie de pantallas con datos indicativos del tipo de cálculo, el SIEMBRO utilizado, etc., además de los resultados mismos. En cada una de estas pantallas el usuario puede presionar la tecla ESC para terminar el reporte y salirse, o cualquier otra tecla para continuar con la siguiente pantalla.

Seguidamente se detalla cada uno de los diferentes tipos de cálculos que se hallan integrados en AQUA:

3.4.1 BALANCE.

Este es el "Cálculo del Balance Hídrico", el cual tiene las siguientes opciones:

3.4.1.1 Incremento de tiempo.

Aquí se especifica el incremento con que se desea que se haga el reporte de los resultados del balance hídrico; esto es, si se desean los resultados cada día, péntada, década, etc.

225

ESCOGENCIA	SUBMENU
Balance	<ul style="list-style-type: none"> ■ Incremento de tiempo. ■ Datos de balance. ■ Efectuar cálculo. ■ Reporte en días o mm.
Precipitación	<ul style="list-style-type: none"> ■ Incremento de tiempo. ■ Datos de precipitación. ■ Días con y sin lluvia. ■ Correlación de periodos. ■ Acumulados. ■ Lluvia probable. ■ Criterios.
Fecha de siembra	<ul style="list-style-type: none"> ■ Datos de fecha más temprana. ■ Efectuar cálculo. ■ Criterios. ■ Reporte normal o % de ocurrencia.
Ultimo día a CC	<ul style="list-style-type: none"> ■ Datos de última fecha a CC. ■ Efectuar cálculo. ■ Reporte normal o % de ocurrencia.
Riego	<ul style="list-style-type: none"> ■ Datos para el calendario. ■ Efectuar el cálculo. ■ Criterios.
Opciones	<ul style="list-style-type: none"> ■ Datos dudosos. ■ Agua hasta PMP. ■ Tipo de ETP.
Siembros	<ul style="list-style-type: none"> ■ Lista de manejo de datos de siembros.
Gráficos	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gráfico actual. ■ Tipo de gráfico. ■ Código del vértice. ■ Gráfico inverso. ☒ Gráfico por impresora.
Dispositivo	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pantalla. ■ Impresora. ■ Disco.

Cuadro 3.2. Esquema de los submenús que se presentan en cada escogencia del menú de análisis.

3.4.1.2 Datos de balance.

Se presenta la lista de SIEMBROS actualmente marcados y se permite especificar un intervalo de años [AÑO INICIAL-AÑO FINAL] para los cuales se va a realizar el cálculo del Balance Hídrico. También se puede especificar un período [DIA/MES INICIAL-DIA/MES FINAL] que limite los datos que se desplegarán en el reporte. Presionando la tecla <F3> se puede averiguar el intervalo máximo de años en los que es posible efectuar el cálculo de balance.

3.4.1.3 Efectuar el cálculo.

Se efectúa el cálculo del Balance Hídrico y se hace el reporte respectivo. Durante el cálculo se despliega una pantalla en la que se va indicando el nombre del SIEMBRO para el que se está realizando el cálculo, el intervalo de años utilizado, el período que se desplegará en el reporte y el año actual que se está procesando (de acuerdo al intervalo definido).

3.4.1.4 Reporte en...

Esta opción es un "SWITCH" que determina el tipo de datos que aparecerán en el reporte del cálculo del Balance Hídrico, y puede tener dos posibles estados:

A. Reporte en días

En este caso, el reporte presentará los siguientes datos, para cada rango de fechas, de acuerdo al intervalo de tiempo definido:

- A.1. DIAS CON DEFICIT
- A.2. DIAS CON EXCESO
- A.3. DIAS CON ESTRES
- A.4. INDICES DE DEFICIT
- A.5. INDICES DE EXCESO
- A.6. INDICES DE ESTRES

También, al final del reporte se presentarán los TOTALES y los PROMEDIOS para cada uno de estos datos.

B. Reporte en mm

En este caso, el reporte presentará los siguientes datos, para cada rango de fechas, de acuerdo al intervalo de tiempo definido:

B.1. BALANCE

B.2. ADC (Agua fácilmente Disponible para el Cultivo)

B.3. BALANCE/ADC

3.4.2 PRECIPITACION.

Esta sección se encarga de toda el área de análisis de precipitación. Para los diferentes cálculos se necesitan los datos de PPT, y éstos deben estar especificados por una Estación Meteorológica. Para esto, se toma como base para cualquier cálculo de PPT la Estación Meteorológica del primer siembro marcado en la lista de SIEMBROS. Si se desea marcar un siembro, se debe entrar en la opción de "Siembros" de las secciones de "Análisis" o de "Datos".

Las opciones de la sección de precipitación son:

3.4.2.1 Incremento de tiempo.

Aquí se especifica el incremento con que se desea que se haga el reporte de los resultados del Análisis de Precipitación; esto es, si se desean los resultados en días, en pñtadas, en décadas, etc.

3.4.2.2 Datos de precipitación.

En este apartado se especifica el intervalo de años para los cuales se van a realizar los diferentes tipos de cálculos de precipitación. También se especifican dos períodos (un período es el intervalo de días entre dos fechas) que son utilizados de la siguiente forma:

- Los períodos #1 y #2 se utilizan para el cálculo de "CORRELACION DE PERIODOS"; es decir, precipitación en el período #1 versus precipitación en el período #2.
- También se utilizan estos períodos para generar los gráficos Fecha versus Precipitación y Fecha versus Evapotranspiración. El Período #1 especifica el intervalo para el cual se graficarán los datos de PPT y ETP.

205

- Finalmente, el Período #1 se utiliza en los cálculos restantes "DIAS CON Y SIN LLUVIA", "ACUMULADOS" y "LLUVIA PROBABLE" para limitar el rango de datos de PPT por analizar.

3.4.2.3 Días con y sin lluvia.

Ejecuta el cálculo para encontrar los días con y sin lluvia, tomando como criterios para ello los valores definidos por el usuario en la opción CRITERIOS (de este mismo menú).

3.4.2.4 Correlación de períodos.

Realiza la correlación o comparación de la precipitación entre dos períodos o intervalos de tiempo. Por ejemplo, se puede hacer la correlación entre 01/05-31/05, Mayo, y 01/11-30/11, Noviembre. Este tipo de correlaciones sirve, por ej., para encontrar en qué medida la fecha del inicio de las lluvias determina la fecha del veranillo o del fin de la época lluviosa para una zona, es decir, se constituye en un enfoque empírico para discernir predecibilidad de la PPT (ver Radulovich, 1987b)

3.4.2.5 Acumulados.

Ejecuta el cálculo de acumulados utilizando el incremento de tiempo actualmente activo. Los acumulados son simplemente sumatorias de PPT a intervalos regulares (por ej., acumulados diarios, mensuales, anuales, etc.).

3.4.2.6 Lluvia probable.

Ejecuta el cálculo de lluvia probable para el Período #1, lo cual significa, por defecto, la cantidad de PPT que no será superada en un 75% de los años especificados. Para calcular la lluvia probable para una fecha determinada, AQUA ordena de mayor a menor todos los datos que posee para dicha fecha (es decir, todos los años), asignándole una probabilidad de $(I/NV)*100$ a cada valor (probabilidad de que el valor sea superado), donde I es el orden que ocupó el valor después de ser ordenado (1 para el valor más alto, etc.) y NV es el número de valores (años) de PPT que se tienen para esa fecha.

3.4.2.7 Criterios.

Con esta opción el usuario puede cambiar a su escogencia algunos de los parámetros utilizados en los cálculos de Precipitación, que son:

- La probabilidad de que se presente una PPT menor o igual a la calculada (por defecto, 75%). Este parámetro es utilizado únicamente en el cálculo de "LLUVIA PROBABLE".
- La PPT por debajo de la cual se considera al día como seco (por defecto, 5.0 mm). Este parámetro es utilizado únicamente en el cálculo de "DIAS CON Y SIN LLUVIA".
- La PPT por encima de la cual se considera al día como muy húmedo (por defecto, 20.0 mm). Este parámetro (junto con el anterior) es utilizado únicamente en el cálculo de "DIAS CON Y SIN LLUVIA".

3.4.3 FECHA MAS TEMPRANA DE SIEMBRA.

Esta sección permite calcular la "FECHA MAS TEMPRANA DE SIEMBRA", y consta de las siguientes opciones:

3.4.3.1 Datos de fecha más temprana.

En este apartado se especifica el intervalo de años para los cuales se va a realizar el cálculo de "FECHA MAS TEMPRANA DE SIEMBRA". Además, puede variarse aquí la fecha de inicio del cálculo, que por defecto es el 15 de Marzo. Estos parámetros pueden especificarse para cada uno de los siembros actualmente marcados.

3.4.3.2 Efectuar cálculo.

Se efectúa el cálculo de la fecha más temprana de siembra y se hace el reporte respectivo. Durante el cálculo se despliega una pantalla en la que se va indicando el nombre del SIEMBRO para el que se está realizando el cálculo, el intervalo de años utilizado, la fecha de inicio del cálculo y el año actual que se está procesando (de acuerdo al intervalo definido).

3.4.3.3 Criterios.

Con esta opción el usuario puede cambiar a su escogencia algunos de los parámetros utilizados en el cálculo de la "FECHA MAS TEMPRANA DE SIEMBRA" (ver sección 2.3.1), como lo son:

- Días para establecimiento del cultivo (por defecto, 20 días), contando desde el día de siembra.
- PPT mínima en la década anterior a la siembra (por defecto, 30.0 mm).
- PPT máxima que permite realizar labores (por defecto, 5.0 mm por día).
- Días con PPT menor a PPT máxima (por defecto, 3 días), o días secos.
- Días con PPT nula (por defecto, 2 días), o días secos.
- Uso de días secos consecutivos para siembra (por defecto, "SI"). Este parámetro es un "SWITCH" que toma los valores SI/NO.
- Días permitidos con déficit (por defecto, 1 día para cultivos susceptibles y 2 días para cultivos resistentes).
- Agua residual (por defecto, 5 mm para cultivos susceptibles y 8 mm para cultivos resistentes).

3.4.3.4 Reporte...

Esta opción es un "SWITCH" que determina el tipo de datos que aparecerán en el reporte del cálculo de la "FECHA MAS TEMPRANA DE SIEMBRA", y puede tener dos posibles estados:

Reporte normal

En este caso, el reporte presentará los siguientes datos, para cada SIEMBRO:

AÑO DE CALCULO

FECHA MAS TEMPRANA DE SIEMBRA

Reporte % de ocurrencia

En este caso, el reporte presentará los siguientes datos, para cada SIEMBRO:

FECHA MAS TEMPRANA DE SIEMBRA

% DE OCURRENCIA RESPECTIVO (en orden)

3.4.4 ULTIMO DIA A CAPACIDAD DE CAMPO.

Esta sección permite calcular el "ULTIMO DIA A CAPACIDAD DE CAMPO", y consta de las siguientes opciones:

3.4.4.1 Datos de último día a CC.

En este apartado se especifica el intervalo de años [AÑO INICIAL AÑO FINAL] para los cuales se va a realizar el cálculo del "ULTIMO DIA A CAPACIDAD DE CAMPO". Estos parámetros pueden especificarse para cada uno de los siembros actualmente marcados.

3.4.4.2 Efectuar cálculo.

Se efectúa el cálculo del "ULTIMO DIA A CAPACIDAD DE CAMPO" y se hace el reporte respectivo. Durante el cálculo se despliega una pantalla en la que se va indicando el nombre del SIEMBRO para el que se está realizando el cálculo, el intervalo de años utilizado y el año actual que se está procesando (de acuerdo al intervalo definido).

3.4.4.3 Reporte...

Esta opción es un "SWITCH" que determina el tipo de datos que aparecerán en el reporte del cálculo del "ULTIMO DIA A CAPACIDAD DE CAMPO", y puede tener dos posibles estados:

Reporte normal

En este caso, el reporte presentará los siguientes datos, para cada SIEMBRO:

AÑO DE CALCULO

ULTIMO DIA A CAPACIDAD DE CAMPO

Reporte % de ocurrencia

En este caso, el reporte presentará los siguientes datos, para cada SIEMBRO:

ULTIMO DIA A CAPACIDAD DE CAMPO

% DE OCURRENCIA RESPECTIVO (en orden)

3.4.5 RIEGO.

Esta sección permite calcular el "CALENDARIO DE RIEGO" (este es el calendario que muestra las fechas de riego y las cantidades de agua por aplicar) para un siembro (cultivo, fecha de siembra, estación meteorológica y suelo específicos), lo que hace posible, exportando los resultados a disco y utilizando hojas electrónicas o programas de probabilidad, calcular estimados probabilísticos para aplicaciones de diseño. Esta consta de las siguientes opciones:

3.4.5.1 Datos para el calendario.

Se presenta la lista de SIEMBROS actualmente marcados y se permite especificar un intervalo de años [AÑO INICIAL-AÑO FINAL] para los cuales se va a realizar el cálculo del "CALENDARIO DE RIEGO". También se puede especificar un período [DIA/MES INICIAL-DIA/MES FINAL] que limite los datos que se desplegarán en el reporte.

3.4.5.2 Efectuar cálculo.

Se efectúa el cálculo del "CALENDARIO DE RIEGO" y se hace el reporte respectivo. Durante el cálculo se despliega una pantalla en la que se va indicando el nombre del SIEMBRO para el que se está realizando el cálculo, el intervalo de años utilizado, el período que se desplegará en el reporte y el año actual que se está procesando (de acuerdo al intervalo definido). Como resultado, el reporte presentará los siguientes datos, para cada SIEMBRO:

- FECHA DE RIEGO
- NUMERO DE DIAS DESDE EL ULTIMO RIEGO
- LAMINA NETA DE AGUA A REGAR
- VOLUMEN A APLICAR (NETO)
- VOLUMEN A APLICAR (APLICADO)
- CAUDAL MINIMO (NETO)
- CAUDAL MINIMO (APLICADO)

3.4.5.3 Criterios.

Con esta opción el usuario puede cambiar a su escogencia algunos de los parámetros utilizados en el cálculo del "CALENDARIO DE RIEGO", que son:

223

- El porcentaje de ADC (Agua fácilmente Disponible para el Cultivo) aplicado en cada riego (por defecto, 100%).
- La eficiencia de riego (por defecto, 70%).

3.4.6 OPCIONES.

Esta sección contiene tres "banderas" indicadoras de la forma en que deben realizarse algunos de los cálculos. Estas son:

3.4.6.1 Datos dudosos.

Este es un "SWITCH" del tipo SI/NO que se utiliza para indicar que los datos de Precipitación y Evapotranspiración almacenados como dudosos (como números negativos) se utilicen como datos válidos, o en caso contrario, sean tomados como datos faltantes (por defecto el "SWITCH" es SI, o sea, que los datos dudosos se toman como datos válidos). Cuando hay datos faltantes en un año, el programa no hace el cálculo para dicho año.

3.4.6.2 Agua hasta PMP.

Este también es un "SWITCH" del tipo SI/NO que se utiliza para indicar la forma en que se desea realizar el cálculo del Balance Hídrico. Cuando el "SWITCH" es SI el Balance se ejecuta tomando en cuenta el agua del suelo que está más allá de la fácilmente disponible (por debajo del coeficiente de agotamiento), hasta llegar al PMP (Punto de Marchitez Permanente); en caso contrario, se realiza de forma normal (por defecto el "SWITCH" es NO, o sea, el cálculo se ejecuta de forma normal). Para entender el funcionamiento en cada caso, ver las secciones 2.1 y 2.2.

3.4.6.3 Tipo de ETP.

Este "SWITCH" se utiliza para indicar el tipo de evapotranspiración que se desea utilizar en los cálculos. Los tres posibles tipos de evapotranspiración son ETP DIARIA, MENSUAL y PROMEDIO (por defecto el "SWITCH" está en evapotranspiración MENSUAL). Esto sólo en caso de que se tenga más de un tipo de ETP en alguna estación meteorológica.

3.4.7 SIEMBROS.

Esta sección es idéntica a la que se encuentra en el Menú de Datos y está disponible en la opción de Análisis simplemente para facilitarle al usuario el cambiar rápidamente la información de los SIEMBROS. Así, durante la ejecución de los cálculos el usuario podrá marcar/desmarcar SIEMBROS y variar su estructura de trabajo más fácilmente.

3.4.8 GRAFICOS.

Esta sección es la encargada de la generación de gráficos. AQUA permite graficar tanto los resultados de la mayoría de los cálculos como la información climática almacenada en disco. A continuación se detalla cada una de las opciones que se ofrecen:

3.4.8.1 Gráfico actual.

En esta opción se indican las variables que se desean graficar, es decir, las variables correspondientes al Eje X y al Eje Y. Hay 17 variables disponibles, pero no todas se pueden graficar contra todas. Además, es posible graficar sólo un par de variables a la vez, por lo que sólo se produce una curva por gráfico. Cuando hay varios siembros escogidos, se produce un gráfico por aparte para cada siembro. A continuación se listan las variables existentes y los gráficos que pueden ser generados, así como sus requerimientos:

VARIABLES:

1. Precipitación (PPT)
2. Evapotranspiración (ETP)
3. Fecha (N)
4. Fecha más temprana de siembra
5. Ultimo día a capacidad de campo
6. Balance (B_N)
7. B_N/ADC_N
8. Agua fácilmente disponible (ADC_N)
9. Días con déficit
10. Días con exceso
11. Días con estrés

235

12. Índice de déficit
13. Índice de exceso
14. Índice de estrés
15. Días sin lluvia
16. Días con lluvia
17. % de ocurrencia (de Fecha más Temprana de Siembra o de Última Fecha a Capacidad de Campo)

GRAFICOS:

A. Precipitación vs. Precipitación

REQUIERE: Ejecución previa del cálculo "CORRELACION DE PERIODOS" (en el Menú de Precipitación) y que se active el Tipo de gráfico PUNTUAL.

B. Fecha vs. Precipitación

No requiere ningún cálculo previo, graficándose la PPT almacenada en disco para las fechas especificadas en el Período #1 del Menú de Datos de Precipitación.

C. Fecha vs. Evapotranspiración

No requiere ningún cálculo previo, y grafica los datos de ETP almacenados en disco para las fechas especificadas en el Período #1 del Menú de Datos de Precipitación.

D. Fecha vs. B_N

REQUIERE: Ejecución previa del cálculo del Balance Hídrico (en el Menú de Balance).

E. Fecha vs. B_N/ADC_N

REQUIERE: Ejecución previa del cálculo del Balance Hídrico (en el Menú de Balance).

22/6

F. Fecha vs. ADC_N

REQUIERE: Ejecución previa del cálculo del Balance Hídrico (en el Menú de Balance).

G. Fecha vs. Días con déficit

REQUIERE: Ejecución previa del cálculo del Balance Hídrico (en el Menú de Balance).

H. Fecha vs. Días con exceso

REQUIERE: Ejecución previa del cálculo del Balance Hídrico (en el Menú de Balance).

I. Fecha vs. Días con estrés

REQUIERE: Ejecución previa del cálculo del Balance Hídrico (en el Menú de Balance).

J. Fecha vs. Índice de déficit

REQUIERE: Ejecución previa del cálculo del Balance Hídrico (en el Menú de Balance).

K. Fecha vs. Índice de exceso

REQUIERE: Ejecución previa del cálculo del Balance Hídrico (en el Menú de Balance).

L. Fecha vs. Índice de estrés

REQUIERE: Ejecución previa del cálculo del Balance Hídrico (en el Menú de Balance).

M. Fecha vs. Días sin lluvia

REQUIERE: Ejecución previa del cálculo "DIAS CON Y SIN LLUVIA" (en el Menú de Precipitación).

N. Fecha vs. Días con lluvia

REQUIERE: Ejecución previa del cálculo "DIAS CON Y SIN LLUVIA" (en el Menú de Precipitación).

O. % de ocurrencia vs. Fecha temprana de siembra

REQUIERE: Ejecución previa del cálculo de la "FECHA MAS TEMPRANA DE SIEMBRA".

P. % de ocurrencia vs. Ultimo día a CC

REQUIERE: Ejecución previa del cálculo del "ULTIMO DIA A CAPACIDAD DE CAMPO".

3.4.8.2 Tipo de gráfico.

Con esta opción se indica el tipo de gráfico que se desea generar. Existen dos tipos:

1. LINEAL

El gráfico estará formado por símbolos y líneas rectas continuas uniendo cada uno de ellos.

2. PUNTUAL

El gráfico estará formado únicamente de símbolos o puntos calculados por el programa, sin líneas rectas que los unan.

3.4.8.3 Incremento de tiempo.

Aquí se especifica el incremento con que se desea que se haga el gráfico; esto es, si se desea graficar los resultados en días, en pñtadas, en décadas, etc. El incremento que aquí se especifique puede ser distinto al que se utilizó para efectuar el cálculo respectivo.

258

3.4.8.4 Código del vértice.

Esta opción permite cambiar el símbolo que aparece en los vértices del gráfico. Los posibles símbolos son:

1. NINGUNO (sin símbolos, sólo líneas)
2. + (símbolo más)
3. X (letra X)
4. CUADRO1 (cuadro "vacío")
5. CUADRO2 (cuadro "lleno")
6. ROMBO (figura de un rombo)
7. Y (letra Y)
8. * (asterisco)
9. O (letra O)
10. . (un punto)

3.4.8.5 Gráfico inverso.

Este es un "SWITCH" del tipo SI/NO que permite cambiar la forma en que se despliega el gráfico en pantalla, de modo NORMAL (blanco sobre negro) a modo INVERTIDO (negro sobre blanco). Por defecto el "SWITCH" es NO, o sea, gráfico NORMAL.

3.4.8.6 Gráfico por impresora.

Este también es un "SWITCH" del tipo SI/NO y se utiliza cuando se desea imprimir el gráfico (papel). Por defecto el "SWITCH" es NO, o sea, el gráfico se desplegará únicamente por pantalla.

3.4.8.7 Generar el gráfico.

Finalmente, falta aclarar cómo se genera un gráfico dadas y configuradas las opciones anteriores. Esto se hace presionando la tecla F10: el gráfico se desplegará por pantalla y se mantendrá así hasta que se presione cualquier otra tecla. En el caso de que se tengan varios SIEMBROS marcados, se irá generando un gráfico tras otro haciendo una pausa entre cada uno (la pausa acaba hasta que se presione cualquier tecla); presionando la tecla ESC se termina la graficación de un conjunto de SIEMBROS. Mientras no se efectúe un nuevo cálculo o no se modifiquen las

opciones de los cálculos o los datos utilizados o no se termine el programa, se puede presionar la tecla F10 para ver de nuevo los gráficos generados.

3.4.9 DISPOSITIVO.

En esta sección se le permite al usuario cambiar el "dispositivo de salida" de los reportes. Hay tres opciones para ello:

3.4.9.1 Pantalla.

Los reportes se desplegarán únicamente en la pantalla.

3.4.9.2 Impresora.

Los reportes se desplegarán por pantalla y simultáneamente en impresora. Simultáneamente quiere decir que cada una de las páginas (o pantallas) del reporte se despliega primero por pantalla y luego se imprime, se presiona cualquier tecla y luego se continúa con la siguiente página, que primero se despliega por pantalla y luego se imprime, etc.

3.4.9.3 Disco.

Los reportes se desplegarán por pantalla, y simultáneamente se grabarán en un archivo ASCII (texto) en disco. Es necesario, por lo tanto, especificar un archivo destino para el reporte, que por defecto tiene extensión TXT. En el caso de que el archivo YA EXISTA, se pregunta al usuario si desea sobrescribir el reporte en él (con lo que se perdería la información anterior) o si desea agregar el reporte actual al final del archivo, con lo que el archivo crece.

3.5 OPCION DE UTILITARIOS.

Esta opción contiene tres secciones adicionales que pretenden hacer más versátil el funcionamiento de AQUA. Estas son:

3.5.1 DIRECTORIO DE DATOS.

Aquí se permite especificar el directorio que será utilizado para la lectura y escritura de los diferentes tipos de datos (Cultivos, Siembros, PPT, ETP, etc.). Esto facilita el tener varios juegos de datos para diferentes pruebas y análisis, así como el tener por aparte los datos por regiones o tipos de cultivos. De paso, esto evita que los archivos de datos crezcan demasiado.

El directorio de datos es almacenado en el archivo de configuración del Sistema, por lo que cada vez que AQUA se ejecuta se reestablece por defecto ese directorio de datos como el directorio de trabajo actual. Por ej., supóngase que por razones de orden y facilidad de hacer respaldos se desea tener los datos en un directorio llamado "D:\SALVADOR", y que el directorio de datos actual no es éste; para seguir usando dicho directorio, se escoge la opción de "DIRECTORIO DE DATOS" y se especifica el que se desea (ver Fig. 4.4); una vez establecido el directorio a utilizar, el programa lo seguirá usando cada vez que necesite datos.

3.5.2 RECUPERAR INDICES.

Permite hacer una reconstrucción de los índices de los archivos de datos, en caso de que un accidente haya ocurrido durante la ejecución de AQUA; por ej., un fallo de energía eléctrica.

3.5.3 IMPORTAR ARCHIVOS ASCII.

Permite, de una manera sencilla, importar datos climáticos (Evapotranspiración y Precipitación) de otros paquetes. Existen dos formatos de archivo predefinidos que AQUA soporta:

3.5.3.1 CliCom.

El paquete CliCom exporta sus datos a archivos ASCII con un formato estándar que incluye el código de la estación meteorológica, el código del tipo de dato exportado (ETP, PPT, Temperatura, etc.), la fecha del dato (año y mes) y los valores climáticos propiamente dichos. Así, para importar desde AQUA datos almacenados en CliCom deben seguirse los siguientes pasos:

- A. Exportar los datos deseados utilizando el paquete CliCom a uno o varios archivos ASCII.
- B. Escoger la opción UTILITARIOS\IMPORTAR ARCHIVOS ASCII\CLICOM en AQUA.

C. AQUA le pedirá la siguiente información referente a los datos por importar. Introdúzcala:

C.1. Nombre del archivo ASCII donde se encuentran los datos en formato CliCom.

C.2. Nombre de la estación meteorológica a la que se le añadirán los datos que se van a importar. Esta estación puede no existir aún, pues AQUA se encarga de crearla si se da el caso.

C.3. El tipo de dato por importar. Por medio de un Menú el usuario debe indicar si los datos a importar son de ETP diaria, ETP mensual o PPT. Para el caso de ETP (de cualquier tipo), se pide además un coeficiente de ajuste que será multiplicado por cada valor de ETP. Este coeficiente tiene su razón de uso cuando los datos importados de ETP son obtenidos del tanque de evaporación, y su cálculo depende de condiciones atmosféricas, de la estación de donde proceden los datos y de las características del tanque. Cuando no se desea utilizar este coeficiente introdúzcase un valor de 1.

D. Se procederá con la importación de los datos. Si se diera el caso de que para alguna fecha el dato ya existiera en los archivos de datos de AQUA, se le consultará al usuario para saber si desea cambiarlos por los nuevos; en caso contrario, se mantendrán los que ya existen.

3.5.3.2 Columnar.

El formato columnar es un formato predefinido por AQUA que puede utilizarse para importar datos climáticos desde muy variadas fuentes. Por ejemplo, si se tienen datos almacenados en hojas electrónicas como LOTUS, QUATTRO o SMART, estos pueden ser exportados a archivos ASCII en forma columnar, y luego importarse utilizando AQUA. En el Cuadro 3.3 se presenta la forma en que debe estar un archivo para poder ser importado en formato columnar:

IMPORTACION DE DATOS ASCII, METODO COLUMNAR:

- 1- Al convertir a ASCII un registro de datos desde cualquier paquete manejador de datos, las columnas deben ser de igual tamaño y con un ancho mínimo de 6 espacios columnares.
- 2- El archivo en ASCII no tiene que contener líneas, columnas o espacios no deseados, según el formato del cuadro 3.3.
- 3- Todo dato faltante debe ser reemplazado por la letra F.
- 4- Todos los meses del año deben de tener los datos correspondientes a la duración del mes, inclusive los bisiestos.
- 5- El número de espacios columnares a descartar debe incluir todas las columnas anteriores a la primera del mes de enero.

2/12

Archivo: PRUEBA.TXT

Línea		MES											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Línea 01													
Línea 02													
Línea 03													
Línea 04													
Línea 05													
Línea 06	01	0.0	0.9	4.4	4.3	3.2	1.2	1.1	0.0	0.2	4.4	F	1.2
Línea 07	02	0.0	6.4	0.0	F	2.2	9.5	4.3	4.2	0.0	3.2	0.2	2.3
Línea 08	03	0.0	0.0	2.4	3.3	6.6	8.3	2.4	7.4	3.4	F	2.3	F
Línea 09	04	0.1	2.3	5.4	0.0	4.4	6.4	F	4.4	4.2	4.4	6.2	4.3
Línea 10	05	0.0	0.0	3.3	3.3	3.3	F	F	3.3	6.4	3.3	7.4	3.3
Línea 11	06	0.0	0.9	4.4	4.3	3.2	1.2	1.1	0.0	0.2	4.4	F	1.2
Línea 12	07	0.0	0.0	2.4	3.3	6.6	8.3	2.4	7.4	3.4	F	2.3	0.0
Línea 13	08	0.0	0.0	3.3	3.3	3.3	F	0.0	3.3	6.4	3.3	7.4	3.3
Línea 14	09	0.1	2.3	5.4	0.0	4.4	6.4	0.0	4.4	4.2	4.4	6.2	4.3
Línea 15	10	0.0	0.0	2.4	3.3	6.6	8.3	2.4	7.4	3.4	F	2.3	0.0
Línea 16	11	0.0	0.9	4.4	4.3	3.2	1.2	1.1	0.0	0.2	4.4	0.0	1.2
Línea 17	12	0.0	0.0	3.3	3.3	3.3	F	F	3.3	6.4	3.3	7.4	3.3
Línea 18	13	0.0	6.4	0.0	0.0	2.2	9.5	4.3	4.2	F	3.2	0.2	2.3
Línea 19	14	0.0	6.4	0.0	0.0	2.2	9.5	4.3	4.2	F	3.2	0.2	2.3
Línea 20	15	0.0	0.0	2.4	3.3	6.6	8.3	2.4	7.4	3.4	F	2.3	0.0
Línea 21	16	0.1	2.3	5.4	0.0	4.4	6.4	F	4.4	4.2	4.4	6.2	4.3
Línea 22	17	0.0	0.0	3.3	3.3	3.3	F	F	3.3	6.4	3.3	7.4	3.3
Línea 23	18	0.0	6.4	0.0	0.0	2.2	9.5	4.3	4.2	F	3.2	0.2	2.3
Línea 24	19	0.1	2.3	5.4	0.0	4.4	6.4	F	4.4	4.2	4.4	6.2	4.3
Línea 25	20	0.0	0.0	3.3	3.3	3.3	F	F	3.3	6.4	3.3	7.4	3.3
Línea 26	21	0.1	2.3	5.4	0.0	4.4	6.4	F	4.4	4.2	4.4	6.2	4.3
Línea 27	22	0.0	0.9	4.4	4.3	3.2	1.2	1.1	0.0	0.2	4.4	0.0	1.2
Línea 28	23	0.1	2.3	5.4	0.0	4.4	6.4	F	4.4	4.2	4.4	6.2	4.3
Línea 29	24	0.0	0.0	3.3	3.3	3.3	F	F	3.3	6.4	3.3	7.4	3.3
Línea 30	25	0.0	6.4	0.0	0.0	2.2	9.5	4.3	4.2	F	3.2	0.2	2.3
Línea 31	26	0.0	0.0	2.4	3.3	6.6	8.3	2.4	7.4	3.4	7.3	2.3	7.3
Línea 32	27	0.0	0.0	3.3	3.3	3.3	F	7.3	3.3	6.4	3.3	7.4	3.3
Línea 33	28	0.0	6.4	0.0	0.0	2.2	9.5	4.3	4.2	F	3.2	0.2	2.3
Línea 34	29	0.1	2.3	5.4	7.3	4.4	6.4	F	4.4	4.2	4.4	6.2	4.3
Línea 35	30	0.0		3.3	6.6	8.3	2.4	7.4	3.4	7.3	2.3	7.3	1.0
Línea 36	31	0.0		4.3		1.2		0.0	0.2		F		0.9
Línea 37													

Cuadro 3.3. Ejemplo de formato columnar de un archivo de datos (ASCII) para importarlo.

243

También deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones respecto al formato del archivo precedente:

- Hay cinco líneas sin datos al inicio del archivo. El usuario debe indicar cuantas líneas sin datos (vacías o con títulos) hay en el encabezado del archivo para que la rutina de importación de datos no las tome en cuenta (ver Fig. 4.8).
- La primera columna de datos se inicia en la columna 6. El usuario debe indicar cuantas columnas sin datos (vacías o con títulos) hay a la izquierda del archivo para que la rutina de importación no las tome en cuenta (ver Fig. 4.8).

Así, para importar desde AQUA datos almacenados en otro paquete que permita crear archivos ASCII deben seguirse los siguientes pasos:

- A. Exportar los datos deseados utilizando el paquete correspondiente a uno o varios archivos ASCII, siguiendo el formato ya especificado. Se debe notar que es necesario crear un archivo ASCII por cada año de datos.
- B. Escoger la opción UTILITARIOS\IMPORTAR ARCHIVOS ASCII en AQUA.
- C. AQUA le pedirá la siguiente información referente a los datos por importar. Introdúzcala:
 - C.1. Nombre del archivo ASCII donde se encuentran los datos.
 - C.2. Nombre de la Estación Meteorológica a la que se le añadirán los datos que se van a importar. Esta estación puede no existir aún, pues AQUA se encarga de crearla si se da el caso. También se debe especificar el año al que pertenecen los datos.
 - C.3. El número de líneas y de columnas que se deben descartar del inicio del archivo, las cuales pueden estar con blancos o con títulos (nombre del mes, día del mes, etc).
 - C.4. El código que se utiliza en el archivo para indicar que un día faltó el dato (ej. F). Al importar los datos el programa convierte ese código en -999.9, para indicar que es un dato faltante.
 - C.5. El tipo de dato por importar. Por medio de un Menú el usuario debe indicar si los datos a importar son de ETP diaria, ETP mensual o PPT.
- D. Se procederá con la importación de los datos. Si se diera el caso de que para alguna fecha el dato ya existiera en los archivos de datos de AQUA, se le consultará al usuario para saber si desea cambiarlos por los nuevos; en caso contrario, se mantendrán los que ya existen.

4. USO Y APLICACIONES.

4.1 INTRODUCCION.

Las siguientes páginas están dedicadas a hacer un recorrido general por todo el programa AQUA, y a la vez dar un ejemplo del análisis de una región. Se muestran las pantallas más relevantes y los reportes impresos que el programa genera.

Para realizar el análisis se escogió la estación meteorológica de la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, de la Universidad de Costa Rica, debido a que es uno de los sitios donde se ha realizado la mayor parte de los experimentos de campo del Proyecto que conllevaron a esta versión del modelo (ver Figura 1.1 para distribución de lluvias en esta localidad).

245

4.2 PRESENTACION.

Al iniciar el uso del programa aparece la pantalla de presentación mostrada en la Figura 4.1.

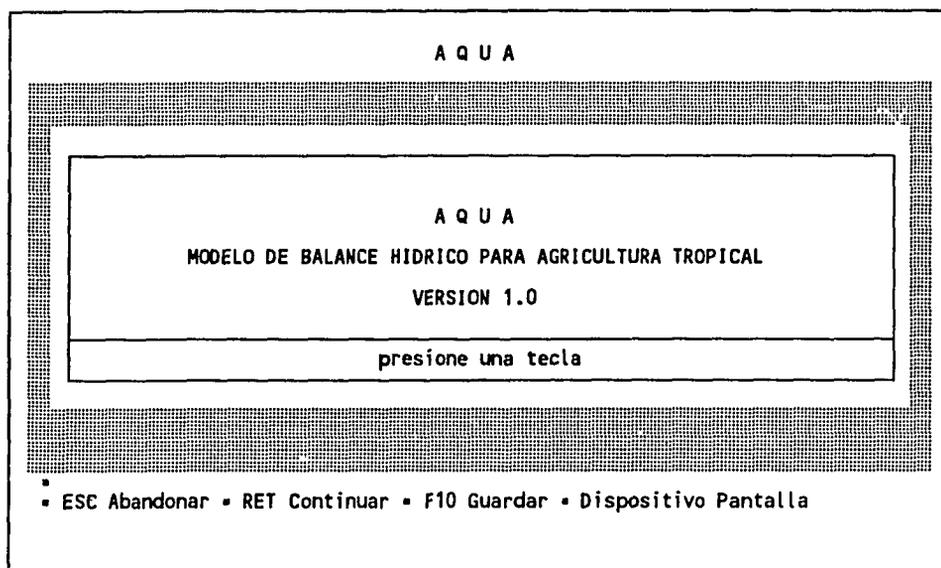


Figura 4.1. Pantalla de presentación del programa.

Luego de presionar cualquier tecla, aparece el menú principal del programa, el cual se muestra en la Figura 4.2.

246

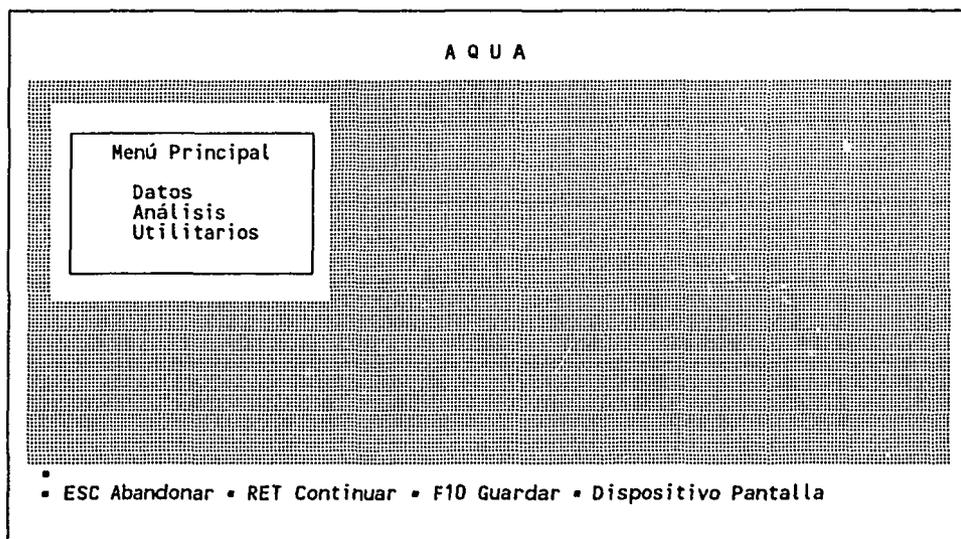


Figura 4.2. Menú principal del programa.

A partir de este menú se puede entrar a las tres secciones del programa: Datos, Análisis o Utilitarios.

En el caso del estudio de la Estación Experimental Fabio Baudrit, lo primero que se realizó fue la importación de los datos climáticos a partir de los datos que fueron proporcionados. Dichos datos se encontraban en el formato utilizado por el programa CLICOM, el cual es promovido por la Organización Meteorológica Mundial. Dado que para importar datos es necesario ingresar en la sección de Utilitarios, ésta será la primera sección que se recorrerá.

4.3 SECCION DE UTILITARIOS.

En la Figura 4.3 se muestra el menú correspondiente a la sección de Utilitarios, al cual se llegó colocando la barra de selección (usando las teclas para mover el cursor; ver sección 3.3.8) en la opción Utilitarios del menú principal (Figura 4.2) y presionando la tecla RETURN.

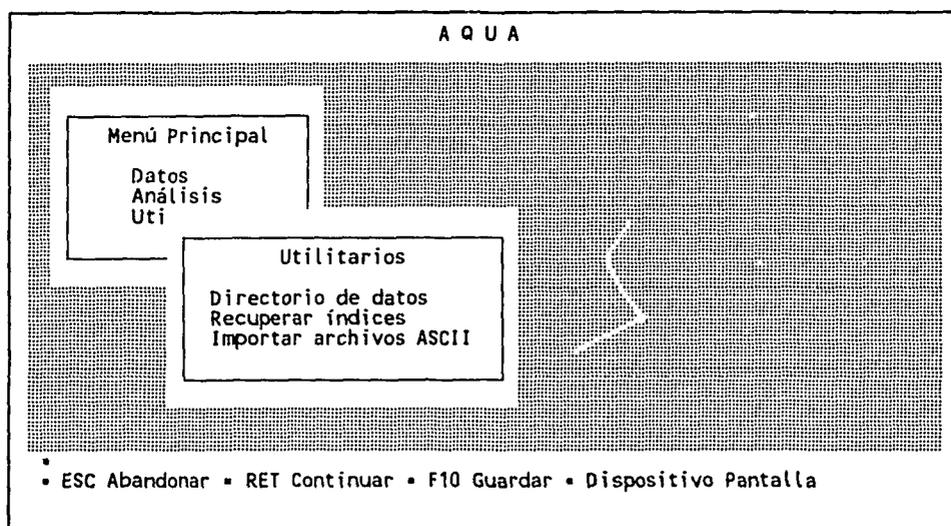


Figura 4.3. Menú de la sección de Utilitarios.

4.3.1 DIRECTORIO DE DATOS.

La primera opción del menú de Utilitarios sirve para cambiar el subdirectorio de datos, con lo cual se pueden tener datos en diferentes directorios e incluso en diferentes unidades de disco. Para el caso que se está estudiando no se utilizó esta opción, puesto que todos los datos necesarios se encontraban en el disco y directorio del programa principal.

En la Figura 4.4 se puede observar la pantalla donde se establece el directorio que se usará para leer los datos.

245

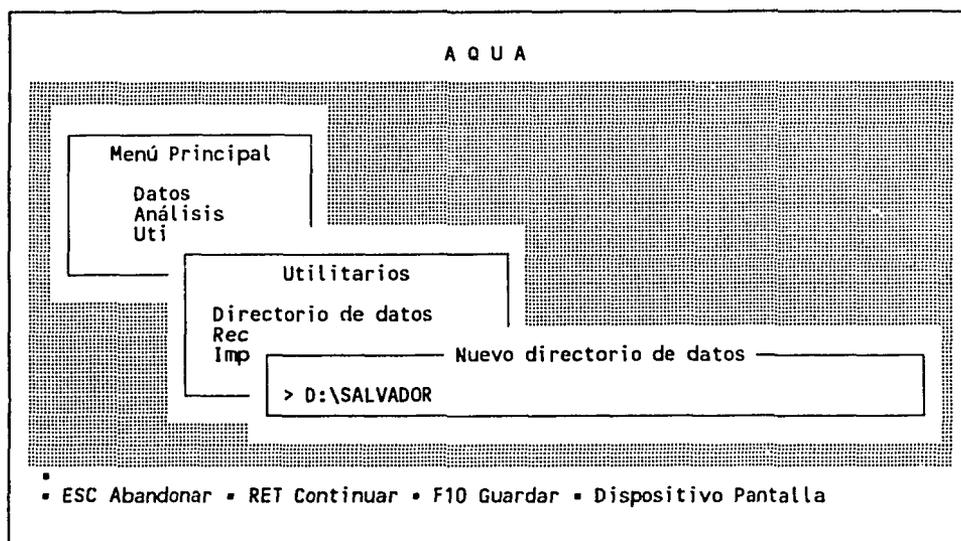


Figura 4.4. Pantalla donde se establece el directorio en el que están los datos.

4.3.2 RECUPERACION DE INDICES DE LOS DATOS.

La segunda opción del menú de Utilitarios (Figura 4.3) se utiliza cuando por alguna razón se dañan los archivos de índices de los datos del programa. Dichos índices son un mecanismo que usa el programa para localizar en forma rápida la información (no se deben confundir con los índices de déficit, exceso o estrés). Al ser escogida esta opción, el programa empieza inmediatamente a reconstruir los archivos de índices a partir de los archivos de datos.

4.3.3 IMPORTACION DE ARCHIVOS ASCII.

La tercera opción del menú de Utilitarios es la usada para importar datos de diferentes fuentes. En la Figura 4.5 se muestra el submenú en el que se puede escoger el formato desde el cual se importarán los datos.

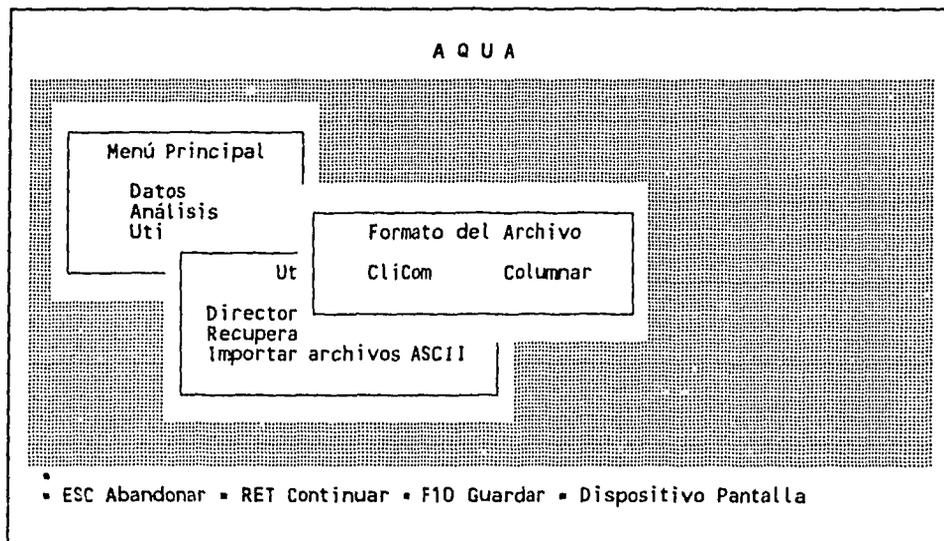


Figura 4.5. Menú donde se escoge el formato en el que se encuentran los datos a importar.

Para el caso de la Estación Fabio Baudrit, los datos climáticos se obtuvieron en formato ASCII de CLICOM. Al escoger la opción de formato CLICOM en el menú de la Figura 4.5, aparece la pantalla mostrada en la Figura 4.6, donde se pregunta el nombre del archivo donde se encuentran los datos, el nombre de la estación a la que se quieren añadir los datos y si se van a importar valores de ETP diaria o ETP mensual o PPT diaria.

A Q U A

Menú Principal

Datos
Análisis
Uti

Formato del Archivo

Ut CliCom Columnar

Di
Re
Im

Nombre del archivo : PCENTRAL.DAT
Estación : FABIO BAUDRIT

Tipo de dato : ETP diaria ETP mensual PPT

▪ ESC Abandonar ▪ RET Continuar ▪ F10 Guardar ▪ Dispositivo Pantalla

Figura 4.6. Pantalla donde se especifican los parámetros necesarios para importar datos de CLICOM.

Si se están importando datos de ETP, luego de llenar la pantalla mostrada en la Figura 4.6, aparece otra pantalla (Figura 4.7) donde se pregunta un valor de ajuste en caso de que los datos que se estén importando sean datos del tanque de evaporación. El valor de ETP que se introduce al programa es el producto del coeficiente del tanque por el valor que viene en el archivo ASCII. En el caso de la Fabio Baudrit, se usó un valor de 0.7 para ajustar los valores del tanque de evaporación a valores de evapotranspiración potencial. Si los valores importados son directamente ETP, entonces el coeficiente de ajuste es 1.0.

Una vez entrado el coeficiente (dando RETURN) el programa procede a importar los datos.

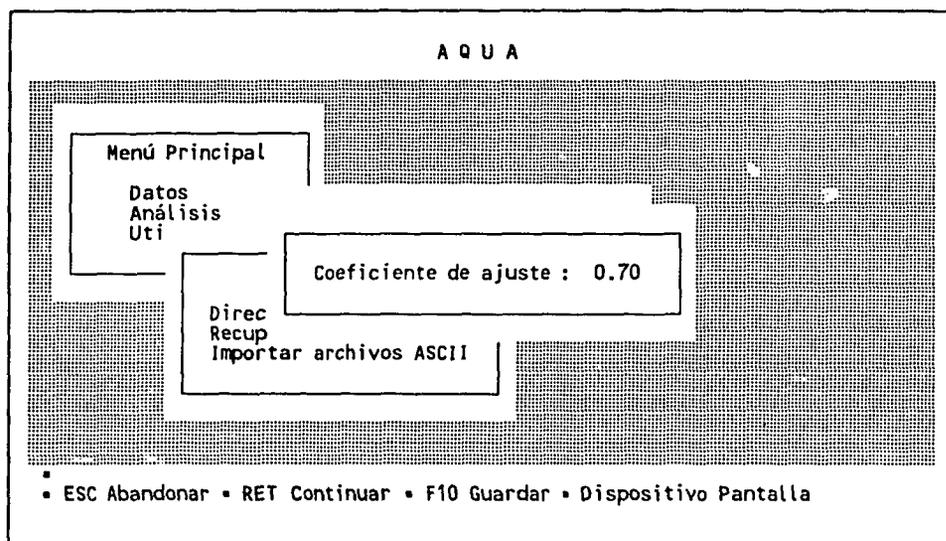


Figura 4.7. Pantalla para introducir un coeficiente de ajuste cuando se importan datos de ETP.

Si en el menú de la Figura 4.5 se escoge el formato columnar, aparecerá la pantalla de la Figura 4.8, en la que se establecen, además del nombre de la estación, el nombre del archivo de datos ASCII y el tipo de dato (ETP o PPT diaria), el año al que corresponden los datos, el número de líneas (filas) y columnas que se deben descartar del archivo ASCII y el código de caracteres que se usa en el archivo ASCII para representar un dato climático faltante. Luego de esta pantalla, si se están importando datos de ETP diaria aparecerá la pantalla mostrada en la Figura 4.7 para realizar la conversión de datos de evaporación de tanque a ETP, de ser el caso.

201

A Q U A

Menú Principal

Datos
Análisis
Uti

Ut

Director
Recupera
Importar arc

Nombre del archivo :
Estación :
Año : 1980

líneas descartar : 0
columnas descartar : 0
Hilera dato faltante :

Tipo de dato : ETP PPT

▪ ESC Abandonar ▪ RET Continuar ▪ F10 Guardar ▪ Dispositivo Pantalla

Figura 4.8. Datos requeridos por el programa para importar valores desde archivos ASCII en formato columnar.

4.4 SECCION DE DATOS.

Luego de leer los datos climáticos de los archivos ASCII, o si se desea digitar dichos datos directamente en el programa, se puede entrar a la Opción de Datos del menú principal (Figura 4.2). Cuando se entra en esta opción, aparece el menú que se ve en la Figura 4.9, desde el cual se puede escoger qué tipo de dato se quiere modificar, borrar o insertar.

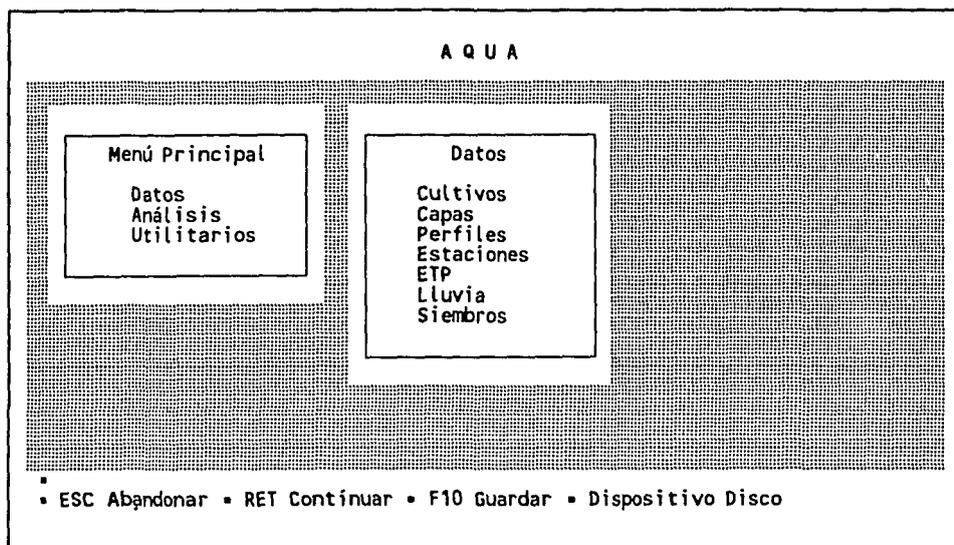


Figura 4.9. Menú de la sección de datos, donde aparecen todos los tipos de datos utilizados por el programa.

El orden en que aparecen los datos en el menú de la Figura 4.9 es el orden lógico en el que se pueden introducir. Para introducir datos de perfiles, es necesario introducir primero datos de capas, para introducir datos climáticos es necesario definir primero estaciones meteorológicas y para poder definir siembros deben existir todos los demás datos.

254

4.4.1 CULTIVOS.

Al escoger la opción de cultivos en el menú de datos, aparece la lista de cultivos mostrada en la Figura 4.10. Dicha lista se maneja según se especifica en la Sección 3.3.8 de este documento.

A Q U A	
Menú Principa Datos Análisis Utilitarios	Datos de Cultivos 1 ARROZ 2 BOSQUE JOVEN 3 BOSQUE VIEJO 4 COYOLILLO 5 CULT. P/ ULTIMA CC 6 EN ESTABLECIMIENTO 7 ESTABLECIDO ANUAL 8 FRIJOL 9 MAIZ 10 RESISTENTE
INS·Insertar DEL·Eliminar	CTRL-RET·Copiar RETURN·Modificar ↓↑·Escoger
ESC Abandonar RET Continuar F10 Guardar Dispositivo Pantalla	

Figura 4.10. Ejemplo de lista de cultivos.

Cuando se insertan, copian o modifican datos de cultivo, aparece la pantalla de introducción de datos que se ve en la Figura 4.11. En el caso mostrado en la figura, se están modificando los datos correspondientes al cultivo de arroz utilizado para hacer algunos de los análisis enumerados en este documento.

El funcionamiento de esa pantalla de introducción de datos, y de todas las restantes del programa, se explica en la Sección 3.3.8 de este manual.

A Q U A

Nombre		: ARROZ	
Duración efectiva (días)		: 110	
Lámina para exceso (mm)		: 25	
Resistente o Susceptible (R/S)		: R	
Tipo de datos para las etapas (1/2)		: 2	

Etapa	Duración días	KC	CA	%	PR cm
1. PRE-EMERGENCIA	5	0.50	50		25.00
2. ESTABLECIMIENTO	20	0.50	50		25.00
3. ESTABLECIMIENTO2	25	0.50	50		50.00
4. VEGETATIVO	40	0.75	50		50.00
5. VEGETATIVO2	50	0.75	50		80.00
6. MADUREZ	110	1.00	50		80.00
7.	0	0.00	0		0.00

• Modificando datos de Cultivos ...
 • ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Disco

Figura 4.11. Ejemplo de pantalla de introducción de datos de cultivo.

La "Lámina para exceso" mostrada en la Figura 4.11 es la cantidad de milímetros de agua en que debe sobrepasarse el límite máximo (ADC_N) del balance hídrico B_N para que el cultivo entre en estrés hídrico por exceso de agua. Dicho valor depende de la capacidad del cultivo para soportar condiciones de anegamiento.

El campo "Resistente o Susceptible" de la pantalla mostrada en la Figura 4.11 solo puede tomar dos valores: R o S, y con dicho valor se indica al programa cómo debe considerar el cultivo en caso de analizarse para fecha más temprana de siembra: como un cultivo resistente o susceptible al déficit hídrico en la etapa de establecimiento.

El campo "Tipo de datos para las etapas" de dicha pantalla sirve para indicarle al programa si los valores de Kc, CA y PR que se asignan a cada etapa representan valores promedio mantenidos durante toda la etapa o más bien son

256

valores puntuales encontrados al final de cada etapa, por lo que los valores para cada día de la etapa se calculan por interpolación lineal.

Las duraciones de cada etapa se dan como el número de días desde la siembra hasta el cual la etapa llega. Por ejemplo, en el cultivo mostrado en la Figura 4.11 la etapa de pre-emergencia va desde la siembra hasta el quinto día, la etapa de establecimiento va desde el sexto día hasta el veinteaño día después de la siembra y así sucesivamente.

Si al estar en la lista de cultivos (Figura 4.10) se presiona la tecla o <SUPR>, el programa preguntará si se desea borrar el dato sobre el que se encuentra posicionado el cursor (Figura 4.12). Si se responde afirmativamente, el programa borrará dicho dato.

A Q U A

Datos de Cultivos

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

ARROZ

ARROZ 0

¿ Está seguro que desea eliminar este dato ? (Si/No) S
¡ Datos ligados a él pueden ser borrados !

INS Insertar	CTRL-RET Copiar	F1 Escoger	ESC Terminar
DEL Eliminar	RETURN Modificar		

Opciones

• ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Disco

Figura 4.12. Mensaje que aparece cuando se intenta borrar un dato de una lista.

257

4.4.2 CAPAS DE SUELO.

Al entrar en la opción de capas del menú de datos (Figura 4.9), aparece una lista de capas de suelo similar a la lista de cultivos. Cuando en dicha lista se modifica, añade o copia una capa, aparece la pantalla de introducción de datos que se ve en la Figura 4.13.

A Q U A

Datos de Capas

1	AQUA
2	ARCILLA
3	AREN
4	!INO

Nombre : AQUA

Capacidad (mm/m) : 100.00

INS Insertar DEL Eliminar	CTRL-RET Copiar RETURN Modificar	F1 Escoger	ESC Terminar	Opciones
------------------------------	-------------------------------------	------------	--------------	----------

▪ Modificando datos de Capas ...
 ▪ ESC Abandonar ▪ RET Continuar ▪ F10 Guardar ▪ Dispositivo Disco

Figura 4.13. Ejemplo de lista de capas con la pantalla de introducción de datos de la capa hipotética AQUA con una capacidad de almacenamiento de agua disponible a cultivos de 100 mm de agua por metro de suelo.

2

4.4.3 PERFILES DE SUELO.

A partir de las capas que se definan, se pueden crear perfiles de suelo entrando en la opción de perfiles del menú de datos (Figura 4.9). De igual forma que para cultivos y capas, aparece una lista de perfiles en la que al hacer una operación de inserción, modificación o copiado de un perfil, se despliega la pantalla de introducción de datos de perfil mostrada en la Figura 4.14. En la misma se pueden definir hasta cinco capas con diferentes espesores para cada perfil de suelo.

A Q U A

Datos de Perfiles

1 2 3	AQUA ARCIL COMPU	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">Nombre : AQUA</td> </tr> <tr> <td style="width: 60%; text-align: center;">Capa</td> <td style="width: 40%; text-align: center;">Espesor</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">cm</td> </tr> <tr> <td>1. AQUA</td> <td style="text-align: right;">200.00</td> </tr> <tr> <td>2.</td> <td style="text-align: right;">0.00</td> </tr> <tr> <td>3.</td> <td style="text-align: right;">0.00</td> </tr> <tr> <td>4.</td> <td style="text-align: right;">0.00</td> </tr> <tr> <td>5.</td> <td style="text-align: right;">0.00</td> </tr> </table>	Nombre : AQUA		Capa	Espesor		cm	1. AQUA	200.00	2.	0.00	3.	0.00	4.	0.00	5.	0.00
Nombre : AQUA																		
Capa	Espesor																	
	cm																	
1. AQUA	200.00																	
2.	0.00																	
3.	0.00																	
4.	0.00																	
5.	0.00																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">INS Insertar</td> <td style="width: 25%;">RETURN Modificar</td> <td style="width: 25%;">T Escoger</td> <td style="width: 25%;">ESC Terminar</td> </tr> <tr> <td>DEL Eliminar</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		INS Insertar	RETURN Modificar	T Escoger	ESC Terminar	DEL Eliminar				Opciones								
INS Insertar	RETURN Modificar	T Escoger	ESC Terminar															
DEL Eliminar																		

• Modificando datos de Perfiles ...
 • ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Disco

Figura 4.14. Pantalla de entrada de datos de perfiles de suelos con el ejemplo del suelo hipotético AQUA que es de 200 cm de profundidad con una misma capa u horizonte.

4.4.4 ESTACIONES METEOROLOGICAS.

De la misma manera que para los anteriores tipos de datos, al entrar en la opción de estaciones meteorológicas del menú de datos (Figura 4.9), aparece una lista con los nombres de las diferentes estaciones meteorológicas que se han definido. Al añadir, modificar o copiar los datos de alguna estación, aparecerá la pantalla mostrada en la Figura 4.15.

A Q U A

Datos de Estaciones

1 CAÑAS, SAN LUIS
2 CAÑA
3 FABI

Nombre : FABIO BAUDRIT
Elevación (msnm) : 840
Latitud : 10° 1' Tipo : A
Longitud : 84°16'

INS Insertar DEL Eliminar	CTRL-RET Copiar RETURN Modificar	F Escoger	ESC Terminar
------------------------------	-------------------------------------	-----------	--------------

Opciones

- Modificando datos de Estaciones ...
- ESC Abandonar ▪ RET Continuar ▪ F10 Guardar ▪ Dispositivo Disco

Figura 4.15. Pantalla de introducción de datos de estaciones meteorológicas con un ejemplo.

260

4.4.5 EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL.

La opción de datos de ETP (evapotranspiración potencial) del menú de datos (Figura 4.9) presenta algunas diferencias con las anteriores. Al entrar en dicha opción, se presenta otro menú en el que el usuario puede escoger el tipo de dato de ETP que desea manejar (Figura 4.16). Si se escoge ETP promedio, el programa muestra la lista de estaciones meteorológicas que poseen dicho tipo de dato (Figura 4.17), y si se escoge insertar datos de ETP promedio, aparece la pantalla mostrada en la Figura 4.18.

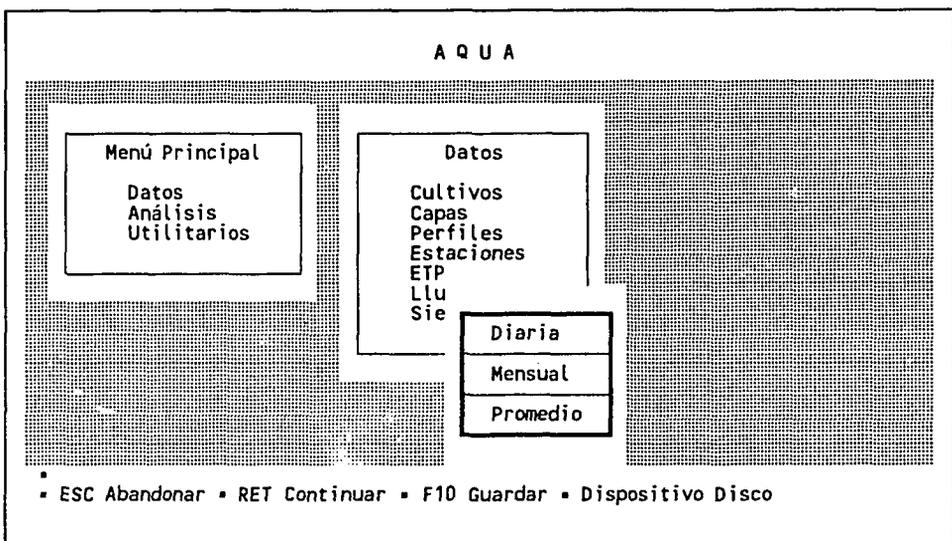


Figura 4.16. Menú de escogencia del tipo de dato de ETP que se desea manejar.

261

A Q U A

Datos de Estaciones

1	CAÑAS, SAN LUIS
2	CAÑAS, TABOGA
3	FABIO BAUDRIT
4	PRUEBA

Menú Principa

Datos

Análisis

Utilitarios

INS·Insertar DEL·Eliminar	CTRL-RET·Copiar RETURN·Modificar ↑·Escoger
------------------------------	--

▪ ESC Abandonar ▪ RET Continuar ▪ F10 Guardar ▪ Dispositivo Pantalla

Figura 4.17. Ejemplo de pantalla con la lista de estaciones que poseen datos de ETP promedio.

A Q U A

Promedio diario mensual

Estación :

Mes	ETP	Mes	ETP
	mm		mm
Enero		Julio	
Febrero		Agosto	
Marzo		Setiembre	
Abril		Octubre	
Mayo		Noviembre	
Junio		Diciembre	

> Promedio : 0.000 > Σ : 0.000

No hay DAT

Opciones v

Ins·Insert

Del·Elimin

Opciones

▪ Insertando datos de Evapotranspiración promedio ...
▪ ESC Abandonar ▪ RET Continuar ▪ F10 Guardar ▪ Dispositivo Pantalla

Figura 4.18. Pantalla para la introducción de datos de evapotranspiración promedio. Los datos introducidos son en mm/día.

262

Al escoger ETP mensual el programa muestra la lista de estaciones meteorológicas que están definidas (muy similar a Fig. 4.17) y al escoger una estación, aparece la lista de años de los que se poseen datos; si se escoge modificar, insertar o copiar datos de ETP mensual, se verá la pantalla de introducción de datos mostrada en la Figura 4.19.

Cuando se escoge ETP diaria, aparece una lista de estaciones que muestra las que poseen datos de ETP diaria (casi igual a la lista mostrada en la Fig. 4.17). Al escoger una estación, aparece la lista de meses de los cuales se tienen datos (Fig. 4.20, que es muy similar a la lista de años que aparece para ETP mensual), y si se escoge introducir, modificar o copiar, aparece la pantalla mostrada en la Fig. 4.21.

A Q U A

Dat 1 1 2 1 3 1 4 1 5 1 6 1 7 1 8 1 9 1 10 1	Promedio diario mensual Estación : FABIO BAUDRIT Año : 1970	RIT Opciones																																																								
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Mes</th> <th style="width: 25%;">ETP</th> <th style="width: 20%;"></th> <th style="width: 5%;">mm</th> <th style="width: 50%;">Mes</th> <th style="width: 25%;">ETP</th> <th style="width: 20%;"></th> <th style="width: 5%;">mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Enero</td> <td>4.0</td> <td></td> <td></td> <td>Julio</td> <td>2.3</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Febrero</td> <td>5.7</td> <td></td> <td></td> <td>Agosto</td> <td>2.4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Marzo</td> <td>4.8</td> <td></td> <td></td> <td>Setiembre</td> <td>2.5</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Abril</td> <td>4.3</td> <td></td> <td></td> <td>Octubre</td> <td>2.4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Mayo</td> <td>3.7</td> <td></td> <td></td> <td>Noviembre</td> <td>2.4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Junio</td> <td>2.7</td> <td></td> <td></td> <td>Diciembre</td> <td>3.0</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Mes	ETP		mm	Mes	ETP		mm	Enero	4.0			Julio	2.3			Febrero	5.7			Agosto	2.4			Marzo	4.8			Setiembre	2.5			Abril	4.3			Octubre	2.4			Mayo	3.7			Noviembre	2.4			Junio	2.7			Diciembre	3.0			
Mes	ETP		mm	Mes	ETP		mm																																																			
Enero	4.0			Julio	2.3																																																					
Febrero	5.7			Agosto	2.4																																																					
Marzo	4.8			Setiembre	2.5																																																					
Abril	4.3			Octubre	2.4																																																					
Mayo	3.7			Noviembre	2.4																																																					
Junio	2.7			Diciembre	3.0																																																					
InsInsert DelElimin	> Promedio : 3.335 > Σ : 1217.200																																																									

• Modificando datos de Evapotranspiración mensual ...
 • ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Pantalla

Figura 4.19. Ejemplo de la pantalla de introducción de datos de ETP mensual.

A Q U A

ETP diaria -> FABIO BAUDRIT

<p>Menú Principa</p> <p>Datos</p> <p>Análisis</p> <p>Utilitarios</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>01/1962</td></tr> <tr><td>2</td><td>02/1962</td></tr> <tr><td>3</td><td>03/1962</td></tr> <tr><td>4</td><td>04/1962</td></tr> <tr><td>5</td><td>05/1962</td></tr> <tr><td>6</td><td>06/1962</td></tr> <tr><td>7</td><td>07/1962</td></tr> <tr><td>8</td><td>08/1962</td></tr> <tr><td>9</td><td>09/1962</td></tr> <tr><td>10</td><td>10/1962</td></tr> </table>	1	01/1962	2	02/1962	3	03/1962	4	04/1962	5	05/1962	6	06/1962	7	07/1962	8	08/1962	9	09/1962	10	10/1962
1	01/1962																				
2	02/1962																				
3	03/1962																				
4	04/1962																				
5	05/1962																				
6	06/1962																				
7	07/1962																				
8	08/1962																				
9	09/1962																				
10	10/1962																				
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">INS·Insertar</td> <td style="width: 50%;">CTRL-RET·Copiar</td> </tr> <tr> <td>DEL·Eliminar</td> <td>RETURN·Modificar</td> </tr> <tr> <td></td> <td>↑·Escoger</td> </tr> </table>	INS·Insertar	CTRL-RET·Copiar	DEL·Eliminar	RETURN·Modificar		↑·Escoger														
INS·Insertar	CTRL-RET·Copiar																				
DEL·Eliminar	RETURN·Modificar																				
	↑·Escoger																				

▪ ESC Abandonar ▪ RET Continuar ▪ F10 Guardar ▪ Dispositivo Pantalla

Figura 4.20. Ejemplo de lista de fechas (meses) que poseen datos de ETP diaria para una estación.

Valores diarios (en mm)

		Estación : FABIO BAUDRIT				Año : 1970		Mes : 01						
1	1	1	11	21	31									
1	2	12	22	2	3.5	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>X : Promedio</td></tr> <tr><td>Σ : Sumatoria</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">TOTAL</td></tr> <tr><td>X : 3.9774</td></tr> <tr><td>Σ : 123.300</td></tr> </table>				X : Promedio	Σ : Sumatoria	TOTAL	X : 3.9774	Σ : 123.300
X : Promedio														
Σ : Sumatoria														
TOTAL														
X : 3.9774														
Σ : 123.300														
1	3	13	23	3	4.2									
1	4	14	24	4	4.8									
1	5	15	25	5	3.0									
1	6	16	26	6	6.6									
1	7	17	27	7	4.0									
1	8	18	28	8	4.2									
1	9	19	29	9	4.1									
2	10	20	30	10	3.4									
				31	6.8									
					8.4									
Ins	X : 4.4900		X : 2.5400		X : 4.8182									
Del	Σ : 44.900		Σ : 25.400		Σ : 53.000									

▪ Modificando datos de Evapotranspiración diaria ...
 ▪ ESC Abandonar ▪ RET Continuar ▪ F10 Guardar ▪ Dispositivo Pantalla

Figura 4.21. Ejemplo de la pantalla de introducción de datos de ETP diaria.

264

Debe notarse que tanto los promedios como las sumatorias mostrados en las Figuras 4.18, 4.19 y 4.21 se calculan luego de que se sale de la pantalla, por lo que es necesario que el usuario entre de nuevo en la pantalla luego de haber introducido los datos para que se muestren dichos valores ya calculados.

4.4.6 LLUVIA.

Para introducir datos de PPT se entra en la opción de manejo de datos de lluvia del menú de datos (Figura 4.9). Aparece entonces la lista de estaciones existentes para datos de precipitación (Figura 4.22). Para modificar, añadir o copiar un dato de PPT se utiliza la pantalla mostrada en la Figura 4.23.

A Q U A			
Estaciones existentes para precipitación			
1	CAÑAS, SAN LUIS		
2	CAÑAS, TABOGA		
3	FABIO BAUDRIT		
			Opciones
Ins Del	Insertar Eliminar	Shft-Ins Return	Copiar Modificar
		↑	Escoger
		Esc	Terminar
■ ESC Abandonar ■ RET Continuar ■ F10 Guardar ■ Dispositivo Pantalla			

Figura 4.22. Ejemplo de la lista de estaciones meteorológicas definidas en este caso que pueden ser usadas para manejo de datos de PPT diaria.

263

Valores diarios (en mm)					
Estación : FABIO BAUDRIT			Año : 1962		Mes : 01
1	0.0	11	0.0	21	0.4
2	0.0	12	0.0	22	0.0
3	0.0	13	0.0	23	0.0
4	0.0	14	0.0	24	0.0
5	0.0	15	0.0	25	0.0
6	0.1	16	0.0	26	0.0
7	0.0	17	0.0	27	0.0
8	0.0	18	0.0	28	0.0
9	0.0	19	0.0	29	0.0
10	0.0	20	0.0	30	0.0
				31	0.0
				X : Promedio	
				Σ : Sumatoria	
				TOTAL	
				X : 0.0161	
				Σ : 0.500	
In	X : 0.0100	X : 0.0000	X : 0.0364		
De	Σ : 0.100	Σ : 0.000	Σ : 0.400	es	

• Modificando datos de Lluvia ...
 • ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Pantalla

Figura 4.23. Ejemplo de la pantalla de introducción de datos de PPT diaria.

Los promedios y las sumatorias mostrados en la Figura 4.23 se calculan luego de que se guardan los datos, por lo que si el usuario desea ver esos valores calculados correctamente debe salir de la pantalla de entrada de datos con la tecla F10 y volver a entrar en ella.

4.4.7 SIEMBROS.

Al entrar en la opción de siembros del menú de datos (Figura 4.9), aparece la lista de siembros mostrada en la Figura 4.24. Cuando se modifica, inserta o copia algún siembro, aparece la pantalla que se ve en la Figura 4.25.

La lista de siembros (Figura 4.24) tiene una particularidad: en ella se indican cuáles siembros serán los utilizados para efectuar los análisis. Con la tecla <TAB> se marca o desmarca el siembro sobre el que se encuentra el cursor. Se pueden marcar hasta un máximo de 10 siembros. Como se puede observar en la Figura 4.24, en este caso sólo está marcado un siembro: "ARROZ" con el No.1.

A Q U A	
Datos de Siembros	
1	1 ARROZ
2	BALANCE ANUAL
3	BOSQUE
4	COYOLILLO
5	FRIJOL
6	MAIZ
7	RESISTENTE
8	SUSCEPTIBLE
9	ULTIMA FECHA A CC
INS·Insertar	CTRL-RET·Copiar
DEL·Eliminar	RETURN·Modificar
	↓↑·Escoger
■ ESC Abandonar ■ RET Continuar ■ F10 Guardar ■ Dispositivo Pantalla	

Figura 4.24. Ejemplo de la lista de siembros hipotéticos utilizados aquí, con ARROZ como único siembro marcado con el No.1.

A Q U A

----- Datos de Siembros -----

1	
2	
3	
4	Siembro : ARROZ
5	Area (Ha) : 100.00
6	Cultivo : ARROZ
7	Fecha de siembra : 13/11/1969
8	
9	Perfil del suelo : AQUA
10	Estación meteorológica : FABIO BAUDRIT

ciones

Ins In	Return Modificar	↑ Escoger	Esc Terminar
Del Eliminar			

- Modificando datos de Siembros ...
- ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Pantalla

Figura 4.25. Ejemplo de la pantalla de introducción de datos de siembros para el siembro ARROZ. El año que se pone con la fecha de siembra es tomado por defecto por el programa como año inicial para empezar cálculos. Esto es modificable en cada sección de "Datos..." del menú de análisis (ver, por ej., la sección 4.5.1.1).

4.5 SECCION DE ANALISIS.

Luego de introducir los datos pertinentes, el usuario puede efectuar diferentes cálculos para analizar uno o más siembros o una región. Para hacerlo, el usuario debe escoger la opción "Análisis" del menú principal del programa (Figura 4.2). Al entrar en dicha opción, el programa despliega el menú mostrado en la Figura 4.26.

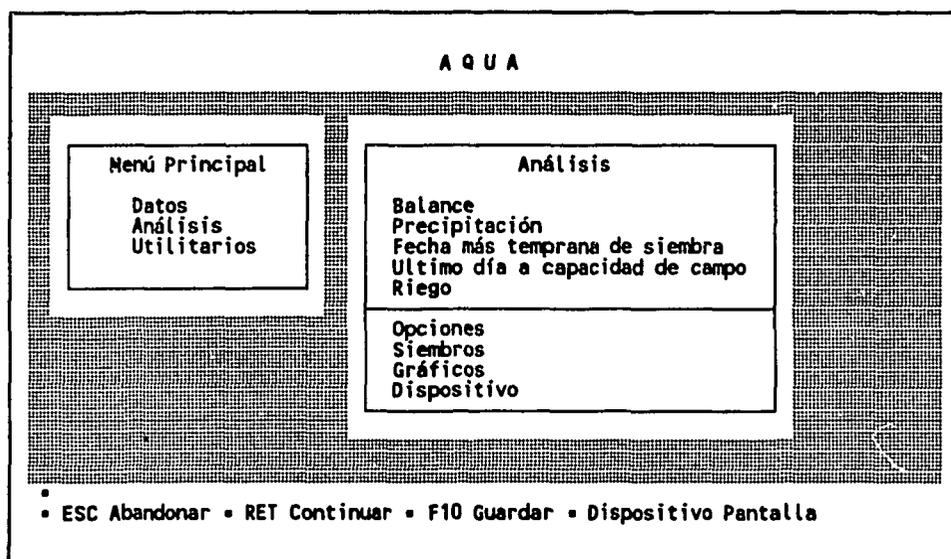


Figura 4.26. Menú de la sección de "Análisis".

A continuación se describirán cada una de las opciones de este menú, dándose ejemplos de cada cálculo.

269

4.5.1 BALANCE HIDRICO.

La opción "Balance" del menú de "Análisis" (Figura 4.26) despliega el menú mostrado en la Figura 4.27.

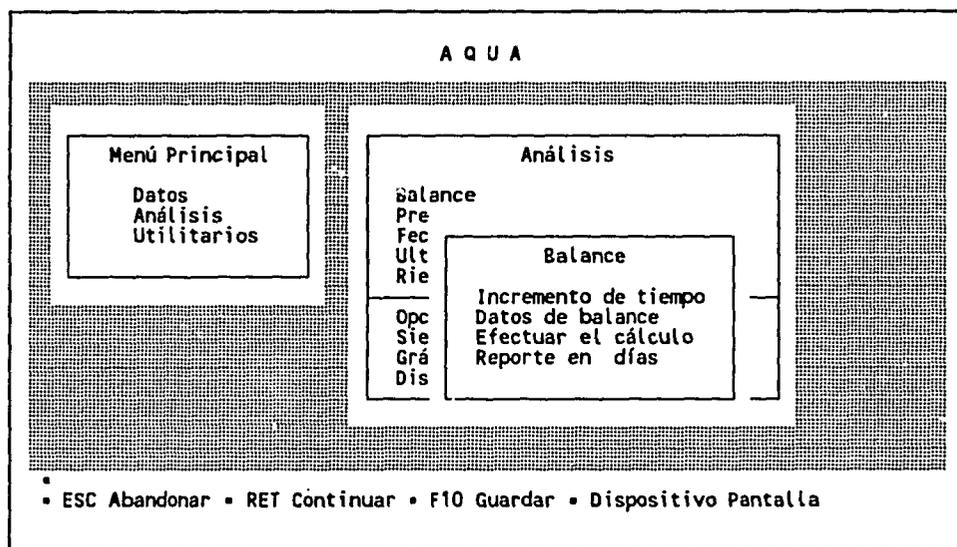


Figura 4.27. Menú de "Balance" de la sección de Análisis.

4.5.1.1 Datos de balance.

En esta opción el usuario puede definir los años para los que desea efectuar el cálculo de balance para cada uno de los siembros definidos (Figura 4.28).

A Q U A

Datos para el Cálculo de Balance

Nombre del siembro	Intervalo de años		Período	
	Año inicial	Año final	Inicio	Final
1 ARROZ	1969	1969	01/01	31/12
2			/	/
3			/	/
4			/	/
5			/	/
6			/	/
7			/	/
8			/	/
9			/	/
10			/	/

• ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Pantalla

Figura 4.28. Ejemplo de la pantalla donde se definen los intervalos de años en los que se desea realizar el balance hídrico.

Al estar en la pantalla de datos de balance (y en cualquier pantalla de datos de los diferentes análisis), presionando la tecla <F3> se puede averiguar el intervalo máximo de años en los que es posible efectuar el cálculo de balance (Figura 4.29). Este intervalo se basa en el hecho de que para poder efectuar el balance en un año deben existir datos tanto de PPT como de ETP para ese año, salvo que se esté usando ETP promedio.

A Q U A				
Datos para el Cálculo de Balance				
Nombre del siembro	Intervalo de años	Período		
			al	
1	> Intervalo máximo : [1969-1989] Presione cualquier tecla para continuar ...			12
2				
3				
4				
5				
6			/	/
7			/	/
8				
9				
10				

• ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Disco

Figura 4.29. Ejemplo de la pantalla que reporta el intervalo máximo de años en los que puede efectuarse un cálculo, producto de presionar la tecla <F3>.

Luego de que el usuario ha escogido el intervalo en el que desea hacer el cálculo, presiona la tecla <F10> para hacer válido dicho intervalo; si cometió algún error al digitar el intervalo, como por ejemplo poniendo un año inicial mayor al final, el programa reportará un error (Figura 4.30). Dicho reporte de error también se da en cualquier otro tipo de análisis en el que se defina erróneamente el intervalo de años.

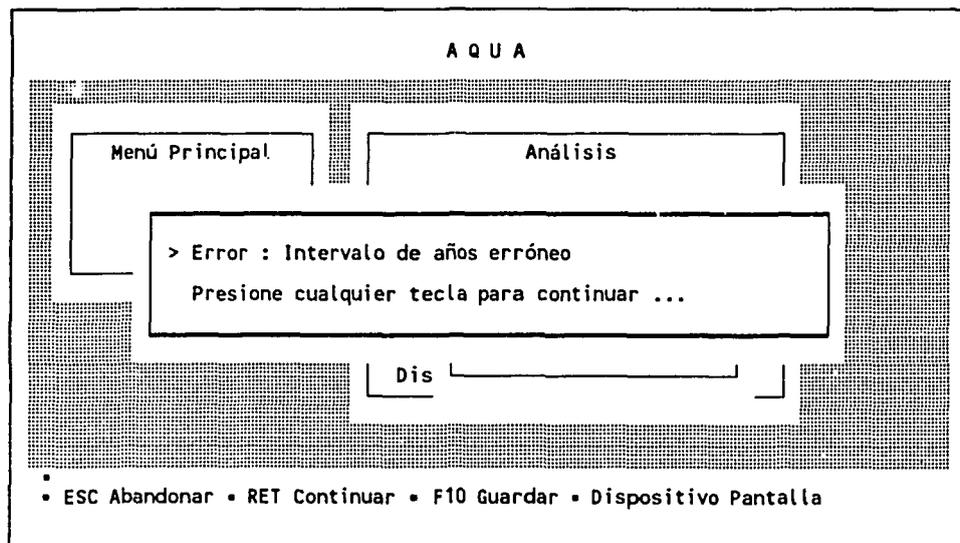


Figura 4.30. Pantalla de reporte de error al definir incorrectamente un intervalo de años, que es función de los datos disponibles.

4.5.1.2 Efectuando el cálculo.

Para efectuar el cálculo debe escogerse la opción "Efectuar el cálculo" del menú de "Balance" (Figura 4.27). Una vez terminado el cálculo, el programa pregunta al usuario si desea ver el reporte de los resultados (Figura 4.31); dicha pantalla se despliega siempre que se realiza exitosamente un análisis de cualquier tipo.

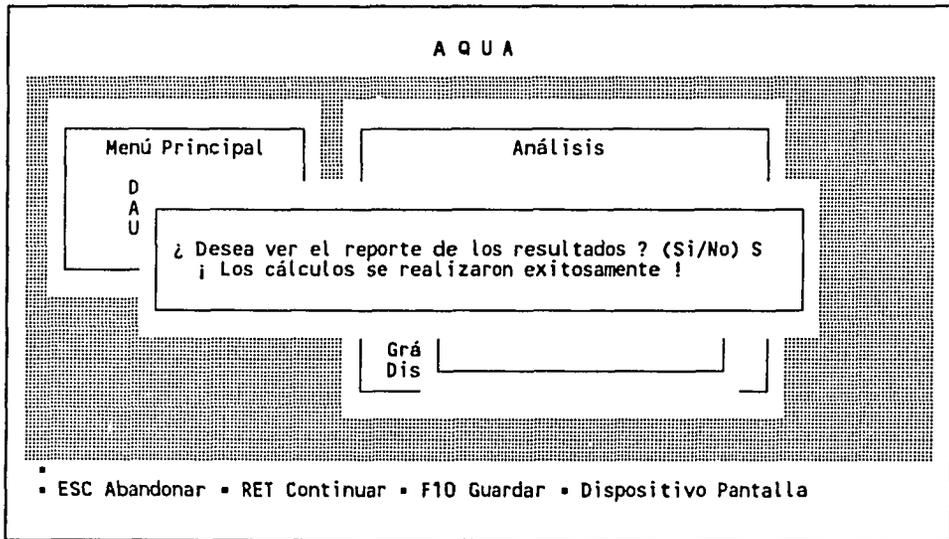


Figura 4.31. Pantalla desplegada al finalizar exitosamente cualquier análisis.

Si el usuario responde afirmativamente a la pregunta mostrada en la Figura 4.31, el programa inicia el despliegue del reporte de resultados. Para el caso del balance hídrico, el reporte por pantalla consta de cuatro partes: un encabezado (Figura 4.32), una pantalla de resultados para cada año y siembro usado para hacer el cálculo (Figura 4.33), una pantalla de resumen de resultados (Figura 4.34) y una pantalla para finalizar el reporte (Figura 4.36). La pantalla que finaliza el reporte es la misma para todos los tipos de análisis. Las Figuras 4.33 y 4.34 aparecen cuando se ha escogido la opción "Reporte en días" (ver sección 3.4.1.4 y Figura 4.27); si se escoge la opción "Reporte en mm" se presenta la pantalla mostrada en la Figura 4.35.

A Q U A

Menú ————— Sistema AQUA —————

Reporte de los resultados de los cálculos

Tipo de cálculo : Balance
No. de siembros : 1

Reporte por : Pantalla

Esc No generar reporte █ Otra tecla Continuar

• ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Pantalla

Figura 4.32. Ejemplo de la pantalla de encabezado del reporte de los resultados del balance hídrico.

Reporte de Balance en DIAS

Siembro No. 01 : FRIJOL

FECHA	DIAS			INDICES		
	Déficit	Exceso	Estrés	Déficit	Exceso	Estrés
12/04/1990	0	0	0	100.00	100.00	100.00
16/04/1990	3	0	3	40.00	100.00	40.00
21/04/1990	5	0	5	0.00	100.00	0.00
26/04/1990	0	1	1	100.00	80.00	80.00
01/05/1990	0	0	0	100.00	100.00	100.00
06/05/1990	0	0	0	100.00	100.00	100.00
11/05/1990	0	3	3	100.00	40.00	40.00
16/05/1990	0	1	1	100.00	80.00	80.00
21/05/1990	0	2	2	100.00	60.00	60.00
26/05/1990	0	0	0	100.00	100.00	100.00

Esc Terminar reporte █ Otra tecla Continuar

• ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Pantalla

Figura 4.33. Ejemplo de la pantalla principal del reporte de resultados del balance hídrico en días, con acumulados cada 5 días (intervalo libre de 5 días).

A Q U A

RESUMEN

	DIAS			INDICES		
	Déficit	Exceso	Estrés	Déficit	Exceso	Estrés
TOTALES	8	12	20	89.33	84.00	73.33
PROMEDIOS	0.53	0.80	1.33	89.33	84.00	73.33
Esc Terminar reporte █ Otra tecla Continuar						

• ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Pantalla

Figura 4.34. Ejemplo de la pantalla resumen del reporte de resultados del balance hídrico en días.

A Q U A

Reporte de Balance en MM

Siembro No. 01 : FRIJOL				
FECHA	Balance	ADC	Balance/ADC	
12/04/1990	5.63	12.50	0.45	
16/04/1990	1.45	12.50	0.12	
21/04/1990	0.00	12.50	0.00	
26/04/1990	11.27	12.50	0.90	
01/05/1990	15.20	20.00	0.77	
06/05/1990	16.82	25.00	0.67	
11/05/1990	25.00	25.00	1.00	
16/05/1990	24.20	25.00	0.97	
21/05/1990	33.54	34.00	0.99	
26/05/1990	39.27	40.00	0.98	
Esc Terminar reporte █ Otra tecla Continuar				

Menú Pri
Datos
Análisis
Utilit

• ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Pantalla

Figura 4.35. Ejemplo de la pantalla del reporte de resultados del balance hídrico en milímetros.

276

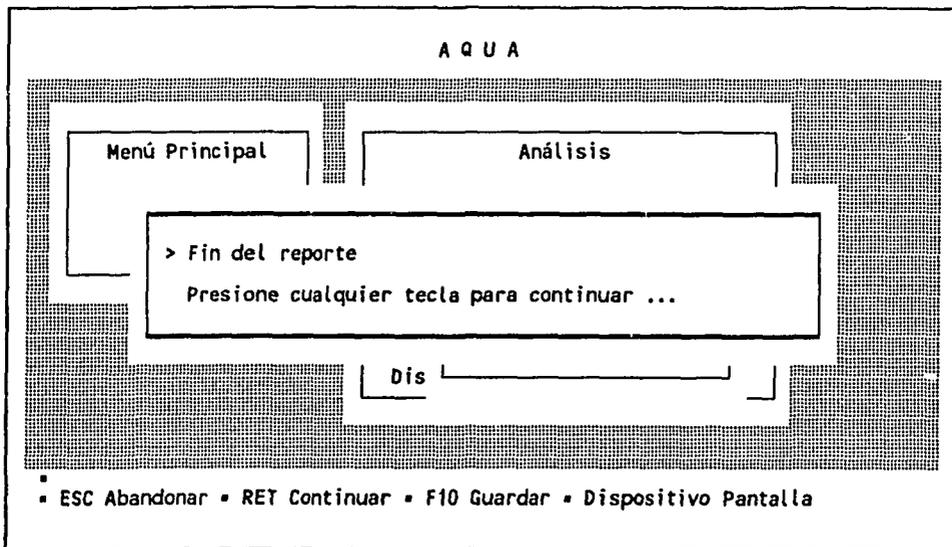


Figura 4.36. Pantalla que finaliza todos los reportes de los resultados de los análisis.

4.5.1.3 Análisis del balance de una región.

Un cálculo muy útil para caracterizar una región es el efectuar el balance hídrico para todos los años de los que se tengan datos. Para ejemplificar, se hizo ese cálculo para la Estación Fabio Baudrit con dos cultivos diferentes: un cultivo establecido y otro en establecimiento. Los resultados de ambos casos se muestran en los Cuadros 4.1 y 4.2, los cuales fueron generados como reportes a disco por el programa (ver Sección 4.5.9). Esta capacidad de escribir los reportes de los cálculos a archivos ASCII en disco sirve para EXPORTAR información a otros paquetes, como hojas electrónicas o programas de graficación, para hacer otros análisis que AQUA no posee actualmente. El resumen de los resultados se muestra en el Cuadro 4.3.

Sistema AQUA
Reporte de los resultados de los cálculos

Tipo de cálculo : Balance
 No. de siembras : 1
 Siembra No. 1 : BALANCE ANUAL
 Fecha de siembra : 01 de Enero
 Duración efectiva : 364 día (s)
 Fin del ciclo : 31 de Diciembre
 Estación : FABIO BAUDRIT
 Cultivo : CULTIVO ESTABLECIDO
 Perfil : AQUA
 Intervalo de años : 1971-1989
 Período : 01/01 -> 31/12

Año	Días			Indices		
	Déficit	Exceso	Stress	Déficit	Exceso	Stress
1971	123	97	220	66.21	73.35	39.56
1972	99	65	164	72.80	82.14	54.95
1973	129	97	226	64.56	73.35	37.91
1974	133	78	211	63.46	78.57	42.03
1975	144	104	248	60.44	71.43	31.87
1976	126	62	188	65.38	82.97	48.35
1977	148	69	217	59.34	81.04	40.38
1978	116	79	195	68.13	78.30	46.43
1979	101	93	194	72.25	74.45	46.70
1980	119	82	201	67.31	77.47	44.78
1981	114	104	218	68.68	71.43	40.11
1982	155	65	220	57.42	82.14	39.56
1983	115	60	175	68.41	83.52	51.92
1984	113	91	204	68.96	75.00	43.96
1985	127	74	201	65.11	79.67	44.78
1986	163	59	222	55.22	83.79	39.01
1987	152	50	202	58.24	86.26	44.51
1988	133	80	213	63.46	78.02	41.48
1989	130	83	213	64.32	77.20	41.48
			TOTALES			
			4305			
			PROMEDIOS			
			205			
				65.95	77.83	43.77

¡ Fin del reporte !

Cuadro 4.1. Ejemplo del reporte obtenido al efectuar el balance anual para todos los años de registro de la Estación Fabio Baudrit, para un Cultivo Establecido hipotético.

Sistema AQUA						
Reporte de los resultados de los cálculos						
Tipo de cálculo : Balance						
No. de siembros : 1						
Siembro No. 1 : BALANCE ANUAL						
Fecha de siembra : 01 de Enero						
Duración efectiva : 364 día(s)						
Fin del ciclo : 31 de Diciembre						
Estación : FABIO BAUDRIT						
Cultivo : EN ESTABLECIMIENTO						
Perfil : AQUA						
Intervalo de años : 1971-1989						
Período : 01/01 -> 31/12						
Año	Días			Indices		
	Déficit	Exceso	Stress	Déficit	Exceso	Stress
1971	163	102	265	55.22	71.98	27.20
1972	170	73	243	53.30	79.95	33.24
1973	163	104	267	55.22	71.43	26.65
1974	173	83	256	52.47	77.20	29.67
1975	161	109	270	55.77	70.05	25.82
1976	173	67	247	52.47	81.59	34.07
1977	186	79	265	48.90	78.30	27.20
1978	150	83	233	58.79	77.20	35.99
1979	132	96	228	63.74	73.63	37.36
1980	162	94	256	55.49	74.18	29.67
1981	147	111	258	59.62	69.51	29.12
1982	195	76	271	46.43	79.12	25.55
1983	180	77	257	50.55	78.85	29.40
1984	151	100	251	58.52	72.53	31.04
1985	167	80	247	54.12	78.02	32.14
1986	205	69	274	43.68	81.04	24.73
1987	203	60	263	44.26	83.52	27.75
1988	177	85	262	51.37	76.65	28.02
1989	166	91	257	54.40	75.00	29.40
-----			TOTALES	-----		
	3486	1848	5334			
-----			PROMEDIOS	-----		
	166	88	254	54.46	75.71	30.17
¡ Fin del reporte !						

Cuadro 4.2. Ejemplo del reporte obtenido al efectuar el balance anual para todos los años de registro de la Estación Fabio Baudrit, para un Cultivo en Establecimiento hipotético.

CULTIVO	Días			Indices(%)		
	Déficit	Exceso	Stress	Déficit	Exceso	Stress
ESTABLECIDO	124	81	205	65.95	77.83	43.77
EN ESTABLECIMIENTO	166	88	254	54.46	75.71	30.17

Cuadro 4.3. Resumen de los resultados del balance efectuado para la estación Fabio Baudrit; se presentan los promedios obtenidos de los Cuadros 4.1 y 4.2 para comparación.

Como se podía esperar, la cantidad de días con déficit, exceso y estrés del cultivo en establecimiento son mayores que los del cultivo establecido. Comparando los resultados de esta región con los obtenidos haciendo el mismo análisis para otra región, se puede establecer cuál de ellas es más problemática desde el punto de vista hídrico, ya sea en cuestión de déficit o de exceso.

También se puede utilizar el balance para encontrar qué época del año en determinada región es la más problemática. Para hacerlo, el usuario puede calcular el balance año a año e imprimir el gráfico de B_N/ADC_N vs Fecha (ver Sección 3.4.8). Una muestra de dichos gráficos generados para un cultivo establecido y otro en establecimiento se puede ver en las Figuras 4.37 y 4.38, las cuales son para la Fabio Baudrit en el año 1969.

En un gráfico de B_N/ADC_N vs Fecha las épocas de déficit y exceso se detectan muy fácilmente. Cuando el valor de B_N/ADC_N llega a cero se presenta el déficit hídrico, y cuando llega a 1 se presenta el exceso hídrico. Por ejemplo, de las Figuras 4.37 y 4.38 se puede apreciar que en la Fabio Baudrit en el año 1969 las épocas de exceso hídrico se dieron principalmente en los meses de mayo a noviembre. La época de déficit hídrico está claramente marcada de enero a mediados de abril para el cultivo establecido, mientras que el cultivo en establecimiento sufre déficit desde enero hasta finales de mayo, se ve afectado por el veranillo, por lo que sufre déficit en julio, y sufre de déficit desde inicios de diciembre.

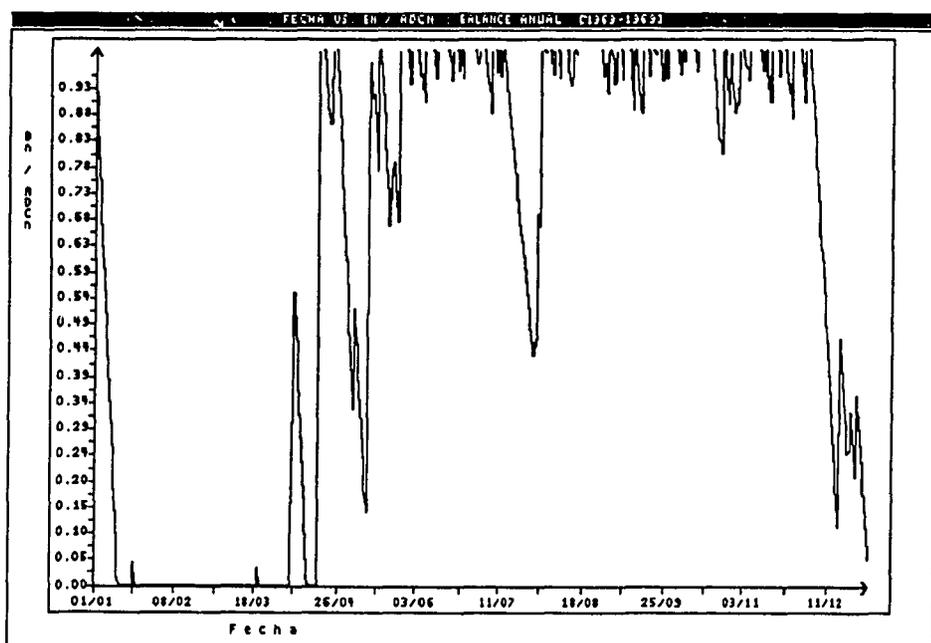


Figura 4.37. Ejemplo del gráfico de fecha vs. B_N/ADC_N generado por el programa AQUA a partir del cálculo del balance hídrico para un cultivo establecido hipotético en la Estación Experimental Fabio Baudrit, 1969.

282

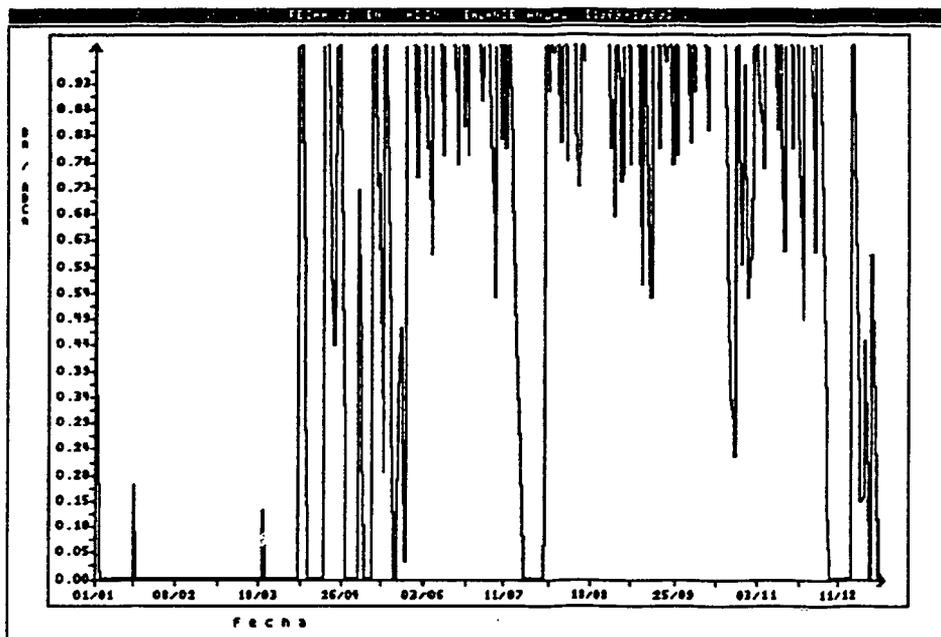


Figura 4.38. Ejemplo del gráfico de fecha vs B_N/ADC_N generado por el programa AQUA a partir del cálculo del balance hídrico para un cultivo en establecimiento hipotético en la Estación Experimental Fabio Baudrit, 1969.

4.5.1.4 Análisis de secuencias de cultivos.

El balance hídrico sirve también para comparar diferentes cultivos y secuencias de cultivos en una misma región. En la Figura 4.39 se muestra un diagrama de varias secuencias hipotéticas de cultivo. Se tomó como fecha más temprana de siembra el 12 de mayo, ya que el 80% de los años analizados para la Fabio Baudrit la fecha más temprana de siembra se dió en esa fecha o antes (ver Sección 4.5.3).

En la Figura 4.39 se presenta en cada cuadro el nombre abreviado del cultivo (Ar=Arroz, Mz=Maíz, Fr=Frijol) y la fecha de siembra y de finalización del ciclo. Se supuso que cuando se termina el ciclo de un cultivo, inmediatamente se inicia el siguiente en la secuencia.

No se continuaron las secuencias con cultivos que se sembraron el 18/12 porque la última fecha a capacidad de campo se dió antes del 18/12 en casi un 100% de los años analizados (ver Sección 4.5.4). La última fecha a capacidad de campo se dió antes del 13/11 en aproximadamente la mitad de los años, por lo que sí se consideró factible sembrar cultivos de las secuencias en esa fecha.

PRIMER CULTIVO	SEGUNDO CULTIVO	TERCER CULTIVO
Ar 12/05-30/08 ó Mz 12/05-30/08	Ar 30/08-18/12	
	Mz 30/08-18/12	
	Fr 30/08-13/11	Ar 13/11-02/03 Fr 13/11-27/01 Mz 13/11-02/03
Fr 12/05-28/07	Ar 28/07-13/11 ó Mz 28/07-13/11	Ar 13/11-02/03
		Mz 13/11-02/03
		Fr 13/11-27/01
	Fr 28/07-09/10	Ar 09/10-27/01
		Mz 09/10-27/01
		Fr 09/10-23/12

Figura 4.39. Diagrama de las secuencias hipotéticas utilizadas para hacer el análisis de la Estación Experimental Fabio Baudrit utilizando el balance hídrico. Ar: arroz, Fr: frijol, Mz: maíz. Después de cada abreviación se da fecha de siembra y de cosecha.

255

Secuencia	Días			Indices		
	Déficit	Exceso	Estrés	Déficit	Exceso	Estrés
Ar	4	8	12	96.80	92.73	89.52
Fr	2	11	13	97.21	85.71	82.92
Mz	3	4	7	97.06	96.75	93.81
Ar-Ar, Mz-Ar	12	7	19	89.09	93.55	82.64
Ar-Fr, Mz-Fr	0	14	14	99.56	81.65	81.21
Ar-Mz, Mz-Mz	9	3	12	91.91	97.44	89.35
Fr-Ar	1	10	10	99.35	91.34	90.69
Fr-Fr	1	14	15	99.24	81.14	80.38
Fr-Mz	1	4	5	99.35	96.32	95.67
Ar-Fr-Ar, Mz-Fr-Ar, Fr-Ar-Ar, Fr-Mz-Ar	74	0	74	33.00	99.73	32.73
Fr-Mz-Fr, Mz-Fr-Fr, Fr-Ar-Fr, Ar-Fr-Fr	40	1	40	46.87	99.27	46.13
Fr-Mz-Mz, Mz-Fr-Mz, Fr-Ar-Mz, Ar-Fr-Mz	68	0	68	38.27	99.82	38.09
Fr-Fr-Ar	45	3	49	58.68	97.23	55.91
Fr-Fr-Fr	13	6	18	82.98	92.57	75.56
Fr-Fr-Mz	41	1	43	62.55	98.73	61.27

Cuadro 4.4. Promedios de los resultados obtenidos con el balance hídrico para los cultivos de las secuencias estudiadas en la Fabio Baudrit (Figura 4.39). Los datos presentados son para el último cultivo de cada secuencia.

El Cuadro 4.4 no es resultado directo del programa AQUA, sino que es un resumen de los cálculos efectuados utilizando el programa para cada cultivo de la secuencia. Para obtener este cuadro se corrió el balance para cada último cultivo de la secuencia, con la fecha de siembra especificada en la Figura 4.39, con el intervalo en "ciclo de cultivo" y usando "Reporte en días".

Del Cuadro 4.4 se puede concluir que el cultivo sembrado el 12 de mayo que tuvo mejores resultados hídricamente (menos estrés) fue el maíz, y el que se vio más afectado, por leve exceso hídrico, fue el frijol. Para deducir esto se comparan los índices de estrés, puesto que, esperadamente y en función del agua, a mayor índice de estrés mayores serán los rendimientos.

El segundo cultivo de las secuencias que tuvo menos estrés fue el maíz de la secuencia Fr-Mz, y el segundo cultivo que tuvo más problemas fue el frijol de la secuencia Fr-Fr, principalmente por motivos de exceso hídrico. También del Cuadro 4.4 se observa que el tercer cultivo con menos estrés fue el Fr-Fr-Fr, aunque ya presenta algunos problemas de déficit hídrico. El tercer cultivo con más estrés fue el arroz de las secuencias Ar-Fr-Ar, Mz-Fr-Ar, Fr-Ar-Ar y Fr-Mz-Ar, debido todo al déficit hídrico, dado que fue un cultivo de mucha duración sembrado finalizando la estación lluviosa. Para mayores detalles se invita al usuario a consultar la bibliografía.

4.5.2 PRECIPITACION.

Un análisis que algunos investigadores pueden preferir en vez del análisis de balance es el de precipitación, que presenta algunas ventajas en relación a la simplicidad y es más conocido. En la siguiente figura se muestra el menú que aparece al escoger la opción de "Precipitación" en el menú de análisis (Figura 4.26).

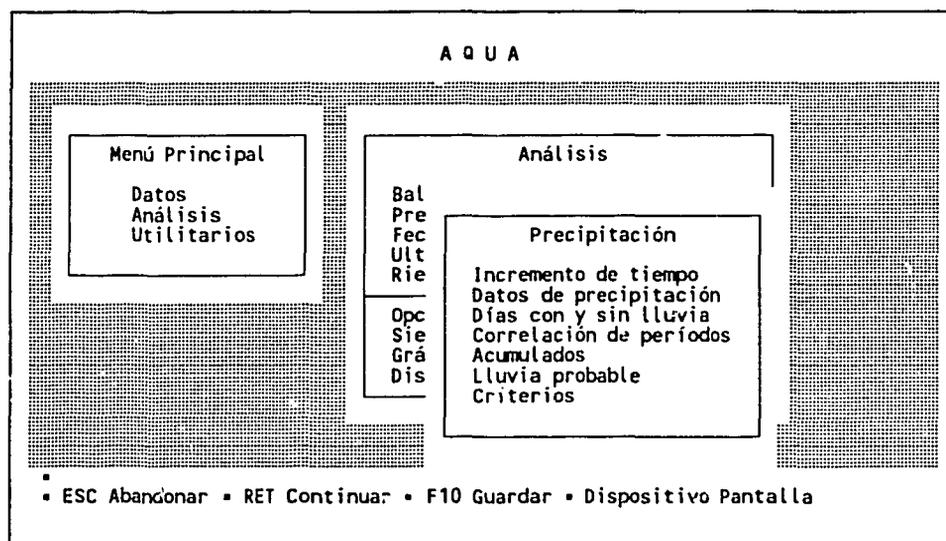


Figura 4.40. Menú de la sección de análisis de precipitación.

4.5.2.1 Incremento de tiempo.

La primera opción del menú de "Precipitación" es la opción de incremento (Figura 4.41), la cual sirve para establecer el incremento de tiempo en el que se harán los acumulados de algunos de los cálculos. Los cálculos de precipitación que se ven afectados por el incremento son "Días con y sin lluvia" y "Acumulados". El cálculo de "Correlación de períodos" hace el acumulado para los períodos completos que se establezcan en la sección de "Datos de precipitación", mientras que el de "Lluvia probable" hace el cálculo día a día.

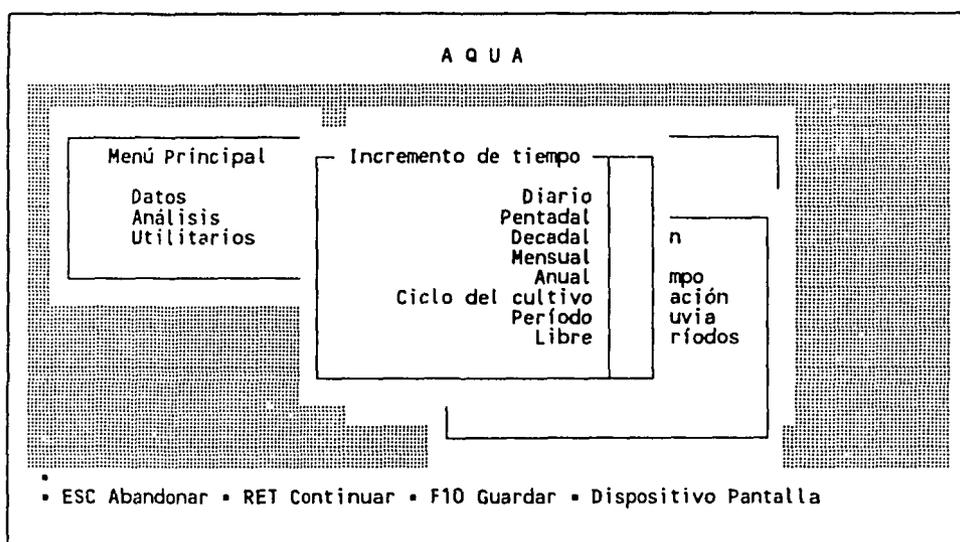


Figura 4.41. Menú de la sección "Incremento de tiempo".

250

4.5.2.2 Datos de precipitación.

La opción de "Datos de precipitación" tiene una función similar a la de "Datos de balance" de la sección de balance. En la Figura 4.42 se muestra la pantalla que aparece al escoger dicha opción. En esa pantalla se define el intervalo de años para el que se desea efectuar cualquiera de los análisis de precipitación, y se definen dos períodos: el primero sirve en todos los cálculos relacionados con precipitación, y el segundo (opcional) se usa para definir el segundo período que se usa solamente en la "Correlación de períodos".

A Q U A

Menú Principal
Análisis

Datos de precipitación

Intervalo de años		Período 1		Período 2	
Año inicial	Año final	Inicio	Final	Inicio	Final
1962	1989	15/05	31/05	01/11	15/11

Criterios

• ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Pantalla

Figura 4.42. Pantalla que aparece al escoger la opción "Datos de precipitación", con ejemplo de fechas.

De forma similar a la sección de "Datos de balance", al presionar la tecla <F3> estando en la pantalla de la Figura 4.42, el programa calcula el intervalo máximo de años en los que se puede efectuar cualquier cálculo de la sección de precipitación (Figura 4.43). Sin embargo, a diferencia de los intervalos máximos de los otros análisis, el intervalo calculado en esta sección se basa solamente en los datos de precipitación del primer siembro marcado en la lista de siembros, puesto que los cálculos de la sección de precipitación se basan en los datos de precipitación de la estación meteorológica del primer siembro marcado. Si se desea analizar una estación meteorológica diferente a la del primer siembro marcado, el usuario debe entrar en la opción de "Siembros" (Fig. 4.26) y cambiar la estación meteorológica

del primer siembro marcado o escoger como primer siembro marcado alguno que tenga la estación que se desea estudiar.

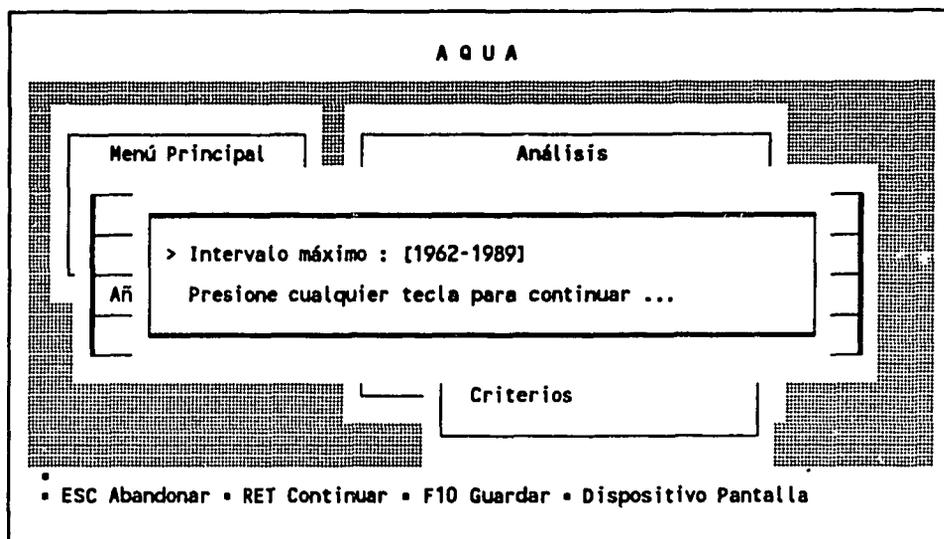


Figura 4.43. Pantalla que reporta el intervalo máximo de años que puede usarse en la sección de "Datos de precipitación".

Al presionar la tecla <F6> en la sección de datos de precipitación, el programa despliega datos relativos al cultivo del siembro que se encuentra marcado primero (Figura 4.44). Esto lo hace para facilitarle al usuario el análisis de la precipitación en un período igual al que ocuparía el cultivo del primer siembro marcado (si está interesado en estudiar cómo afecta el comportamiento de la lluvia a dicho cultivo).

A Q U A

Menú Principal	Análisis	
Inter	Cultivo : CULT. P/ BALANCE	2
Año inic	Duración efectiva : 364 días	Final
1980	Ciclo del cultivo : 01/01->31/12	31/12
	Presione cualquier tecla para continuar ...	
	Criterios	

• ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Pantalla

Figura 4.44. Ejemplo de la pantalla que reporta las fechas de siembra y de fin de ciclo efectivo para el cultivo del primer siembro marcado, en la sección de "Datos de precipitación". Aparece al presionar la tecla <F6>.

4.5.2.3 Días con y sin lluvia.

Este análisis efectúa un conteo de los días con una precipitación mayor a cierto valor máximo definido por el usuario, y de los días con una precipitación inferior a un valor mínimo también definido por el usuario (secciones 3.4.2.7 y 4.5.2.7). El conteo se efectúa durante el período definido como "Período 1" en la sección de "Datos de precipitación", para todos los años del intervalo definido en esa sección. El programa efectúa el conteo para cada incremento dentro del período definido.

Al escoger esta opción, se efectúa el cálculo y luego se pregunta si se desean ver los resultados (Figura 4.31). Si se contesta afirmativamente, se despliegan las pantallas que reportan los resultados (Figuras 4.45 y 4.46). Para finalizar el reporte, el programa despliega la pantalla mostrada en la Figura 4.36.

A Q U A

----- Sistema AQUA -----

Menú

Da

An

Ut

Reporte de los resultados de los cálculos

Tipo de cálculo : Días con y sin lluvia
 Estación : FABIO BAUDRIT

Intervalo : 1962 -> 1971
 Período (s) : 01/01 -> 31/12
 Incremento : DIARIO

Reporte por : Pantalla

Esc No generar reporte █ Otra tecla Continuar

▪ ESC Abandonar ▪ RET Continuar ▪ F10 Guardar ▪ Dispositivo Pantalla

Figura 4.45. Ejemplo del inicio del reporte por pantalla del cálculo de "Días con y sin lluvia".

A Q U A

Reporte de Precipitación

Fecha	Días sin lluvia	Días con lluvia	Comentario
31/12/1962	263	38	
31/12/1963	266	33	
31/12/1964	267	33	
31/12/1965	290	22	
31/12/1966	260	27	
31/12/1967	277	29	
31/12/1968	260	40	
31/12/1969	245	47	
31/12/1970	248	34	
31/12/1971	247	43	

Esc Terminar reporte █ Otra tecla Continuar

▪ ESC Abandonar ▪ RET Continuar ▪ F10 Guardar ▪ Dispositivo Disco

Figura 4.46. Ejemplo de la parte central del reporte por pantalla de "Días con y sin lluvia".

La columna titulada "Comentario", que aparece en el reporte por pantalla para el análisis de "Días con y sin lluvia" (Figura 4.46) y en el Cuadro 4.5, sirve para informar al usuario si se dieron días con datos faltantes o dudosos en el período estudiado.

Para ejemplificar el uso de este análisis, se calcularon los días con y sin lluvia para todos los años de datos de precipitación de la Fabio Baudrit. El Cuadro 4.5 fue producido usando el reporte a disco (ver opción de dispositivo) que posee el programa.

Sistema AQUA			
Reporte de los resultados de los cálculos			
Tipo de cálculo : Días con y sin lluvia			
Estación : FABIO BAUDRIT			
Intervalo : 1962 -> 1989			
Período (s) : 01/01 -> 31/12			
Incremento : ANUAL			
Fecha	Días secos	Días muy húmedos	Comentario
31/12/1962	263	38	
31/12/1963	266	33	
31/12/1964	267	33	
31/12/1965	290	22	
31/12/1966	260	27	
31/12/1967	277	29	
31/12/1968	260	40	
31/12/1969	245	47	
31/12/1970	248	34	
31/12/1971	247	43	
31/12/1972	273	37	
31/12/1973	248	39	
31/12/1974	267	34	
31/12/1975	247	37	
31/12/1976	286	26	
31/12/1977	281	22	
31/12/1978	269	33	
31/12/1979	253	35	
31/12/1980	256	29	
31/12/1981	256	39	
31/12/1982	277	24	
31/12/1983	259	41	
31/12/1984	261	39	
31/12/1985	272	36	
31/12/1986	288	18	
31/12/1987	280	25	
31/12/1988	262	36	
31/12/1989	257	29	
! Fin del reporte !			

Cuadro 4.5. Ejemplo del reporte a disco producido por el sistema AQUA para el cálculo de días con y sin lluvia, estación Fabio Baudrit.

Del cuadro se pueden obtener promedios de los días con y sin lluvia para la Fabio Baudrit. El promedio de días sin lluvia es 265, y el de con lluvia es 33.

20

Comparando estos resultados con los del Cuadro 4.3, calculados con el balance hídrico, se puede ver que el simple análisis de la lluvia (definiendo días sin lluvia aquellos con precipitación menor o igual a 4 mm [suponiendo que la ETP promedio puede ser de unos 4 mm/día] y los días con lluvia aquellos con precipitación mayor o igual a 20 mm, en los criterios de los cálculos de precipitación) pareciera sobreestimar el déficit hídrico y subestimar el exceso hídrico. Es interesante notar que son relativamente pocos los días de cada año que tienen una PPT mayor a 4 mm y menor a 20 mm; por ej., para 1962 solo quedan 64 días con tal característica (365-[38+263]).

4.5.2.4 Correlación de períodos.

El segundo cálculo de la sección de precipitación es el cálculo de correlación de períodos. Este análisis calcula la precipitación acumulada para cada uno de los dos períodos en cada uno de los años del intervalo definidos en la sección de "Datos de precipitación". El objetivo de este cálculo es producir un reporte de acumulados para dos períodos diferentes en un intervalo de años, para que el usuario pueda luego usar algún método de correlación que establezca si ésta existe entre las precipitaciones acumuladas. Al encontrar correlaciones de ese tipo, el usuario puede ayudarse a predecir la precipitación en un período en base a la de otro período (Radulovich, 1987b).

Al entrar en esta opción, el programa efectúa el análisis y luego pregunta si se desean ver los resultados (Figura 4.31). Al contestar afirmativamente, el usuario puede ver el reporte de los resultados, que consta de tres pantallas: un encabezado (Figura 4.47), el centro del reporte (Figura 4.48) y una pantalla de finalización (Figura 4.36).

254

A Q U A

Sistema AQUA

Menú

Da
An
Ut

Reporte de los resultados de los cálculos

Tipo de cálculo : Correlación de períodos
Estación : FABIO BAUDRIT

Intervalo : 1962 -> 1989
Período (s) : 15/05 -> 31/05 , 01/11 -> 15/11
Incremento : DIARIO

Reporte por : Pantalla

Esc No generar reporte █ Otra tecla Continuar

• ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Pantalla

Figura 4.47. Ejemplo de la pantalla que encabeza el reporte de "Correlación de períodos".

A Q U A

Reporte de Precipitación

Año	Período #1	Período #2	Comentario
1962	122.8	88.3	
1963	168.3	126.7	
1964	49.2	37.7	
1965	148.2	56.8	
1966	136.1	65.8	
1967	54.2	46.2	
1968	262.9	101.3	
1969	181.6	160.7	
1970	253.6	47.8	
1971	373.1	39.8	

Esc Terminar reporte █ Otra tecla Continuar

• ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Pantalla

Figura 4.48. Ejemplo de la parte central del reporte de "Correlación de períodos".

295

La columna "Comentario", mostrada en la Figura 4.48 y en el Cuadro 4.6, tiene la finalidad de comunicarle al usuario si algún cálculo no se hizo por falta de datos o por datos dudosos.

A continuación se muestran los resultados obtenidos con este análisis para los períodos de la segunda quincena de mayo y la primera de noviembre para la estación Fabio Baudrit. Estos resultados fueron utilizados en Quattro-PRO para calcular un coeficiente de correlación lineal (r) entre ambas lluvias acumuladas, el cual dió -0.1982, por lo que se puede concluir que no existe correlación lineal entre ellas. Sin embargo, y como se observa en la Figura 4.49, se aprecia que cuando la PPT de mayo es alta la de noviembre es baja. Esta característica puede utilizarse en planificación según ha sido notado por Radulovich (1987b).

Sistema AQUA

Reporte de los resultados de los cálculos

Tipo de cálculo : Correlación de períodos
 Estación : FABIO BAUDRIT
 Intervalo : 1962 -> 1989
 Período (s) : 15/05 -> 31/05 , 01/11 -> 15/11
 Incremento : DIARIO

Año	Período #1	Período #2	Comentario
1962	122.8	88.3	
1963	168.3	126.7	
1964	49.2	37.7	
1965	148.2	56.8	
1966	136.1	65.8	
1967	54.2	46.2	
1968	262.9	101.3	
1969	181.6	160.7	
1970	253.6	47.8	
1971	373.1	39.8	
1972	224.4	138.6	
1973	276.4	23.0	
1974	163.6	22.5	
1975	154.9	110.1	
1976	221.2	160.0	
1977	200.4	86.6	
1978	187.1	45.2	
1979	91.3	149.0	
1980	118.8	163.0	
1981	144.1	25.5	
1982	341.7	61.3	
1983	94.0	203.7	
1984	261.1	48.0	
1985	77.1	102.8	
1986	310.7	40.5	
1987	78.3	8.0	
1988	193.5	94.6	
1989	112.9	92.5	

¡ Fin del reporte !

Cuadro 4.6. Ejemplo del análisis de "Correlación de períodos" para la estación Fabio Baudrit.

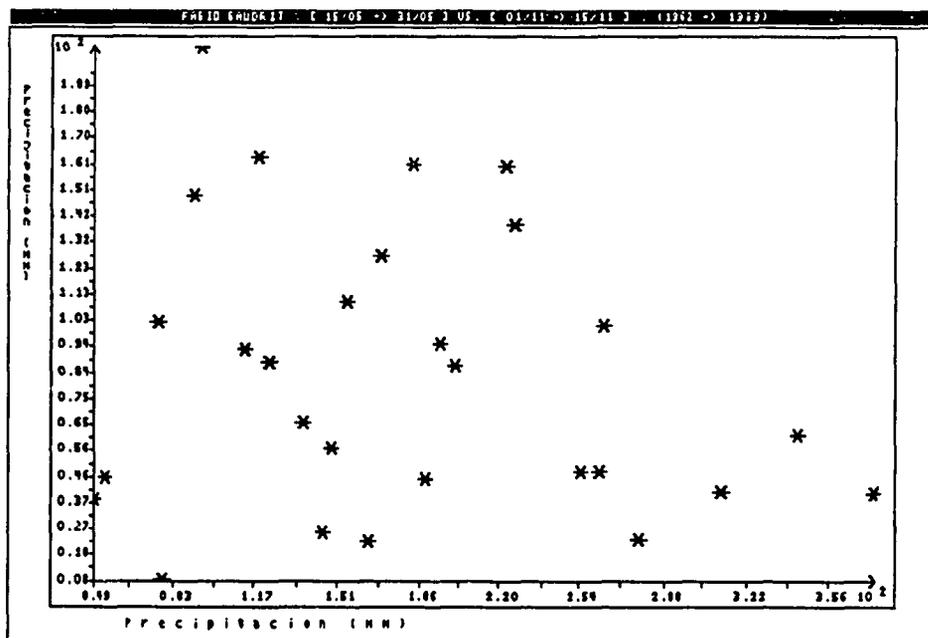


Figura 4.49. Ejemplo del gráfico generado por el programa AQUA para el análisis de correlación de períodos. Basado en el Cuadro 4.6. Eje X: PPT del 15/05 al 31/05. Eje Y: PPT del 01/11 al 15/11. Estación Experimental Fabio Baudrit, 1962-1989.

4.5.2.5 Acumulados.

Este análisis es muy similar al de "Correlación de períodos", ya que calcula acumulados de lluvia, pero a diferencia del anterior análisis, sólo lo hace para el primer período definido en la sección de "Datos de precipitación", y se ve afectado por el incremento de tiempo que se defina.

El reporte producido al ingresar en la sección de acumulados consta de las pantallas mostradas en las Figuras 4.50, 4.51 y 4.36. Antes de desplegarse el reporte, se despliega la pregunta mostrada en la Figura 4.31. En el Cuadro 4.7 se puede ver el análisis de acumulados para cada año completo del registro que se tiene de la Fabio Baudrit.

295

A Q U A

----- Sistema AQUA -----

Menú

Da

An

Ut

Reporte de los resultados de los cálculos

Tipo de cálculo : Acumulados
 Estación : FABIO BAUDRIT

Intervalo : 1962 -> 1989
 Período (s) : 01/01 -> 31/12
 Incremento : PERIODO

Reporte por : Pantalla

Esc No generar reporte ||| Otra tecla Continuar

• ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Pantalla

Figura 4.50. Ejemplo de la primera pantalla del reporte de resultados por pantalla de la sección de acumulados de precipitación.

A Q U A

Reporte de Precipitación

Menú

Da

An

Ut

Fecha	Acumulado	Comentario
31/12/1962	2021.3	
31/12/1963	1839.0	
31/12/1964	1954.1	
31/12/1965	1443.6	
31/12/1966	1862.9	
31/12/1967	1682.0	
31/12/1968	2064.3	
31/12/1969	2436.9	
31/12/1970	2039.8	
31/12/1971	2412.1	

Esc Terminar reporte ||| Otra tecla Continuar

• ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Disco

Figura 4.51. Ejemplo de la parte central del reporte por pantalla de "Acumulados".

Sistema AQUA

Reporte de los resultados de los cálculos

Tipo de cálculo : Acumulados
 Estación : FABIO BAUDRIT
 Intervalo : 1962 -> 1989
 Período (s) : 01/01 -> 31/12
 Incremento : ANUAL

Fecha	Acumulados	Comentario
31/12/1962	2021.3	
31/12/1963	1839.0	
31/12/1964	1954.1	
31/12/1965	1443.6	
31/12/1966	1862.9	
31/12/1967	1682.0	
31/12/1968	2064.3	
31/12/1969	2436.9	
31/12/1970	2039.8	
31/12/1971	2412.1	
31/12/1972	1839.7	
31/12/1973	2337.4	
31/12/1974	1959.2	
31/12/1975	2048.7	
31/12/1976	1595.7	
31/12/1977	1660.1	
31/12/1978	2050.2	
31/12/1979	2123.8	
31/12/1980	1853.6	
31/12/1981	2090.8	
31/12/1982	1561.0	
31/12/1983	2219.8	
31/12/1984	2095.6	
31/12/1985	1863.2	
31/12/1986	1449.5	
31/12/1987	1599.0	
31/12/1988	2236.6	
31/12/1989	1865.4	

¡ Fin del reporte !

Cuadro 4.7. Ejemplo de estructuración de reporte a disco producido por el sistema AQUA para la estación Fabio Baudrit, en el análisis de acumulados de precipitación.

4.5.2.6 Lluvia probable.

El análisis de lluvia probable es de gran utilidad para determinar lluvias máximas o mínimas en una región. La probabilidad con que se efectúa el cálculo es la probabilidad de que la precipitación real en cierto día sea igual o mayor a la que se calcula. El valor de la probabilidad se establece en la sección de criterios de precipitación (secciones 3.4.2.7 y 4.5.2.7). Este análisis no se ve afectado por el incremento de tiempo que se defina, es decir, sólo se calcula la lluvia probable día a día y no para péntadas, décadas, etc. El análisis de lluvia probable sí se ve afectado por el intervalo y período que se definan en la sección de "Datos de precipitación", por lo que se puede calcular la lluvia probable usando solamente un conjunto de años (usando el intervalo de la sección de datos) o se puede calcular solamente para una parte del año (usando el período de la sección de datos). Por ejemplo, si el usuario desea calcular la lluvia probable solamente para los meses de octubre y noviembre, debe definir en la sección de "Datos de precipitación" un período 1 que vaya del 01/10 al 30/11. Si desea que el análisis se haga solamente en base a los últimos diez años (y no a todo el registro) debe especificar un intervalo que vaya de 1982 a 1992.

El reporte producido al efectuarse este cálculo consta de las siguientes pantallas (Figuras 4.52, 4.53 y 4.54), las cuales se despliegan luego de que el usuario contesta positivamente a la pregunta mostrada en la Figura 4.31.

A Q U A

----- Sistema AQUA -----

Menú Da An Ut	Reporte de los resultados de los cálculos Tipo de cálculo : Lluvia probable Estación : FABIO BAUDRIT Intervalo : 1962 -> 1989 Período (s) : 27/02 -> 27/02 Incremento : DIARIO Reporte por : Pantalla
Esc No generar reporte Otra tecla Continuar	

■ ESC Abandonar ■ RET Continuar ■ F10 Guardar ■ Dispositivo Pantalla

Figura 4.52. Ejemplo de la pantalla de encabezado del reporte de "Lluvia probable".

301

A Q U A

Reporte de Precipitación

Me	Fecha	Precipitación (mm)	80 %	Comentario
	21/01	0.1		
	22/01	0.3		
	23/01	0.5		
	24/01	0.1		
	25/01	0.1		
	26/01	0.0		
	27/01	0.0		Todos iguales
	28/01	0.5		
	29/01	0.0		
	30/01	0.0		Todos iguales
Esc Terminar reporte █ Otra tecla Continuar				

▪ ESC Abandonar ▪ RET Continuar ▪ F10 Guardar ▪ Dispositivo Pantalla

Figura 4.53. Ejemplo de la pantalla central del reporte de "Lluvia probable".

El programa puede generar reportes a disco que pueden usarse luego con otros programas para generar cálculos o gráficos. A continuación se presenta un gráfico generado con un programa de graficación a partir del cálculo de lluvia probable para parte del año para todo el registro de datos de la Fabio Baudrit (Fig. 4.54). La lluvia con un 80% de probabilidad es aquella que será superada 4 de cada 5 años, mientras que la de un 20% de probabilidad será superada 1 de cada 5 años.

302

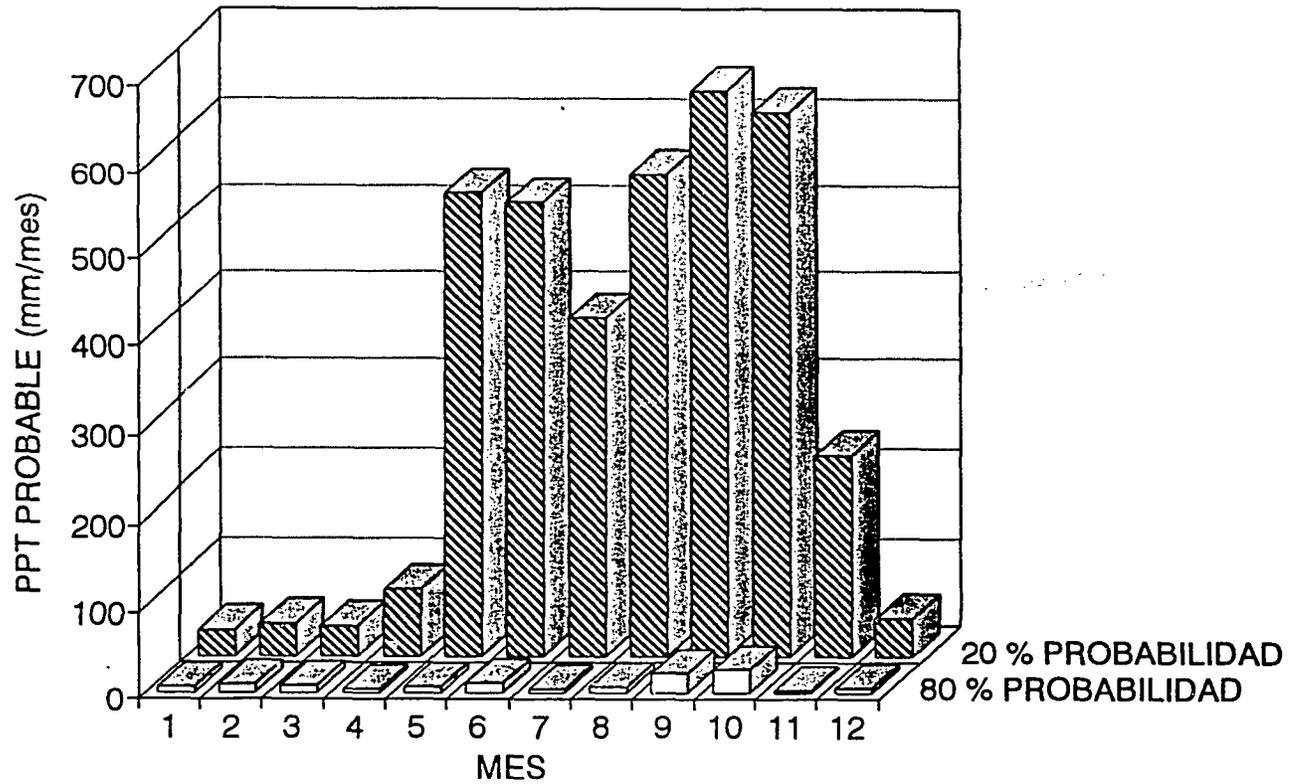


Figura 4.54. Gráfico de precipitaciones probables generado a partir de resultados producidos por AQUA.

4.5.2.7 Criterios de precipitación.

Como se ha explicado en las anteriores secciones, en ésta se definen los criterios usados en los análisis de "Días con y sin lluvia" y "Lluvia probable".

A Q U A

Criterios para PRECIPITACION

• Probabilidad de que se presente una PPT mayor o igual a la calculada.	80%
• PPT por debajo de la cual se considera al día como seco.	4.0 mm
• PPT por encima de la cual se considera al día como muy húmedo.	20.0 mm

• ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Disco

Figura 4.55. Pantalla en la que se definen los criterios para los cálculos de "Días con y sin lluvia" y "Lluvia probable".

304

4.5.3 FECHA MAS TEMPRANA DE SIEMBRA.

La sección de análisis de fecha más temprana de siembra posee el menú mostrado en la Figura 4.56.

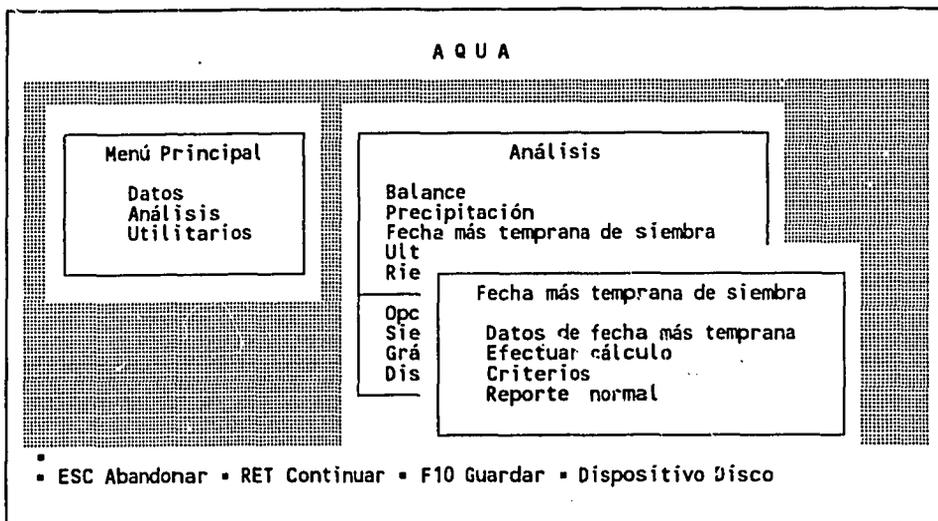


Figura 4.56. Menú de la sección del cálculo de la fecha más temprana de siembra.

4.5.3.1 Datos de fecha más temprana de siembra.

En esta sección se define el intervalo de años para calcular la fecha más temprana de siembra para cada siembru marcado (Figura 4.57). También se define el día del año a partir del cual se desea que empiece a buscar la fecha más temprana de siembra, esto porque sería un desperdicio de tiempo buscar la fecha más temprana de siembra en enero para zonas como la Fabio Baudrit, en las que se sabe que las lluvias comienzan después.

A Q U A

Datos para el cálculo de la fecha más temprana de siembra

Nombre del siembru	Intervalo de años		Inicio del cálculo
	Año inicial	Año final	Día/Mes
1 ARROZ	1969	1969	15/03
2			/
3			/
4			/
5			/
6			/
7			/
8			/
9			/
10			/

• ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Disco

Figura 4.57. Ejemplo de la pantalla en la que se definen los intervalos y las fechas de inicio de cálculo para efectuar el análisis de fecha más temprana de siembra.

4.5.3.2 Efectuando el cálculo.

El análisis de fecha más temprana de siembra se basa en los criterios que se definan en la sección de criterios de fecha más temprana (Secciones 3.4.3.3 y 4.5.3.3). Una vez efectuado el cálculo, el programa pregunta si se desean ver los resultados (Figura 4.31), y si el usuario responde afirmativamente se despliegan las siguientes pantallas de reporte (4.58 y 4.59).

A Q U A

Menú
Da
An
Ut

Sistema AQUA

Reporte de los resultados de los cálculos

Tipo de cálculo : Fecha más temprana de siembra
 No. de siembros : 1

Reporte por : Pantalla

Esc No generar reporte Otra tecla Continuar

▪ ESC Abandonar ▪ RET Continuar ▪ F10 Guardar ▪ Dispositivo Pantalla

Figura 4.58. Ejemplo del encabezado del reporte de fecha más temprana de siembra.

A Q U A

Menú Pri Datos Análisis Utilit	Siembro No. 1 : ARROZ <hr/> Estación : FABIO BAUDRIT Cultivo : ARROZ Perfil : AQUA <hr/> Año Fecha más temprana de siembra 1969 9 de Abril <hr/> Esc Terminar reporte Otra tecla Continuar	embra rana
---	---	---------------

• ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Pantalla

Figura 4.59. Ejemplo de la parte central del reporte de fecha más temprana de siembra.

308

El programa puede generar un reporte a disco con los resultados del análisis que se efectúe. En los Cuadros 4.8 y 4.9 se muestran reportes de fecha más temprana de dos cultivos para la estación Fabio Baudrit, para todos los años del registro de datos.

Sistema AQUA	
Reporte de los resultados de los cálculos	
Tipo de cálculo : Fecha más temprana de siembra	
No. de siembras : 1	
Siembro No. 1 : RESISTENTE	
Estación	: FABIO BAUDRIT
Cultivo	: RESISTENTE
Perfil	: AQUA
Año	Fecha más temprana de siembra
1969	08 de Abril
1970	02 de Abril
1971	03 de Mayo
1972	23 de Abril
1973	29 de Abril
1974	13 de Mayo
1975	10 de Mayo
1976	23 de Abril
1977	11 de Junio
1978	29 de Abril
1979	24 de Abril
1980	28 de Abril
1981	24 de Abril
1982	12 de Mayo
1983	13 de Mayo
1984	17 de Abril
1985	04 de Mayo
1986	02 de Junio
1987	09 de Mayo
1988	06 de Mayo
¡ Fin del reporte !	

Cuadro 4.8. Ejemplo de los resultados del cálculo de fecha más temprana de siembra para un cultivo hipotético resistente al déficit hídrico, para la estación Fabio Baudrit.

Sistema AQUA

Reporte de los resultados de los cálculos

Tipo de cálculo : Fecha más temprana de siembra
 No. de siembros : 1

Siembro No. 1 : SUSCEPTIBLE

Estación : FABIO BAUDRIT
 Cultivo : SUSCEPTIBLE
 Perfil : AQUA

Año	Fecha más temprana de siembra
1969	08 de Abril
1970	18 de Abril
1971	03 de Mayo
1972	24 de Abril
1973	10 de Junio
1974	13 de Mayo
1975	10 de Mayo
1976	06 de Mayo
1977	11 de Junio
1978	29 de Abril
1979	24 de Abril
1980	30 de Abril
1981	24 de Abril
1982	12 de Mayo
1983	20 de Junio
1984	20 de Abril
1985	16 de Mayo
1986	02 de Junio
1987	29 de Mayo
1988	31 de Mayo

¡ Fin del reporte !

Cuadro 4.9. Ejemplo de los resultados del cálculo de fecha más temprana de siembra para un cultivo susceptible al déficit hídrico, para la estación Fabio Baudrit.

Basado en los resultados del cálculo de la fecha más temprana de siembra, el programa puede generar gráficos de fecha de siembra versus porcentaje de ocurrencia, los cuales son de gran utilidad para determinar una fecha de siembra con determinada probabilidad de ocurrencia. Las Figuras 4.60 y 4.61 muestran ese tipo de gráficos, generados a partir de los resultados mostrados en los Cuadros 4.8 y 4.9.

De la Figura 4.60 se obtiene que el 80% de los años estudiados la fecha más temprana de siembra se dió antes del 12 de mayo (inclusive) para un cultivo resistente. Esa es la razón por la que esa fecha se tomó como la fecha inicial de las secuencias estudiadas en la sección de balance.

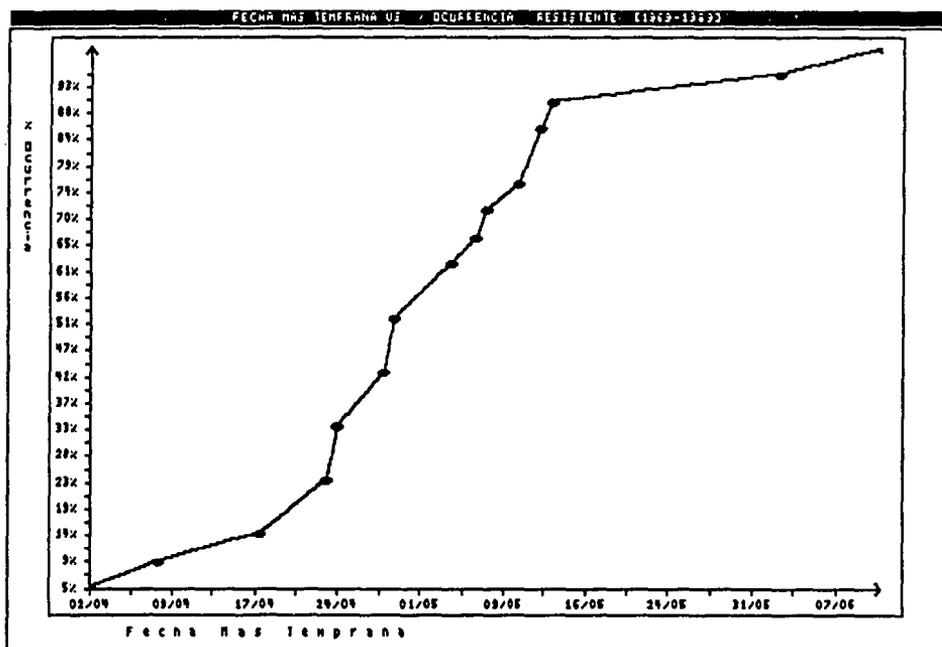


Figura 4.60. Ejemplo del gráfico de porcentaje de ocurrencia de la Fecha más Temprana de Siembra para un cultivo hipotético resistente al déficit hídrico, generado por AQUA para la Estación Experimental Fabio Baudrit para los años 1969-1989. Basado en el Cuadro 4.8.

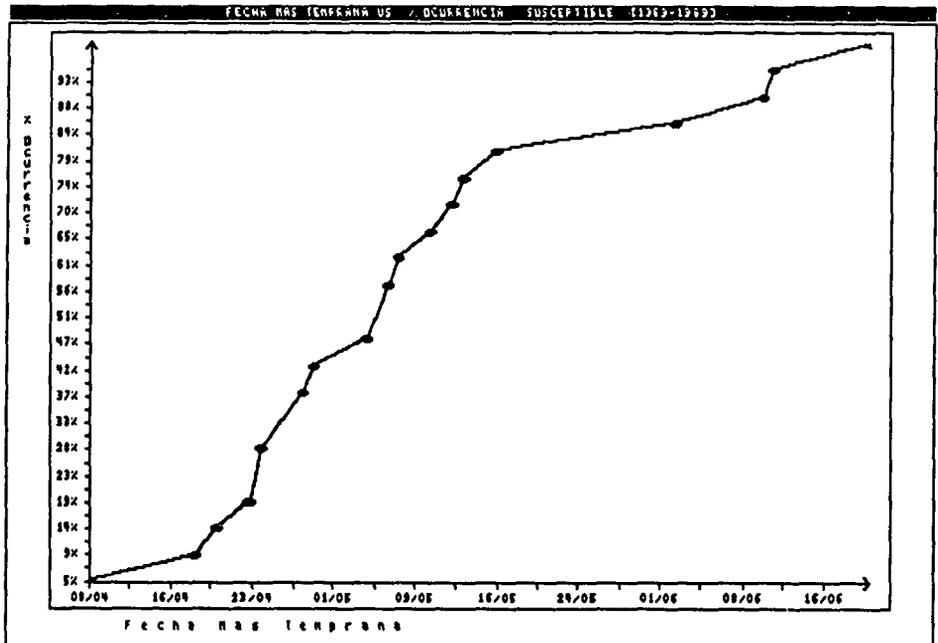


Figura 4.61. Ejemplo del gráfico de porcentaje de ocurrencia de la Fecha más Temprana de Siembra para un cultivo hipotético susceptible al déficit hídrico, generado por AQUA para la Estación Experimental Fabio Baudrit para los años 1969-1989. Basado en el Cuadro 4.9.

4.5.3.3 Criterios de fecha más temprana.

En esta sección (Figura 4.62) se pueden variar los criterios que se usan para calcular la fecha más temprana de siembra en caso de que el usuario encuentre que las fechas que el programa está calculando no se ajustan a la realidad de la zona en estudio (ver Sección 2.3.1).

Criterios para FECHA MAS TEMPRANA DE SIEMBRA		
• Días para establecimiento del cultivo.	20 días	
• PPT mínima en década anterior a la siembra.	30.0 mm	
• PPT máxima para labores.	5.0 mm/día	
• Días con PPT menor a PPT máxima.	3 días	
• Días con PPT nula.	2 días	
• Uso de días secos consecutivos para siembra.	1 (1=Si/2=No)	
Criterio	Cultivo	
	SUSCEPTIBLE	RESISTENTE
• Días permitidos con déficit.	1	2
• Agua residual.	5 mm	8 mm

Figura 4.62. Pantalla en la que se definen los criterios usados para calcular la fecha más temprana de siembra. Se muestran los valores que usa el programa por defecto.

4.5.4 ULTIMO DIA A CAPACIDAD DE CAMPO.

En este análisis el programa calcula el último día en que el suelo se encuentra a capacidad de campo para cada uno de los siembros que se encuentren marcados. El menú correspondiente a esta sección se muestra en la Figura 4.63, y los otros pasos se muestran en las Figuras 4.64, 4.65 y 4.66.

El análisis de última fecha a capacidad de campo puede ser de gran utilidad para estimar cuál es el último día del año en el que se puede sembrar un cultivo que crezca con las últimas lluvias del año. Para ello se puede definir un siembre con un cultivo hipotético establecido que se siembre en plena época lluviosa y que dure hasta el fin del año. Este tipo de análisis se hizo para la estación Fabio Baudrit, mostrándose los resultados en el Cuadro 4.10 y en la Figura 4.67, generados por el programa.

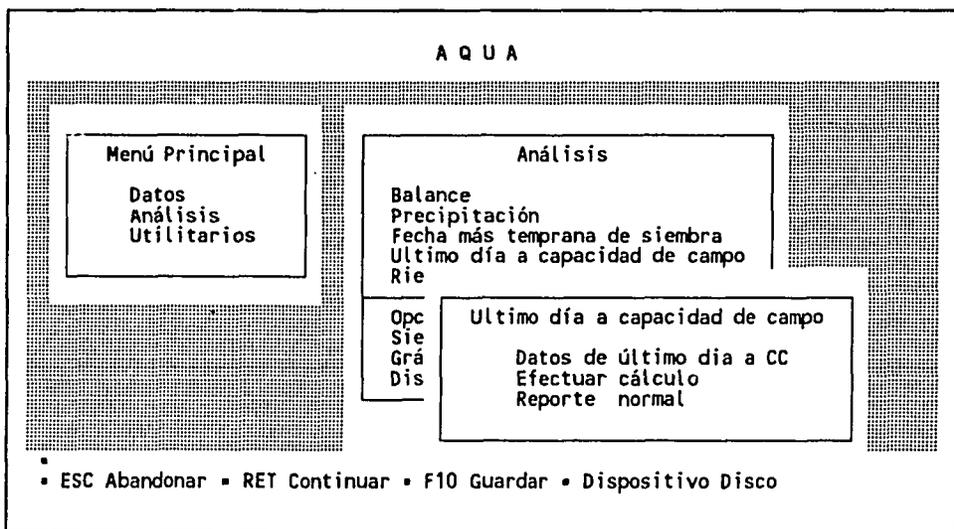


Figura 4.63. Menú del análisis de "Ultimo día a capacidad de campo".

314

4.5.4.1 Datos para último día a capacidad de campo.

Al entrar en esta sección aparece la pantalla mostrada en la Figura 4.64, en la cual el usuario puede especificar el intervalo de años en el que desea efectuar el cálculo para cada uno de los siembros marcados.

A Q U A

Datos para el Cálculo del Ult. Día a Cap. Campo

Nombre del siembro	Intervalo de años		Período	
	Año inicial	Año final	Inicio	Final
1 ARROZ	1969	1969	01/01	31/12
2			/	/
3			/	/
4			/	/
5			/	/
6			/	/
7			/	/
8			/	/
9			/	/
10			/	/

• ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Pantalla

Figura 4.64. Ejemplo de la pantalla en la que se definen los intervalos de años en los que se desea efectuar el cálculo de último día a capacidad de campo.

35

4.5.4.2 Efectuando el cálculo.

Después de calcular la última fecha a capacidad de campo, el programa pregunta si se desean ver los resultados (Figura 4.31), y si se responde afirmativamente se despliega el reporte de resultados, que consta de las pantallas mostradas en las Figuras 4.65, 4.66 y 4.36.

A Q U A

Menú

Da
An
Ut

Sistema AQUA

Reporte de los resultados de los cálculos

Tipo de cálculo : Ultimo día a capacidad de campo
No. de siembros : 1

Reporte por : Pantalla

Esc No generar reporte Otra tecla Continuar

ESC Abandonar RET Continuar F10 Guardar Dispositivo Pantalla

Figura 4.65. Ejemplo del encabezado del reporte de última fecha a capacidad de campo.

A Q U A

<p>Menú Pri</p> <p>Datos</p> <p>Análisis</p> <p>Utilit</p>	<p>Siembro No. 1 : ARROZ</p> <hr/> <p>Fecha de siembra : 13 de Noviembre Fin del ciclo : 2 de Marzo</p> <p>Estación : FABIO BAUDRIT Cultivo : ARROZ Perfil : AQUA</p> <hr/> <p>Año Ultimo día a capacidad de campo</p> <p>1969 30 de Noviembre</p> <hr/> <p>Esc Terminar reporte Otra tecla Continuar</p>	<p>campo</p> <p>CC</p>
--	--	------------------------

▪ ESC Abandonar ▪ RET Continuar ▪ F10 Guardar ▪ Dispositivo Pantalla

Figura 4.66. Ejemplo de la pantalla central del reporte del último día a capacidad de campo.

Sistema AQUA

Reporte de los resultados de los cálculos

Tipo de cálculo : Ultimo día a capacidad de campo
 No. de siembros : 1

Siembro No. 1 : ULTIMA FECHA A CC

Fecha de siembra : 01 de Octubre
 Fin del ciclo : 01 de Enero
 Estación : FABIO BAUDRIT
 Cultivo : CULT. P/ ULTIMA CC
 Perfil : AQUA

Año	Ultimo día a capacidad de campo
1969	30 de Noviembre
1970	12 de Noviembre
1971	05 de Noviembre
1972	22 de Diciembre
1973	22 de Noviembre
1974	01 de Noviembre
1975	06 de Noviembre
1976	15 de Noviembre
1977	25 de Noviembre
1978	02 de Noviembre
1979	23 de Noviembre
1980	23 de Noviembre
1981	01 de Noviembre
1982	05 de Noviembre
1983	01 de Diciembre
1984	19 de Noviembre
1985	14 de Noviembre
1986	01 de Noviembre
1987	23 de Octubre

¡ Fin del reporte !

Cuadro 4.10. Resultado del cálculo del último día del año en que el suelo se encuentra a capacidad de campo para la estación Fabio Baudrit.

La Figura 4.67 se utilizó para definir a partir de qué siembra no se continuaban las secuencias estudiadas en la sección de balance (Sección 4.5.1.4). Por ejemplo, se puede ver que para el 13 de noviembre, la última fecha a capacidad de campo se dió ese día o antes para la mitad de los años estudiados, y que para el 18 de diciembre (día de cosecha de algunos siembros de las secuencias estudiadas en la Sección 4.5.1.4), la última fecha a capacidad de campo ya se había dado en casi la totalidad de los años, por lo que decidió no continuar las secuencias con cultivos sembrados el 18 de diciembre o después.

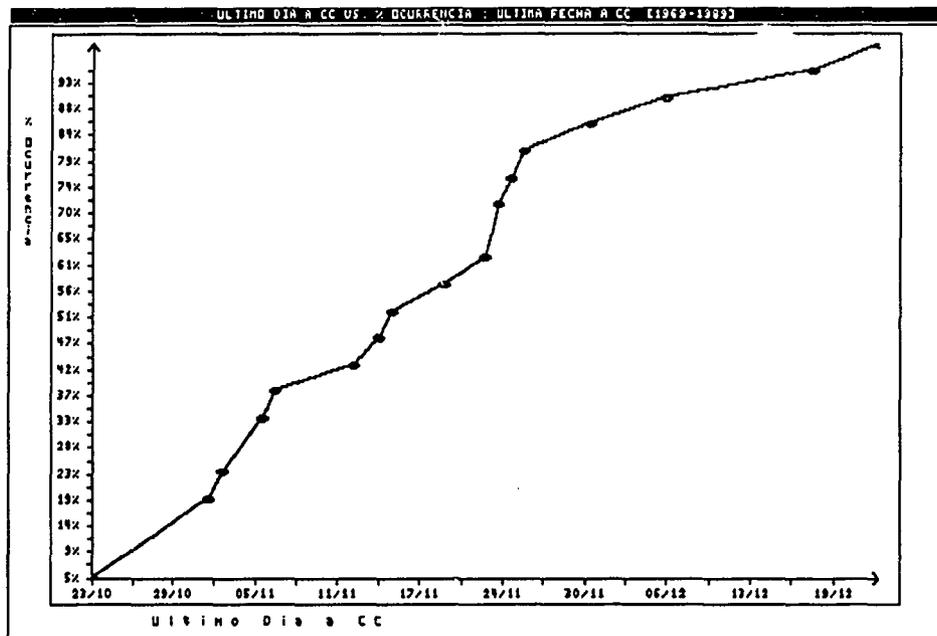


Figura 4.67. Ejemplo del gráfico de porcentaje de ocurrencia de la Ultima Fecha a Capacidad de Campo para un cultivo establecido hipotético, generado por AQUA para la Estación Experimental Fabio Baudrit para los años 1969-1989. Basado en el Cuadro 4.10.

4.5.5 CALENDARIO DE RIEGO.

El menú mostrado en la Figura 4.68 se despliega cuando se entra en la opción "Riego" del menú de análisis (Figura 4.26).

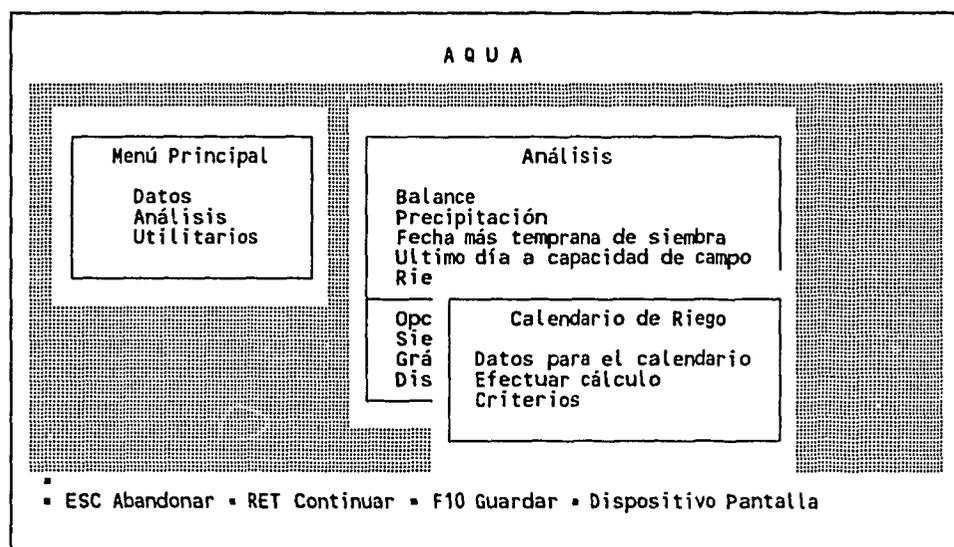


Figura 4.68. Menú de la sección de calendario de riego.

4.5.5.1 Datos para el calendario.

El intervalo de años para los que se desea calcular el calendario de riego y el período del año en que se desea ver el calendario de riego se definen en esta sección, para cada uno de los siembros marcados (Figura 4.69). Al igual que para las restantes secciones de datos de los análisis, al presionar la tecla <F3> el programa despliega el intervalo máximo de años en los que se puede calcular el calendario de riego (Figura 4.29).

A Q U A

— Datos para el Calendario de Riego —

Nombre del siembro	Intervalo de años		Período	
	Año inicial	Año final	Inicio	Final
1 ARROZ	1969	1987	01/01	31/12
2			/	/
3			/	/
4			/	/
5			/	/
6			/	/
7			/	/
8			/	/
9			/	/
10			/	/

• ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Pantalla

Figura 4.69. Ejemplo de la pantalla donde se definen los intervalos y períodos de la sección de calendario de riego.

4.5.5.2 Efectuando el cálculo.

Cuando se hace el cálculo del calendario de riego, el programa pregunta si se desean ver los resultados (Figura 4.31), y si se responde positivamente, despliega el reporte, que consta de dos pantallas de encabezado (Figuras 4.70 y 4.71), una pantalla central (Figura 4.72) y una para finalizarlo (Figura 4.36).

A Q U A	
----- Sistema AQUA -----	
Menú Da An Ut	Reporte de los resultados de los cálculos Tipo de cálculo : Calendario de riego No. de siembros : 1 Reporte por : Pantalla
	ADC aplicado en cada riego (%) : 100 Eficiencia de riego (%) : 70
	Esc No generar reporte ▣ Otra tecla Continuar
• ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Pantalla	

Figura 4.70. Ejemplo de la primera parte del encabezado del reporte de calendario de riego.

322

A Q U A

Siembro No. 01 : ARROZ

M

Area (Ha) : 100.00
 Fecha de siembra : 13 de Noviembre
 Duración efectiva : 110 día (s)
 Fin del ciclo : 02 de Marzo

Estación : FABIO BAUDRIT
 Cultivo : ARROZ
 Perfil : AQUA

Intervalo de años : 1969-1987
 Período : 01/01 -> 31/12

Esc Terminar reporte █ Otra tecla Continuar

• ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Pantalla

Figura 4.71. Ejemplo de la segunda parte del encabezado del reporte de calendario de riego.

Reporte de Calendario de Riego

Siembro No. 01 : ARROZ						
FECHA	D I A S	LAMINA (mm)	VOLUMEN A APLICAR (metros cúbicos)		CAUDAL MINIMO (lt/s)	
			Neto	Aplicado	Neto	Aplicado
15/12/1969	32	25	25000	35714	9.0	12.9
08/01/1970	24	40	40000	57143	19.3	27.6
23/01/1970	15	40	40000	57143	30.9	44.1
02/02/1970	10	40	40000	57143	46.3	66.1
10/02/1970	8	40	40000	57143	57.9	82.7
18/02/1970	8	40	40000	57143	57.9	82.7
26/02/1970	8	40	40000	57143	57.9	82.7
23/11/1970	10	13	13000	18571	15.0	21.5
06/01/1971	44	40	40000	57143	10.5	15.0
16/01/1971	10	40	40000	57143	46.3	66.1

Esc Terminar reporte █ Otra tecla Continuar

Figura 4.72. Ejemplo de la pantalla central del reporte de calendario de riego.

3/2/72

Este análisis es de mucha utilidad para el diseño de sistemas de riego. Por ejemplo, si se calcula el calendario de riego para un cultivo durante todos los años de los que se tenga de datos, luego el usuario podría determinar cual es la lámina y el caudal máximo que se ocuparía para satisfacer las necesidades del cultivo, o podría calcular (usando una hoja electrónica) la lámina o caudal máximos que se da cada cierta cantidad de años. Dichos valores máximos, u otros con cierto período de retorno, pueden utilizarse para el diseño de un sistema de riego.

Este análisis se hizo para el último cultivo de arroz de las secuencias con más déficit estudiadas en la sección de balance, obteniéndose que el caudal aplicado mínimo que se requeriría para satisfacer las necesidades de este siembro (de 100 ha) en cualquier año sería de 132.3 l/seg, el caudal neto mínimo sería de 92.6 l/seg, la lámina aplicada máxima sería de 40 mm y la mínima separación entre riegos sería de 5 días.

Sistema AQUA						
Reporte de los resultados de los cálculos						
Tipo de cálculo : Calendario de riego						
No. de siembros : 1						
ADC aplicado en cada riego (%) : 100						
Eficiencia de riego (%) : 70						
Siembro No. 01 : ARROZ						
Area (Ha) : 100.00						
Fecha de siembra : 13 de Noviembre						
Duración efectiva : 110 día (s)						
Fin del ciclo : 02 de Marzo						
Estación : FABIO BAUDRIT						
Cultivo : ARROZ						
Perfil : AQUA						
Intervalo de años : 1988-1990						
Período : 01/01 -> 31/12						
FECHA	D I A S	LAMINA (mm)	VOLUMEN A APLICAR (metros cúbicos)		CAUDAL MINIMO (lt/s)	
			Neto	Aplicado	Neto	Aplicado
25/11/1988	12	13	13000	18571	12.5	17.9
12/12/1988	17	25	25000	35714	17.0	24.3
02/01/1989	21	40	40000	57143	22.0	31.5
10/01/1989	8	40	40000	57143	57.9	82.7
20/01/1989	10	40	40000	57143	46.3	66.1
28/01/1989	8	40	40000	57143	57.9	82.7
04/02/1989	7	40	40000	57143	66.1	94.5
11/02/1989	7	40	40000	57143	66.1	94.5
18/02/1989	7	40	40000	57143	66.1	94.5
25/02/1989	7	40	40000	57143	66.1	94.5
¡ Fin del reporte !						

Cuadro 4.11. Ejemplo del reporte a disco generado por el programa para el cálculo de calendario de riego.

324

En el Cuadro 4.11 se presenta un ejemplo de los reportes a disco que genera el programa para el cálculo de calendario de riego. Se hizo para el siembro de arroz referido anteriormente, pero sólo para el año 1989. El reporte para todos los años no se incluyó porque ocupa varias páginas.

4.5.5.3 Criterios para el calendario de riego.

En esta sección el usuario puede definir dos valores que afectan el calendario de riego: el porcentaje del agua disponible para el cultivo (ADC) que se repone en cada riego y la eficiencia del sistema de riego utilizado (Fig. 4.73). El programa trae criterios establecidos por defecto, y si el usuario desea producir un calendario con criterios diferentes debe cambiarlos antes de efectuar el cálculo.

A Q U A

Menú Principal	Análisis						
D A U	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 5px;">Criterios para CALENDARIO DE RIEGO</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">▪ Porcentaje de ADC aplicado en cada riego.</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">100%</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">▪ Eficiencia de riego.</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">70%</td> </tr> </table>	Criterios para CALENDARIO DE RIEGO		▪ Porcentaje de ADC aplicado en cada riego.	100%	▪ Eficiencia de riego.	70%
Criterios para CALENDARIO DE RIEGO							
▪ Porcentaje de ADC aplicado en cada riego.	100%						
▪ Eficiencia de riego.	70%						
Dis	Efectuar cálculo Criterios						

▪ ESC Abandonar ▪ RET Continuar ▪ F10 Guardar ▪ Dispositivo Pantalla

Figura 4.73. Pantalla en la que se definen los criterios para calcular el calendario de riego.

4.5.6 OPCIONES PARA EFECTUAR LOS ANALISIS.

La sección de "Opciones" del menú de "Análisis" (Figura 4.26) permite al usuario determinar si desea o no usar los datos meteorológicos dudosos para efectuar los cálculos. Si el marcador (símbolo "■") está en el "si" a la derecha del letrero "Datos dudosos", el programa usará los datos dudosos para efectuar los cálculos, pero si está en el "no", tomará los datos dudosos como faltantes y no efectuará aquellos cálculos que involucren dichos datos. También sirve para indicar si desea que se hagan los cálculos considerando el agua disponible hasta el punto de marchitez permanente (Sección 2.1) y para indicar qué tipo de datos de ETP desea utilizar (diaria, mensual o promedio).

A Q U A

<p>Menú Principal</p> <p>Da An Ut</p>	<p>Análisis</p> <p>Opciones</p> <p>Datos dudosos ■ Si ■ No</p> <p>Agua hasta PMP ■ Si ■ No</p> <p>Tipo de ETP ■ Diaria ■ Mensual ■ Promedio</p>
---	--

■ ESC Abandonar ■ RET Continuar ■ F10 Guardar ■ Dispositivo Pantalla

Figura 4.74. Pantalla donde se varían las diferentes opciones que afectan todos los análisis.

3,26

4.5.7 SIEMBROS.

Esta opción del menú de análisis (Figura 4.26) es idéntica a la opción "Siembros" de la sección de datos (Figura 4.9). Se introdujo también en este menú para facilitarle al usuario cualquier cambio que quisiera hacer a los siembros marcados, que son en los que se basan los análisis.

4.5.8 GRAFICOS.

Esta sección tiene por finalidad generar gráficos a partir de los análisis que se efectúen. La Figura 4.75 muestra la pantalla principal de esta sección.

A Q U A

Gráficos

Gráfico actual	EJE X EJE Y	Fecha Balance (mm)
Tipo de gráfico - Incremento de tiempo Código del vertice	LINEAL DIARIO CUADRO-1	
Gráfico inverso Gráfico por impresora	NO NO	

COMANDOS > F10 █ Graficar | RETURN █ Cambiar item | ESC - Terminar

• ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Pantalla

Figura 4.75. Pantalla principal de la sección de "Gráficos" de los análisis.

4.5.8.1 Gráfico actual.

Al escoger esta opción de la pantalla principal de gráficos, se despliega la pantalla de la Figura 4.76. En ella el usuario puede escoger qué variable quiere representar en cada eje de coordenadas rectangulares. Los gráficos que se pueden efectuar se listan en el capítulo anterior.

A Q U A	
Gráfico actual	
Eje X Fecha	Eje Y Balance (mm)
V A R I A B L E S	
1. Precipitación (PPT) 2. Evapotranspiración (ETP) 3. Fecha (N) 4. Fecha más temprana de siembra 5. Ultimo día a capacidad de campo 6. Balance (Bn) 7. Bn / ADCn 8. Agua fácilmente disp. (ADCn) 9. Días con déficit 10. Días con exceso	11. Días con estrés 12. Índice de déficit 13. Índice de exceso 14. Índice de estrés 15. Días sin lluvia 16. Días con lluvia 17. % de ocurrencia 18. Fecha de siembra
• ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Fin Ejes Dispositivo Pantalla	

Figura 4.76. Pantalla donde el usuario escoge que variables desea graficar.

4.5.8.2 Tipo de gráfico.

El programa puede generar gráficos con líneas, con sólo puntos o con ambos. Si el usuario quiere un gráfico con líneas uniendo los vértices, debe escoger la opción 1 del menú mostrado en la Figura 4.77. Si quiere generar un gráfico con sólo puntos, debe escoger la opción 2. Los gráficos con líneas pueden ser con o sin puntos, lo cual se escoge en la sección de "Código del vértice".

A Q U A	
Gráficos	
Gráfico ac	Tipo de gráfico
Tipo de grá Incremento de ti Código del ver	1. Lineal 2. Puntual
Gráfico inv Gráfico por impresora	NO
COMANDOS > F10 █ Graficar RETURN █ Cambiar item ESC - Terminar	
█ ESC Abandonar █ RET Continuar █ F10 Guardar █ Dispositivo Pantalla	

Figura 4.77. Menú para escoger si se desea un gráfico con líneas uniendo los vértices o con solo puntos en los vértices.

4.5.8.3 Código del vértice.

En esta sección el usuario escoge qué tipo de símbolo desea colocar en cada punto. Si desea generar un gráfico con sólo líneas uniendo los vértices, debe escoger la opción 0 del menú mostrado en la Figura 4.78.

A Q U A

Gráfico ac

Tipo de grá
Incremento de ti
Código del ver

Gráfico inv
Gráfico por impre

Símbolo del gráfico

0. Ninguno
1. +
2. X
3. Cuadro-1
4. Cuadro-2
5. Rombo
6. Y
7. *
8. O
9. .

COMANDOS > F10 Gr tem | ESC - Terminar

• ESC Abandonar • RET Continuar • F10 Guardar • Dispositivo Pantalla

Figura 4.78. Menú para escoger el símbolo que se desea colocar en cada punto del gráfico.

4.5.8.4 Gráfico inverso y gráfico por impresora.

La opción "Gráfico inverso" de la sección de gráficos (Figura 4.75) sirve para producir un gráfico con los colores invertidos a los que se usan normalmente, es decir, las líneas, letras, números y símbolos se dibujan en negro y el resto en blanco (para despliegue por pantalla).

La opción de "Gráfico por impresora" sirve para reproducir el gráfico en papel. No se recomienda generar un gráfico inverso a impresora, pues gasta demasiada cinta.

1787

4.5.8.5 Ejemplos de gráficos.

A continuación se da una breve explicación (o la referencia a una sección anterior del programa) de la mayoría de los gráficos que el programa genera.

A. Precipitación vs. Precipitación (para Correlación de períodos).

Ver Figura 4.49, sección de "Correlación de Períodos".

B. Fecha vs. Balance (Bn).

En la Figura 4.79 se muestra un ejemplo de este gráfico. El usuario puede ver en este tipo de gráfico la cantidad de agua que le queda disponible al cultivo al final de cada incremento escogido (si se escoge incremento diario, se da el valor diario de Bn).

C. Fecha vs. Bn/ADCn.

Ver Figuras 4.37 y 4.38, sección de "Balance".

D. Fecha vs. ADCn.

Un ejemplo de este gráfico se puede ver en la Figura 4.80. En él se puede observar la cantidad de agua que el cultivo potencialmente podría tener disponible en cada día.

E. Fecha vs. Días con déficit, exceso o estrés.

Las Figuras 4.81, 4.82 y 4.83 dan ejemplos de estos gráficos. En cada uno de ellos se dan acumulados decadales de los días con déficit, exceso o estrés. Son de gran utilidad para localizar las épocas donde hay más estrés y para cuantificar la cantidad de días con problemas.

F. Fecha vs. Índice de déficit, exceso o estrés.

Este tipo de gráficos es el más útil para localizar las épocas en que un cultivo podría sufrir déficit, exceso o estrés, ya que el gráfico no da cantidad de días, sino que expresa el porcentaje de los días del incremento (en este caso décadas) que se encuentran sin problemas hídricos. Ejemplos de este tipo de gráficos se pueden observar en las Figuras 4.84, 4.85 y 4.86.

G. Fecha vs. Días sin lluvia o Días con lluvia.

Las Figuras 4.87 y 4.88 son ejemplos de este tipo de gráficos, que se pueden generar al hacer el análisis de "Días con y sin lluvia" en la sección de precipitación.

H. % de ocurrencia vs. Fecha más temprana de siembra.

Ver Figuras 4.60 y 4.61, sección de "Fecha más temprana de siembra".

I. % de ocurrencia vs. Ultimo día a capacidad de campo.

Ver Figura 4.67, sección de análisis de "Ultima fecha a capacidad de campo".

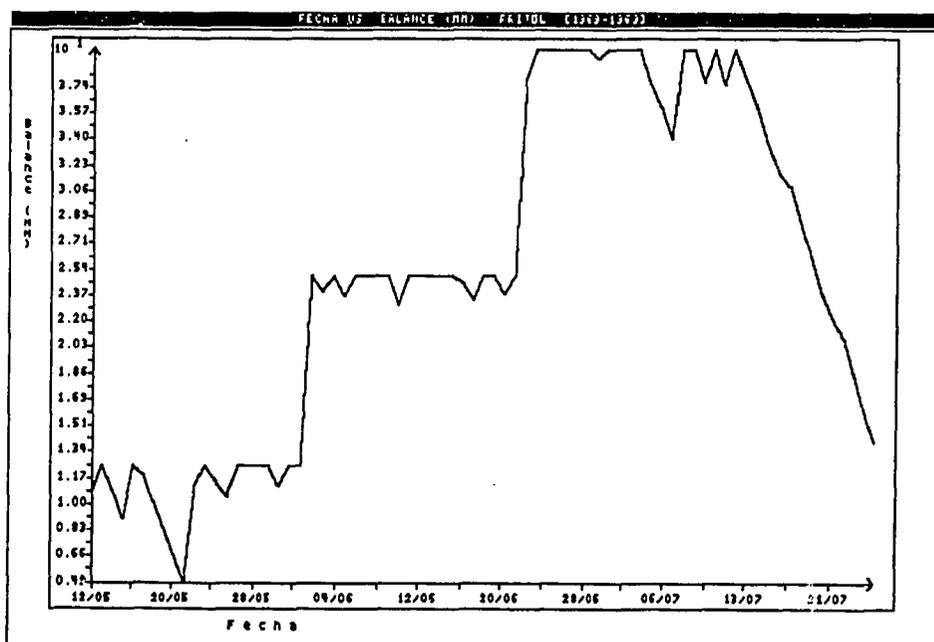


Figura 4.79. Ejemplo de gráfico de Fecha vs. Balance para un cultivo hipotético de frijol sembrado el 12/05/1969 en la Estación Experimental Fabio Baudrit.

332

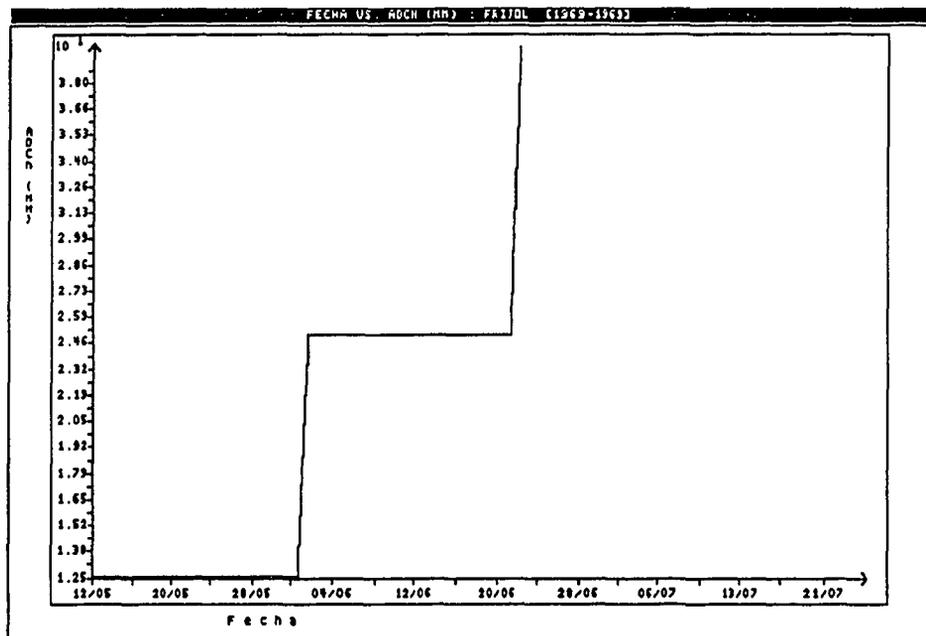


Figura 4.80. Ejemplo de gráfico de Fecha vs. agua fácilmente disponible para un cultivo hipotético de frijol.

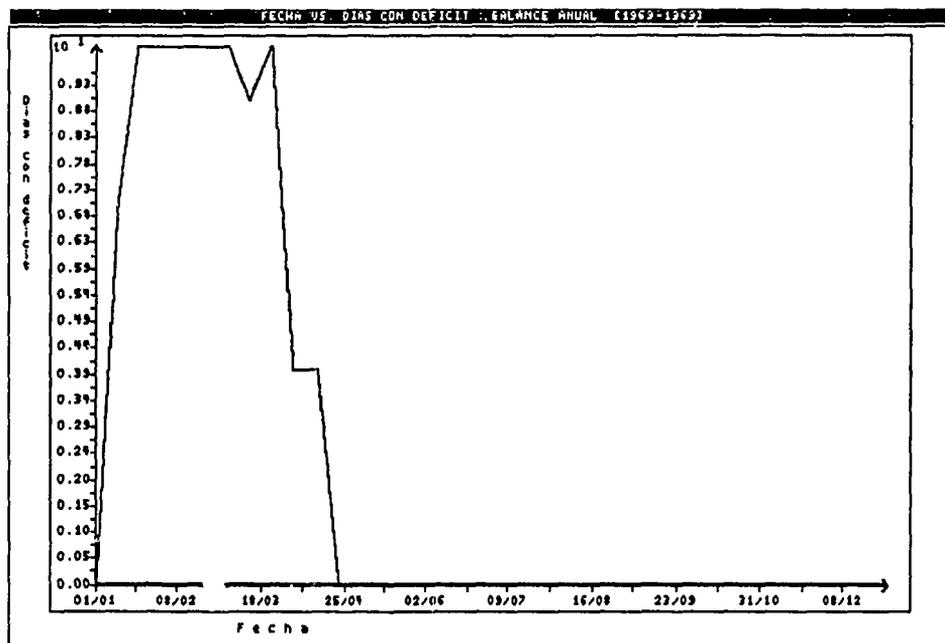


Figura 4.81. Ejemplo de gráfico de Fecha vs. días con déficit cada 10 días (incremento decadal) para un cultivo hipotético establecido, durante 1969 en la Estación Experimental Fabio Baudrit.

334

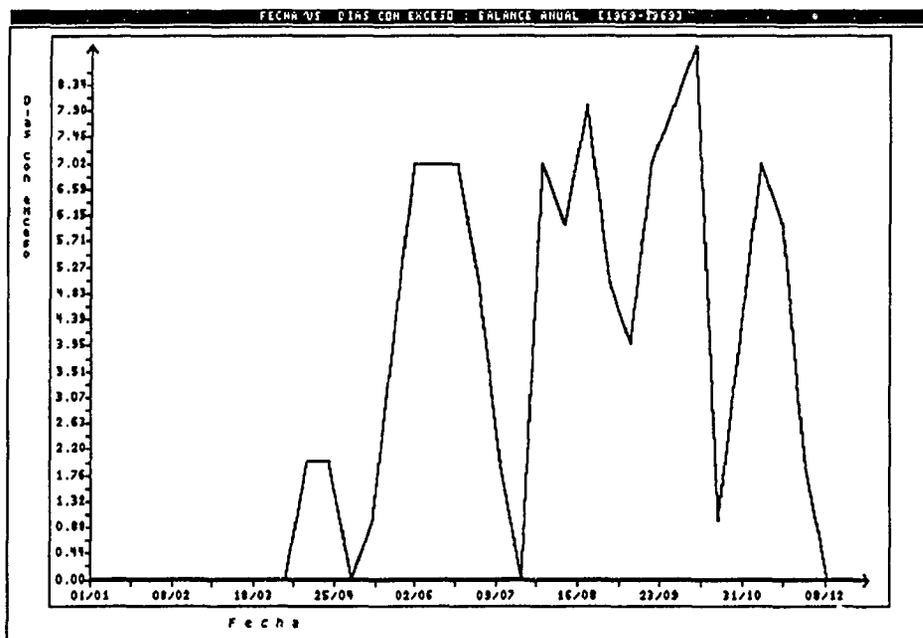


Figura 4.82. Ejemplo de gráfico de Fecha vs. días con exceso cada 10 días (incremento decadal) para un cultivo hipotético establecido, durante 1969 en la Estación Experimental Fabio Baudrit.

23/09

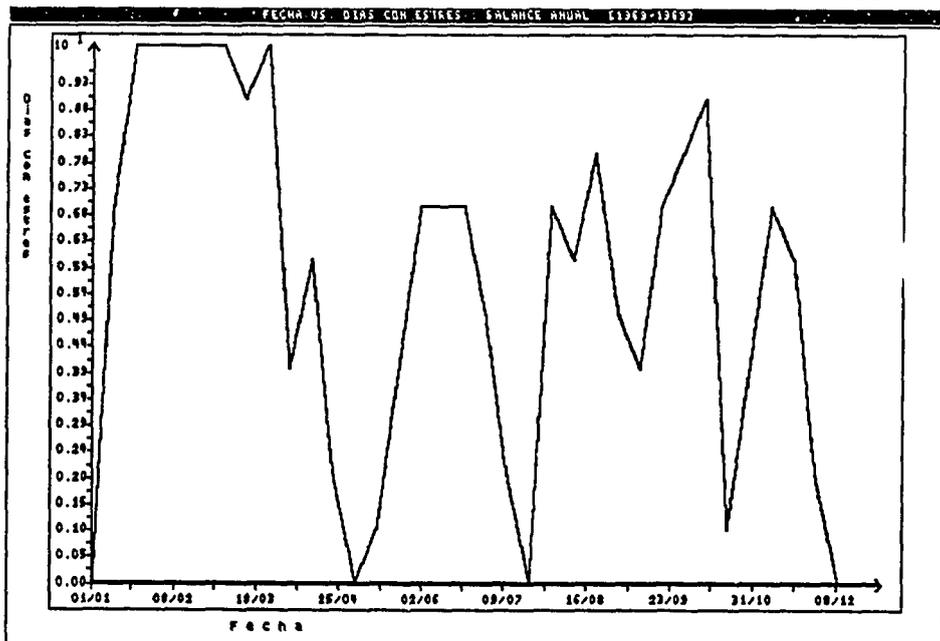


Figura 4.83. Ejemplo de gráfico de Fecha vs. días con estrés cada 10 días (incremento decadal) para un cultivo hipotético establecido, durante 1969 en la Estación Experimental Fabio Baudrit.

336

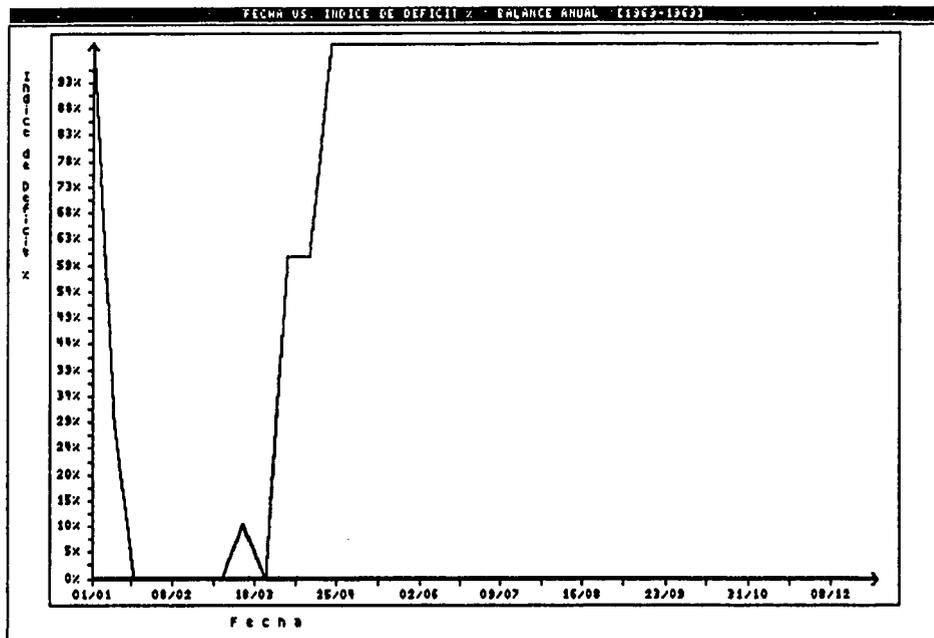


Figura 4.84. Ejemplo de gráfico de Fecha vs. Índice de déficit cada 10 días (incremento decadal) para un cultivo hipotético establecido, durante 1969 en la Estación Experimental Fabio Baudrit.

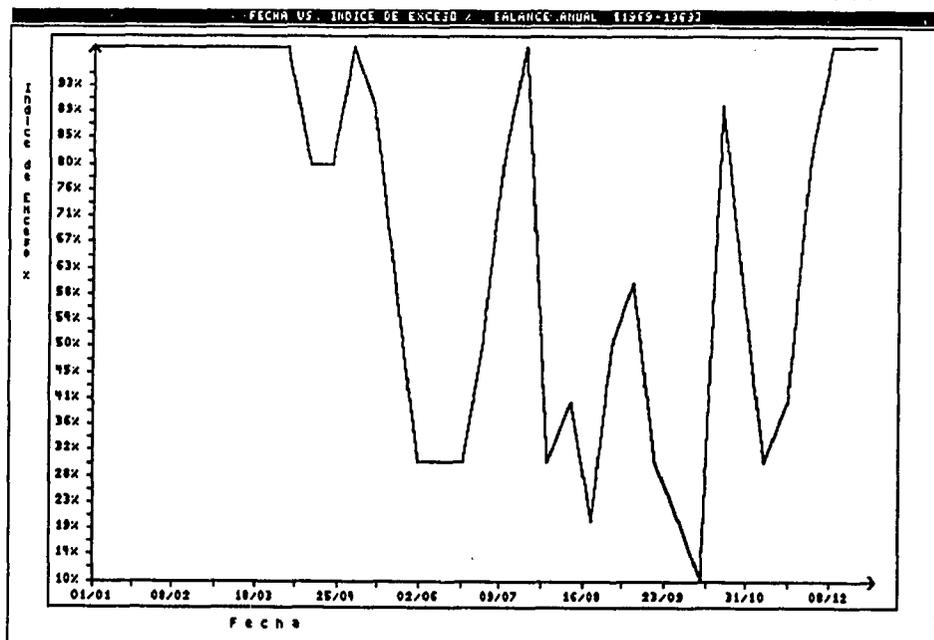


Figura 4.85. Ejemplo de gráfico de Fecha vs. Índice de exceso cada 10 días (incremento decadal) para un cultivo hipotético establecido, durante 1969 en la Estación Experimental Fabio Baudrit.

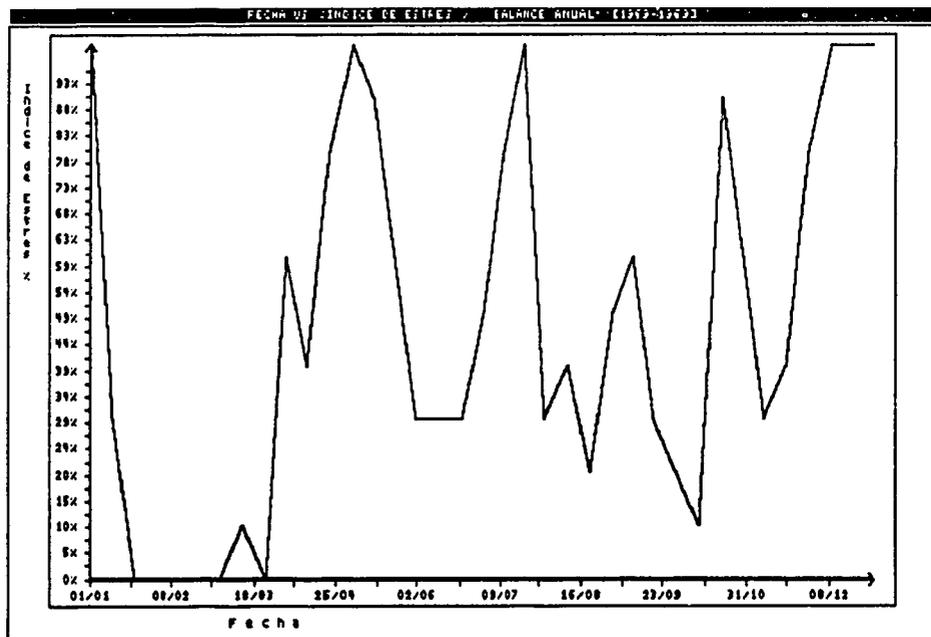


Figura 4.86. Ejemplo de gráfico de Fecha vs. Índice de estrés cada 10 días (incremento decadal) para un cultivo hipotético establecido, durante 1969 en la Estación Experimental Fabio Baudrit.

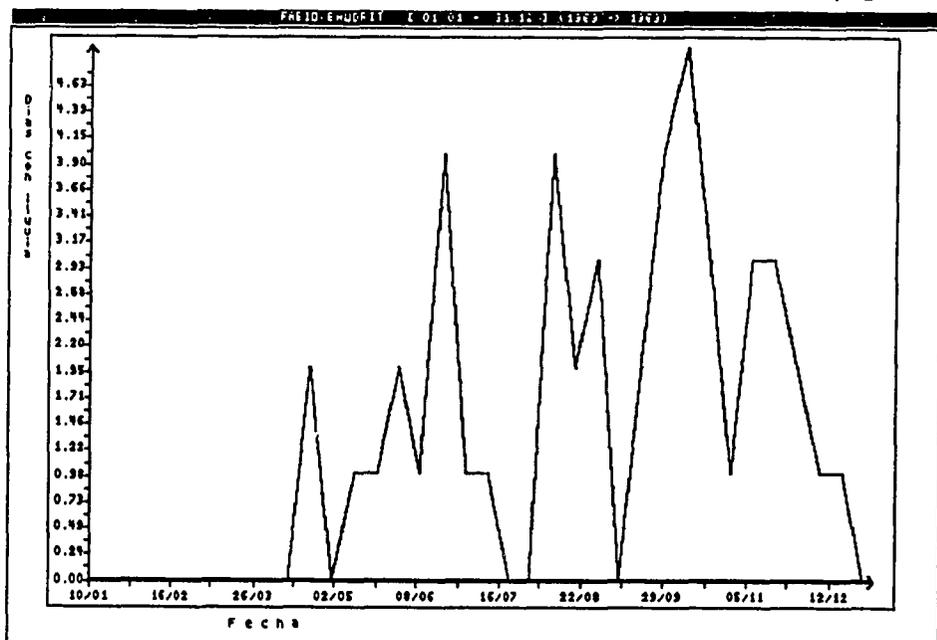


Figura 4.87. Ejemplo de gráfico de Fecha vs. días con lluvia cada 10 días durante 1969 en la Estación Experimental Fabio Baudrit.

340

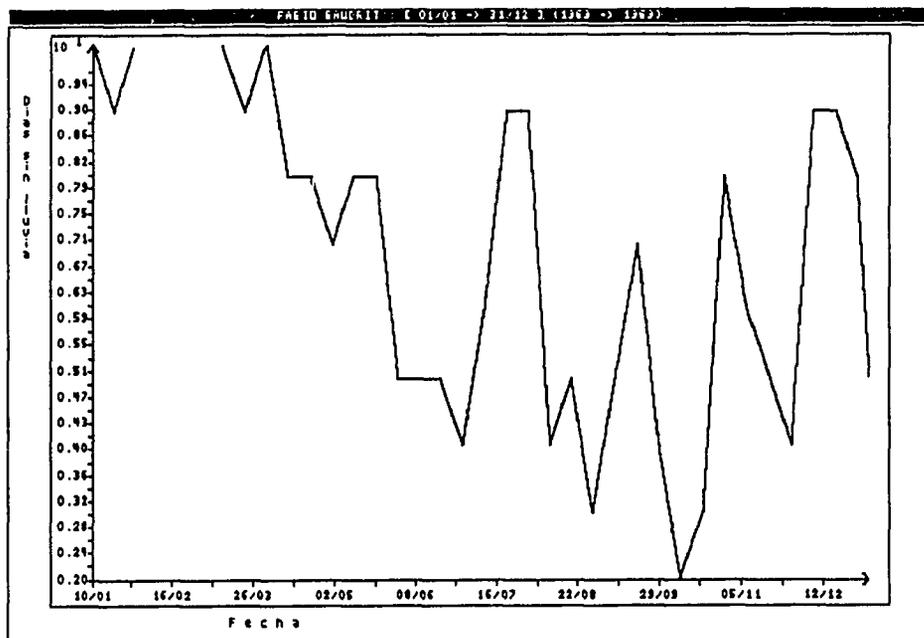


Figura 4.88. Ejemplo de gráfico de Fecha vs. días sin lluvia cada 10 días durante 1969 en la Estación Experimental Fabio Baudrit.

341

4.5.9 DISPOSITIVO DE SALIDA.

La opción "Dispositivo" del menú de "Análisis" (Figura 4.26) tiene por objetivo especificar el dispositivo en el que se generarán los reportes de los análisis.

Como queda claramente especificado en el menú de la Figura 4.89, el programa puede generar los reportes en la pantalla, en la impresora, o en disco. Si el usuario escoge generar los reportes a disco, el programa pregunta el nombre del archivo en el que quiere guardar el reporte (Figura 4.90). Cuando se efectúa el análisis deseado y se responde afirmativamente a la pregunta de la Figura 4.31, el programa crea el archivo con el reporte correspondiente. Si el archivo ya existe, el programa pregunta si se desea sustituir el archivo (Figura 4.91), y si el usuario responde negativamente, el programa pregunta si se desea añadirlo al final del archivo (Figura 4.92); si se responde negativamente a esta última pregunta, el programa no genera el reporte a disco.

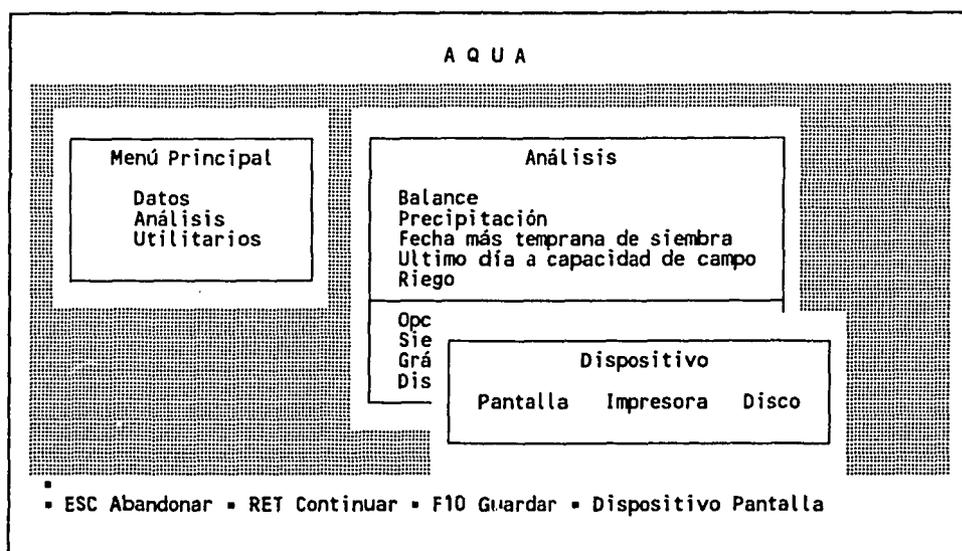


Figura 4.89. Menú para escoger el dispositivo por el que se desea generar los reportes de los análisis.

3/2

A Q U A

Menú Principal Datos Análisis Utilitarios	Análisis Balance
Nombre del archivo : REPORTE.TXT	
Grá Dis	Dispositivo Pantalla Impresora Disco

ra
ampo

▪ ESC Abandonar ▪ RET Continuar ▪ F10 Guardar ▪ Dispositivo Pantalla

Figura 4.90. Ejemplo de la pantalla utilizada para especificar el nombre del archivo en disco donde se desea almacenar los resultados de los análisis que se sigan efectuando.

313

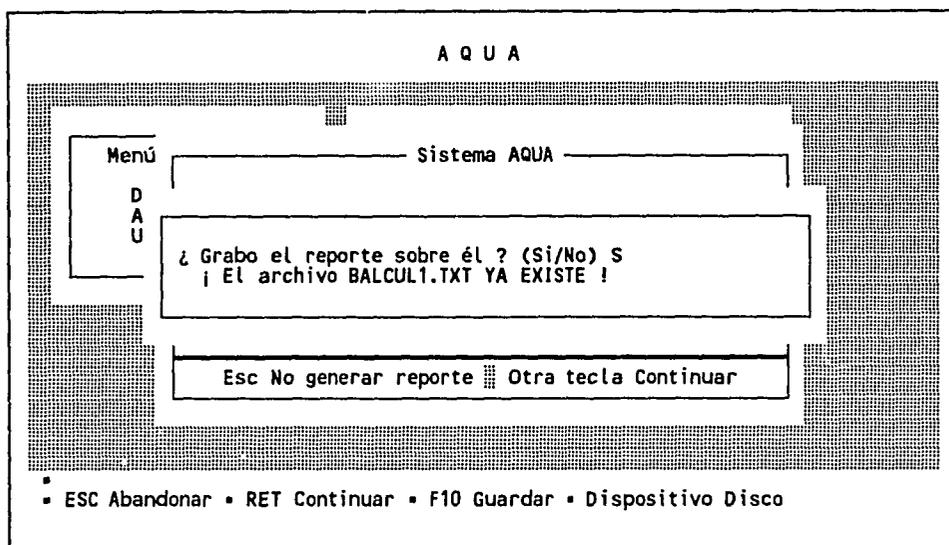


Figura 4.91. Ejemplo del primer mensaje desplegado al intentar generar un reporte a un archivo que ya existe.

3/11

A Q U A

Menú Sistema AQUA

¿ Añado el reporte a él ? (Si/No) S
¡ EL archivo BALCUL1.TXT YA EXISTE !

Esc No generar reporte Otra tecla Continuar

▪ ESC Abandonar ▪ RET Continuar ▪ F10 Guardar ▪ Dispositivo Disco

Figura 4.92. Ejemplo del mensaje donde se pregunta si se desea añadir el reporte que se va a generar al archivo ya existente que se especificó como dispositivo de salida de los análisis.

345

5. BIBLIOGRAFIA.

- Carmona Villalobos, G. 1986. Modelo de balance hídrico para caracterización regional. Tesis de Licenciatura, Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica.
- Carmona G. y Radulovich R. 1988. Metodología de evaluación de veranillos y de siembra temprana como estrategia para minimizar sus efectos. Turrialba, 38:215-222.
- Doorenbos, J. y A.H. Kassam. 1979. Efectos del Agua Sobre el Rendimiento de los Cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje No.33. Roma, 177 p.
- Doorenbos, J. y W.O Pruitt. 1986. Las Necesidades de Agua de los Cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje No.24. Roma, 194 p.
- Espinoza, A. 1992. Estudio agroclimático de los sistemas de cultivo de maíz, frijol y sorgo en las zonas secas de Estelí, Nicaragua. Tesis M.Sc., CATIE, Turrialba. 136 p.
- Mena Acosta, A. A. 1993. Crecimiento y desarrollo de Coyolillo (Cyperus rotundus L.) en dos zonas de Costa Rica. Tesis de Lic. en Ing. Agronómica, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. (en prensa).
- Radulovich, R. 1986. AQUA, an Integrated Model for Tropical Cropping. Final Report, McNamara Fellowships Program, World Bank, Washington D.C. 114 p.
- Radulovich, R. 1987a. AQUA, a model to evaluate water deficits and excesses in tropical cropping. Agricultural and Forest Meteorology, 40:305-321.
- Radulovich, R. 1987b. Predicción de la precipitación de fin de estación lluviosa en el Régimen del Pacífico. Agronomía Costarricense, 11:55-64.
- Radulovich, R. 1989. Optimization of rainfed tropical cropping in semi dry areas: a case study. Agricultural Water Management, 16:337-352.

- Radulovich, R. 1990. AQUA, a model to evaluate water deficits and excesses in tropical cropping. Part II. Regional yield prediction. *Agricultural and Forest Meteorology*, 40:305-321.
- Radulovich, R., G. Vargas, J.R. Chaves y F. Sánchez. 1989. Agua y cultivos secuenciales en zonas semi-secas: evaluación de campo preliminar. *Agronomía Costarricense*, 13:219-224.
- Sánchez Córdoba, F. 1991. Un modelo de balance hídrico computarizado. *Tesis de Licenciatura, Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica.*
- Sánchez, F. y R. Radulovich. 1992. El modelo de balance hídrico AQUA. *Memoria del Tercer Seminario Latinoamericano de Agromática, Centro de Investigaciones en Computación, Instituto Tecnológico de Costa Rica. San José, Costa Rica.*