

1621

33122

CODIGO INTERNO (E-IV y V - C -04)

U.M.D.P.

C.F.I.

PLAN DE AGUA SUBTERRANEA

PROVINCIA DE MENDOZA

ZONAS IV y V



METODOLOGIA PARA EL CALCULO DEL BALANCE
 HIDROLOGICO DEL SUELO UTILIZANDO
 COMPUTADORAS DIGITALES

H. 1112
 X. 12
 B 34
 B 32

FOR .

Dr. AGUSTIN NAVARRO (NACIONES UNIDAS)
ING. A. ORTIZ MALDONADO (ARGENTINA)

Este registro de información técnica
 es para uso interno del Plan Agua Sub
 terránea principalmente.

JUNIO 1.971

INDICE

-PROLOGO

A.-PROPOSITO e HIPOTESIS DE TRABAJO

B.-METODO

C.-DESARROLLO EN DETALLE

C.1-PROGRAMA PRINCIPAL MIKE (cálculo balance hidrológico)

C.2-SUBPROGRAMA BLAN (cálculo evapotranspiración según BLANNEY
CRIDDLE)

C.3-SUBPROGRAMA THOR (cálculo evapotranspiración según THORNTHAITRE)

C.4-SUBPROGRAMA PENN (cálculo evapotranspiración según PENMAN)

C.5-SUBPROGRAMA GRAS (cálculo evapotranspiración según GRASSI-
CHRISTIANSEN)

C.6-SUBPROGRAMA OTHER (cálculo evapotranspiración según fórmulas a
definir)

D.-EJEMPLO NUMERICO

D.1-MODELO DE OPERACION

D.2-TABLAS DE DATOS NECESARIOS

D.3-DESCRIPCION DEL AREA

D.4-PROGRAMA MIKE

-BIBLIOGRAFIA

I N T R O D U C C I O N

Es estudio de la alimentación de las acuíferas subterráneas por infiltración y su descarga por bombeo, es un ejemplo más / de los problemas que se pueden encarar a partir del balance de agua, en el perfil de suelo explorado por las raíces, propuesto por Thornthwaite en su clasificación de climas en 1.948 y que ha originado un procedimiento que como bien lo señalaron Burgos y Vidal en 1.951 /// "puede servir con gran eficacia a los problemas de la meteorología agrícola y de la agricultura práctica. Entre otros, dicen, podemos / enumerar los estudios de : regimenes de las sequías, erosión hídrica o eólica. sistematización de riego, planificación de operaciones culturales, agrometeorología comparada y especial".

Aquí se describe una metodología tipo, que permite determinar, a través de un programa de computación llamado MIKE, el balance de agua en el perfil del suelo explorado por las raíces, para un área subdividida en subáreas o totalmente cultivadas, ya sea en seco no y/o bajo riego.

Los expertos que trabajan en el campo de los recursos hídricos, a menudo, no pueden reconstruir un cuadro comprensivo de las situaciones que estudian porque no tienen la posibilidad práctica de poner todos los datos juntos. Para mejorar esta situación se desarrolla aquí, un método que permite verificar, analizar, y comparar los datos medidos en el campo y/o estimados en gabinete, usando las facilidades de cálculo rápido, que ofrecen las computadoras digitales, que permiten , aplicar intensamente el proceso de ensayo y error. // También, y con prudencia, este método permite simular distintas situaciones hídricas y/o agrológicas del área o cuenca en estudio a modo de modelo de funcionamiento

Este balance hidrológico define como insumo a todo el flujo de agua que tiende a incrementar la cantidad de agua en el perfil de suelo considerado, y como descarga a todo el flujo que disminuye el contenido de humedad del suelo. La ecuación del balance será:

Insumo:

- a-Riego de agua de superficie.
- b-Cantidad efectiva de lluvia caída.
- c-Riego con agua subterránea.

Descarga:

- a-Evapotranspiración verdadera.
- b-Flujo de retomo (al acuífero si este es libre o al agua preática si es confinado).

Balance:

- a-Cambio de humedad en el suelo.

La secuencia lógica del movimiento del flujo es la siguiente: La cantidad de agua necesaria para evapotranspiración, más el agua usada en el lavado del suelo para sacarle la sal, tiene que estar disponible.

Esta cantidad de agua es abastecida por agua almacenada en el suelo más la cantidad efectiva de lluvia, más (si estos no fueran suficientes) riego de superficie, más (si no es suficiente), el bombeo de agua subterráneas. Toda esta agua tiene que cubrir las necesidades, para la evapotranspiración, y lavados de suelo. El exceso de evaporación queda en el suelo como almacenaje y si hay excedente sobre la capacidad máxima de almacenaje del suelo, se infiltra como flujo de retomo y pasa a alimentar los acuíferos subterráneos.

El balance fue hecho mes por mes y subárea por subárea y estos sumados y totalizados para todas las cuencas y todos los años considerados.

El programa, que se describe a continuación a continuación ha sido utilizado en las siguientes computadoras: IBM 1130, // JBM 360/25, IBM 360/50 y HONEYWELL BULL G.E. 415.

Estos programas se han aplicado a diversas cuencas de agua subterránea de condiciones diferentes, como son: el Valle Arroyo El Carrizal (Prov. de Mendoza), la cuenca baja del Río Mendoza (Prov. de Mendoza), el Valle de Tulún (Prov. de San Juan), el Valle de Ullún-Zonaa (Prov. de San Juan) y las cuencas intermedias Gimenez del Gato, Ciudad de La Plata (Prov. de Buenos Aires). El grado de aproximación obtenido en el modelado, ajuste, y operación de esas áreas, ha sido variable, según la calidad de los datos de partida. La descripción en detalle de cada una de las cuencas mencionadas y las conclusiones obtenidas, caen por completo fuera del alcance de este estudio, donde solo se persigue la descripción de una metodología. El lector interesado puede remitirse a las publicaciones de // las Naciones Unidas y del Congreso Federal de Inversiones, relativas a los informes técnicos del Proyecto ARG 13, así como al Centro Regional de Aguas Subterráneas de San Juan.

Por último cabe destacar que este programa MIKE que cal cula el balance agua-suelo, está concebido para interrelacionarse con los datos de dos tipos de balances más, que son específicos para cuencas subterráneas, (uno interno del acuífero y otro externo de la cuenca) cuyas características no son del caso explicar aquí. Pero si señalar que permite un control mutuo de las magnitudes hipotéticas de los flujos de agua y le muestra al investigador donde están sus puntos débiles y cuan débiles son.

A- PROPOSITO E HIPOTESIS DE TRABAJO

El programa MIKE, pretende relacionar el consumo vegetal del agua con la alimentación por infiltración y/o con la descarga por bombeo de los acuíferos subterráneos. El programa tiene dos vías principales independientes, una para las vegetaciones bajo riego artificial (con agua de superficie o subterránea), otra para las vegetaciones sin más riego que la lluvia. Ambas situaciones reciben tratamiento distinto, y un parámetro (PAUNL(K)) se encarga de definir para cada tipo principal de vegetación (K), si ha de ser tratado como regadío o como secano.

Como hipótesis básicas de trabajo se supone que:

1. El exceso de agua, por encima de los requerimientos de consumo de la planta, se infiltran en el suelo y tiende a saturar el mismo, hasta completar su capacidad de campo. Si todavía hay exceso de agua, el excedente pasa a infiltrarse al subsuelo y puede eventualmente (si el acuífero es libre) llegar a alimentar las aguas subterráneas.

2. En las áreas bajo riego, cuando el riego superficial más la lluvia efectiva, más la humedad del suelo no alcanza para los requerimientos de riego, la diferencia es provista por el bombeo de agua subterránea.

3. En las áreas de secano, cuando la lluvia efectiva más la humedad del suelo no alcanzan para el consumo, la planta muere o su consumo hídrico por evapotranspiración es menor que el estimado mediante fórmulas de evapotranspiración "real".

4. El agua en tránsito horizontal dentro del suelo es despreciable comparada con otros volúmenes de agua en circulación.

5. El agua de escurrimiento superficial se encauza pronto hacia cursos naturales o artificiales y no interviene en el balance del suelo de la zona. Cuando contribuya sustancialmente al aumento del agua de riego superficial debe ser incluida en ésta desde el // principio, como incremento en el caudal de los canales.

6. Las pérdidas de agua por infiltración en canales de riego tienen lugar principalmente en aquellos canales de segundo, / tercer y cuarto orden, donde el régimen de circulación es más variable e intermitente y la longitud de la red es considerable.

7. Dentro de cada uno de los polígonos en los que se divide la región en estudio: las condiciones hidrometeorológicas, geolá- gicas y edafológicas (temperatura mensual, lluvia mensual, coeficien- te de escurrimiento, de pérdidas en canales, tipo de confinamiento de campo, etc...) son relativamente constantes de un punto a otro.

8. Las pérdidas por infiltración en canales de riego, son proporcionales al gasto del canal (volumen de agua cada unidad de / tiempo). El escurrimiento de la lluvia es proporcional al volumen de agua llovido. La proporcionalidad se establece mediante coeficientes que dependen del área (PECAN, CORUN) o del tipo de cultivo (CLLEF(K)).

Todas estas hipótesis principales de trabajo, y algunas otras que se irán utilizando sucesivamente no son totalmente ciertas: ni totalmente falsas. Su grado de validez condiciona la validez del procedimiento utilizado en el programa, y depende de la propia expe- x riencia personal del técnico y de su sentido común, el juzgar la am- plitud de estos límites y el apreciar hasta qué grado, este modelo x puede representar la infinitamente más compleja realidad.

No se olvide que el modelo nunca es más que un instrumen- to de trabajo, y no una finalidad en sí mismo.

Finalmente hay que indicar que el modelo presente no incluye todos los factores de infiltración o descarga del acuífero. En particular, no incluye el bombeo para uso industrial, ganadero o doméstico; no incluye la evaporación directa del agua del acuífero cuando su nivel de agua es libre y cercano a la superficie; no incluye las surgencias ni manantiales; no incluye la infiltración en los cauces de ríos y arroyos; no incluye la recarga artificial. Todos estos factores han de medirse o estimarse en forma independiente.

B- METODO

La región a estudiar se divide en subáreas, tantas como se considere conveniente para que dentro de cada una de ellas las condiciones de clima, geología y suelos se puedan considerar homogéneas. El tamaño máximo de la subárea, viene limitado por la condición de que su expresión no sobrepase las cinco cifras en las unidades empleadas, (la mayoría de las veces hectáreas).

Con frecuencia el modelo MIKE se relaciona con otros modelos para el balance hídrico de cuencas subterráneas, en estos casos, es conveniente utilizar subáreas del tipo de los polígonos de Thiessen, iguales a los usados en las cuencas subterráneas. Ello no es una condición básica en sí para este programa.

El modelo no presenta límites en cuanto a número de subáreas, ni en cuanto a número de periodos de tiempo que se quieran incluir. Sí presenta límites en cuanto a tipos de cultivo considerados, red de canales de riego superficial y número de meses en cada uno de los periodos de tiempo.

La variedad de vegetación de la región, se agrupa en hasta seis clases diferentes correspondientes hasta seis valores de la variable K.

Por ejemplo:

K = 1 , parral de regadío.

K = 2 , alfalfa, potreros de regadío.

K = 3 , chacra de regadío.

K = 4 , bosque

K = 5 , matas, yuyos, monte bajo.

K = 6 , sin vegetación.

Si el número de variedades principales es menor, se utilizarán menos variables K. Por ejemplo:

K = 1 , sin vegetación.

K = 2 , frutal (árbol) de regadío.

K = 3 , monte bajo.

Seis es el número máximo de tipos de vegetación permitido en este programa.

Un mapa de uso de la tierra de acuerdo con esos tipos de vegetación debe ser elaborado para toda la vegetación bajo estudio.

Una vez definidos los grupos de vegetación, se asigna a cada uno de ellos un coeficiente PAUNL(K) que vale 0.0 para seco y 1.0 para regadío.

Con los ejemplos anteriores sería:

PAUNL (1) = 1.0 ó PAUNL (1) = 0.0

PAUNL (2) = 1.0 ó PAUNL (2) = 0.0

PAUNL (3) = 1.0 ó PAUNL (3) = 0.0

PAUNL (4) = 0.0

PAUNL (5) = 0.0

PAUNL (6) = 0.0

A continuación se indentifica la red de canales de riego superficial. Esta es una labor que requiere atención y cuidado para

no producir omisiones ni duplicaciones. Los canales se enumeran correlativamente, y el presente programa admite hasta 40 canales.

Cada terreno regado debe recibir agua de superficie de un solo canal, y cada canal debetener claramente definida la superficie bajo riego en cada una de las subáreas. Para cada subárea debe ser clara cuánta superficie queda bajo riego de cada canal. Si el terreno es de secano, la superficie bajo riego de cada canal, para esa subárea es cero.

Cada canal debe tener un punto de aforo, donde se defina el agua entregada mensualmente a tal canal, y el punto de aforo deberá estar tan cerca como se pueda de los puntos de entrada de ese canal en las subáreas donde haya terrenos que riegue.

Hecha la división de la región en subáreas, definidos los cultivos, sus clases y extensiones, la red de canales, el agua entregada mensualmente a cada uno de ellos, el área que riega total y dentro de cada subárea, definidas también las condiciones meteorológicas mensuales para cada subárea, estimados los coeficientes de // pérdidas en canales, escurrimiento y eficiencia de riego, y el bombeo y la capacidad de campo en cada subárea, es decir, completada la recolección de datos básicos, puede operarse el programa,

El programa (Fig.7) comienza, por la lectura de esos datos básicos. Seguidamente realiza subárea a subárea y mes a mes, una serie de cálculos y produce una serie de resultados por mes, periodo, subárea y total de la región.

En primer lugar, en cada periodo y cada subárea, calcula, mes a mes la evapotranspiración para cada tipo de cultivo, utilizando alguna de las fórmulas más usuales (Blanney-Criddle, Thornthwaite Penmn, Grassi-Christiansen y otra a definir). Un coeficiente, IEVAS, indica que tipo de fórmula se debe utilizar para el cálculo. Con // IEVAS=1, la fórmula utilizada es la de Blanney-Criddle, con un coeficiente de corrección KC para pasar de la evapotranspiración potencial a la real, cuya evaluación depende de las condiciones locales y

es leído también como un dato más.

Después el programa opera de forma diferente para zonas de secano o de regadío.

En zonas de secano, para cada periodo, o subárea y mes calcula, para cada tipo de vegetación, el volumen de agua de la evapotranspiración real y el volumen de agua de la precipitación efectiva. Compara después la suma de volúmenes de agua de la precipitación efectiva más el almacenado en el suelo, con el volumen de agua de la evapotranspiración real. Si este último es menor que aquellos, el excedente pasa a formar el volumen de agua almacenado en el suelo a considerar para el cálculo del mes siguiente. Si aquél excedente es mayor que la capacidad de campo del suelo, el excedente restante se infiltra al subsuelo, y si el acuífero subterráneo es libre, pasa a constituir parte de él. Todo ese cálculo se realiza independientemente para cada tipo de vegetación, ya que en secano, cultivos como bosque o matas dispersas presentan condiciones muy dispares.

En zonas de regadío, para cada periodo, subárea y mes calcula, para el conjunto de tipos de vegetación, el volumen de agua de la evapotranspiración real y el volumen de agua de la precipitación efectiva. Calcula también el volumen de agua de riego aportado por los canales. Multiplica el volumen de la evapotranspiración real por el inverso de eficiencia de riego, para obtener el volumen de agua "colocado en las parcelas". Compara este volumen de agua "colocado en las parcelas", con la suma de volúmenes de agua de riego, lluvia eficaz y almacenada en el suelo. Si aquél volumen es mayor que esta suma, la diferencia es asignada a "bombeo de agua subterránea". Completado el suministro de agua "colocada en las parcelas" se inicia la // operación inversa de irle restando consumos. Se descuenta en primer lugar, el conjunto del consumo por evapotranspiración real. El excedente (si lo hay) pasa de constituir el rubro almacenaje en el suelo para el mes siguiente. Si llega a saturar la capacidad de campo del

suelo, el exceso se toma como flujo de retorno y pasa, si el acuífero subterráneo es libre, a engrosar tal acuífero. Se define como su "balance" la suma de lo infiltrado desde canales, más el flujo de retorno, menos el bombeo.

Quando se conoce el bombeo real (medido o estimado con verosimilitud) en una subárea, tomando el coeficiente BEM=1.0, se puede comparar ese bombeo real con el calculado por el programa. La diferencia entre ambos (DIFER) nos da una estimación sobre la exactitud de nuestras estimaciones básicas.

Finalmente, el programa imprime como resultado los valores mensuales para cada subárea de la evapotranspiración real, riego por canales, bombeo calculado, precipitación efectiva, flujo de retorno, almacenaje de agua en el suelo, infiltración desde canales y balance.

Imprime luego los mismos rubros por periodo y subárea y por último para el total de la región.

Más arriba se emencionó, que el contenido de agua en el suelo, al final de un ciclo mensual, se toma como valor de partida del agua en el suelo para el ciclo mensual siguiente. Ello es así en el programa salvo para el primer mes de cada periodo. Para el primer mes se toma un valor de agua en el suelo arbitrario, ni saturado; ni en el punto de marchitez. Concretamente se toma un contenido igual a los $\frac{2}{3}$ de la capacidad de campo. Como los volúmenes hídricos en juego, son mucho mayores que la capacidad de campo del suelo, el pequeño error inicial introducido por esa valoración arbitraria, queda rápidamente absorbido en los cálculos mes a mes generales.

C.- DESARROLLO EN DETALLE

C.1 Programa principal MIKE

A continuación se examina el proceso de cálculo paso a paso, mediante un recorrido completo del programa. El programa que se revisa está escrito para una computadora IBM 1130 (V-26/V/71).

// JOB

-Tarjeta de control de la computadora, señalando el comienzo de una tarea.

// DUP

-Tarjeta de control señalando una operación con el disco.

*DELETE MIKE

-Instrucción para borrar en el disco el programa denominado MIKE, el cual había sido grabado en el disco anteriormente.

*DELETE BLANN

-Idem con el subprograma denominado BLANN.

*DELETE OTHER

-Idem con el subprograma denominado OTHER.

// FOR

- Tarjeta de control indicando un programa en lenguaje FORTRAN.

***IOCS(CARD,1132PRINTER,DISK)**

-Tarjeta de control indicando los elementos de entrada y salida utilizados, que son la lectora (CARD), la impresora (1132 PRINTER) y el disco (DISK).

***ONE WORD INTEGERS**

-Tarjeta de control indicando que las variables subscriptas enteras se almacenan en una sola palabra de 16 bits.

***NAME MIKE**

-Tarjeta de control indicando la denominación (MIKE) del programa que viene a continuación para ser compilado.

DIMENSION PAUNL(6),CLLEF(6),CAREK(6),ARTCA(40),AGUAC(40,12),ARECU(16),ARRIP(40),RIEGO(12),EVAPO(12),PRECO(12),RET(12,6),BALAN(12),BOM2BE(12),CAIN(12),BALUN(12),AIMA(12),P(12),SUELA(6),REA(20)

-Tres tarjetas donde se dan las dimensiones de casi todas las variables subscriptas que se utilizan en el programa. En el presente programa las máximas dimensiones permitidas son:

Número de períodos = Cualquiera

Número de meses por período = Doce

Número de subáreas = Cualquiera

Número de cultivos = Seis

Número de canales = Cuarenta?

Doce, seis y cuarenta son los números que aparecen en las tarjetas de DIMENSION. La dimensión mínima de cualquiera de esas variables es uno.

COMMON IR, NI, NCU, FCEVA, EVAP(12, 6), J2

-Tarjeta donde se terminan de definir las dimensiones de las variables subscriptas (EVAP) y se define el área común de memoria del programa principal (MIKE) y los subprogramas restantes utilizados (BLANK, OTHER).

```

100 FORMAT(1X,I3,8I2,F8.5)
200 FORMAT(16F5.2)
201 FORMAT(19F5.2)
300 FORMAT(10F7.2)
400 FORMAT(I3,6F8.2)
500 FORMAT(/' MONTHLY VALUES FOR NODE',I3/' EVAP',12F6.2)
600 FORMAT('   IRRIG',12F6.2)
700 FORMAT('   PUMPN',12F6.2)
800 FORMAT('   RAINF',12F6.2)
900 FORMAT('   REFLO',12F6.2)
1000 FORMAT('   SOILW',12F6.2)
1100 FORMAT('   CANIN',12F6.2)
1200 FORMAT('   BALAN',12F6.2/)
1300 FORMAT(/' NODE',I3,',', PERIOD VALUES'/' EVPTR=',F7.2,' IRRIG=',F7
1.2,' PUMPN=',F7.2,' RAINF=',F7.2,' REFLO=',F7.2,' CANIN=',F7.2
2,' BALAN=',F7.2' DIFER=',F7.2//)
1400 FORMAT(//' PERIOD',I3,',', VALUES FOR THE WHOLE BASIN'/' EVA=
1',F7.2,' IRR=',F7.2,' PUM=',F7.2,' RAI=',F7.2,' REF=',F7.2,'
2CAN=',F7.2,' BAL=',F7.2,' DIF=',F7.2////)
1500 FORMAT(20A4)
1600 FORMAT(///' AQUIFER-SOIL-VEGETATION BALANCE. PROG.A.N.'//5X,20A4/)

```

-Veintium tarjetas donde se definen los formatos para la lectura de los datos y la escritura de los resultados.

-Definiendo los números lógicos internos para la unidad central de proceso de las unidades de lectura (2) y escritura (3). Estos números son diferentes en otras computadoras.

```
READ (IR,1500)(REA(K),K=1,20)
WRITE(IW,1600)(REA(K),K=1,20)
READ (IR,100)NP,NCU,NCA,NPE,NM,IEVAS,J1,J2,J3,J4,CPAF
WRITE(IW,100)NP,NCU,NCA,NPE,NM,IEVAS,J1,J2,J3,J4,CPAF
READ (IR,200)FCEVA,(PAUNL(K),CLLEF(K),CAREK(K),K=1,NCU)
WRITE(IW,201)FCEVA,(PAUNL(K),CLLEF(K),CAREK(K),K=1,NCU)
```

-Seis tarjetas con instrucciones de lectura (y escritura - eco) para los siguientes coeficientes y parámetros básicos:
REA(K)= Título o denominación del área, hasta ochenta caracteres alfanuméricos.

NP= Número de subáreas (polígonos) de la cuenca.

NCU= Número de cultivos (grupos de cultivos principales).

NCA= Número de canales.

NPE= Número de períodos sobre los que se va a hacer el balance.

NM= Número de meses de cada período.

IEVAS= Parámetro para elegir la fórmula de evapotranspiración real que se va a utilizar. Con IEVAS=1, se opera con la fórmula de Blaney-Criddle (en el subprograma BLANN), con IEVAS=2 se opera con otra fórmula (en el subprograma OTHER).

J1= Parámetro que indica =1 que se escriban los valores de los resultados para toda la cuenca y cada período, e=2 que se escriban también los valores mes a mes.

J2= Parámetro que indica =1, que el factor de corrección de la evapotranspiración potencial a real en la fórmula de Blaney Criddle depende de la temperatura media mensual y de un factor FC (o FK) propio del ciclo vital de cada cultivo según los meses, e=2 que el factor de conversión de la evapotranspiración potencial a real en la fórmula de Blaney-Criddle se da en bloque para cada mes y cultivo.

J3= Parámetro que indica =1, que la capacidad de campo del suelo se toma única por subárea (RETPO), e=2 que la capacidad de campo del suelo se toma en función de cada mes (J) y cultivo (K), (RET(J,K)).

CPAF= Coeficiente para transformar unidades de altura de agua en unidades de volumen de agua cada unidad de superficie. Si se considera la altura de agua en milímetros y el volumen en hectómetros cúbicos y la superficie en hectáreas, CPAF= 0,00001.

J 4=Parámetro que indica=2 que el afere de los canales se hace en cabecera de red de distribución, e=1 que el afere se hace a la entrada de cada polígono; En este último caso, el agua del canal no se denomina AGUBL, sino ARRIP.

FCEVA= Coeficiente para modificar en bloque la evapotranspiración. Sólo se utiliza cuando se comprueba que la evapotranspiración real calculada se desvía de la verdadera en un porcentaje definido.

Si, por ejemplo:

EVT verdadera= (EVT real calculada) por (ALPHA) se toma

FCEVA= ALPHA. Normalmente se toma FCEVA= 1.0

PAUNL, CLIEF y CAREK= Variables diferentes para cada uno de los grupos principales de vegetaciones. Para la vegetación del grupo K: PAUNL(K) es = 1.0 cuando la vegetación es de riego y es = 0.0 cuando la vegetación es de secano;

CLIEF(K) es el coeficiente de lluvia efectiva, es decir, Lluvia efectiva= CLIEF(K) x Lluvia total

siendo la Lluvia total la medida en el pluviómetro;

CAREK(K) es un coeficiente para modificar el área medida de un tipo determinado de vegetación. Por ejemplo, el área destinada a chacra puede ser 100 hectáreas, pero si el cultivo se hace en forma rotativa, dejando descansar la tierra un año de cada cuatro, la superficie real cultivada a efectos de evapotranspiración será: 0.75 x 100. En este caso, CAREK(K)= 0.75. Normalmente, CAREK(K)= 1.0.

```
GO TO (63,64),J4
```

```
64 READ(IR,300)(ARTCA(L),L=1,NCA)
```

-Instrucción para leer el área total empadronada (o realmente bajo riego) de cada canal L. Si J4=1, se lee ARTCA(L).

```
63 DO 49 M=1,NPE
```

-Esta instrucción indica que desde aquí hasta la sentencia N° 49 (al final del programa) todo el proceso que sigue se realiza para el primer período (M=1), luego para el segundo período (M=2), etc., finalmente para el último período (M=NPE).

```
READ (IR,200)ABHID,COEF
WRITE(IW,200)ABHID,COEF
```

-Dos tarjetas para leer (y escritura-eco) los siguientes coeficientes,

ABHID= Coeficiente de abundancia hídrica, generalmente se toma= 1. Cuando se conoce la distribución de agua en canales en un año de descarga total 6.000 Hm³., por ejemplo, y se quiere saber, en igualdad de otras condiciones climáticas y agrícolas lo que sucedería si la descarga hubiere sido de 3.000 Hm³., se opera el programa con idéntico juego de datos pero con ABHID= 0.5 (3.000/6.000).

COEF= Coeficiente para modificar año a año, cuando interese, la evapotranspiración. Generalmente se toma = 1, y se hace depender de la relación (cosecha real)/(cosecha buena normal). En los años muy secos, aún sin reducir estadísticamente las superficies de cada tipo de vegetación, la producción agrícola puede disminuir debido a un racionamiento que el propio agricultor hace del agua que obtiene para riego. Básicamente se restringe la evapotranspiración real y ello afecta el volumen total de la cosecha. En estos años anómalos, COEF puede valer menos de la unidad.

```
GO TO (61,62),J4
62 DO 1 J=1,NM
1 READ(IR,300)(AGUAC(L,J),L=1,NCA)
```

-Dos tarjetas para la lectura del agua entregada (en el período determinado por el valor de M más arriba definido) cada mes J, a cada uno de los canales, L. Si J4=1, se omita AGUAC(L,J).

```
61 EVATO=.0
TCAIN=.0
TRIE=.0
TBAI=.0
TF=.0
TP=.0
TERO=.0
```

-Siete tarjetas asignando valores iniciales cero a una serie de variables sumatorias que más adelante totalizarán valores globales para toda la cuenca (siempre en el período determinado por el valor de M pregunta). Estos valores (u otros directamente derivados de ellos) se escriben precisamente en la sentencia número 49, hacia el final del programa, como sentencia final del "lazo" (loop) iniciado más arriba para cada período M.

EVATO va finalmente a representar la evapotranspiración real global de la cuenca; TCAIN la percolación desde los canales de riego; TRIE el volumen de agua de riego superficial; TRAL el volumen global percolado como flujo de retorno o desde la lluvia menos el volumen bombeado; TF el volumen de agua calculada bombeada por pozos de extracción; TP el volumen de agua de lluvia que contribuye a la humedad del suelo (la total descontada la intercepción y el escurrimiento); TERO la diferencia entre el volumen total de bombeo medido (cuando se conoce) menos el calculado por el programa.

DO 48 I=1, NP

-Iniciando otro de los "lazos" (loop) mayores del programa en este caso para que todo lo que sigue se realice una vez para cada subárea (polígono), comenzando por la número uno (I=1), luego la número dos (I=2), etc... hasta finalizar con la última (I=NP).

ALMO=.0

-Define el valor inicial, cero de la variable sumatoria ALMO que más adelante representará el valor mes a mes del agua almacenada en el suelo de la parte bajo riego de cada polígono.

READ (IR, 400) ICLAS, PECAN, ERIE, BEL, BOMAG, CORUN, RETPO
WRITE (IW, 400) ICLAS, PECAN, ERIE, BEL, BOMA G, CORUN, RETPO

-Dos tarjetas con instrucciones de lectura (y escritura-eco) para los siguientes coeficientes, variables y parámetros propios de cada subárea, (polígono), I, (y período M):
ICLAS= Parámetro que define el tipo de acuífero subterráneo yacente bajo la subárea, = 1 si es confinado, = 0 si es libre.

PECAN= Coeficiente para valorar las pérdidas por percolación en los canales (por unidad de gasto) en cada subárea. Si en los canales se pierde aproximadamente un 15% del agua que circula dentro de la subárea, PECAN= 0.15.

ERIE= Coeficiente de eficiencia de riego, es decir, (agua consumida por la vegetación)/(agua de riego entregada manteniendo el contenido de humedad de suelo constante = agua a disposición de la planta).

BEM= Parámetro, = 0.0 si no se tiene estimación del agua bombeada en el período y subárea, = 1.0 si se conoce el volumen de agua bombeada en el período y subárea.

BOMAG= Cifra que indica el volumen de agua bombeada en el período y subárea. Si no se conoce, se hace cero (y BEM ha de tomarse también cero).

CORUN= Coeficiente de escurrimiento superficial del agua de lluvia efectiva.

RETPO= Capacidad de campo del suelo de la subárea (expresada en unidades de altura de agua). Si el parámetro J3 era 2, RETPO ha de tener necesariamente un valor representativo de la subárea. Corrientemente RETPO se expresa en milímetros de altura de agua y su valor suele oscilar entre 30.0 y 120.0.

ERIE=1./ERIE

ORIE=ERIE-1.

-En lugar de utilizar directamente la eficiencia de riego, el programa utiliza la inversa. Se define igualmente el coeficiente ORIE que representa el exceso de agua a disposición de la planta sobre la cantidad realmente consumida por ella. Es decir, ahora

ERIE= (Agua a disposición)/(Agua consumida)

ORIE= (Agua a disposición-Agua consumida)/(Agua consumida)

GO TO (65,66),J4

66 READ(IR,300)(ARRIP(L),L=1,NCA)

65 READ(IR,300)(ARECU(K),K=1,NCU)

-Dos instrucciones para leer los datos correspondientes (en el período M y dentro de la subárea I) al área (ARRIP(L)) empadronada (o realmente bajo riego. Utilícese el mismo criterio que con la variable ARTCA(L)) de cada canal L, y los datos correspondientes al área (ARECU(K)) de cada tipo de vegetación, K. Si J4=1, se lee ARRIP(L)

```

DO 3 K=1,NCU
SUELA(K)=.0
GO TO(3,2),J3
2 READ(IR,200)(RET(J,K),J=1,NM)
3 ARECU(K)=CAREK(K)*ARECU(K)

```

-Dentro de un "lazo" (loop) de segundo orden, para cada tipo de vegetación, se define la variable sumatoria SUELA(K) igual a cero, si bien luego representará el volumen de agua almacenado en el suelo de aquellas áreas de vegetación sin riego. Después se lee, o se omite la lectura (según el valor de J3) de la variable RET(J,K) que define la capacidad de campo del suelo de la subárea en función del tipo de vegetación, K, y el mes J. Si J3 = 1, las tarjetas del mazo de datos correspondientes a los datos de RET(J,K) deben omitirse. Si J3 = 2, por el contrario, deben existir. Compárese esta situación con la explicada al hablar de NETPO. Finalmente en el "lazo" se corrige el valor del área cultivada en función del coeficiente CAREK.

```

READ(IR,200)(P(J),J=1,NM)

```

-Instrucción para lectura de los valores mensuales de la pluviometría total P(J).

```

51 GO TO(51,52,53,54,55),IEVAS
51 CALL BLAN
GO TO 6
52 CALL THOR
GO TO 6
53 CALL PENM
GO TO 6
54 CALL TURC
GO TO 6
55 CALL OTHER

```

-Según el valor del parámetro IEVAS, el programa llama al subprograma BLAN, subprogramas THOR, PENM, TURC, o al subprograma OTHER para calcular la evapotranspiración real (en el período y en la subárea) mes a mes y tipo a tipo de vegetación según varios tipos de métodos. El presente programa está escrito para usar el subprograma BLAN (con IEVAS= 51).

Para usar otro subprograma (OTHER, con IEVAS= 55) el subprograma OTHER ha de ser modificado, cosa que se deja a gusto de cada técnico. Calculada la evapotranspiración real $EVAP(J,K)$, para cada mes J y vegetación K , el control es devuelto al programa principal MIKE y se prosigue con la sentencia con etiqueta 6.

```
6  G=.0
   F=.0
   W=.0
   T=.0
   EVAT=.0
   CAINF=.0
```

-Seis instrucciones asignando valores iniciales cero a una serie de variables sumatorias que más adelante totalizarán valores globales para cada período M y subárea (polígono) I . Estos valores (u otros directamente derivados de ellos) se escriben precisamente en la sentencia número 48, hacia el final del programa, como sentencia final del "lazo" (loop) iniciado más arriba para la subárea I . G va finalmente a representar el volumen de agua percolado como flujo de retorno menos el volumen de agua bombeado; F , el volumen total bombeado; W , el volumen total de las lluvias efectivas no escurridas; T , el volumen de agua de riego con agua superficial; $EVAT$, el volumen de agua evapotranspirado por la vegetación; $CAINF$, el volumen de agua infiltrado desde los canales de la subárea.

```
DO 44 J=1,NM
```

-Otro de los "lazos" (loop) mayores, indicando que las instrucciones que siguen, hasta la asignada al número 44 inclusive se ejecutan, para cada período y polígono, todos los meses.

```
GO TO (56,57),J4
```

```
56 READ(IR,300)(ARRIP(L),L=1,NCA)
```

-Si $J4=1$, se lee, con el nombre de $ARRIP(L)$, el agua entregada a la entrada de cada subárea a cada canal L cada mes J , en cada subárea (polígono) I , cada período M .

```
57 P(J)=P(J)*(1.-CORUN)
```

-Modificación de la lluvia total para descontar el escurrimiento superficial.-

```

CAIN(J)=.0
RIEGO(J)=.0
EVAPO(J)=.0

```

- Tres instrucciones asignando valores iniciales cero a una serie de variables sumatorias que más adelante totalizarán valores globales para cada período M, subárea (polígono) I y mes J. Estos valores (u otros directamente derivados de ellos) se escriben en las sentencias desde la etiqueta 47 hasta la séptima posterior a ella. CAIN(J) va a representar finalmente el volumen de agua infiltrada desde los canales de riego en el período M, subárea (polígono) I y mes J. RIEGO(J) el agua de riego de superficie (no incluye el bombeo) entregada a la subárea (polígono) I el mes J, del período M.

EVAPO(J) la evapotranspiración del período M, subárea (polígono) I, y mes J, primeramente de la parte de vegetación en regadío, y después de toda la vegetación.

```

DO 8 L=1,NCA
GO TO(58,59),J4
58 X=ACHID ARRIP(L)
GO TO 60
59 X=AGUAC(L,J)*ARRIP(L)*ABHID/ARTCA(L)
60 IF(ICLAS)8,7,8
7 CAIN(J)=CAIN(J)+PECAN*X
8 RIEGO(J)=RIEGO(J)+(1:=PECAN)*X

```

-Un "lazo" (loop) menor para calcular, en las áreas de regadío con agua de superficie el agua total entregada y la infiltrada desde canales, sumando las aportaciones canal a canal. Primero se calcula la variable auxiliar X, multiplicando el agua entregada en cabecera al canal L, el mes J, AGUAC(L,J), por ARRIP(L)/ARTCA(L) que es la proporción de tierras que riega ese canal en la subárea I referida al total de tierras que riega, y el conjunto se multiplica por ABHID (coeficiente de abundancia hídrica) o si J4=1, directamente el producto de ACHID por el agua entregada que en este caso se denomina ARRIP. Calculado X es decir, el agua entregada a la subárea para cada canal L se hace si la subárea es de acuífero libre, la sumatoria de las pérdidas en canales. CAIN, multiplicando X por PEGAN, o se emite si es confinada. Al final se hace en todo caso la sumatoria del agua de riego de superficie entregada, RIEGO (J).

T=T+RIEGO

CAINF=CAINF+CAIN(J)

-Se hacen las sumatorias mes a mes del riego y pérdidas desde canales para llegar a valores totales de esas magnitudes para el período M y la subárea I. T y CAINF se escribirán en la sentencia etiquetada con el número 48, con el título respectivo de IRPIG=, y CANIN=.

PRECU=.0

EVAPU=.0

RETEN=.0

PRECI=.0

BALON=.0

SUELO=.0

-Seis instrucciones asignando valores iniciales cero a una serie de variables sumatorias que más adelante totalizarán valores globales para cada período M, subárea (polígono) I, y mes J. PRECU y EVAPU representarán más adelante los valores mensuales de precipitación y evapotranspiración sobre áreas con vegetación de secano. PRECI la precipitación sobre áreas con vegetación de regadío. RETEN y SUELO los contenidos de humedad del suelo (en volúmenes de agua por mes y subárea) para las áreas de regadío y secano (o sin riego) respectivamente. BALON representará la infiltración por lluvia en áreas sin regadío.

DO 27 K=1,NCU

-El menor de los "lazos" (loop) mayores del programa. Sirve para realizar una serie de cálculos vegetación a vegetación y totalizar los resultados. El programa trata de forma diferente las áreas con vegetación de riego y las de secano o sin cultivo. En las áreas bajo riego se considera que las diferencias de consumo hídrico de los diferentes cultivos son de segundo orden de forma que las necesidades de agua se suman cultivo a cultivo, los suministros de agua se suman cultivo a cultivo y entre los totales se realiza el balance hídrico; es decir, se supone que dentro de esas áreas el agua puede dedicarse a cualquier cultivo. En las áreas

de secano, por el contrario, se considera que las diferencias de consumo hídrico son de primer orden (por ejemplo entre bosque, monte bajo y ausencia de vegetación) y además el agua (aquí solo lluvia) no es transferible por todo lo cual el balance se realiza vegetación a vegetación.

$X = ARECU(K) * CPAF$

-Definición de la variable auxiliar X (sin significado físico en sí misma), la cual será utilizada más adelante.

GO TO(9,10),J3

9 RAT=RETPO

GO TO 11

10 RAT=RET(J,K)

-Cuatro instrucciones para seleccionar el valor de la capacidad de campo del suelo, según el valor 1 ó 2 del parámetro J3. Para J3= 1 se toma como valor de la capacidad de campo (retención máxima del suelo) un valor único por subárea (polígono) RETPO. Para J3= 2 se toma un valor que depende, no sólo de la subárea, sino también del mes J y tipo de vegetación K, RET(J,K).

11 IF(PAUNL(K))12,12,25

-Con esta sentencia se bifurca el programa en los dos diferentes tratamientos más arriba indicados, según sea vegetación bajo riego (PAUNL(K)=1.) ó de secano (PAUNL(K)=0.). Primeramente el programa se ocupa del secano.

12 $PRECUC=PRECUC+P(J)*CLLEF(K)*X$

-Instrumentación para obtener, para el periodo M; subárea I y mes J, el total de precipitación efectiva ¿ no consumida? sobre áreas de secano, en volúmenes de agua. Los significados de los coeficientes CPAF (incluido en variable auxiliar X), CLLEF(K) ya han sido aclarados con anterioridad.

IF(J-1)15,15,16

15 $SUELA(K)=RAT*.6666$

-En un mes diferente del primero de cada período, el contenido de humedad del suelo, a efectos de balance hidrológico, se considera que es el contenido residual del suelo en el mes anterior. Esta regla, sin embargo no puede aplicarse al primer mes del período ya que para ese primer mes se desconoce su contenido de humedad. Arbitrariamente se toma en este caso un contenido de humedad de los dos tercios de su capacidad de campo. Esta operación es la realizada por el par de sentencias anteriores. Si el mes es el primero (J=1) el contenido de humedad, SUELA(K), es la capacidad de campo más arriba definida (RAT) multiplicada por 0.6666. Si el mes no es el primero (J diferente de 1) el programa sigue, con la instrucción con etiqueta 16, omitiendo la 15.

16 $TZT=(P(J)*CLLEF(K)+SUELA(K))*X$

$TYT=EVAP(J,K)*COEF*X$

$TXT=TZT-TYT-RAT*X$

-Tres instrucciones para definición de variables auxiliares. TZT es el volumen de agua disponible en el suelo más el aportado por la lluvia efectiva, es decir, en este caso de zonas de secano, representa el volumen total de agua disponible para la vegetación. TYT representa el volumen de agua evapotranspirado.

TXT representa el exceso de volumen de agua disponible sobre el consumo por evapotranspiración y lo retenido por el suelo en base a su capacidad de campo; es decir, TXT representa, cuando es positivo, el volumen de agua finalmente infiltrado hacia el subsuelo

IF(TXT)21,21,18

-A partir de esta sentencia, el programa se bifurca en varios caminos diferentes, según diversas posibilidades. La primera de ellas es según TXT sea positivo o no. Si es positivo, es decir, si hay infiltración se sigue con la instrucción de etiqueta 18. En caso de ser cero o negativo, seguimos con 21.

18 IF(ICLAS)19,19,20
19 BALON=BALON+TXT
20 SUELA(K)=RAT
GO TO 24

-Cuando hay infiltración (TXT positivo) se examina si la sub-área tiene un acuífero subterráneo libre (ICLAS=0) o confinado (ICLAS=1). En aquel caso, BALON representa los sucesivos volúmenes infiltrados en la subárea I, mes J, y tipo de vegetación a tipo de vegetación. Si el acuífero subterráneo es confinado, el volumen infiltrado no se contabiliza. En uno y otro caso, el suelo queda saturado (SUELA(K)=RAT), y el programa va a la sentencia con la etiqueta 24. El valor SUELA(K) es utilizado el mes siguiente (ver más arriba) para el cálculo de la variable auxiliar T2T.

21 IF(T2T-...)23,23,22
22 SUELA(K)=(T2T-TYT)/X
GO TO 24
23 SUELA(K)=.0

-Cuando no hay infiltración (TXT negativo o cero), el programa examina la diferencia entre el total de agua disponible (T2T) y el consumo por evapotranspiración real (TYT). Cuando aquél es mayor que éste, el excedente, convertido en altura de agua (por eso se divide T2T-TYT por X) se asigna como

humedad remanente en el suelo SUELA (K). Si la evapotranspiración real TYT es igual o mayor que el agua disponible TZT, el agua existente en el suelo se agota, y el suelo queda seco (SUELA(K)=.0). En todo caso, para ese tipo de vegetación, K, el valor obtenido de humedad remanente en el suelo (SUELA(K)), sea o no cero, es el utilizado para definir TZT el mes siguiente.

```
24 SUELO=SUELO+SUELA(K)*X
   IF(TYT-TZT)67,68,68
```

```
68 EVAPU=EVAPU+TZT
   GO TO 27
```

```
67 EVAPU=EVAPU+TYT
   GO TO 27
```

-Se totaliza aquí el contenido de humedad en el suelo, SUELO, en el periodo M, subárea (polígono) I, y mes J, para todos los tipos de vegetación, K, en áreas de secano. Se calcula la evapotranspiración real, que en el caso de secano no puede exceder a TZT. Después se salta al final del "lazo", emitiendo (en caso de secano) el cálculo de las variables de riego.

```
25 RETEN=RETEN+RAT*X
   EVAPO(J)=EVAPO(J)+EVAP(J,K)*COEF*X
   PRECI=PRECI+P(J)*CLLEF(K)*X
```

-Tres instrucciones para todos los tipos de vegetación en áreas bajo riego cada subárea (polígono) I y mes J, para obtener totales del volumen de agua máxima del suelo, RETEN, del volumen de agua evapotranspirado EVAPO(J) y el llovido eficiente, PRECI.

```
27 CONTINUE
```

-Fin del "lazo" (loop) "para cada vegetación". A continuación el programa realiza el balance en las zonas bajo riego.

EVAT=EVAT-EVAPO(J)-EVAPU

-Sumatoria para totalizar para el período M y subárea (polígono) I la evapotranspiración de todos los meses y clases de vegetación EVAT se escribe como valor global para la subárea en la sentencia con etiqueta 48, entre otros resultados. Para el cálculo del balance, el agua evapotranspirada representa realmente un término negativo, es decir de extracción de agua. A la hora de escribir su magnitud por tanto, se ha preferido considerarla como negativa y por ello los términos de la sumatoria aparecen con signo negativo, para invertir el signo.

TT=RIEGO(J)+PRECI-EVAPO(J)*ERIE

-Acá comienza el balance de las zonas bajo riego. La variable auxiliar TT representa el exceso del volumen de agua llegado de riego de canal, RIEGO, más la lluvia efectiva, PRECI, sobre el volumen de agua que se utiliza en la parcela, el cual es igual a la evapotranspiración real multiplicada por el inverso de la eficiencia de riego. (Recuérdese que ERIE, durante la lectura representó la eficiencia de riego y fue posteriormente transformado en la inversa de esa cantidad, es decir, actualmente ERIE representa el (volumen agua empleado)/(volumen de agua realmente evapotranspirado) con lo que EVAPO(J)*ERIE es el volumen de agua utilizado realmente en las parcelas).

30 IF(J-1)30,30,31
TU=TT+RIETEN*.6666
GO TO 32
31 TU=ALMO+TT

-Si el mes J en el que se está operando no es el primero, el contenido de humedad en el suelo, a efectos de balance, se toma igual al contenido de humedad remanente en el suelo el mes anterior (ALMO). Si el mes J es el primero del período, se desconoce el valor de ALMO, y arbitrariamente se toma como volumen de agua en el suelo los dos tercios de la que habría si estuviese saturado. En uno o en otro caso se define

la variable auxiliar TU sumando a TT el volumen de agua del suelo, TU significa, por tanto, la comparación entre el volumen de agua aportado por canal, lluvia y suelo con la estimación del volumen real utilizado en las parcelas.

32 IF(TU)38,33,33

-El volumen de agua aportado por canales (descontadas las pérdidas a causa de la infiltración), por lluvia efectiva no escurrida, y por la humedad contenida en el suelo, se compara con la estimación del volumen de agua real utilizado en el riego. Según sea aquél mayor o menor que éste, el programa toma diferentes caminos. Primero se examina el caso en que el volumen aportado por aquellos conceptos sea mayor que el utilizado en el riego.

33 BOMBE(J)=.0
IF(TU+ORIE*EVAPO(J)-RETEN)37,37,34

-Si el volumen de agua aportado por canal, lluvia y suelo es mayor que el utilizado, BOMBE(J), se toma cero. A continuación se toma el volumen aportado por canal, lluvia y suelo, se le quita el volumen consumido por la evapotranspiración real (todo ello representado por TU+ORIE*EVAPO(J)) y el resultado se compara con la capacidad de campo, RETEN, del suelo. Si el resultado es mayor que la capacidad de campo se va a la instrucción con etiqueta 34. Si es igual o menor se va a la instrucción con etiqueta 37

```

34 ALMO=RETEN
   IF(ICLAS)35,35,36
35 BALAN(J)=TU+ORIE*EVAPO(J)-RETEN
   GO TO 43
36 BALAN(J)=.0
   GO TO 43

```

-Se examina el caso en que el exceso de agua de canal más lluvia más suelo menos evapotranspiración real sobre la capacidad de campo del suelo sea positivo. Si ello es así, se toma como contenido de humedad del suelo para el mes siguiente, ALMO, el valor de la capacidad de campo. Después se examina si la subírea tiene un acuífero subterráneo libre (ICLAS=0) o confinado (ICLAS=1). Si es confinado, la infiltración que llega al acuífero (BALAN(J)) es nula. Si es libre, la infiltración que llega al acuífero es precisamente el exceso de canal más lluvia más suelo menos evapotranspiración sobre la capacidad de campo. En cualquiera de estos casos, el balance ha terminado y se pasa a la instrucción con etiqueta 43.

```

37 ALMO=TU+ORIE*EVAPO(J)
   BALAN(J)=.0
   GO TO 43

```

-Se examina ahora el caso en que el volumen de agua de canal más lluvia más suelo menos evapotranspiración sea igual o menor que la capacidad de campo del suelo. En este caso, el contenido de humedad del suelo para el mes siguiente, ALMO, se hace igual al aporte de canal más lluvia más suelo menos lo consumido por la evapotranspiración, (TU+ORIE*EVAPO(J)-RIEGO(J)+PREC1+ALMO-EVAPO(J)). El volumen de aporte al acuífero subterráneo BALAN(J) es cero. El balance para el mes ha terminado y se pasa a la instrucción con etiqueta 43.

38 BOMBE(J)=TU
IF(ORIE*EVAPO(J)-RETEN)42,42,39

-Se considera ahora el caso en donde el volumen de agua aportado por canales (descontada la pérdida a causa de la infiltración) por lluvia efectiva no escurrida mas por la humedad contenida en el suelo resulta ser inferior a la estimación del volumen de agua real utilizado en el riego. El resultado de esta comparación, que ahora es un número negativo, es TU. En el caso que consideramos se hace el bombeo de agua subterránea igual a TU, es decir, se supone que el déficit resultado de la comparación se compensa mediante bombeo, BOMBE(J). Después, si de toda el agua aportada se descuenta la consumida por la evapotranspiración real, lo que queda es precisamente ORIE*EVAPO(J). Este remanente se compara con la capacidad de campo, RETEN, del suelo.

39 ALMO=RETEN
IF(ICLAS)40,40,41
40 BALAN(J)=ORIE*EVAPO(J)-RETEN+TU
GO TO 43
41 BALAN(J)=TU
GO TO 43

-Cuando el remanente mas arriba definido es mayor que la capacidad de campo del suelo, se toma como contenido de humedad del suelo ALMO para el mes siguiente el valor de dicha capacidad de campo, es decir, se considera que el suelo queda saturado. De aquel remanente, descontada la capacidad de campo del suelo, se considera que todo se infiltra y (menos el bombeo, TU) contribuye al acuífero subterráneo, BALAN(J), si la sub-área tiene acuífero subterráneo libre (ICLAS=0), o bien que no hay contribución, y el neto del balance es solo el bombeo (TU). En ambos casos el balance ha terminado y el programa pasa a la instrucción con etiqueta 43.

42 ALMO=ORIE*EVAPO(J)
BALAN(J)=TU

-Cuando el remanente mas arriba definido (ORIE*EVAPO(J)) es igual o menor que la capacidad de campo del suelo, se toma como contenido de humedad del suelo para el mes siguiente, ALMO, dicho remanente. En este caso, el balance neto para el acuífero, BALAN(J), se reduce al bombeo TU, ya que no hay aporte por infiltración. El balance queda también determinado y el programa pasa a la instrucción con etiqueta 43.

43 BALAN(J)=BALAN(J)+BALON

-El programa totaliza el balance para el acuífero subterráneo, sumando los valores del balance para las áreas bajo riego, BALAN(J), y las de secano, BALON, y asignando el valor de la suma a la variable BALAN(J), que de tal forma toma un nuevo significado (abarca la totalidad de la superficie).

G=G+BALAN(J)

-Sumatoria para totalizar el balance subterráneo por período M, y subárea I.

F=F+BOMBE(J)

-Sumatoria para totalizar el bombeo por período M y subárea I.

W=W+PRECI+PRECU

-Sumatoria para totalizar la lluvia no escurrida efectiva para todo tipo de vegetación por período M, y subárea (polígono) I.

$$ALMA(J) = ALMO + SUELO$$

-Instrucción para calcular el total de agua almacenada en el suelo el mes J en la subárea I, mediante la suma de las cantidades de agua correspondientes a vegetación de secano (SUELO) y bajo riego (ALMO).

$$BALUN(J) = BALAN(J) - BOMBE(J)$$

-Instrucción para calcular el flujo de retorno o infiltración por lluvia, restando del balance BALAN(J) la extracción por bombeo BOMBE(J).

$$BALAN(J) = BALAN(J) + CAIN(J)$$

-Instrucción para volver a definir la variable de balance BALAN(J), incluyendo ahora como aporte no contabilizado anteriormente la infiltración desde canales de riego. Con esta re-definición, BALAN(J) representa el balance neto del acuífero subterráneo, salvo los aportes desde cauces de ríos y arroyos no etiquetados como canales, salvo las extracciones por bombeo para uso no agrícola y salvo la evaporación directa y/o surgencia del agua subterránea cuando el nivel piezométrico es muy cercano a la superficie o superior a ella.

$$EVAPO(J) = -EVAPO(J) - EVAPU$$

-Instrucción para re-definir la variable EVAPO(J), incluyendo ahora la evapotranspiración real de las áreas de secano, EVAPU, y considerándola toda como negativa por tratarse de una extracción a la cuenca.

$$PRECO(J) = PRECI + PRECU$$

-Instrucción para calcular la lluvia no escurrida efectiva total en la subárea (polígono) I y mes J, sumando las respectivas cantidades para secano, PRECU, y para regadío, PRECI.

-Final del "lazo" (loop) "para cada mes". Todavía se está dentro de los "lazos" "para cada subárea (polígono) I", y "para cada período M".

- EVATO=EVATO+EVAT
- TRIE=TRIE+T
- TRAL=TRAL+G
- TF=TF+F
- TP=TP+W
- TCAIN=TCAIN+CAINF

-Seis sumatorias totalizando valores para el conjunto de la cuenca, para el período M.

EVATO es la evapotranspiración real. TRIE es el riego de superficie que llega a las parcelas. TRAL es el balance incluyendo bombeo, sin incluir infiltración desde canales. TF es el bombeo calculado por el programa. TP es la lluvia no escu- rrida efectiva. TCAIN es la infiltración desde canales consi- derando solo las áreas con acuíferos libres.

TRE=TRAI-TF

-Instrucción para obtener el total de flujo de retorno y/o infiltración por lluvia, restando del balance total el bom- beo total por período.

TBOL=TRAL+TCAIN

-Instrucción para obtener el balance neto por período, aña- diendo al balance el aporte por infiltración desde canales de riego.

RE=G-F

-Flujo de retorno y/o infiltración por lluvia para cada subárea (polígono) I y período M, obtenido restando del valor correspondiente del balance el valor correspondiente del bombeo.

XG=G+CAINF

-Instrucción para obtener el balance neto por período M y subárea I, añadiendo al balance el aporte por infiltración desde los canales de riego.

IF(BEM) 45, 45, 46

45 BOMAG=-F

46 ERO=BOMAG+F

-Si el parámetro BEM es positivo, se realiza una comparación entre el bombeo estimado en el campo, BOMAG, y el calculado por el programa F en base a la estimación de la eficiencia de riego y de la evapotranspiración. La diferencia entre ambos se asigna a la variable ERO. En el caso de ser cero el parámetro BEM, la comparación no se realiza y ERO se toma igual a cero.

TERO=TERO+ERO

-Sumatoria para totalizar los valores de la diferencia entre el bombeo estimado en el campo y el calculado sumándolos para toda la cuenca y período M.

GO TO(48,47),J1

-Si el parámetro J1 vale 1 se va a la instrucción con la etiqueta 48 y se omite la escritura de los valores mensuales. Si el parámetro J1 vale dos se va a la instrucción con etiqueta 47 y se escriben los valores mensuales de las variables.

```

47  WRITE(IW,500)I,(EVAPO(J),J=1,NM)
    WRITE(IW,600)(RIEGO(J),J=1,NM)
    WRITE(IW,700)(BOMBE(J),J=1,NM)
    WRITE(IW,800)(PRECO(J),J=1,NM)
    WRITE(IW,900)(BALUN(J),J=1,NM)
    WRITE(IW,1000)(ALMA(J),J=1,NM)
    WRITE(IW,1100)(CAIN(J),J=1,NM)
    WRITE(IW,1200)(BALAN(J),J=1,NM)

```

-Ocho instrucciones para escribir los valores mensuales de las magnitudes indicadas, para cada subárea (polígono) I, y período M.

EVAP(J) es la evapotranspiración.

RIEGO(J) es el riego de canal que llega a las parcelas.

BOMBE(J) es el bombeo.

PRECO(J) es la lluvia no escurrida efectiva.

BALUN(J) es la infiltración por lluvia y/o flujo de retorno.

ALMA(J) es el contenido de agua en el suelo al final del mes.

CAIN(J) es la infiltración desde canales de riego.

BALAN(J) es el balance neto del acuífero subterráneo en el mes J, subárea I, y período M (**).

Todas estas magnitudes se escriben con el título respectivo de EVAPT, IRRIG, PUMPE, RAINF, REPLE, SOILW, CANIN, BALAN.

```

48  WRITE(IW,1300)I,EVAT,T,F,W,RE,CAINF,XG,ERO

```

-Instrucción final del "lazo" (loop) "para cada subárea (polígono)", dentro del "lazo" "para cada período". En esta sentencia se escriben valores para cada polígono y período.

EVAT es la evapotranspiración.

T es el riego desde canales.

F es el bombeo.

W es la lluvia.

RE es el flujo de retorno y/o infiltración de lluvia.

(**) No incluye percolación desde ríos, bombeo para uso no agrícola ni evaporación directa de la napa y/o surgencias.

CANF es la infiltración desde canales.

XG es el balance neto. (**).

ERO es la diferencia entre bombeos medidos y calculados.

Todas estas magnitudes se escriben con el título respectivo de EVPTR, IRRIG, PUMPH, RAINF, REFLO, CANIN, BALAN, DIFER.

49 WRITE(IW,1400)M, EVATO, TRIE, TF, TP, TRE, TCAIN, TBOL, TERO

-Instrucción final del "lazo" (loop) "para cada período". En esta sentencia se escriben valores totales de la cuenca para cada período M.

EVATO es la evapotranspiración.

TRIE es el riego desde canales.

TF es el bombeo.

TP es la lluvia.

TRE es el flujo de retorno y/o infiltración de lluvia.

TCAIN es la infiltración desde canales.

TBOL es el balance neto. (**).

TERO es la diferencia entre bombeos medidos y calculados.

Todas estas magnitudes se escriben con el título respectivo de EVA, IRR, PUM, RAI, REF, CAN, BAL, DIF.

(**) No incluye percolación desde ríos, bombeo para uso no agrícola ni evaporación directa de la napa y/o surgencias.

C2. Subprograma BLAN

// FOR
*ONE WORD INTEGERS

-Tarjetas de control ya comentadas al principio del programa.

SUBROUTINE BLAN

-Tarjeta de control indicando la denominación de un subprograma. En este caso, el subprograma realiza la lectura de datos y el cálculo de la evapotranspiración real (en altura de agua por unidad de superficie) según el método de BLANEY-CRIDDLE.

DIMENSION S(12),TMM(12),FC(12,6)
COMMON IR,NM,NCU,FCIEVA,EVAP(12,6),J2

-Dos instrucciones para dimensionar las variables con suscripto y definir el área de memoria común (COMMON) del subprograma BLAN con el programa principal MIKE.

100 FORMAT(12F5.2)

-Formato para lectura de datos.

READ(IR,100)(S(J),J=1,NM)

-Instrucción para lectura cada período M y subárea (polígono) I, de los datos mensuales de porcentaje de horas de sol al mes referido al total de horas de sol anuales.

```
READ(IR,100)(TMM(J),J=1,MM)
```

-Instrucción para lectura cada período M y cada subárea (polígono) I de los datos de la temperatura media mensual, mes a mes.

```
DO 1 K=1,NCU
```

```
1 READ(IR,100)(FC(J,K),J=1,MM)
```

-Dos instrucciones para lectura cada período M y cada subárea (polígono) I de los datos de un coeficiente para reducir la evapotranspiración potencial a la real. La lectura se hace sucesivamente para cada uno de los tipos de vegetación, y dentro de ellos para cada uno de los meses. El coeficiente FC(J,K) de modificación de la evapotranspiración potencial a la real, puede ser de dos tipos diferentes. El programa elige uno u otro tipo según el valor que se asigne al parámetro J2. Más adelante se describen cada uno de ellos.

```
DO 4 J=1,MM
```

-Se inicia el "lazo" (loop) mayor del subprograma, el cual se realiza "para cada mes, J".

```
X=(.457*TMM(J)+8.13)*S(J)
```

-La variable auxiliar X corresponde al valor de la evapotranspiración potencial según la fórmula de Blaney-Griddle, en milímetros de altura de agua, cuando la temperatura media mensual TMM(J) viene en grados centígrados, y la insolación S(J) en porcentaje.

DO 4 K=1,NCU

-Se inicia el "lazo" (loop) menor del subprograma, el cual se realiza "para cada tipo de vegetación, K", dentro de cada mes, J.

```

GO TO(2,3),J2
2 AK=FC(J,K)*(.24+.0312*TEMI(J))
GO TO 4
3 AK=FC(J,K)

```

-Cuatro instrucciones para definir el coeficiente de reducción de la evapotranspiración potencial, X, a evapotranspiración real, EVAP(J,K). Si J2 vale 1, el coeficiente de reducción, AK, se calcula multiplicando el factor FC(J,K) por un polinomio función de la temperatura media mensual TEMI. Este es el procedimiento normal del método de Blaney-Criddle. El factor FC(J,K), llamado en la literatura KC, depende del ciclo vital de cada tipo de vegetación. Si J2 vale 2, el factor FC(J,K) es ya el propio coeficiente de reducción AK, y tiene un valor ya asignado, independiente de la temperatura.

```

4 EVAP(J,K)=FCEVA*AK*X

```

-Final de los "lazos" con el cálculo de la evapotranspiración multiplicando las variables auxiliares X por AK y por el coeficiente en bloque de corrección FCEVA (normalmente tomado igual a uno).

```

RETURN
END

```

-Instrucciones standard para la terminación de un subprograma.

```

// DUP
*STORE      WS  UA  BLAN

```

-Tarjetas de control para almacenar el subprograma en disco.

C3.- Subprograma THOR

// FOR
*ONE WORD INTEGERS

-Tarjetas de control ya comentadas al principio del programa.

SUBROUTINE THOR

-Tarjeta de control indicando la denominación de un subprograma. En este caso, el subprograma realiza la lectura de datos y el cálculo de la evapotranspiración (en mm. de altura de agua por metro cuadrado de superficie) según el método de THORNTONWAITE.

DIMENSION TMM(12),S(12),PC(6)
COMMON IR, NM, NCU, PCEVA, EVAP(12,6), J2

-Dos instrucciones para dimensionar las variables con suscripto y definir el área de memoria común (COMMON) del subprograma THOR con el programa principal MIKE.

100 FORMAT(12F5.2)

-Formato para lectura de datos.

READ(IR,100)(TMM(J),J=1,12)

-Instrucción para lectura cada período M y cada subárea (polígono) I de los datos de la temperatura media mensual mes a mes.

READ(IR,100)(S(J),J=1,12)

-Instrucción para lectura cada período M y subárea (polígono) I de los datos mensuales de porcentaje de horas de sol al mes referido al total de horas de sol anuales.

READ(IR,100)(FC(K),K=1,NCU)

-Instrucción para lectura cada período M y subárea (polígono) I de un coeficiente de corrección de la evapotranspiración potencial, el cual depende del tipo K de vegetación.

CI=.0

DO 1 J=1,12

1 CI=CI+(TMM(J)/5.)*1.514

-Cálculo del coeficiente I de la fórmula de Thornthwaite mediante una sumatoria (CI).

A=.49239+.01792*CI-.0000771*(CI**2)+.000000675*(CI**3)

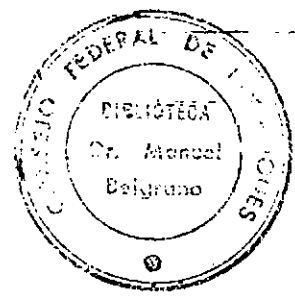
-Cálculo de la variable auxiliar A que entra como exponente en la fórmula de Thornthwaite.

DO 2 J=1,12

X=16.*((10.*TMM(J)/CI)**A)

DO 2 K=1,NCU

2 EVAP(J,K)=X*S(J)*FS(K)



-Cálculo de la evapotranspiración potencial según Thornthwaite. Primero se calcula la variable auxiliar X, mes a mes y luego se multiplica por las horas solares correspondientes, S(J), y por último se multiplica por el factor de corrección FC(K), obteniéndose la evapotranspiración potencial EVAP(J,K) para cada mes J y tipo de vegetación K.

RETURN
END

-Instrucciones standard para la terminación de un subprograma.

// DUP
*STORE

WS UA THOR

-Tarjetas de control para almacenar el programa en disco.

C.4 Subprograma PENM

// FOR

*ONE WORD INTEGERS

-Tarjetas de control ya comentadas al principio del programa.

SUBROUTINE PENM

-Tarjeta de control indicando la denominación de un subprograma. En este caso, el subprograma realiza la lectura de datos y el cálculo de la evapotranspiración (en altura de agua por unidad de superficie) según el método de PENMAN.

DIMENSION TMI(12),SE(12),SM(12),RA(12),HR(12),WTV(12),F(12),FC(6)
COMMON IR,NM,NCU,FEEVA,EVAP(12,6),J2

-Dos instrucciones para dimensionar las variables con suscripto y definir el área de memoria común (COMMON) del subprograma PENM con el programa principal MIKE.

100 FORMAT(13F5.2)

-Formato para lectura de datos.

READ(IR,100)(TMI(J),J=1,NM)

-Instrucción para lectura cada período M y cada subárea (o polígono) I de los datos de la temperatura media mensual, mes a mes (en grados centígrados).

READ(IR,100)(HR(J),J=1,NM)

-Instrucción para lectura cada período M y cada subárea (o polígono) I de los datos de la humedad relativa del aire media mensual, mes a mes.

READ(IR,100)(SE(J),J=1,NM)

-Instrucción para lectura cada período M y cada subárea (o polígono) I de los datos de las horas solares efectivas mensuales, mes a mes.

READ(IR,100)(SM(J),J=1,NM)

-Instrucción para lectura cada período M y cada subárea (o polígono) I de los datos de las horas solares teóricas mensuales, mes a mes.

READ(IR,100)(VMV(J),J=1,NM),COREF

-Instrucción para lectura cada período M y cada subárea (o polígono) I de los datos de la velocidad media mensual del viento VMV en Km./h. a 2 metros de altura sobre el suelo. COREF es un coeficiente de reflexión del suelo en décimos, usualmente entre 0.1 y 0.3.

READ(IR,100)(RA(J),J=1,NM),FI

-Instrucción para leer cada período M y cada subárea (o polígono) I los datos de radiación mensual media RA, teórica, en ausencia de atmósfera en mm. día, mes a mes, y el valor de la latitud en FI del lugar.

```
READ(IR,100)(F(J),J=1,NM)
```

-Instrucción para la lectura cada periodo M y cada subárea (o polígono) I de un factor de corrección F que afecta a la evapotranspiración potencial.

```
REAS(IR,100)(FC(K),K=1,NCU)
```

-Instrucción para la lectura cada periodo M y cada subárea (o polígono) I de un factor de corrección FC según el tipo de vegetación.

```
DO 1 J=1,NM
T=TMM(J)/10.
```

-Principio del "laze" (loop) del cálculo de la evapotranspiración. Para hacer más corto el proceso, el valor de la temperatura media mensual dividida por 10 se asigna a una variable auxiliar T.

```
P=T*T
Q=P*T
R=Q*T
S=R*T
```

-Instrucciones para calcular las sucesivas potencias de T/10, hasta T elevado a cinco (5)

EA=-.268897*5-.450791*R+15.1697*Q-53.9011*P+81.3195*T-34.5753
 DELTA=.0692776*5-.475299*R+1..9887*Q-1.23689*P+.772572*T+.250596
 STA4=4.0498141*5-.412522*R+1.29795*Q-1.83053*P+3.01282*T+ 11.0190

-Instrucciones para el cálculo de las variables EA, DELTA, STA4 que dependen de la temperatura y se emplean en la fórmula de PENMAN. El significado físico de estas variables es,
 EA= tensión de vapor de saturación a la temperatura media del aire en mmHg.
 DELTA= tangente de la curva de tensión de vapor de saturación en el aire vs. temperatura °C.
 STA4= valores irradiación solar en mm/día.

$$A=P(J)*(DELTA*(RA(J)*(1-CORRF)*(.28*COS(PI)+.55*SE(J)/SM(J))-STA4*1(.56-.092*SQRT(EA*HR(J)))*(.1+.9*SE(J)/SM(J)))+.485*.35*EA*(1.-HR(2J))*(2.5-.155*VMV(J)))/(DELTA+.485)$$

-Instrucción para el cálculo de la evapotranspiración diaria en mm. de agua.

```
DO IK=1,NCU
EVAP(J,K)=A*FC(K)*30.
IF(EVAP(J,K))2,1,1
2 EVAP(J,K)=.01
1 CONTINUE
```

-Instrucciones para pasar de la evapotranspiración diaria a la mensual, multiplicando por treinta, y corregirla en función, si cabe, del factor de cultivo FC.

RETURN
 END

-Instrucciones standard para la terminación de un subprograma.

// DUP
*STORE

WS UA PERMI

-Tarjetas de control para almacenar el subprograma en disco.

C5.- Subprograma GRAS

// FOR
*ONE WORD INTEGERS

-Tarjetas de control ya comentadas al principio del programa.

SUBROUTINE GRAS

-Tarjeta de control indicando la denominación de un subprograma. En este caso, el subprograma realiza la lectura de datos y el cálculo de la evapotranspiración (en mm. de altura de agua por metro cuadrado de superficie) según el método de GRASSI y CHRISTIANSEN, a partir de valores de evaporación en un evaporímetro clase A.

DIMENSION EV(12),R(6),TMM(12),VC(12,6) ~~GRASSI~~
COMMON IR,NM,NCU,FCEVA,EVAP(12,6),J2

-Dos instrucciones para dimensionar las variables con subcripto y definir le área de memoria común (COMMON) del sub programa GRAS con el programa principal MIKE.

100 FORMAT(13F5.2)

-Formato para lectura de datos.

READ(IR,100)(EV(J),J=1,NM)
READ(IR,100)(TMM(J),J=1,NM)
DO 2 K=1,NCU
2 READ(IR,100) FCP,(VC(J,K),J=1,NM)

-Tres instrucciones para lectura, cada periodo M y cada subárea (polígono) I de los datos de la evaporación mensual en mm. en la superficie libre del agua en un tanque evaporímetro EV(J), de la temperatura media mensual TMM(J) y del por ciento mensual de la duración del ciclo vegetativo V(J,K) todos ellos mes a mes. FCP es un factor de vegetación permanente, que vale cero si la vegetación es permanente y uno si no lo es.

READ(IR,100)(F(K),K=1,NCU)

-Lectura para cada periodo M y cada subárea (polígono) I de los valores del factor de cultivo F, según cada tipo de vege-
tación.

```

DO 1 J=1,NM
CT=1-.02*TMM(J)
DO K=1,NCU
IF(FCP)3,4,3
4  CUC=1
   GO TO 1
3  CVC=.0942+.02774*VC(J,K)-.000212*(VC(J,K)**2)
1  EVAP(J,K)=F(K)*95*EVCJ)*CT*CVC

```

-Cálculo de la evapotranspiración potencial según GRASSI y
CHRISTIANSEN.

```

RETURN
END

```

-Instrucciones standard para la terminación de un subpro-
grama.

```

// DUP
*STORE

```

WS UA GRAS

-Tarjeta de control para almacenar el subprograma en disco.

C.6 Subprograma OTHER

// FOR
*ONE WORD INTEGERS

-Tarjetas de control ya comentadas al principio del programa.

SUBROUTINE OTHER

-Tarjeta de control indicando la denominación de un subprograma artificial (dummy), que no realiza ninguna función mas que definir un espacio y una vía para el caso en que el cálculo de la evapotranspiración real interese utilizar otro método que no sea el de Blaney-Criddle. Cuando sea así, el subprograma OTHER tendrá que ser escrito y definido el parámetro IEVAS del programa principal MIKE hecho igual a dos, pero ni el programa principal MIKE ni el subprograma BLANN necesitarán modificación.

COMMON IR, NM, NCU, FCEVA, EVAP(12,6), J2
RETURN
END

-Instrucciones para conservar el área común donde se inscribiría la evapotranspiración real EVAP(J,K), y para terminar un subprograma.

// DUP
*STORE WS UA OTHER

-Tarjetas de control para almacenar el subprograma en disco.

// JOB
// XEQ MIKE 1
*LOCALMIKE, BLAN, THOR, PENI, GRAS, OTHER

-Instrucciones de control para iniciar la ejecución del programa. A continuación de estas instrucciones se coloca todo el paquete de datos numéricos.

D.3 Descripción del área

Consideremos una cuenca como la que se muestra en la fig.4, dividida en seis polígonos, de los cuales dos (nos 5y6) son de borde . En la tabla 5 se ofrecen la clase, matriz de situación, distancia entre mudes, área y logitud de los lados. Obsérvese que los polígonos 1 y 2 tienen acuífero libre y los 3,4,5, y 6 acuífero confinado.

La cuenca (hipotética) es la parte superior de un valle aluvial con un río que proviene de las montañas y circula hacia el sur, cruzando el Valle y abandonando nuestra zona a través del lado 3 del polígono 4 (o del lado 1 del polígono 6). Se supone que en el punto AA hay una presa de derivación de la cual parten dos canales principales primarios, revestidos, el canal 1 que riega áreas en los polígonos 1,2 y 3 y el canal 2 que riega áreas en los polígonos 1 y 2.

Se supone que el Valle contiene bajo toda su superficie a agua subterránea, dentro de sus límites impermeables.

Las condiciones climáticas medias para una duración de observaciones de tres años se ofrecen en las tablas 8 a 11 (el área se supone situada a unos 30° latitud sur y el mes número 1 es Setiembre . La lluvia es bastante escasa y hay dos principales tipos de vegetación regada artificialmente; chacra (compuesta principalmente de ajo y papa en cultivo rotativo) y frutales (durazno). Fuera del área cultivada el resto de la superficie puede considerarse como desierto, con tan solo algunos arbustos dispersos. Los coeficientes de vitalidad de los cultivos de riego y algunos de corrección se dan; en la tabla 6 y 7.

La distribución de la tierra regada se da en la tabla 17. En la tabla 18 se muestra la extensión con derecho de riego con agua de superficie.

En la tabla 19 se dan valores de algunos coeficientes agrícolas. La retención específica útil (RET) depende de la profundidad de las raíces. El coeficiente FC de uso consumptivo (K en el procedimiento de Blaney-Criddle) es un valor para corregir la evapotranspiración potencial

El coeficiente de pérdidas en canales PECAN, de eficiencia de riego ERIE, de escurrimiento CORUM, etc. se muestran en la tabla 21 .

El agua entregada en cabecera de cada canal de riego por periodo (año y mes, se detalla en la tabla 22).

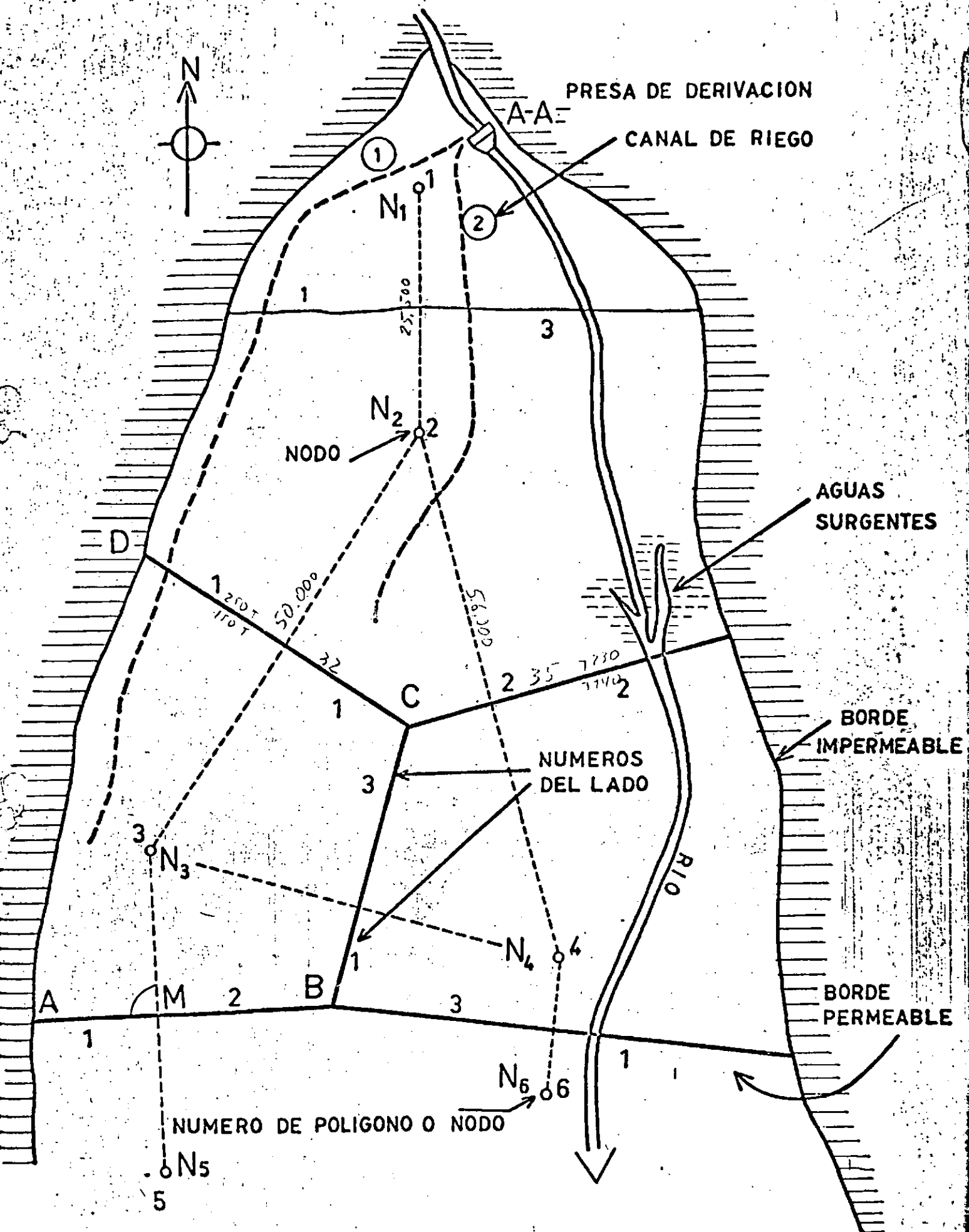


Fig. 4

Escala Aprox. 1: 50.000

D.4

Programa MIKE

REA(K),K=1,20 es; CUENCA EXPERIMENTAL.

NP=n° de poligonos=4 (no se consideran en esta programa los poligonos de cierre).

NCU=n° de tipos de vegetación=3 (Chacra, frutal, desierto, estepa)

NCA=n° de canales=2

NPE=n° de períodos=3 (y se toma el período=1 año)

NM=n° de meses/período=12

IEVAS=1 (se elige Blaney-Criddle)

J1=2 (Se escriben valores mensuales)

J2=1 (Factor FC depende de mes y vegetación, tabla 10)

J3=1 (Se usa RETPO; no se usa RET)

J4=2 (afere en cabecera de canales)

CPAF=0.00001 (para pasar de mm. de altura de agua a Hm^3/Ha)

FCEVA=1.0

PAUNL(1)=1.0 ~~Cono de Ocas~~ (T. 21)

CLLEF(1)=0.8

CAREK(1)=0.75

PAUNL(2)=1.0

CLLEF(2)=0.6

CAREK(2)=1.0

PAUNL(3)=0.0

CLLEF(3)=1.0

CAREK(3)=1.0

Los valores de ABHID y COEF se toman iguales a 1.0 para el primer período.

AGUAC(L,J)

Los valores de AGUAC(L,J) se dan en la tabla 22, para cada período M, canal L y mes J. Para el primer período (primer año) sería

AGUAC(1,1)=0.34	AGUAC(2,1)=0.17
AGUAC(1,2)=0.41	AGUAC(2,2)=0.21
AGUAC(1,3)=0.44	AGUAC(2,3)=0.23
etc.....
AGUAC(1,1,2)=0.26	AGUAC(2,12)=0.13

Luego para el polígono 1, los valores de ICLAS, PECAN, ERIE, BEN, BOMAC, CORUM, RETPO se dan en tabla 20 (BEM y BOMAC se toman cero)

Los valores de ARRIP (L) se dan en la tabla 18

Los valores de ARECU(K) se dan en la tabla 17

Como J3 vale 1, no se leen RET (J,K), y el valor leído ahora es P(J) (tabla 11).

Como IEVAS vale 1, solo se usan los valores climáticos necesarios para Blaney-Criddle, a saber:

- S(J) (tabla 8)
- TMM(J) (tabla 10)

y a continuación los valores de FC (J,K) (tabla 19).

Luego vendrán los valores de ICLAS, PECAN, etc... para el polígono 2, luego para ARRIP (L) para el polígono 2, ARECU(K), para el polígono 2, etc....

Luego para el polígono 3 y 4.

Luego comienzas con el periodo (año) segundo, ABHID y CORF (también iguales a 1)

AGUAC (L,J) para el segundo año.

Y de nuevo valores ICLAS, PECAN, etc.. del polígono 1, y todos los demás del polígono 1, luego del polígono 2,3,y 4

Y finalmente el tercer periodo, con cada uno de los polígonos de nuevo.

Los resultados consisten en varias parte:

A. La primera parte A lleva el título del programa y en la línea siguiente, el título de la cuenca,

CUENCA EXPERIMENTAL.

B. La parte B lleva dos filas de números, la primera con los valores

4 3 2 3 12 1 2 1 1 0.00001

de NP, NCU, NCA, NPE, NM, IEVAS, J1, J2, J3, J4 y CPAF; la segunda con los valores

1.00 1.00 0.80 0.75 1.00 etc.

de FCEVA, (PAUNL(1), CLLEF(1), etc...

C. La parte C lleva los valores

1.00 1.00

de ABHID y COEF, cada período

D. La parte D se hace para cada nodo. Escribe primero los valores

0 0.10 0.45 etc.....

de ICLAS, PECAN, ERIE etc... y a continuación da los valores masuales en Hm^3 de agua, para el nodo (polígono o subárea) de las magnitudes

EVAPT=evapotranspiración

IRRIG=riego con agua de superficie

PUMPN=bombeo agrícola

RAINF=lluvia efectiva no escurrida

REFLO=flujo de retorno desde las parcelas regadas

SOILW=contenido de agua en el suelo

CANIN=agua infiltrada al acuífero desde los canales de riego

BALAN=balance del acuífero equivalente a CANIN más REFLO menos PUMP

y a continuación da los valores totales del período para el mismo nodo de las anteriores magnitudes (suma de todos los meses).

EVPTR= suma de EVAPT

IRRIG= suma de IRRIG

PUMPN= suma de PUMPN

RAINF= suma de RAINF

REFLO= suma de REFLO

CANIN=suma de CANIN

BALAN=suma de BALAN

DIFER=diferencia entre PUMPN y el bombeo medido en el campo BOMAG. Si no se midió en el campo, BOMAG y BEM se habían tomado cero y DIFER se hace igualmente cero.

Esta parte D se repite dentro de cada periodo para cada uno de los polígonos.

E. Finalmente, el programa escribe para resumen del periodo los valores para el total de la Cuenca,

EVA=suma de EVPTR

IRR=suma de IRRIG

PUM=suma de PUMPN

RAI=suma de RAINF

REF=suma de REFLO

CAN=suma de CANIN

BAL=suma de BALAN

DIF=suma de DIFER

D- EJEMPLO NEMERICOD 1. Modelo de operación

Una secuencia lógica de operar el balance con computadoras sería:

- a. Seleccionar el centro de cómputo.
- b. Seleccionar los bordes e límites a utilizar.
- c. Seleccionar los bordes e límites de la cuenca.
- d. Dividir la cuenca en polígonos.
- e. Elegir el número de los periodos y la duración del periodo.
- f. Obtener los datos de campo de todas las variables utilizadas y de todos los parámetros y coeficientes.
- g. Hacer suposiciones sanas y conservadoras para asignar valores a los parámetros inciertos, si los hay.
- h. Escribir en el orden y formato debido los datos.
- i. Perforar los datos.
- j. Colocar las fichas de control.
- k. Operar los datos y recibir la lista de resultados.
- l. Chequear los resultados, si son buenos, a fin. Si no son satisfactorios pasar a m.
- m. Mejorar los datos de campo e las estimaciones.
- n. Volver a h.

D.2 Tablas de datos necesarios

- 1- Esquema de situación
- 2- Medidas superficiales de la poligonación
- 3- Coeficiente de vitalidad $V(\%)$
- 4- Coeficientes de corrección
- 5- Duración media teórica de la luz solar
- 6- Valores medios mensuales de la radiación solar RA
- 7- Temperatura media mensual
- 8- Precipitación
- 9- Duración de la luz solar (real)
- 10- Humedad relativa
- 11- Velocidad media del viento
- 12- Evaporación en tanque
- 13- Latitud, coeficiente de reflexión
- 14- Superficie de cada tipo de vegetación
- 15- Tierra con derecho al agua de superficie
- 16- Máxima retención del suelo y coeficiente de consumo mensual
- 17- Coeficiente de cada subárea (polígono)
- 18- Coeficiente de cada tipo de vegetación
- 19- Agua entregada en cabecera a cada canal

BIBLIOGRAFIA

- GRASSI, C.J. 1.968.-Estimación de los usos consuntivos de agua y requerimientos de riego con fines de formulación y diseño de proyectos. Criterios y procedimientos. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT) Mérida, Venezuela.
- NACIONES UNIDAS.-1.971.-Investigación de agua subterránea en el Noroeste de Argentina, proyecto ARG-13. Informes técnicos finales de las zonas I (Valle de Tulún), IV (Bajo Río Mendoza) y V (Valle del Carrizal). Nueva York.
- TYSON, H.N. y WEBER, E.M. 1.963.-Use of electronic computers in the quantitative analysis hydrology and geology of groundwater basins. American Society of Civil Engineers, Water Resources Engineering Conference, Milwaukee, Wisconsin.
- IBM 1130 Scientific Subroutine Package. 1.968. Manual H20-0252-2. IBM World Trade Corporation, 821. United Nations, Plaza New York, NY 10017.
- BURGOS, J.J. y VIDAL, A.L. 1.949.-Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite. 1º Congreso Sudamericano de Investigaciones en Materias Agronómicas, reunido en el Instituto Técnico y Semillero "La Estanzuela", de la República Oriental del Uruguay.
- PENMAN, H.L. 1.948.- Natural evaporation from open water bare soil and grass. Proc. Royal Soc. 193:120-145.
- THORNTHAITHE, C.W and MATHER, J.R. 1.957.-Instructions and tables for computing potencial evapotranspiration and the water balance. Drexel Institute of Technology Publication in Climatology 10 (3): 185-311.

SLATYER, R.O.-1.966.-The use of soil water balance, Relationships in agrometeorology. UNESCO. Symposium on methods in Agroclimatology. Reading-Paper C.8, 18 p. tables and fig.