

TRABAJO ESPECIAL

AMPLIACION DEL USO DEL MODELO BALANCE  
PARA TRAMOS Y SEGMENTOS DE CUENCA

PRESENTADO ANTE EL COMITÉ

DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

DEL INSTITUTO

DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

PARA OBTENER EL TÍTULO

DE INGENIERO EN AGRICULTURA

CHICAGO, NOVIEMBRE 1964

A mi padre.

A mi madre.

## AGRADECIMIENTO

Al Ing. Luis G. Hidalgo por su valiosa colaboración al poner a nuestra disposición el equipo utilizado.

Al Ing. Abraham Salcedo por su gentil interés durante el desarrollo del trabajo, y sus acertadas observaciones.

LISTA DE SIMBOLOS

P	Precipitación (mm)
E	Evaporación de Tina (mm)
ETP	Evapotranspiración Potencial (mm)
V	Evapotranspiración Real (mm)
W	Exceso de Agua sobre el Suelo (mm)
G	Escurrimiento Superficial (m <sup>3</sup> /s)
D	Retroalimentación a Nivel Superficial (mm)
Q	Escurrimiento Subterráneo (m <sup>3</sup> /s)
S	Retroalimentación a Nivel Subterráneo (mm)
T	Pérdidas por Percolación Profunda o Fugas hacia otras Cuencas (mm)
F	Escurrimiento Total (m <sup>3</sup> /s)
O	Escurrimiento Total Observado (m <sup>3</sup> /s)
Y	Escurrimiento Subterráneo Observado (m <sup>3</sup> /s)
R	Reserva de Agua en el Suelo (mm)
P5	Máxima Capacidad de Almacenamiento de Agua en el Suelo (mm)
Ro	Condición Inicial de la Reserva de Agua en el Suelo (mm)
Do	Condición Inicial de la Retroalimentación a Nivel Superficial (mm)
So	Condición Inicial de la Retroalimentación a Nivel Subterráneo (mm)
U	Variable que sustituye a la variable P en la Tercera Formulación
L	Area de la Cuenca (Km <sup>2</sup> )
T9	Intervalo de Tiempo de Trabajo (mes)
C9	Factor de Conversión de mm a m <sup>3</sup> /s (m <sup>3</sup> /s/mm)
P1	Parámetro P1 1 (adimensional)
P2	Parámetro P2 1 (adimensional)
P3	Parámetro P3 1 (adimensional)
P4	Parámetro P4 1 (adimensional)
i	Posición i-ésima en la serie de Tiempo (subíndice)
j	Número de Tramo de Cuenca (subíndice)

Lista de Tablas

		Pág
Tabla Nº 1	Datos de los Tramos .....	38
Tabla Nº 2	Datos de Números de Tramos de cada Número de Orden .....	38
Tabla Nº 3	Datos de Número de Tramos de cada Segmento .....	39
Tabla Nº 4	Datos de Condiciones Iniciales de Humedad en los Segmentos .....	39
Tabla Nº 5	Datos de Precipitación Media Mensual para cada Segmento .....	40
Tabla Nº 6	Datos de Evaporación de Tina Media Mensual para cada Segmento .....	42
Tabla Nº 7	Datos de Caudales Medios Mensuales, Totales y Subterráneos .....	44
Tabla Nº 8	Modelo BALANCE - Primera Formulación .	50
Tabla Nº 9	Modelo BALANCE - Segunda Formulación .	52
Tabla Nº 10	Modelo BALANCE - Tercera Formulación .	54
Tabla Nº 11	Modelo BALANCE MODIFICADO - Primera Formulación .....	56
Tabla Nº 12	Modelo BALANCE MODIFICADO - Segunda Formulación .....	58
Tabla Nº 13	Modelo BALANCE MODIFICADO - Tercera Formulación .....	60

Lista de Cuadros

		Pág
Cuadro Nº 1	Fórmulas del Modelo BALANCE .....	8
Cuadro Nº 2	Estaciones Pluviométricas para cada Segmento de la Cuenca del Río Cuirá en Santa Rosa .....	26
Cuadro Nº 3	Estaciones Evaporimétricas para cada Segmento de la Cuenca del Río Cuirá en Santa Rosa .....	26
Cuadro Nº 4	Estaciones Fluviométricas para la Cuenca del Río Cuirá en Santa Rosa .....	26
Cuadro Nº 5	Comparación del Análisis Estadístico de los Modelos BALANCE y BALANCE MODIFICADO	70

Lista de Figuras

		Pág
Figura Nº 1	Sistema Aislado y su Transformación . . . .	2
Figura Nº 2	Esquema par Cálculo del Balance Hidrológico en el Suelo . . . . .	19
Figura Nº 3	Esquema para la Primera Formulación del Modelo BALANCE MODIFICADO . . . . .	20
Figura Nº 4	Esquema para la Segunda Formulación del Modelo BALANCE MODIFICADO . . . . .	22
Figura Nº 5	Esquema para la Tercera Formulación del Modelo BALANCE MODIFICADO . . . . .	24
Figura Nº 6	Cuenca del Río Cuirá en Santa Rosa . . . . .	27
Figura Nº 7	Dos Ejemplos para la Asignación del Número de Orden . . . . .	29
Figura Nº 8	Números de Orden de los Tramos de la Cuenca del Río Cuirá en Santa Rosa . . . . .	30
Figura Nº 9	División en Tramos y Segmentos de la Cuenca del Río Cuirá en Santa Rosa . . . . .	31
Figura Nº 10	Numeración de los Tramos de la Cuenca del Río Cuirá en Santa Rosa . . . . .	32
Figura Nº 11	Esquema General del Modelo BALANCE MODIFICADO . . . . .	48

Lista de Gráficos

		Pág
Gráfico Nº 1	Modelo BALANCE - Formulación Nº 1 ...	64
Gráfico Nº 2	Modelo BALANCE - Formulación Nº 3 ...	65
Gráfico Nº 3	Modelo BALANCE MODIFICADO - Formula- ción Nº 1 .....	66
Gráfico Nº 4	Modelo BALANCE MODIFICADO - Formula- ción Nº 3 .....	67
Gráfico Nº 5	Modelos BALANCE y BAEANCE MODIFICADO Formulación Nº 1 .....	71
Gráfico Nº 6	Modelos BALANCE y BALANCE MODIFICADO Formulación Nº 3 .....	72

I N D I C E

	Pág
AGRADECIMIENTO .....	iii
Lista de Símbolos .....	iv
Lista de Tablas .....	v
Lista de Cuadros .....	vi
Lista de Figuras .....	vii
Lista de Gráficos .....	vii
INDICE .....	ix
RESUMEN .....	xi
1. INTRODUCCION .....	1
2. OBJETIVOS .....	5
3. ANTECEDENTES .....	6
3.1. Descripción del Modelo BALANCE .....	6
4. ELEMENTOS DEL MODELO Y SUS INTERRELACIONES	10
4.1. Elementos Básicos .....	10
4.2. Variables de Entrada .....	11
4.3. Constantes .....	11
4.4. Variables de Balance Hídrico .....	12
4.5. Variables de Flujo .....	13
4.6. Parámetros .....	14
4.7. Condiciones Iniciales de Humedad .....	16
5. REFORMULACIONES DEL MODELO BALANCE MODIFI-	
CADO .....	18
5.1. Primera Formulación .....	18
5.2. Segunda Formulación .....	21
5.3. Tercera Formulación .....	23

6.	PLANTEAMIENTO METODOLOGICO .....	26
6.1.	Subdivisión de la Cuenca en Tramos .....	26
6.2.	Número de Orden de los Tramos .....	28
6.3.	Numeración de los Tramos .....	28
6.4.	Segmentación de la Cuenca .....	33
6.5.	Proceso de Modelación .....	33
6.5.1.	Calibración del Modelo .....	34
6.5.2.	Validación o Verificación del Modelo .....	35
6.5.3.	Producción .....	36
6.6.	Funcionamiento del Modelo BALANCE MODIFICADO	36
7.	RESULTADOS .....	49
8.	ANALISIS DE RESULTADOS .....	62
8.1.	Comparación de los Valores Simulados con los Valores Observados para los Modelos BALANCE y BALANCE MODIFICADO .....	62
8.2.	Comparación de los Valores Simulados por el Modelo BALANCE y por el Modelo BALANCE MODI FICADO .....	68
8.3.	Análisis Estadístico de los Valores Simulados	69
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	73
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	75
11.	BIBLIOGRAFIA .....	76
	ANEXOS	

RESUMEN

El presente Trabajo Especial consiste en una ampliación del uso del modelo hidrológico matemático conceptual denominado BALANCE, implementándolo para varios tramos y segmentos de cuenca.

En la modificación realizada se mantiene la concepción del modelo original al realizarlo bajo el esquema de tres formulaciones matemáticas.

Los nuevos elementos físicos del sistema están constituidos por la red fluvial, los tramos y los segmentos de cuenca.

Para ilustrar la aplicación del modelo se han simulado cuatro años (Ene/61 a Dic/64) de escurrimientos medios mensuales del río Caira (Edo. Miranda), utilizando para dicha simulación caudales medios mensuales observados, precipitación y evaporación de tina medias mensuales. Igualmente, se ha simulado el mismo período con el modelo BALANCE original, con el fin de comparar los resultados. En ambos casos se realizó una calibración aproximada para cada una de las 3 formulaciones.

El modelo se implementó en un microcomputador NCR Decision Mate V, en lenguaje de computación Basic.

Los resultados obtenidos demostraron un buen ajuste.

## 1.- INTRODUCCION

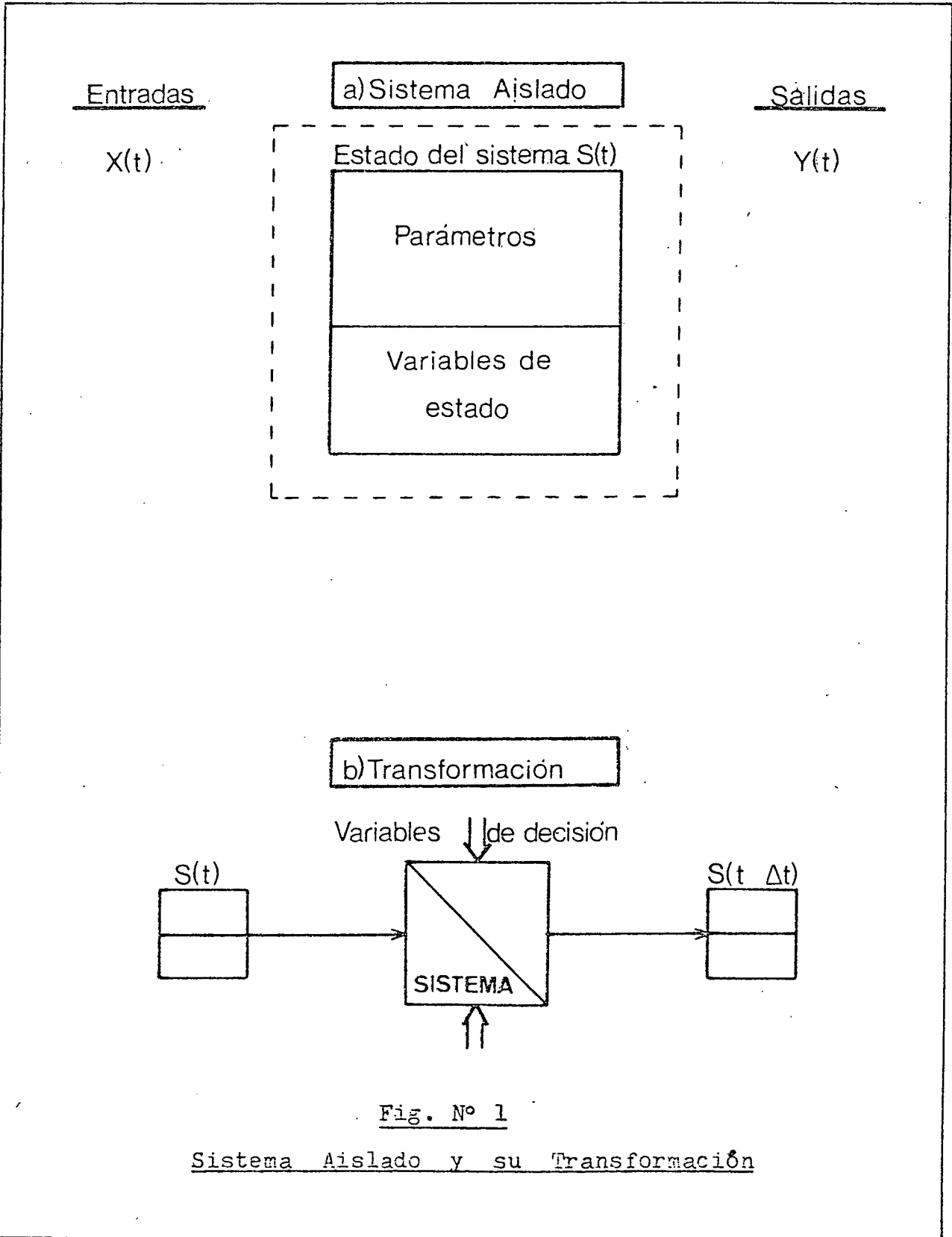
"Un sistema puede ser considerado como un conjunto de componentes físicos y geométricos, unas acciones exteriores al sistema y unas leyes de funcionamiento" (1).

Matemáticamente, puede ser definido en cada momento por parámetros y variables; los parámetros describen los componentes físicos o los geométricos; las variables o variables de estado, describen el estado del sistema en cada momento. Las acciones exteriores al sistema son las que actúan sobre él modificándolo y pueden clasificarse en entradas o salidas. En la Fig. Nº 1 se presenta un sistema aislado y su transformación.

Un modelo se define como la representación idealizada de un sistema real, implicando generalmente una simplificación de la complejidad de su comportamiento o una reducción de sus dimensiones.

La simulación es la operación del modelo, que se realiza con la finalidad de obtener información sobre el comportamiento del sistema, tratando de que el prototipo refleje lo mejor posible el comportamiento real del sistema. (2)

Aplicando estos conceptos en el campo de la Hidrología, se puede hablar de modelos hidrológicos como la representación de un sistema hidrológico (el ciclo hidrológico o parte de él, una cuenca, etc) y de simulación hidrológica cuando se hace



uso del mismo.

Los modelos hidrológicos han sido clasificados en físicos, analógicos y matemáticos. (3)

Las cuencas constituyen uno de los principales sistemas hidrológicos estudiados; referente a ellas, son frecuentes los requerimientos de datos de caudales y lluvia o nieve para diferentes fines, por lo que se hace necesario buscar nuevos métodos que permitan obtener en forma rápida mejores resultados. En esa búsqueda, aplicando las técnicas de modelaje en hidrología, es decir, tratando la cuenca como un sistema y conjuntamente con el desarrollo de los computadores, se ha llegado a modelos matemáticos que simulan en forma continua el comportamiento hidrológico de un río. Aunque el modelo de una cuenca no reproduce completamente su comportamiento real debido a la complejidad de los fenómenos presentes en ella, es posible obtener resultados satisfactorios, si dicho modelo ha sido construido tomando en cuenta los factores más relevantes del sistema real.

El modelo de un sistema está sujeto a modificaciones que dependen de la fase en que se encuentre el modelo y los fines perseguidos. Las modificaciones vienen dadas por la necesidad de adaptar en lo posible el modelo al sistema real, tratando de que exista correspondencia entre el modelo y la realidad.

En base a los dicho anteriormente, a fin de obtener una representación más real del sistema "cuenca", se modificó el modelo hidrológico matemático conceptual BALANCE, introdu-

ciendo los conceptos de tramos y segmentos.

Esta modificación, que da origen al modelo BALANCE MODIFICADO, constituye el tema del presente trabajo.

2.- OBJETIVO

↳ El objetivo principal de este trabajo es el análisis, diseño, desarrollo e implementación de un programa de computación que permita el uso del modelo hidrológico BALANCE, empleando varios tramos y segmentos de cuenca, y comparación de los resultados obtenidos con ambos esquemas. ?

### 3.- ANTECEDENTES

El diseño del modelo hidrológico matemático conceptual denominado BALANCE comienza en el año 1977, con el propósito de simular escurrimientos en cuencas grandes de Venezuela.

La primera experiencia consistió en simular la crecencia del río Escalante en La Ferreira (Edo. Zulia), ocurrida entre el 1/12/1975 y el 31/12/1976, empleándose para el experimento datos medios diarios de precipitación, evaporación de tina y caudales observados. Fue implementado utilizando lenguaje de computación Basic en un microcomputador HP 9830-A, del Departamento de Meteorología e Hidrología (UCV). Los resultados obtenidos demostraron un buen ajuste entre los datos observados y los simulados. (4)

La experiencia con el modelo permitió llegar a diversas conclusiones que contribuyen al avance en el estudio y uso de los modelos matemáticos para simulación y con ello obtener series largas de datos de escurrimiento. Asimismo, han resultado una serie de interrogantes, cuyas respuestas pueden estar en las modificaciones al modelo original o en la construcción de nuevos modelos de simulación del escurrimiento.

#### 3.1.- Descripción del Modelo BALANCE

El modelo BALANCE es un modelo hidrológico para si-

mular escurrimientos, enmarcado dentro del tipo de modelos conceptuales de cuencas o de simulación del comportamiento de cuencas.

La idea básica del modelo viene de una modificación hecha por Lorente (1964) a la forma tradicional de efectuar el balance hidrológico en base a la precipitación y evapotranspiración potencial; supone que el exceso de agua en un mes no es transitado completamente durante ese lapso, sino solo la mitad de él, quedando la otra mitad para unirse al exceso de agua del mes siguiente. Partiendo de esto, Hidalgo (1979), en el desarrollo del modelo concibe que el exceso de agua sobre una cuenca se divide hacia diferentes rutas: infiltración, escurrimiento superficial y pérdidas por percolación profunda o fugas hacia otras cuencas, sin llegar a detallar cada proceso.

En el modelo BALANCE se definen cuatro parámetros, P1, P2, P3 y P4, los cuales dividen el exceso de agua hacia cada una de las rutas mencionadas, además en la parte de él que formará el flujo de retroalimentación superficial y subterránea.

Contempla tres variantes denominadas: Primera Formulación, Segunda Formulación y Tercera Formulación, que pueden ser consideradas como modelos diferentes, ya que funcionan independientemente. (4, 5, 6)

En el Cuadro N° 1 se representan las ecuaciones que rigen en cada una de las formulaciones para determinar los flujos de salida. Para mayor detalle ver Anexo.

## Cuadro N° 1

Fórmulas del Modelo BALANCE

Formulaciones	Variables	Fórmulas
Primera	$D_{ij}$	$(W_{ij}/P1+D_{i-1,j})x(1-1/P2)$
	$G_{ij}$	$((W_{ij}/P1+D_{i-1,j})/P2)xC9_j$
	$Q_{ij}$	$((W_{ij}x(1-1/P1)/P4+S_{i-1,j})/P3)xC9_j$
	$S_{ij}$	$(W_{ij}x(1-1/P1)/P4+S_{i-1,j})x(1-1/P3)$
	$T_{ij}$	$W_{ij}x(1-1/P1)x(1-1/P4)$
	$F_{ij}$	$G_{ij} + Q_{ij}$
Segunda	$D_{ij}$	$(W_{ij}+D_{i-1,j}+S_{i-1,j})x(1-1/P2)/P1$
	$G_{ij}$	$((W_{ij}+D_{i-1,j}+S_{i-1,j})/P1/P2)xC9_j$
	$Q_{ij}$	$((W_{ij}+D_{i-1,j}+S_{i-1,j})x(1-1/P1)/P3/P4)xC9_j$
	$S_{ij}$	$(W_{ij}+D_{i-1,j}+S_{i-1,j})x(1-1/P1)x(1-1/P3)/P4$
	$T_{ij}$	$(W_{ij}+D_{i-1,j}+S_{i-1,j})X(1-1/P1)x(1-1/P4)$
	$F_{ij}$	$G_{ij} + Q_{ij}$

Cuadro Nº 1 (cont.)Fórmulas del Modelo BALANCE

Formulaciones	Variables	Fórmulas
Tercera	$D_{ij}$	$W_{ij} \times (1-1/P2) / P1$
	$G_{ij}$	$(W_{ij} / P1 / P2) \times C9_j$
	$Q_{ij}$	$(W_{ij} \times (1-1/P1) / P3 / P4) \times C9_j$
	$S_{ij}$	$W_{ij} \times (1-1/P1) \times (1-1/P3) / P4$
	$T_{ij}$	$W_{ij} \times (1-1/P1) \times (1-1/P4)$
	$F_{ij}$	$G_{ij} + Q_{ij}$

#### 4.- ELEMENTOS DEL MODELO Y SUS INTERRELACIONES

El modelo BALANCE MODIFICADO consta, al igual que el original, de un conjunto de elementos (variables, constantes y parámetros) que interactúan entre sí de una manera regular, establecida en cada formulación matemática del modelo. Además, incluye un nuevo elemento, la red fluvial, formada a su vez por otros dos elementos, segmentos y tramos.

La división de la cuenca en tramos y segmentos se considera por la variabilidad de condiciones que pueden existir dentro de ella. Esta nueva concepción del sistema real "cuenca" origina la modificación del modelo BALANCE, que actualmente solo funciona para una cuenca como un tramo y un segmento, sin permitir la inclusión de la estructura de la red fluvial.

##### 4.1.- Elementos Básicos

- a) Red Fluvial: es el conjunto de canales interconectados que forman una red de drenaje a través de la cual se produce el flujo de agua y sedimentos.
- b) Tramo: es la porción de una corriente entre dos conexiones o entre una conexión y una fuente u origen de corriente.
- c) Segmento: es una zona o sección de la cuenca que presenta características geológicas, topográficas y de vegetación similares.

#### 4.2.- Variables de Entrada

Estas variables se determinaron para cada uno de los segmentos, luego el programa las asigna a los tramos.

- a)  $P_{ij}$ : es la precipitación media correspondiente al intervalo de tiempo  $i$  en el tramo  $j$ , expresada en mm. Los valores promedio se calcularon aplicando un factor de ajuste a las precipitaciones puntuales. El factor de ajuste se obtuvo mediante la relación entre la precipitación media anual y la precipitación media puntual, para un período de 20 años.
- b)  $E_{ij}$ : es la evaporación de tina media correspondiente al intervalo de tiempo  $i$  en el tramo  $j$ , expresada en mm. Se tomaron como valores promedio los registrados en cada estación.

El subíndice  $i$  varía desde 1 hasta  $N$  ( $i=1,N$ ), donde  $N$  representa el número total de elementos de la serie de tiempo; el subíndice  $j$  varía desde 1 hasta  $K$  ( $j=1,K$ ), donde  $K$  representa el número de tramos de la cuenca.

#### 4.3.- Constantes

- a)  $A$ : es el coeficiente evaporimétrico que transforma la evaporación de tina ( $E_{ij}$ ) en evapotranspiración potencial ( $ETP_{ij}$ ); para el caso en estudio,  $A = 0,70$

$$ETP_{ij} = E_{ij} \times A \quad \dots\dots\dots (1)$$

- b)  $L_j$ : es el área del tramo  $j$ , expresada en  $Km^2$ .
- c)  $T_9$ : es el número promedio de segundos del intervalo de tiempo en el que se está trabajando, en este caso un mes.  

$$T_9 = (365 \times 24 \times 3600)/12 = 2.628.000 \text{ seg} \dots\dots\dots (2)$$
- d)  $P5_j$ : es la máxima capacidad de almacenamiento de agua en el suelo para el tramo  $j$ , expresada en  $mm$ . Se define para cada uno de los segmentos de la cuenca, y luego el programa lo asigna al tramo  $j$  según a cual segmento pertenezca dicho tramo.
- e)  $C9_j$ : es el factor de conversión de  $mm$  de escurrimiento en  $m^3/s$  para el tramo  $j$ , expresado en  $m^3/s/mm$ , donde:  

$$C9_j = 1000 \times L_j / T_9 \dots\dots\dots (3)$$

#### 4.4.- Variables de Balance Hídrico

Las constituyen las variables de proceso para realizar el balance hídrico; están expresadas en  $mm$ .

- a)  $W_{ij}$ : es el exceso de agua producido en el suelo durante el intervalo de tiempo  $i$  en el tramo  $j$ .
- b)  $R_{ij}$ : es el espesor de agua almacenada en el suelo al final del intervalo de tiempo  $i$  en el tramo  $j$ .
- c)  $V_{ij}$ : es la evapotranspiración real durante el intervalo de tiempo  $i$  en el tramo  $j$ .

- d)  $U_{ij}$ : es una variable auxiliar usada en la tercera formulación matemática del modelo, calculada por la fórmula:

$$U_{ij} = P_{ij} + S_{i-1,j} + D_{i-1,j} \dots\dots\dots (4)$$

El subíndice  $i$  varía desde 1 hasta  $N$  ( $i=1,N$ ), donde  $N$  representa el número total de elementos de la serie de tiempo; el subíndice  $j$  varía desde 1 hasta  $K$  ( $j=1,K$ ), donde  $K$  representa el número de tramos de la cuenca.

#### 4.5.- Variables de Flujo

- a)  $D_{ij}$ : es el flujo de agua superficial, expresado en mm, que viaja hacia el punto de cierre del tramo  $j$ , que tiene posibilidad de salir solo después del intervalo de tiempo  $i$ .
- b)  $G_{ij}$ : es el flujo de agua superficial que sale del tramo  $j$  durante el intervalo de tiempo  $i$ , expresado en  $m^3/s$ .
- c)  $S_{ij}$ : es el flujo de agua subterránea, expresado en mm, que viaja hacia el punto de cierre del tramo  $j$ , con posibilidad de salir solo después del intervalo de tiempo  $i$ .
- d)  $Q_{ij}$ : es el flujo de agua subterránea que sale del tramo  $j$  durante el intervalo de tiempo  $i$ , expresado en  $m^3/s$ .
- e)  $T_{ij}$ : es la pérdida por percolación profunda o fugas hacia otras cuencas del tramo  $j$  durante el intervalo de tiempo  $i$ , expresada en mm.
- f)  $F_{ij}$ : es el flujo total que sale del tramo  $j$  durante el in-

tervalo de tiempo  $i$ , expresado en  $m^3/s$ .

El subíndice  $i$  varía desde 1 hasta  $N$  ( $i=1,N$ ), donde  $N$  representa el número de elementos de la serie de tiempo; el subíndice  $j$  varía desde 1 hasta  $K$  ( $j=1,K$ ), donde  $K$  representa el número de tramos de la cuenca.

Existen otras dos variables de flujo,  $O$  y  $Y$ , que solo se usan para comparaciones dentro del modelo; se definen así:

- g)  $O_{ij}$ : es el flujo total observado en el tramo  $j$  durante el intervalo de tiempo  $i$ , expresado en  $m^3/s$ .
- h)  $Y_{ij}$ : es el flujo subterráneo observado en el tramo  $j$  durante el intervalo de tiempo  $i$ , expresado en  $m^3/s$ . (Se refiere a la componente del flujo base del hidrograma). En este trabajo no se usó.

El subíndice  $i$  tiene igual variación que en las Variables de Flujo anteriores ( $i=1,N$ ), pero el subíndice  $j$  es igual a  $K$  ( $j=K$ ), ya que solo se cuenta con una estación de aforo situada en el último tramo.

#### 4.6.- Parámetros

Los parámetros o magnitudes constantes son una característica del sistema (en este caso, la cuenca), cuyos valores no varían durante el intervalo de tiempo ni segmento considerado. El modelo utiliza cuatro parámetros,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  y  $P_4$ , los

cuales son estimados físicamente, tomando valores mayores o iguales a 1.

a) P1: es el parámetro que divide el incremento de la disponibilidad de agua para escurrimiento en dos partes, escurrimiento superficial y escurrimiento subterráneo. Se calcula en base a los registros de escurrimiento, como la relación entre el volumen total escurrido y el volumen de escurrimiento superficial durante el período de calibración:

$$P1 = \text{Vol. Esc. Total} / \text{Vol. Esc. Sup.} \dots\dots\dots (5)$$

Cuando el valor de P1 tiende a 1, disminuye el flujo superficial. Para el caso en estudio, P1 es igual a 1.4, valor que no debe variarse en las corridas del programa.

b) P2: es el parámetro que determina la parte del escurrimiento superficial que sale del tramo j durante el intervalo de tiempo i. Cuando su valor tiende a 1 aumenta el flujo superficial de salida y disminuye el flujo de retroalimentación. Si su valor es grande, disminuye el flujo superficial de salida y aumenta el flujo de retroalimentación. Su valor fue determinado por tanteo, resultando igual a 3.6.

c) P3: determina la parte del escurrimiento subterráneo que sale del tramo j durante el intervalo de tiempo i; se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$P3 = (1 - (O_{i+1}/O_i))^{-1} \dots\dots\dots (6)$$

Donde  $O_{i+1}$  y  $O_i$  son dos caudales observados de la curva de recesión de aguas subterráneas. Cuando su valor es igual a

l no se almacena agua en el nivel subterráneo; si su valor es grande, disminuye el aporte de agua subsuperficial. Para el caso en estudio se tomaron los pares:  $i=4, i=5$ ;  $i=14, i=15$ ;  $i=27, i=28$ ;  $i=40, i=41$ , que luego se promediaron, resultando  $P3 = 3.6$ , el cual no debe variarse en las corridas del programa.

- d)  $P4$ : determina las pérdidas por fugas hacia otras cuencas o por percolación profunda. Cuando su valor es igual a 1, el sistema es cerrado, es decir, no hay pérdidas. En este caso,  $P4 = 1$ .

#### 4.7.- Condiciones Iniciales de Humedad

$Ro_j$ ,  $Do_j$  y  $So_j$  son variables de proceso suministradas como datos de entrada al modelo. Sus valores son asignados por el hidrólogo en base a las condiciones previas de humedad en el suelo. Igual que las variables de entrada, fueron asignadas a cada uno de los segmentos y luego el programa las asigna a los tramos.

- a)  $Ro_j$ : es la condición inicial de la reserva de agua en el suelo para el tramo  $j$ , expresada en mm.
- b)  $Do_j$ : es la condición inicial de la retroalimentación del nivel superficial para el tramo  $j$ , expresada en mm.
- c)  $So_j$ : es la condición inicial de la retroalimentación del nivel subterráneo para el tramo  $j$ , expresada en mm.

El subíndice  $j$  varía desde 1 hasta  $K$  ( $j=1,K$ ), donde  $K$  representa el número de tramos de la cuenca.

## 5.- REFORMULACIONES DEL MODELO BALANCE MODIFICADO

El modelo BALANCE MODIFICADO mantiene la estructura del modelo BALANCE en cuanto a las tres formulaciones matemáticas se refiere. La modificación se presenta al subdividir la cuenca en tramos y segmentos, de modo tal que se pueden simular caudales en cualquiera de los puntos de unión (representan las salidas de los tramos) y no solamente en el punto único de salida de la cuenca.

La forma de efectuar los cálculos del balance hidrológico es común para las tres formulaciones (Fig. Nº 2). Existe un exceso de agua ( $W_{ij} > 0$ ) en el intervalo de tiempo  $i$  del tramo  $j$ , si y solo si se cumple que:

$$W_{ij} = R_{i-1,j} + P_{ij} - (E_{ij} \times A) - P5_j \geq 0 \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$i=1,N ; j=1,K$$

### 5.1.- Primera Formulación

El exceso de agua es independiente de las retroalimentaciones, no existe intercambio entre los flujos superficial y subterráneo ni evapotranspiración de los mismos. En esta formulación la retroalimentación es denominada terciaria; es la más simple; considera que una partícula en proceso de escurrimiento superficial o subterráneo continúa en el mismo proceso hasta la salida del tramo. En la Fig. Nº 3 se presenta el esquema de la

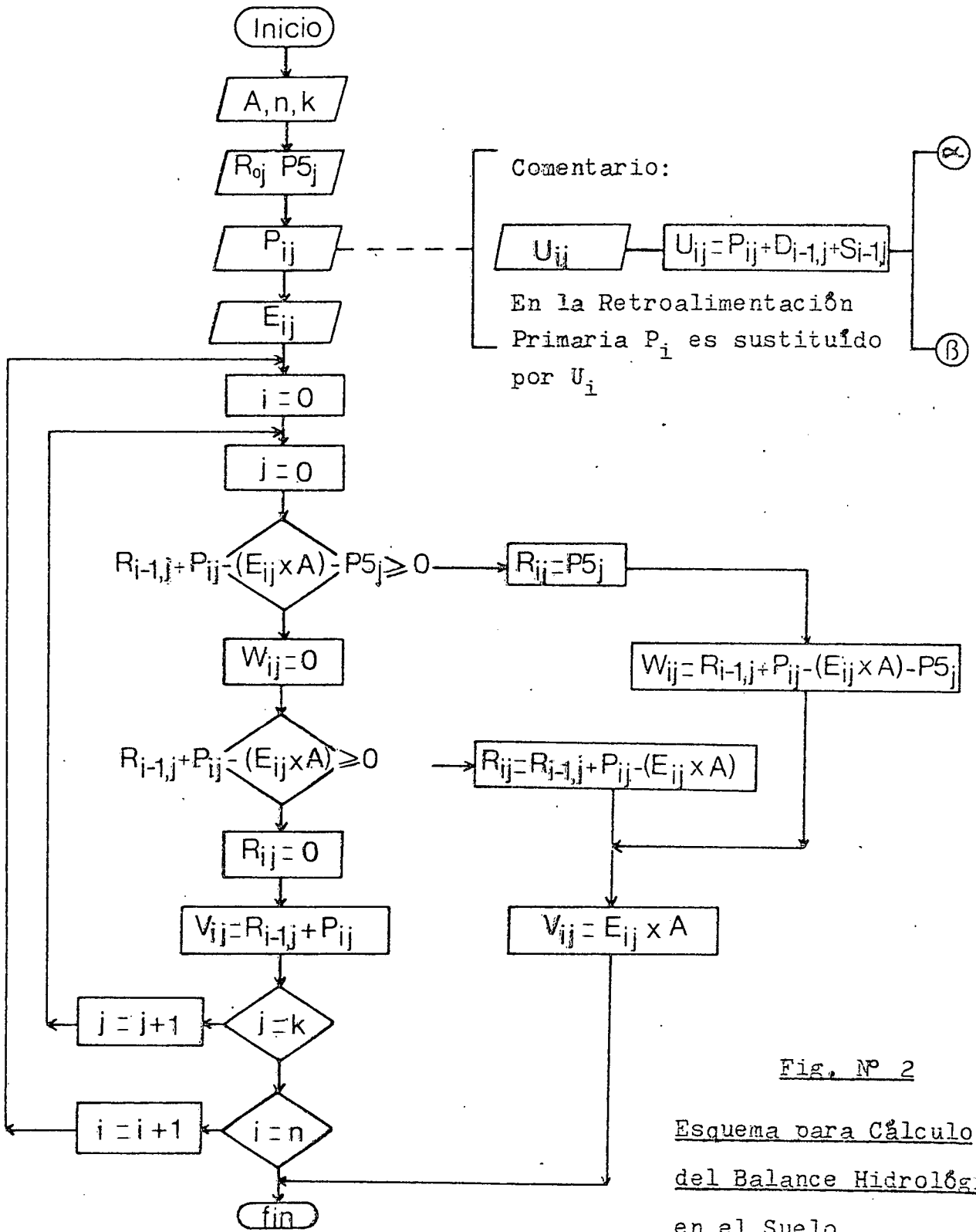


Fig. Nº 2

Esquema para Cálculo  
del Balance Hidrológico  
en el Suelo

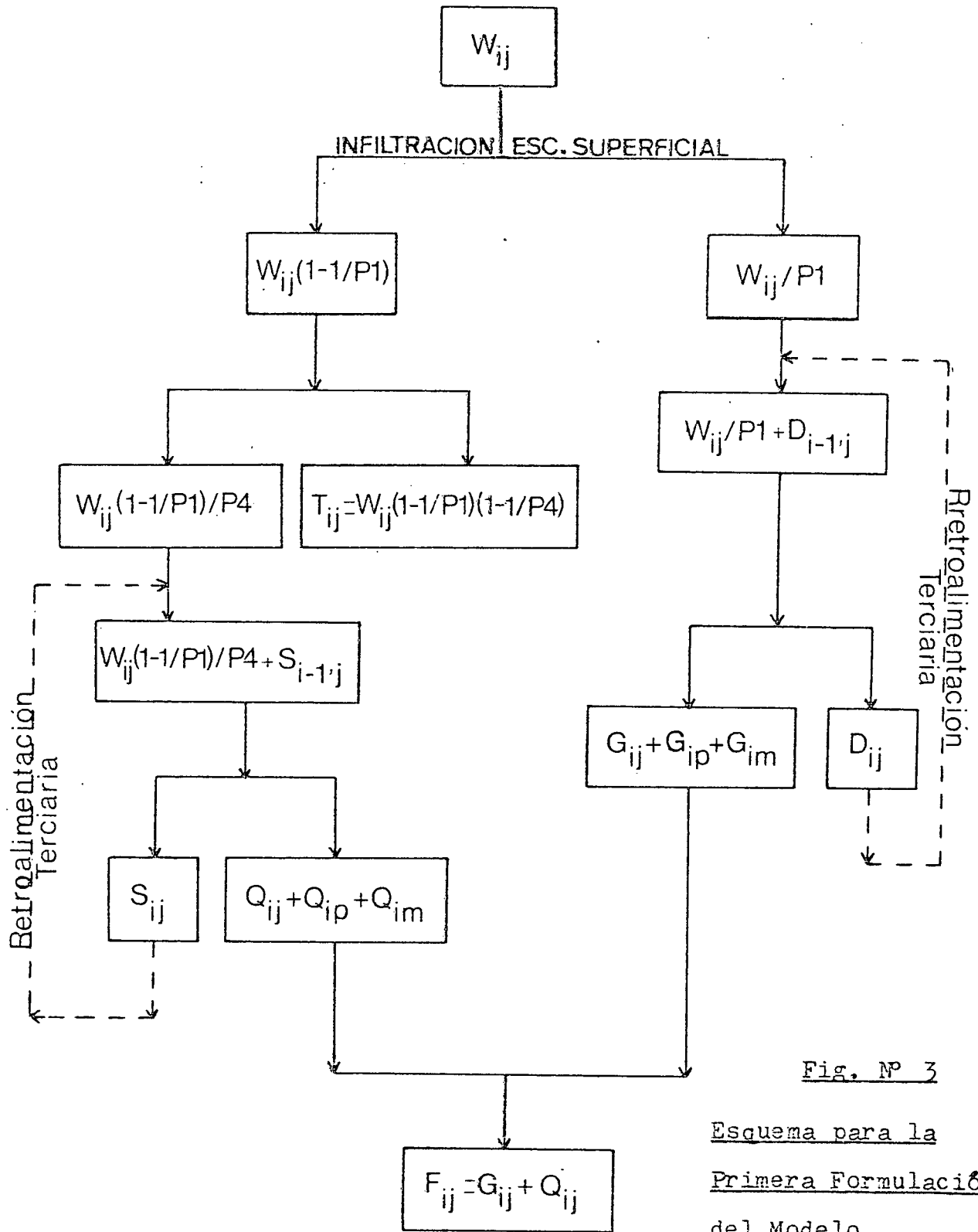


Fig. Nº 3

Esquema para la  
Primera Formulación  
del Modelo  
BALANCE MODIFICADO

primera formulaci3n.

a) F3rmulas Generales:

$$D_{ij} = (W_{ij}/P1 + D_{i-1,j}) \times (1 - 1/P2) \dots\dots\dots (8)$$

$$G_{ij} = ((W_{ij}/P1 + D_{i-1,j})/P2) \times C9_j + G_{ip} + G_{im} \dots\dots\dots (9)$$

$$Q_{ij} = ((W_{ij} \times (1-1/P1)/P4 + S_{i-1,j})/P3) \times C9_j + Q_{ip} + Q_{im} \dots\dots\dots (10)$$

$$S_{ij} = (W_{ij} \times (1-1/P1)/P4 + S_{i-1,j}) \times (1-1/P3) \dots\dots\dots (11)$$

$$T_{ij} = W_{ij} \times (1-1/P1) \times (1-1/P4) \dots\dots\dots (12)$$

$$F_{ij} = G_{ij} + Q_{ij} \dots\dots\dots (13)$$

## 5.2.- Segunda Formulaci3n

El exceso de agua es independiente de las retroalimentaciones; puede existir intercambio entre los flujos superficial y subterr3neo, pero no evapotranspiraci3n a partir del escurrimiento. La retroalimentaci3n en este caso se denomina secundaria; la diferencia con la formulaci3n anterior, est3 en que los flujos de retroalimentaci3n superficial y subterr3nea, se unen al exceso de agua disponible para escurrimiento (W), lo que implica que una part3cula en proceso de escurrimiento superficial, puede infiltrarse y viceversa. Ver Fig. N3 4.

a) F3rmulas Generales:

$$D_{ij} = (W_{ij} + D_{i-1,j} + S_{i-1,j}) \times (1-1/P2)/P1 \dots\dots\dots (14)$$

$$G_{ij} = ((W_{ij} + D_{i-1,j} + S_{i-1,j})/P1/P2) \times C9_j + G_{ip} + G_{im} \dots\dots\dots (15)$$

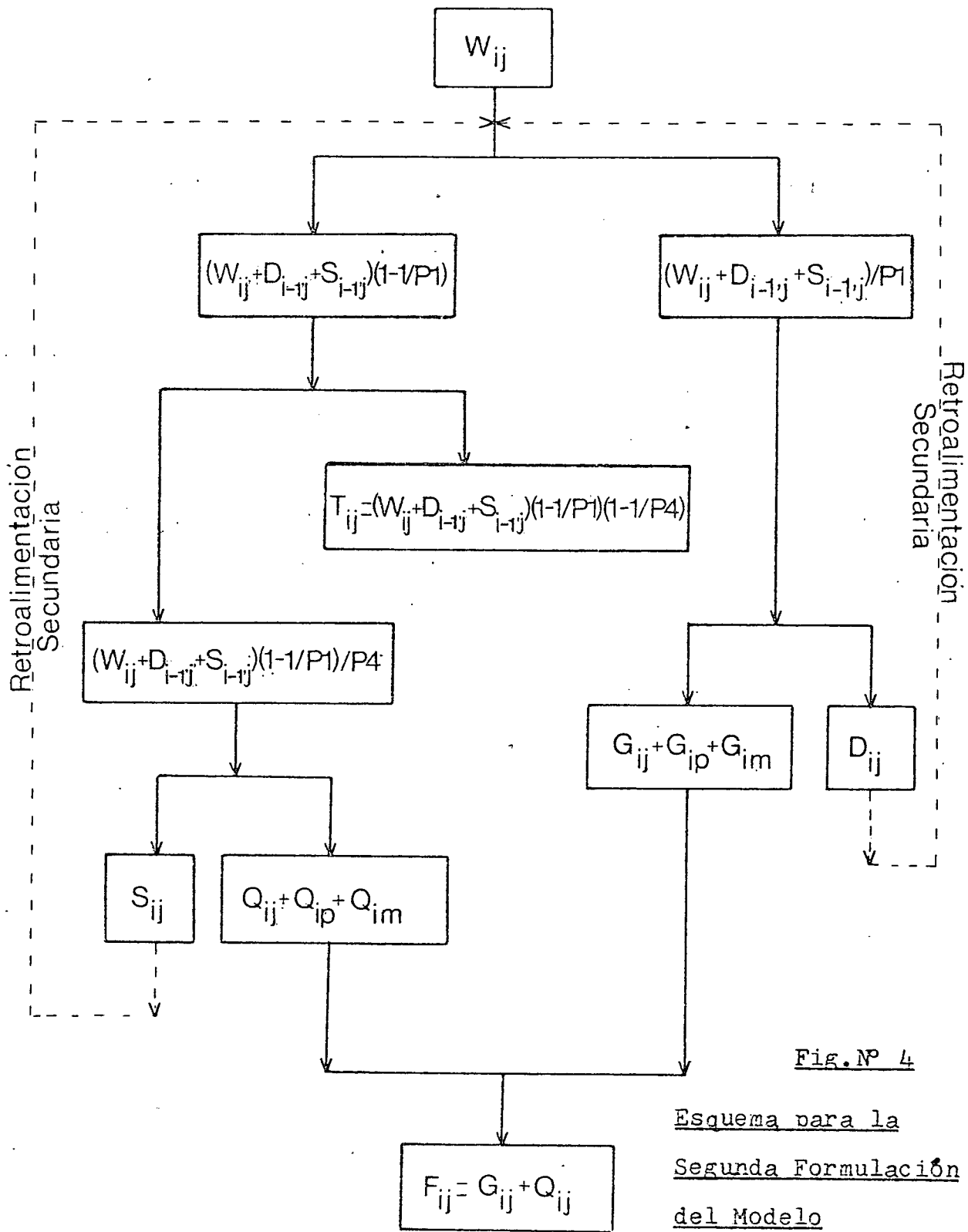


Fig. Nº 4

Esquema para la  
Segunda Formulación  
del Modelo  
BALANCE MODIFICADO

$$Q_{ij} = ((W_{ij} + D_{i-1,j} + S_{i-1,j}) \times (1-1/P1)/P3/P4) \times C9_j + Q_{ip} + Q_{im} \quad (16)$$

$$S_{ij} = (W_{ij} + D_{i-1,j} + S_{i-1,j}) \times (1-1/P1) \times (1-1/P3)/P4 \quad (17)$$

$$T_{ij} = (W_{ij} + D_{i-1,j} + S_{i-1,j}) \times (1-1/P1) \times (1-1/P4) \quad \dots \quad (18)$$

$$F_{ij} = G_{ij} + Q_{ij} \quad \dots \quad (19)$$

### 5.3.- Tercera Formulación

El exceso de agua depende de las retroalimentaciones; existe intercambio entre los flujos superficial y subterráneo y éstos pueden evapotranspirarse. En esta formulación se define una variable auxiliar  $U_{ij}$  (ver aparte 4.4, pág 1) para realizar el balance hidrológico, ya que a la precipitación del mes  $i$  se unen las partes de los flujos superficial y subterráneo que no abandonaron la cuenca del tramo  $j$  durante el mes  $i-1$  (proceso de retroalimentación) y que ahora pasan a formar parte del agua disponible para evapotranspiración, escurrimiento e infiltración. La retroalimentación en este caso se denomina primaria, siendo la que más refleja la realidad del ciclo hidrológico. En la Fig. Nº 5 se presenta el esquema de la tercera formulación.

a) Fórmulas Generales:

$$D_{ij} = W_{ij} \times (1-1/P2)/P1 \quad \dots \quad (20)$$

$$G_{ij} = (W_{ij}/P1/P2) \times C9_j \quad G_{ip} \quad G_{im} \quad \dots \quad (21)$$

$$Q_{ij} = (W_{ij} \times (1-1/P1)/P3/P4) \times C9_j \quad Q_{ip} \quad Q_{im} \quad \dots \quad (22)$$

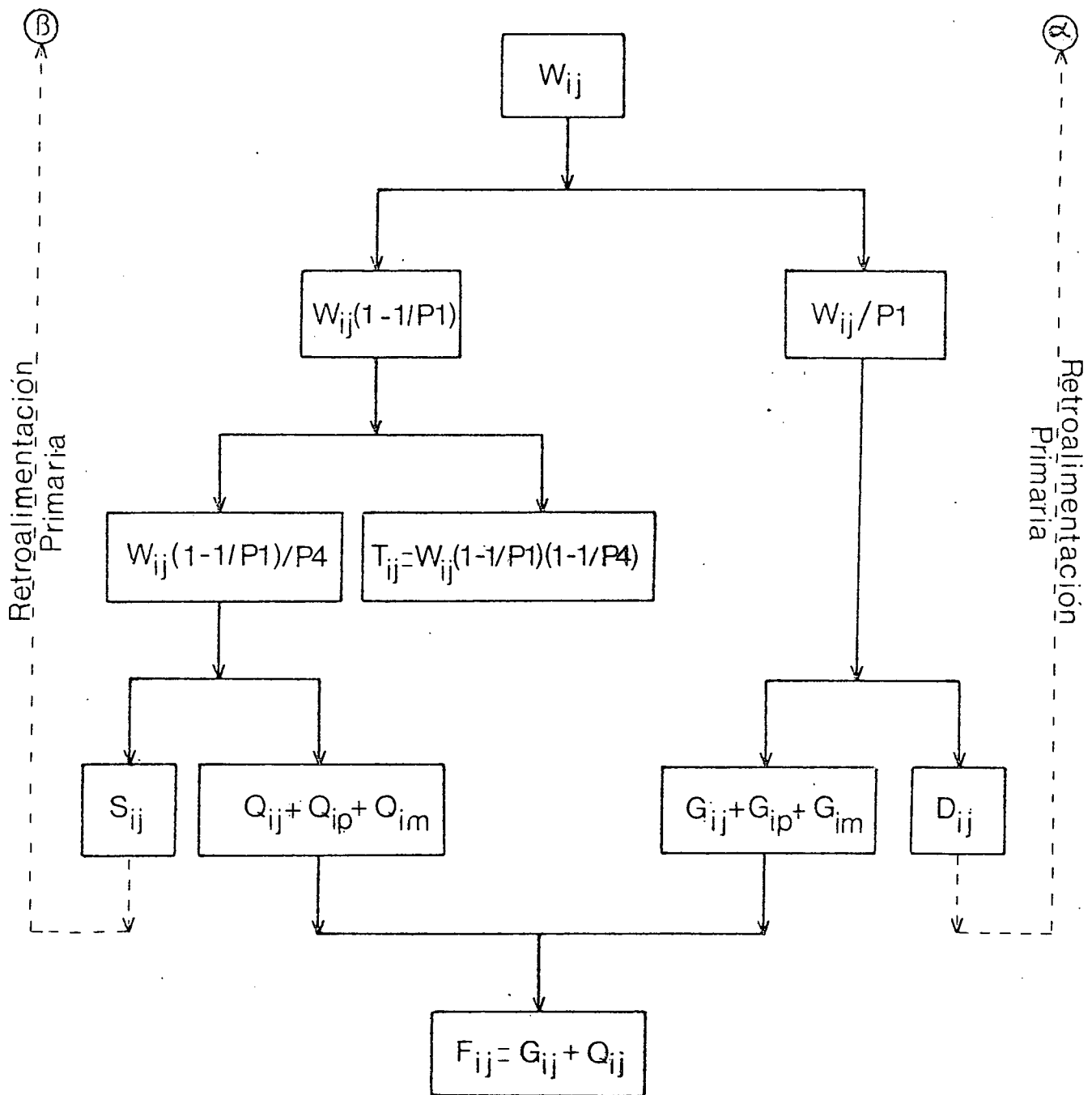


Fig. N° 5

Esquema para la Tercera Formulación  
del Modelo BALANCE MODIFICADO

$$S_{ij} = W_{ij} \times (1-1/P1) \times (1-1/P3)/P4 \dots\dots\dots (23)$$

$$T_{ij} = W_{ij} \times (1-1/P1) \times (1-1/P4) \dots\dots\dots (24)$$

$$F_{ij} = G_{ij} + Q_{ij} \dots\dots\dots (25)$$

En las tres formulaciones el subíndice  $i$  varía desde 1 hasta  $N$  ( $i=1,N$ ), donde  $N$  representa el número total de elementos de la serie de tiempo; el subíndice  $j$  varía desde 1 hasta  $K$  ( $j=1,K$ ), donde  $K$  representa el número de tramos de la cuenca.

Los subíndices  $p$  y  $m$  representan los tramos de orden inferior al orden del tramo  $j$  que se unen para formar a éste.

## 6.- PLANTEAMIENTO METODOLOGICO

En esta parte del trabajo se exponen los pasos seguidos para el desarrollo del modelo BALANCE MODIFICADO.

La cuenca escogida como ejemplo para la implementación del modelo es la del río Cuira, afluente del Tuy, ya que cuenta con información básica suficiente y confiable (Fig. Nº 6). Está situada entre los 9° 57' - 10° 13' latitud norte y los 66° 07' - 66° 13' longitud oeste, en el Distrito Acevedo, Edo. Miranda, con una superficie de 563 Km<sup>2</sup>. El relieve es montañoso, con alturas entre 40 y 1200 msnm. El clima es monzónico tropical con bosque húmedo; la vegetación predominante es mesófila arbórea, bosques densos compuestos por especies siempre verdes mezclados con vegetación arbustiva y subarbustiva. La información climática e hidrométrica usada está representada en los Cuadros Nº 2, Nº 3 y Nº 4.

### 6.1.- Subdivisión de la Cuenca en Tramos

Una vez elegida la cuenca para la aplicación del modelo se procede a dividir la red fluvial que la forma en tramos, partiendo de la definición de tramo de corriente (aparte 4.1, pág. 10). Definidos así los tramos de corriente, automáticamente quedan definidos los tramos de cuenca y con ello su área tributaria. La cuenca en estudio se dividió en cinco tramos.

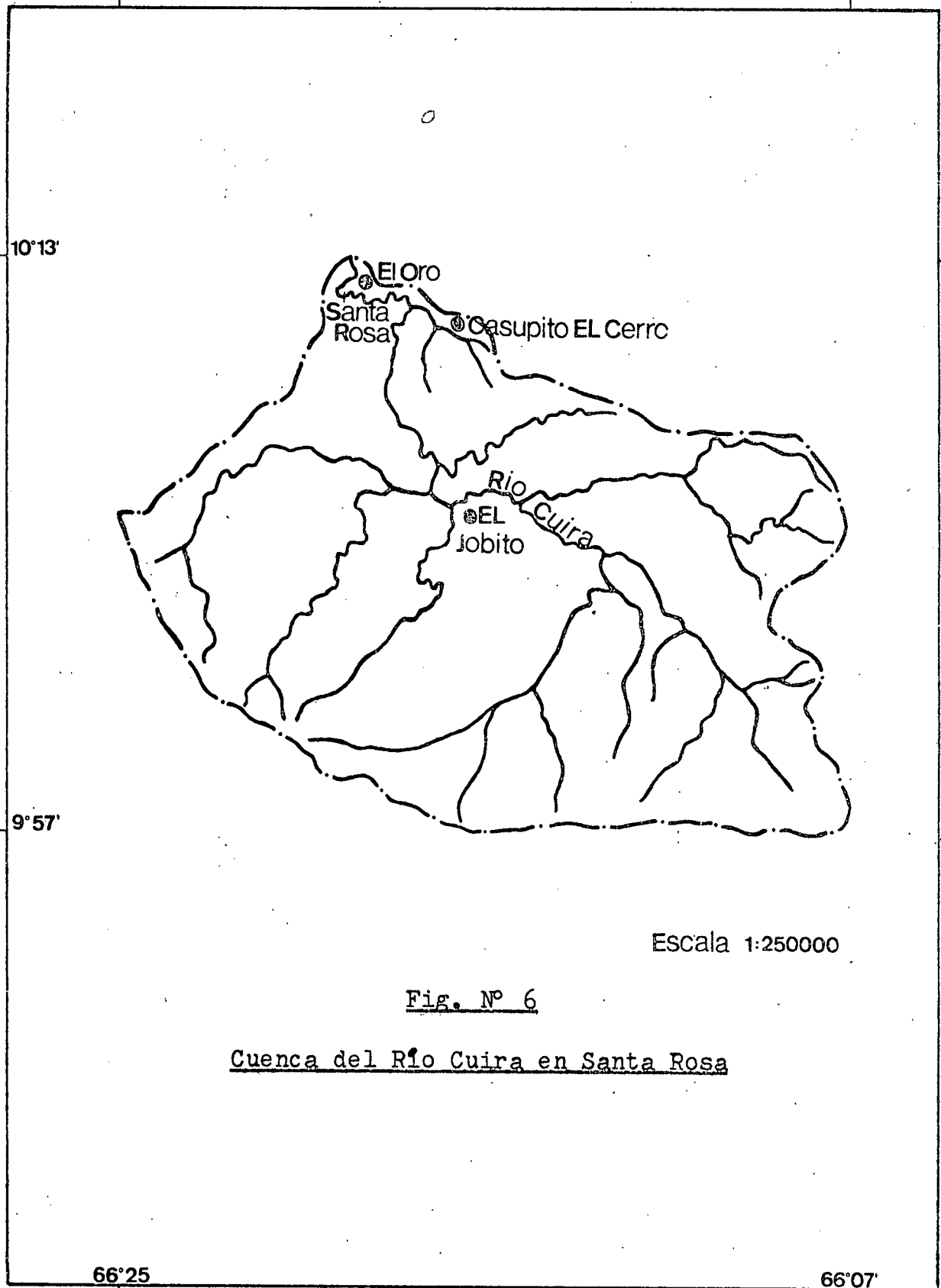


Fig. Nº 6

Cuenca del Río Cuirá en Santa Rosa

Cuadro Nº 2

Estaciones Pluviométricas para cada Segmento de  
la Cuenca del Río Cuirá en Santa Rosa

Estación	Latitud	Longitud	Período de Registro
El Jobito	10° 07'	66° 17'	1960 - 1980
Casupito El Cerro	10° 11'	66° 17'	1960 - 1980

Cuadro Nº 3

Estaciones Evaporimétricas para cada Segmento de  
la Cuenca del Río Cuirá en Santa Rosa

Estación	Latitud	Longitud	Período de Registro
El Jobito	10° 07'	66° 17'	1960 - 1980
El Oro	10° 12'	66° 19'	1961 - 1981

Cuadro Nº 4

Estaciones Fluviométricas para la Cuenca  
del Río Cuirá en Santa Rosa

Estación	Latitud	Longitud	Período de Registro
Santa Rosa	10° 12'	66° 19'	1961 - 1973

## 6.2.- Número de Orden de los Tramos

Se asignó a cada tramo de corriente el número de orden según la definición siguiente: los tramos de corriente fuente u origen son de orden 1; donde se juntan dos corrientes de primer orden se forma un tramo de corriente de orden 2; donde se juntan dos tramos de corriente de orden 2, se forma otro de orden 3 y así sucesivamente. La corriente principal tiene el número de orden mayor (7). Este procedimiento se realiza bajo la norma de que a una conexión concurren solo dos tramos de corriente (Fig. N° 7). La cuenca en estudio contiene tramos de órdenes 1 y 2, según la subdivisión realizada. Es de hacer notar que en este trabajo solo se llega a un número de orden máximo 2 (Fig. N° 8) debido a la división en tramos seleccionada; si esta hubiese sido más detallada el número de orden máximo sería mayor. En efecto, debe recordarse que el número de orden se asigna al tramo considerado como subcuenca, obviando el hecho de que físicamente existan en dicho tramo canales con número de orden superior al asignado (ver Fig. N° 9).

## 6.3.- Numeración de los Tramos

La numeración se realizó comenzando desde los tramos con canales de menor orden hacia los de mayor orden, teniendo el tramo de salida de la cuenca el número mayor (Fig. N° 10).

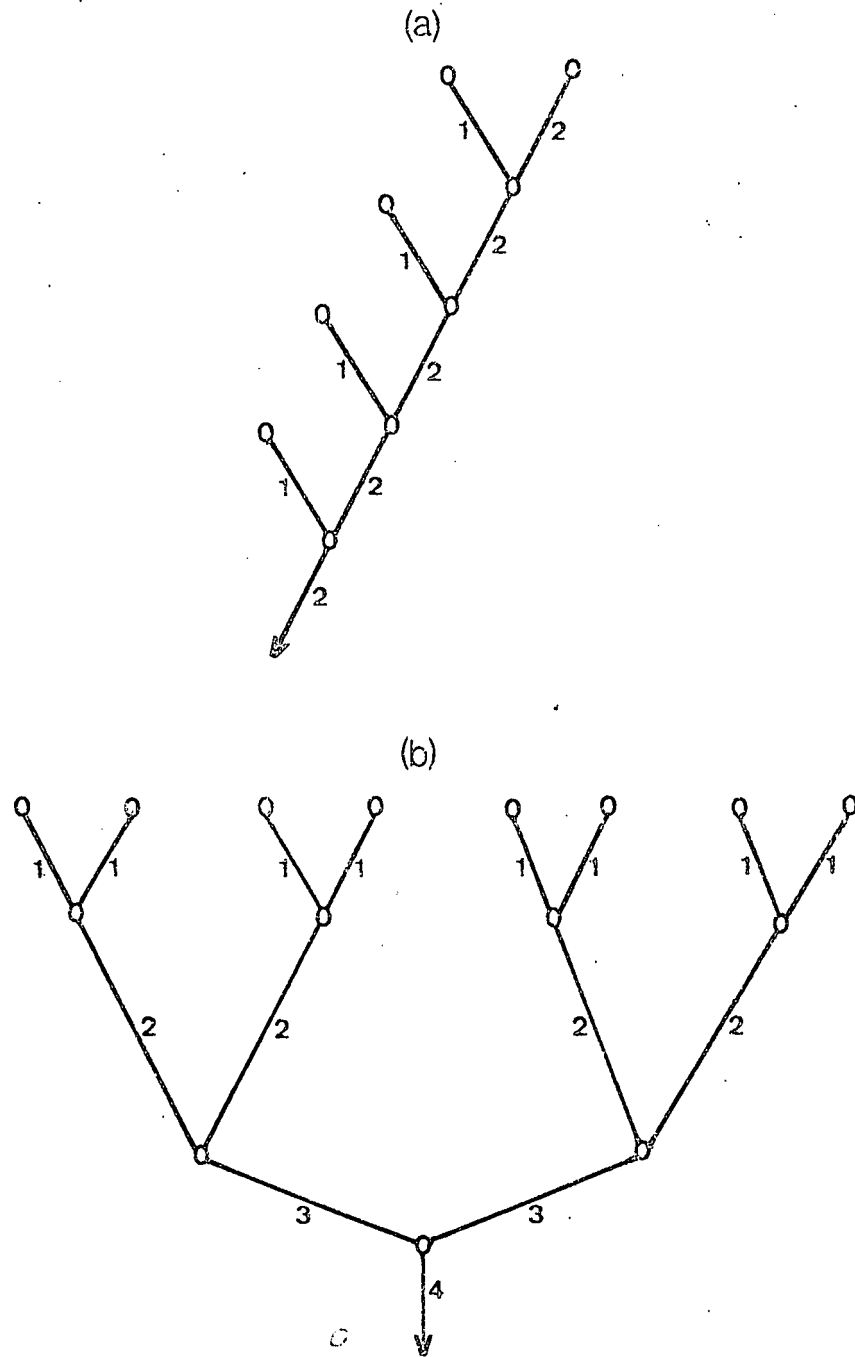


Fig. N° 7

Dos Ejemplos para la Asignación del Número de Orden

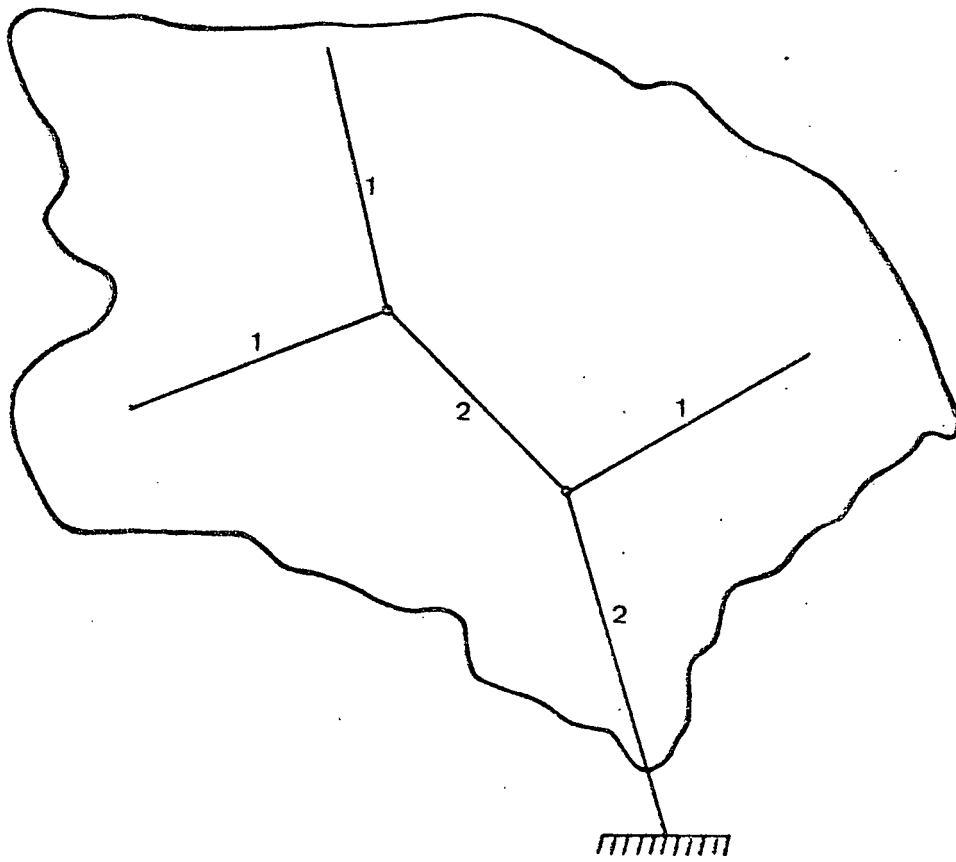


Fig. Nº 8

Números de Orden de los Tramos

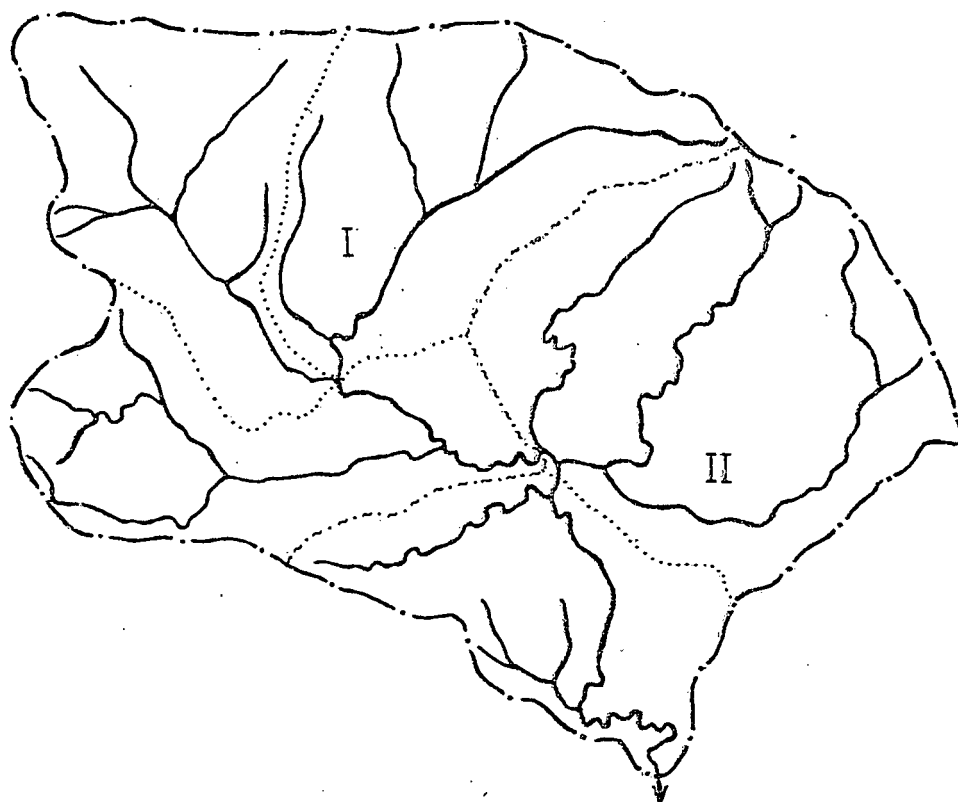
Cuenca del Río Cuirá en Santa Rosa

Fig. Nº 9

División en Tramos y Segmentos

Cuenca del Río Cuira

en Santa Rosa



.... Divisoria de tramo

..... Divisoria de segmento

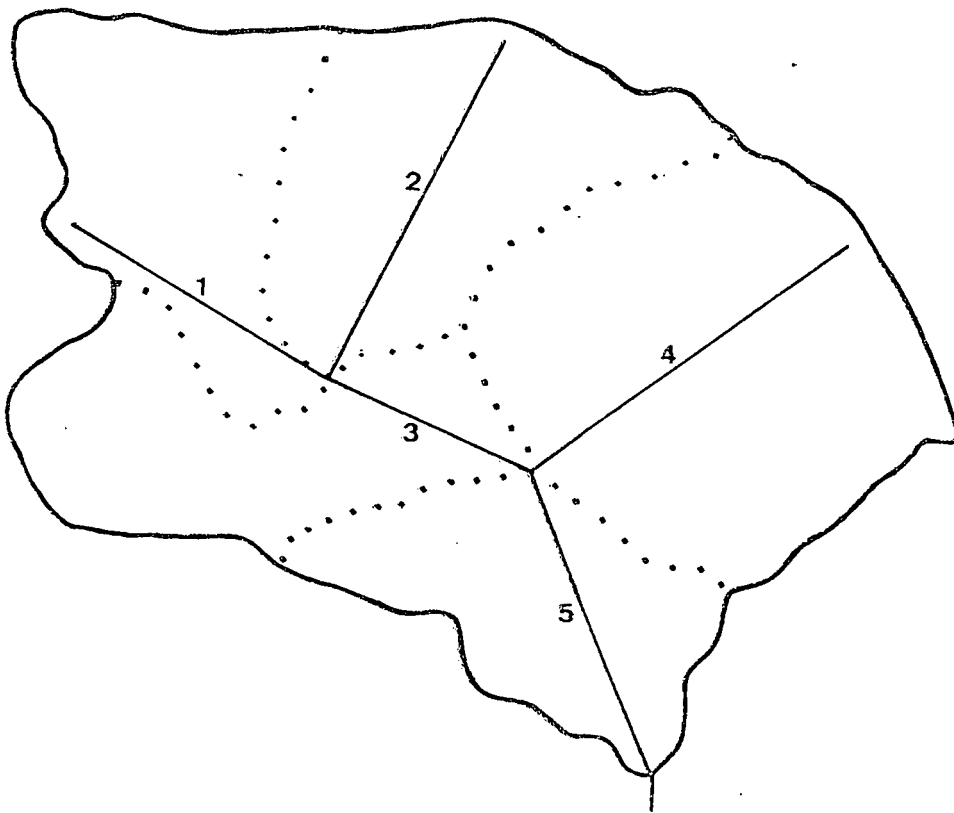


Fig. Nº 10

Numeración de los Tramos

Cuenca del Río Cuira en Santa Rosa

#### 6.4.- Segmentación de la Cuenca

Se dividió en dos segmentos, asignando a cada uno de ellos una fuente de datos (estación con mediciones de precipitación y/o evaporación), de acuerdo a la disponibilidad de éstos.

El segmento I comprende la parte alta de la cuenca, con un área de 352,4 Km<sup>2</sup> y la red de canales está formada por 3 tramos; se le asignó la estación El Jobito para precipitación y evaporación.

El segmento II comprende la parte baja de la cuenca, hasta la desembocadura en el Tuy; tiene un área de 210,6 Km<sup>2</sup> y la red de canales la forman dos tramos; las estaciones asignadas son Casupito-El Cerro para precipitación y El Oro para evaporación.

En la Fig. Nº 9 se presenta la cuenca dividida en tramos y segmentos.

#### 6.5.- Proceso de Modelación

Los pasos anteriormente explicados deben ser realizados por el hidrólogo previamente al proceso de simulación.

El proceso general a seguir en una simulación (proceso de modelación) consiste en asignar parámetros y variables al modelo, se simulan acciones históricas conocidas y se comparan los resultados con los datos reales; si éstos son coherentes

y existe una buena aproximación entre ellos, se pasa a la simulación propiamente dicha.

La simulación de un modelo hidrológico matemático conceptual para una cuenca determinada, se realiza en tres etapas: calibración, validación o verificación y producción. Se definen el intervalo de tiempo de trabajo y tres lapsos de tiempo  $T_1$ ,  $T_2$  y  $T_3$  correspondientes a cada una de las tres etapas antes mencionadas; deben ser preferiblemente adyacentes y donde  $T_1$  debe ir cronológicamente antes de  $T_2$ ; no así  $T_3$ , que puede estar antes de  $T_1$  o después de  $T_2$ .  $T_3$  es el lapso en el cual se conocen los datos de entrada (precipitación y evaporación) y existen datos faltantes (caudales), por lo que se aplica un modelo hidrológico matemático conceptual con la finalidad de obtener un estimado de esos datos faltantes. En los lapsos  $T_1$  y  $T_2$  se conocen tanto los datos de entrada como los datos observados correspondientes a los faltantes en el lapso  $T_3$ . Los observados se usan únicamente para hacer comparaciones con los simulados en ambos períodos, según criterios predefinidos.

#### 6.5.1.- Calibración del Modelo

Es la parte del proceso de modelación en la cual se fijan los valores iniciales de los parámetros y en base a los valores de las variables de entrada para el período  $T_1$  y a los valores de las constantes de la cuenca se calculan los caudales simulados y se comparan con los observados en el mismo período. Si se cumple el criterio de comparación establecido (para esto

es necesario hacer sucesivos ajustes), se pasa al proceso de validación, de lo contrario se cambian los valores de los parámetros.

En este trabajo el proceso de calibración se realizó tanto para el modelo BALANCE como para el BALANCE MODIFICADO. En ambos casos se fijaron los valores iniciales de los parámetros y con los valores de las variables de entrada y constantes de la cuenca en estudio, se calcularon los caudales simulados para el período 1961-1964; se compararon con los caudales observados para el mismo período tomando en consideración las diferencias entre la media, desviación estandar y el coeficiente de variación.

En el modelo BALANCE MODIFICADO también se estableció como criterio de comparación para calibración y validación el que el error de la media simulada respecto a la media observada sea menor al 15 %, pudiendo ser cambiado este valor en el programa, en la instrucción correspondiente, según se desee.

#### 6.5.2.- Validación o Verificación del Modelo

Este proceso se realiza para el período de tiempo T2. Con los datos de entrada para dicho período, las constantes de la cuenca y el conjunto de parámetros con los cuales se cumplió el criterio establecido en la calibración (error menor al 15 %) se procede a calcular los caudales simulados y a compararlos con los caudales observados en el mismo lapso T2. Al cumplirse el criterio establecido se pasa al proceso de producción; de

lo contrario, el modelo no se puede utilizar.

### 6.5.3.- Producción

Corresponde a la parte del proceso de simulación para el período de tiempo T3. Con los valores de las variables de entrada para ese lapso, las constantes de la cuenca y los parámetros se generan los caudales simulados, los cuales son estimados de los datos faltantes.

Es de hacer notar que los procesos de validación y producción no se realizaron en este trabajo, debido a que escapan del objetivo principal del mismo. Sin embargo, el programa desarrollado permite trabajar con los tres procesos, independientemente.

La calibración, así como la validación (cuando sea realizada), son efectuadas solamente en el tramo de salida de la cuenca ( $j=K$ ), ya que es el único que cuenta con información hidrométrica.

El proceso de producción se cumple para todos los tramos, es decir, se pueden simular caudales en tantos puntos como cierres de tramo existan.

### 6.6.- Funcionamiento del Modelo BALANCE MODIFICADO

El modelo (programa de computación) está constituido por un programa principal y por una serie de subrutinas, fa-

cilmente identificables por los comentarios.

Antes de leer los datos, el programa requiere conocer el proceso de modelación: calibración, validación o producción. Esto lo realiza a través de un INPUT por pantalla.

Los datos leídos son:

- N : número de meses
- K : número de tramos
- O1 : número de orden máximo
- S : número de segmentos
- A\$ : identificación de la cuenca
- L : área de la cuenca
- A : coeficiente evaporimétrico
- T9 : intervalo de tiempo
- P1, P2, P3, P4 : parámetros

En forma de matrices lee los siguientes:

- M : datos físicos de los tramos (Tabla Nº 1)
- M1 : número de tramos correspondientes a cada número de orden (Tabla Nº 2)
- M2 : número de tramos correspondientes a cada segmento (Tabla Nº 3)
- M3 : condiciones iniciales de humedad para cada segmento (Tabla Nº 4)
- M4 : precipitación media mensual para cada segmento (Tabla Nº 5)
- M5 : evaporación media mensual para cada segmento (Tabla Nº 6)
- M6 : caudales medios mensuales observados (Tabla Nº 7)

TABLA No. 1

DATOS DE LOS TRAMOS  
CUENCA DEL RIO QUIRA EN SANTA ROSA

TRAMO No.	TRAMO AL QUE LLEGA	NUMERO DE ORDEN	AREA (KM <sup>2</sup> )	SEGMENTO
1	3	1	141	1
2	3	1	114	1
3	5	2	98	1
4	5	1	146	2
5	6	2	65	2

TABLA No. 2

DATOS DE NUMEROS DE TRAMOS  
DE CADA NUMERO DE ORDEN  
CUENCA DEL RIO QUIRA EN SANTA ROSA

No. DE ORDEN	No. DE TRAMOS
1	3
2	3

TABLA No. 3

DATOS DE NUMEROS DE TRAMOS  
DE CADA SEGMENTO  
CUENCA DEL RIO QUIRA EN SANTA ROSA

SEGMENTO	No. DE TRAMOS
1	3
2	2

TABLA No. 4

DATOS DE CONDICIONES INICIALES DE HUMEDAD  
EN LOS SEGMENTOS  
CUENCA DEL RIO QUIRA EN SANTA ROSA

(mm)				
SEGMENTO	P5	D(0, J)	R(0, J)	S(0, J)
1	150.0	50.0	150.0	50.0
2	250.0	100.0	250.0	50.0

TABLA No. 5

DATOS DE PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (MM)  
 EN LOS SEGMENTOS--CUENCA DEL RIO QUIRA  
 SEGMENTO 1: ESTACION EL JOBITO\*0.85  
 SEGMENTO 2: ESTACION CASUPITO EL CERRO\*0.94  
 PERIODO 1961-1964

INTERVALO	SEGMENTO 1	SEGMENTO 2
1	95.2	193.6
2	15.3	52.6
3	6.8	6.6
4	2.6	4.7
5	10.2	2.8
6	75.7	133.5
7	346.8	215.3
8	234.6	296.1
9	126.7	203.9
10	55.3	102.5
11	187.9	331.8
12	94.4	84.6
13	129.2	155.1
14	40.8	122.2
15	23.0	47.0
16	3.4	33.8
17	146.2	140.6
18	219.3	171.5
19	244.0	186.4
20	214.2	90.8
21	170.9	127.5
22	85.9	97.8
23	63.8	127.3
24	102.9	113.7
25	80.8	74.3
26	83.3	57.3
27	81.6	125.0
28	128.4	167.3
29	213.4	173.9
30	241.4	422.1
31	221.9	310.2
32	147.9	104.3
33	196.4	254.7
34	34.9	112.8
35	134.3	175.8
36	66.3	151.3
37	28.2	38.8
38	14.4	18.7
39	37.2	50.9
40	120.2	96.1
41	54.6	65.1
42	239.4	457.8
43	267.6	345.6

TABLA No. 5  
(CONTINUACION)

DATOS DE PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (MM)  
EN LOS SEGMENTOS--CUENCA DEL RIO QUIRA  
SEGMENTO 1: ESTACION EL JOBITO\*0.85  
SEGMENTO 2: ESTACION CASUPITO EL CERRO\*0.74  
PERIODO 1961-1964

INTERVALO	SEGMENTO 1	SEGMENTO 2
44	209.4	177.4
45	162.1	135.6
46	145.8	229.3
47	218.5	221.9
48	160.2	229.5

TABLA No. 6

DATOS DE EVAPORACION DE TINA MEDIA MENSUAL (MM)  
 EN LOS SEGMENTOS--CUENCA DEL RIO CUIRA  
 SEGMENTO 1: ESTACION EL JOBITO  
 SEGMENTO 2: ESTACION EL ORD  
 PERIODO 1961-1964

INTERVALO	SEGMENTO 1	SEGMENTO 2
1	74.0	109.1
2	98.0	120.8
3	155.9	180.1
4	164.7	191.4
5	176.6	200.1
6	93.0	139.1
7	119.3	107.6
8	143.8	98.6
9	124.3	112.5
10	135.5	108.5
11	103.3	79.2
12	116.9	97.3
13	75.1	78.1
14	91.1	102.8
15	143.7	141.9
16	159.0	181.8
17	136.3	146.0
18	114.3	94.2
19	118.9	114.2
20	119.3	125.8
21	135.8	152.4
22	141.5	156.3
23	111.7	127.8
24	102.9	108.3
25	87.9	120.9
26	96.3	116.8
27	117.9	140.8
28	142.9	139.5
29	93.6	112.8
30	121.2	126.9
31	115.9	121.2
32	118.1	142.6
33	107.9	126.6
34	144.5	156.4
35	77.1	118.0
36	95.3	105.7
37	109.9	115.2
38	116.0	140.7
39	129.0	168.2
40	128.1	151.3
41	168.3	185.2
42	101.4	112.8
43	118.0	114.0

TABLA No. 6  
(CONTINUACIÓN)

DATOS DE EVAPORACION DE TINA MEDIA MENSUAL (MM)  
EN LOS SEGMENTOS--CUENCA DEL RIO QUIRA  
SEGMENTO 1: ESTACION EL JOBITO  
SEGMENTO 2: ESTACION EL ORO  
PERIODO 1961-1964

INTERVALO	SEGMENTO 1	SEGMENTO 2
44	130.0	136.3
45	113.3	127.6
46	131.7	130.7
47	120.4	116.4
48	75.4	83.3

TABLA No. 7  
 DATOS DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES  
 TOTALES Y SUBTERRANEOS (M<sup>3</sup>/S)  
 RIO QUIRA EN SANTA ROSA  
 PERIODO 1961-1964

INTERVALO	SUPERFICIAL	SUBTERRANEO
1	8.5	2.0
2	4.8	1.9
3	5.7	1.7
4	1.4	1.4
5	0.5	0.5
6	1.5	0.7
7	21.9	0.9
8	25.6	1.2
9	11.8	1.5
10	6.7	1.8
11	13.6	2.2
12	10.9	2.5
13	9.8	2.7
14	5.8	2.7
15	3.7	2.6
16	2.0	2.0
17	2.3	2.3
18	9.8	2.5
19	13.2	2.6
20	15.4	2.7
21	18.2	2.8
22	7.2	2.9
23	5.6	3.0
24	5.6	3.1
25	5.8	3.2
26	6.0	3.3
27	6.1	3.4
28	5.4	3.5
29	13.5	3.6
30	17.6	3.7
31	21.0	3.8
32	19.7	3.9
33	20.5	4.0
34	10.9	4.0
35	10.4	4.0
36	9.6	3.9
37	3.4	3.4
38	2.5	2.5
39	2.5	2.5
40	4.1	2.3
41	1.8	1.8
42	8.1	1.6
43	14.7	1.6
44	14.4	1.7

TABLA No. 7  
(CONTINUACION)DATOS DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES  
TOTALES Y SUBTERRANEOS (M<sup>3</sup>/S)  
RIO QUIRA EN SANTA ROSA  
PERIODO 1961-1964

INTERVALO	SUPERFICIAL	SUBTERRANEO
45	11.4	1.9
46	8.3	2.2
47	9.8	2.8
48	14.1	3.4

La primera subrutina es la de lectura de datos; éstos se hallan en un programa aparte que se anexa al programa principal mediante la instrucción MERGE.

La segunda subrutina permite asignar a cada tramo, según el segmento al cual pertenezca (M), los datos de condiciones iniciales de humedad (M3), precipitación (M4) y evaporación (M5). De aquí se pasa de nuevo al programa principal para determinar con cuál de las tres formulaciones se desea trabajar.

Una vez determinada la formulación, se pasa a la subrutina que analiza el número de orden de cada tramo; ésta, por exigencias lógicas del ordenamiento de los tramos, trabaja con los tramos de número de orden 1; de allí va a la subrutina para calcular el exceso de agua y por último a la subrutina donde se calculan los flujos de salida con la formulación escogida. De este modo calcula primero todos los flujos de salida correspondientes a tramos de orden 1.

Ya terminado este proceso, el programa regresa a la subrutina para analizar el número de orden de cada tramo. De aquí pasa a la subrutina para tramos con número de orden diferente de 1 y realiza de nuevo el cálculo de excesos de agua y luego los flujos de salida de acuerdo a la formulación escogida.

Cuando se termina el cálculo de todos los flujos de salida para todos los tramos, los imprime de acuerdo al proceso de modelación escogido al principio: calibración, validación o producción.

Por último, el programa realiza la subrutina para la estadística de la simulación y balance de agua, donde calcula la media, desviación estandar y coeficiente de variación de los caudales observados y simulados. En los casos de calibración y validación compara la media simulada con la media observada. El balance de agua se comprueba con dos ecuaciones: Entradas - Salidas y Cambio de Almacenamiento.

En la Fig. Nº 11 se presenta un esquema general del modelo BALANCE MODIFICADO. Para mayor detalle, ver Anexo.

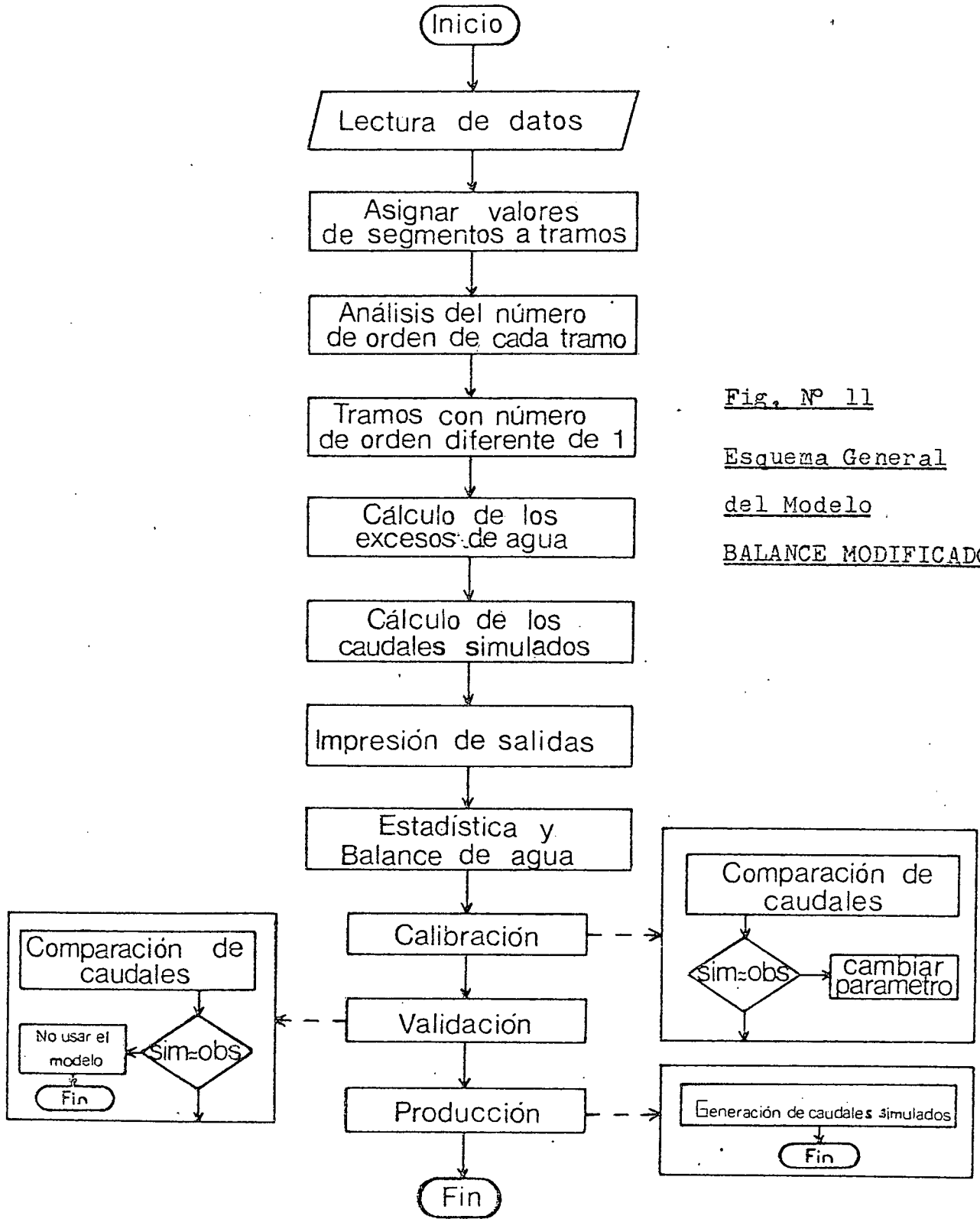


Fig. Nº 11

Esquema General

del Modelo

BALANCE MODIFICADO

## 7.- RESULTADOS

En las Tablas Nº 8 a Nº 10 se presentan los resultados de la simulación con el modelo BALANCE, en sus tres formulaciones.

En las Tablas Nº 11 a Nº 13 se presentan los resultados de la simulación con el modelo BALANCE MODIFICADO, en sus tres formulaciones.

Para esta cuenca, los resultados de la segunda formulación son idénticos a los de la primera. En la primera formulación las retroalimentaciones (D y S) no se añaden al exceso de agua (W); en la segunda se añaden directamente al exceso de agua; en la tercera, en cambio, las retroalimentaciones se suman a la precipitación y a partir de esta cantidad total es que se calcula el exceso de agua; de esto se deduce que la cantidad de flujo aportada por las retroalimentaciones en forma directa al exceso de agua no es significativa. Los resultados de la segunda formulación no se graficaron ni se analizaron por la razón aquí expuesta.

Tabla Nº 8

MODELO BALANCE FORMULACION No. 1

RÍO CUIRA EN SANTA ROSA, ENE/61 A DIC/64, DATO MENSUAL

I	P.R.E.P (mm)	T.I.N.E (mm)	E.T.R.V (mm)	A.L.M.R (mm)	S.U.P.D (mm)	S.U.B.S (mm)	S.U.P.G --	S.U.B.Q (m <sup>3</sup> /s)	F.L.U.F	F.L.U.O --	P.E.R.T (mm)
1	103.0	91.6	64.1	150.0	92.3	44.1	7.6	3.6	11.2	8.5	0.0
2	16.6	109.4	76.6	90.0	66.6	31.9	5.5	2.6	8.1	4.8	0.0
3	7.4	168.0	97.4	0.0	48.1	23.0	4.0	1.9	5.9	5.7	0.0
4	2.8	178.1	2.8	0.0	34.8	16.6	2.9	1.4	4.2	1.4	0.0
5	11.0	188.4	11.0	0.0	25.1	12.0	2.1	1.0	3.1	0.5	0.0
6	81.9	116.1	81.3	0.6	18.1	8.7	1.5	0.7	2.2	1.5	0.0
7	375.4	113.5	79.5	150.0	88.7	36.5	7.3	3.0	10.3	21.9	0.0
8	253.9	121.2	84.8	150.0	151.3	61.3	12.5	5.0	17.5	25.6	0.0
9	137.1	118.4	82.9	150.0	137.2	55.4	11.3	4.6	15.9	11.8	0.0
10	59.8	122.0	85.4	124.4	99.1	40.0	8.2	3.3	11.5	6.7	0.0
11	203.3	91.3	63.9	150.0	130.3	52.4	10.7	4.3	15.1	13.6	0.0
12	102.1	107.1	75.0	150.0	108.1	43.4	8.9	3.6	12.5	10.9	0.0
13	139.8	76.6	53.6	150.0	122.5	49.2	10.1	4.1	14.1	9.8	0.0
14	44.2	97.0	67.9	126.3	88.5	35.5	7.3	2.9	10.2	5.8	0.0
15	24.8	142.8	100.0	51.1	63.9	25.6	5.3	2.1	7.4	3.7	0.0
16	3.7	170.4	54.8	0.0	46.2	18.5	3.8	1.5	5.3	2.0	0.0
17	158.2	141.2	98.8	59.4	33.3	13.4	2.7	1.1	3.8	2.3	0.0
18	237.4	104.3	73.0	150.0	62.1	24.9	5.1	2.0	7.2	9.8	0.0
19	264.0	116.6	81.6	150.0	138.9	55.6	11.4	4.6	16.0	13.2	0.0
20	231.8	122.6	85.8	150.0	175.7	70.3	14.5	5.8	20.3	15.4	0.0
21	184.9	144.1	100.9	150.0	170.2	68.1	14.0	5.6	19.6	18.2	0.0
22	92.9	148.9	104.2	138.7	122.9	49.2	10.1	4.1	14.2	7.2	0.0
23	69.0	119.8	83.9	123.8	88.8	35.5	7.3	2.9	10.2	5.6	0.0
24	111.3	105.6	73.9	150.0	69.9	28.0	5.8	2.3	8.1	5.6	0.0
25	87.4	104.4	73.1	150.0	57.9	23.1	4.8	1.9	6.7	5.8	0.0
26	90.2	106.6	74.6	150.0	49.8	19.9	4.1	1.6	5.7	6.0	0.0
27	88.3	129.4	90.6	147.7	36.0	14.4	3.0	1.2	4.2	6.1	0.0
28	138.9	141.2	98.8	150.0	45.5	18.2	3.7	1.5	5.2	5.4	0.0
29	230.9	103.2	72.2	150.0	114.7	45.9	9.5	3.8	13.2	13.5	0.0
30	261.3	124.1	86.9	150.0	172.8	69.1	14.2	5.7	19.9	17.6	0.0
31	240.1	118.6	83.0	150.0	205.8	82.3	17.0	6.8	23.7	21.0	0.0
32	160.1	130.4	91.3	150.0	184.2	73.7	15.2	6.1	21.2	19.7	0.0
33	212.5	117.3	82.1	150.0	200.3	80.1	16.5	6.6	23.1	20.5	0.0
34	37.7	150.5	105.4	82.4	144.6	57.9	11.9	4.8	16.7	10.9	0.0
35	145.4	97.6	68.3	150.0	109.3	43.7	9.0	3.6	12.6	10.4	0.0
36	71.8	101.4	71.0	150.0	79.4	31.8	6.5	2.6	9.2	9.6	0.0
37	30.5	112.6	78.8	101.7	57.3	22.9	4.7	1.9	6.6	3.4	0.0
38	15.5	128.4	89.9	27.3	41.4	16.6	3.4	1.4	4.8	2.5	0.0
39	40.3	148.6	67.6	0.0	29.9	12.0	2.5	1.0	3.4	2.5	0.0
40	130.1	139.7	97.8	32.3	21.6	8.6	1.8	0.7	2.5	4.1	0.0
41	59.1	176.8	91.4	0.0	15.6	6.2	1.3	0.5	1.8	1.8	0.0
42	259.1	107.1	75.0	150.0	28.9	11.5	2.4	1.0	3.3	8.1	0.0

Tabla N° 8 (cont)

## MODELO BALANCE...FORMULACION No. 1

=====

RIO CUIRA EN SANTA ROSA, ENE/61 A DIC/64, DATO MENSUAL

=====

	I	PRE.P	TIN.E	ETR.V	ALM.R	SUP.D	SUB.S	SUP.G	SUB.Q	FLU.F	FLU.O	PER.T
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	--	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)	--	(mm)
43	289.6	116.0	81.2	150.0	128.4	51.3	10.6	4.2	14.8	14.7	0.0	
44	226.6	133.2	93.2	150.0	161.5	64.6	13.3	5.3	18.6	14.4	0.0	
45	175.4	121.5	85.0	150.0	163.2	65.3	13.5	5.4	18.8	11.4	0.0	
46	157.8	131.2	91.8	150.0	151.9	60.8	12.5	5.0	17.5	8.3	0.0	
47	236.4	118.4	82.9	150.0	188.9	75.6	15.6	6.2	21.8	9.8	0.0	
48	173.4	79.4	55.6	150.0	197.2	78.9	16.3	6.5	22.8	14.1	0.0	

=====

P1= 1.4                      P2= 3.6                      P3= 3.6                      P4= 1

R(0)= 150                      D(0)= 100                      S(0)= 50                      P5= 150

MEDIA SIM.= 11.51              DESV.ESTANDAR SIM.= 6.60              COEF.VAR.SIM.= 0.57

MEDIA OBS.= 9.44              DESV.ESTANDAR OBS.= 6.20              COEF.VAR.OBS.= 0.66

MEDIAS Y DESVIACIONES ESTANDAR EN m<sup>3</sup>/s

ENTRADAS-SALIDAS= 126.11 mm              CAMBIO DE ALMACENAMIENTO= 126.11 mm

COEF. DE CORRELACION = 0.81

Tabla Nº 9

MODELO BALANCE FORMULACION No. 2

RÍO QUIRA EN SANTA ROSA, ENE/61 A DIC/64, DATO MENSUAL

	I PRE.F (mm)	TIN.E (mm)	ETR.V (mm)	ALM.R (mm)	SUP.D (mm)	SUB.S (mm)	SUP.G --	SUB.Q (m <sup>3</sup> /s)	FLU.F	FLU.O --	PER.T (mm)
1	103.0	91.6	64.1	150.0	97.4	39.0	-8.0	3.2	11.2	8.5	0.0
2	16.6	109.4	76.6	90.0	70.4	28.1	5.8	2.3	8.1	4.8	0.0
3	7.4	168.0	97.4	0.0	50.8	20.3	4.2	1.7	5.9	5.7	0.0
4	2.8	178.1	2.8	0.0	36.7	14.7	3.0	1.2	4.2	1.4	0.0
5	11.0	188.4	11.0	0.0	26.5	10.6	2.2	0.9	3.1	0.5	0.0
6	81.9	116.1	81.3	0.6	19.1	7.7	1.6	0.6	2.2	1.5	0.0
7	375.4	113.5	79.5	150.0	89.4	35.8	7.4	2.9	10.3	21.9	0.0
8	253.9	121.2	84.8	150.0	151.8	60.7	12.5	5.0	17.5	25.6	0.0
9	137.1	118.4	82.9	150.0	137.6	55.0	11.3	4.5	15.9	11.8	0.0
10	59.8	122.0	85.4	124.4	99.4	39.8	8.2	3.3	11.5	6.7	0.0
11	203.3	91.3	63.9	150.0	130.5	52.2	10.8	4.3	15.1	13.6	0.0
12	102.1	107.1	75.0	150.0	108.2	43.3	8.9	3.6	12.5	10.9	0.0
13	139.8	76.6	53.6	150.0	122.6	49.1	10.1	4.0	14.1	9.8	0.0
14	44.2	97.0	67.9	126.3	88.6	35.4	7.3	2.9	10.2	5.8	0.0
15	24.8	142.8	100.0	51.1	64.0	25.6	5.3	2.1	7.4	3.7	0.0
16	3.7	170.4	54.8	0.0	46.2	18.5	3.8	1.5	5.3	2.0	0.0
17	158.2	141.2	98.8	59.4	33.4	13.3	2.7	1.1	3.8	2.3	0.0
18	237.4	104.3	73.0	150.0	62.1	24.9	5.1	2.0	7.2	9.8	0.0
19	264.0	116.6	81.6	150.0	139.0	55.6	11.5	4.6	16.0	13.2	0.0
20	231.8	122.6	85.8	150.0	175.7	70.3	14.5	5.8	20.3	15.4	0.0
21	184.9	144.1	100.9	150.0	170.2	68.1	14.0	5.6	19.6	18.2	0.0
22	92.9	148.9	104.2	138.7	122.9	49.2	10.1	4.1	14.2	7.2	0.0
23	69.0	119.8	83.9	123.8	88.8	35.5	7.3	2.9	10.2	5.6	0.0
24	111.3	105.6	73.9	150.0	69.9	28.0	5.8	2.3	8.1	5.6	0.0
25	87.4	104.4	73.1	150.0	57.9	23.1	4.8	1.9	6.7	5.8	0.0
26	90.2	106.6	74.6	150.0	49.8	19.9	4.1	1.6	5.7	6.0	0.0
27	88.3	129.4	90.6	147.7	36.0	14.4	3.0	1.2	4.2	6.1	0.0
28	138.9	141.2	98.8	150.0	45.5	18.2	3.7	1.5	5.2	5.4	0.0
29	230.9	103.2	72.2	150.0	114.7	45.9	9.5	3.8	13.2	13.5	0.0
30	261.3	124.1	86.9	150.0	172.8	69.1	14.2	5.7	19.9	17.6	0.0
31	240.1	118.6	83.0	150.0	205.8	82.3	17.0	6.8	23.7	21.0	0.0
32	160.1	130.4	91.3	150.0	184.2	73.7	15.2	6.1	21.2	19.7	0.0
33	212.5	117.3	82.1	150.0	200.3	80.1	16.5	6.6	23.1	20.5	0.0
34	37.7	150.5	105.4	82.4	144.6	57.9	11.9	4.8	16.7	10.9	0.0
35	145.4	97.6	68.3	150.0	109.3	43.7	9.0	3.6	12.6	10.4	0.0
36	71.8	101.4	71.0	150.0	79.4	31.8	6.5	2.6	9.2	9.6	0.0
37	30.5	112.6	78.8	101.7	57.3	22.9	4.7	1.9	6.6	3.4	0.0
38	15.5	128.4	89.9	27.3	41.4	16.6	3.4	1.4	4.8	2.5	0.0
39	40.3	148.6	67.6	0.0	29.9	12.0	2.5	1.0	3.4	2.5	0.0
40	130.1	139.7	97.8	32.3	21.6	8.6	1.8	0.7	2.5	4.1	0.0
41	59.1	176.8	91.4	0.0	15.6	6.2	1.3	0.5	1.8	1.8	0.0
42	259.1	107.1	75.0	150.0	28.9	11.5	2.4	1.0	3.3	8.1	0.0

Tabla Nº 9 (cont)

MODELO BALANCE FORMULACION No. 2

=====

RIO CUIRA EN SANTA ROSA, ENE/61 A DIC/64, DATO MENSUAL

=====

	I PRE.P (mm)	TIN.E (mm)	ETR.V (mm)	ALM.R (mm)	SUP.D (mm)	SUB.S (mm)	SUP.G --	SUB.Q (m <sup>3</sup> /s)	FLU.F --	FLU.O --	PER.T (mm)
43	289.6	116.0	81.2	150.0	128.4	51.3	10.6	4.2	14.8	14.7	0.0
44	226.6	133.2	93.2	150.0	161.5	64.6	13.3	5.3	18.6	14.4	0.0
45	175.4	121.5	85.0	150.0	163.2	65.3	13.5	5.4	18.8	11.4	0.0
46	157.8	131.2	91.8	150.0	151.9	60.8	12.5	5.0	17.5	8.3	0.0
47	236.4	118.4	82.9	150.0	188.9	75.6	15.6	6.2	21.8	9.8	0.0
48	173.4	79.4	55.6	150.0	197.2	78.9	16.3	6.5	22.8	14.1	0.0

=====

P1= 1.4                      P2= 3.6                      P3= 3.6                      P4= 1  
 R(0)= 150                      D(0)= 100                      S(0)= 50                      P5= 150  
 MEDIA SIM.= 11.51              DESV.ESTANDAR SIM.= 6.60              COEF.VAR.SIM.= 0.57  
 MEDIA OBS.= 9.44              DESV.ESTANDAR OBS.= 6.20              COEF.VAR.OBS.= 0.66  
 MEDIAS Y DESVIACIONES ESTANDAR EN m<sup>3</sup>/s  
 ENTRADAS-SALIDAS= 126.11 mm              CAMBIO DE ALMACENAMIENTO= 126.11 mm  
 COEF. DE CORRELACION = 0.81

Tabla Nº 10

MODELO BALANCE FORMULACION No. 3

RÍO QUIRA EN SANTA ROSA, ENE/61 A DIC/64, DATO MENSUAL

	I PRE.P (mm)	TIN.E (mm)	ETR.V (mm)	ALM.R (mm)	SUP.D (mm)	SUB.S (mm)	SUP.G --	SUB.Q (m <sup>3</sup> /s)	FLU.F	FLU.O --	PER.T (mm)
1	103.0	91.6	64.1	150.0	97.4	39.0	8.0	3.2	11.2	8.5	0.0
2	16.6	109.4	76.6	150.0	39.4	15.8	3.2	1.3	4.5	4.8	0.0
3	7.4	168.0	117.6	95.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	0.0
4	2.8	178.1	97.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0
5	11.0	188.4	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0
6	81.9	116.1	81.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0
7	375.4	113.5	79.5	150.0	75.6	30.2	6.2	2.5	8.7	21.9	0.0
8	253.9	121.2	84.8	150.0	141.8	56.7	11.7	4.7	16.4	25.6	0.0
9	137.1	118.4	82.9	150.0	130.4	52.2	10.7	4.3	15.0	11.8	0.0
10	59.8	122.0	85.4	150.0	81.0	32.4	6.7	2.7	9.3	6.7	0.0
11	203.3	91.3	63.9	150.0	130.4	52.2	10.7	4.3	15.0	13.6	0.0
12	102.1	107.1	75.0	150.0	108.2	43.3	8.9	3.6	12.5	10.9	0.0
13	139.8	76.6	53.6	150.0	122.6	49.0	10.1	4.0	14.1	9.8	0.0
14	44.2	97.0	67.9	150.0	76.3	30.5	6.3	2.5	8.8	5.8	0.0
15	24.8	142.8	100.0	150.0	16.3	6.5	1.3	0.5	1.9	3.7	0.0
16	3.7	170.4	119.3	57.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0
17	158.2	141.2	98.8	116.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0
18	237.4	104.3	73.0	150.0	67.6	27.0	5.6	2.2	7.8	9.8	0.0
19	264.0	116.6	81.6	150.0	142.9	57.2	11.8	4.7	16.5	13.2	0.0
20	231.8	122.6	85.8	150.0	178.5	71.4	14.7	5.9	20.6	15.4	0.0
21	184.9	144.1	100.9	150.0	172.3	68.9	14.2	5.7	19.9	18.2	0.0
22	92.9	148.9	104.2	150.0	118.6	47.4	9.8	3.9	13.7	7.2	0.0
23	69.0	119.8	83.9	150.0	78.0	31.2	6.4	2.6	9.0	5.6	0.0
24	111.3	105.6	73.9	150.0	75.6	30.2	6.2	2.5	8.7	5.6	0.0
25	87.4	104.4	73.1	150.0	62.0	24.8	5.1	2.0	7.2	5.8	0.0
26	90.2	106.6	74.6	150.0	52.8	21.1	4.4	1.7	6.1	6.0	0.0
27	88.3	129.4	90.6	150.0	37.0	14.8	3.0	1.2	4.3	6.1	0.0
28	138.9	141.2	98.8	150.0	47.4	18.9	3.9	1.6	5.5	5.4	0.0
29	230.9	103.2	72.2	150.0	116.1	46.4	9.6	3.8	13.4	13.5	0.0
30	261.3	124.1	86.9	150.0	173.8	69.5	14.3	5.7	20.0	17.6	0.0
31	240.1	118.6	83.0	150.0	206.6	82.6	17.0	6.8	23.8	21.0	0.0
32	160.1	130.4	91.3	150.0	184.7	73.9	15.2	6.1	21.3	19.7	0.0
33	212.5	117.3	82.1	150.0	200.6	80.3	16.5	6.6	23.1	20.5	0.0
34	37.7	150.5	105.4	150.0	110.0	44.0	9.1	3.6	12.7	10.9	0.0
35	145.4	97.6	68.3	150.0	119.2	47.7	9.8	3.9	13.8	10.4	0.0
36	71.8	101.4	71.0	150.0	86.5	34.6	7.1	2.9	10.0	9.6	0.0
37	30.5	112.6	78.8	150.0	37.6	15.0	3.1	1.2	4.3	3.4	0.0
38	15.5	128.4	89.9	128.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0
39	40.3	148.6	104.0	64.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0
40	130.1	139.7	97.8	96.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	0.0
41	59.1	176.8	123.8	32.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0
42	259.1	107.1	75.0	150.0	34.2	15.7	2.8	1.1	3.9	8.1	0.0

Tabla Nº 10 (cont)

MODELO BALANCE FORMULACION No. 3

=====

RIO QUIRA EN SANTA ROSA, ENE/61 A DIC/64, DATO MENSUAL

=====

	I PRE.P (mm)	TIN.E (mm)	ETR.V (mm)	ALM.R (mm)	SUP.D (mm)	SUB.S (mm)	SUP.G --	SUB.O (m <sup>3</sup> /s)	FLU.F --	FLU.O --	PER.T (mm)
43	289.6	116.0	81.2	150.0	132.2	52.9	10.9	4.4	15.2	14.7	0.0
44	226.6	133.2	93.2	150.0	164.3	65.7	13.5	5.4	18.9	14.4	0.0
45	175.4	121.5	85.0	150.0	165.3	66.1	13.6	5.4	19.1	11.4	0.0
46	157.8	131.2	91.8	150.0	153.4	61.3	12.6	5.1	17.7	8.3	0.0
47	234.4	118.4	82.9	150.0	190.0	76.0	15.7	6.3	21.9	9.8	0.0
48	173.4	79.4	55.6	150.0	198.0	79.2	16.3	6.5	22.8	14.1	0.0

=====

P1= 1.4                      P2= 3.6                      P3= 3.6                      P4= 1  
R(0)= 150                      D(0)= 100                      S(0)= 50                      P5= 150  
MEDIA SIM.= 10.39              DESV.ESTANDAR SIM.= 7.73              COEF.VAR.SIM.= 0.74  
MEDIA OBS.= 9.44              DESV.ESTANDAR OBS.= 6.20              COEF.VAR.OBS.= 0.66  
MEDIAS Y DESVIACIONES ESTANDAR EN m<sup>3</sup>/s  
ENTRADAS-SALIDAS= 127.17 mm              CAMBIO DE ALMACENAMIENTO= 127.17 mm  
COEF. DE CORRELACION = 0.82

Tabla N° 11

MODELO BALANCE MODIFICADO--FORMULACION No.= 1

=====

RIO QUIRA EN SANTA ROSA, ENE/61 A DIC/64, DATO MENSUAL

=====

TRAMO No.= 5

=====

I	PRE.P (mm)	TIN.E (mm)	ETR.V (mm)	ALM.R (mm)	SUP.D (mm)	SUB.S (mm)	SUP.G --	SUB.Q (m <sup>3</sup> /s)	FLU.F	FLU.O --	PER.T (mm)
1	193.6	109.1	76.4	250.0	81.1	39.7	5.5	3.5	9.1	8.5	0.0
2	52.6	120.8	84.6	218.0	58.6	28.6	4.0	2.6	6.5	4.8	0.0
3	6.6	180.1	126.1	98.6	42.3	20.7	2.9	1.9	4.7	5.7	0.0
4	4.7	191.4	103.3	0.0	30.6	14.9	2.1	1.3	3.4	1.4	0.0
5	2.8	200.1	2.8	0.0	22.1	10.8	1.5	1.0	2.5	0.5	0.0
6	133.5	139.1	97.4	36.1	15.9	7.8	1.1	0.7	1.8	1.5	0.0
7	215.3	107.6	75.3	176.1	11.5	5.6	4.1	1.8	5.9	21.9	0.0
8	296.1	98.6	69.0	250.0	87.3	35.7	8.9	3.7	12.7	25.6	0.0
9	203.9	112.5	78.8	250.0	127.6	51.6	9.5	3.9	13.4	11.8	0.0
10	102.5	108.5	76.0	250.0	105.9	42.7	7.3	3.0	10.3	6.7	0.0
11	331.8	79.2	55.4	250.0	219.0	87.9	11.7	4.7	16.4	13.6	0.0
12	84.6	97.3	68.1	250.0	166.7	66.9	9.0	3.7	12.7	10.9	0.0
13	155.1	78.1	54.7	250.0	172.2	69.0	10.2	4.1	14.3	9.8	0.0
14	122.2	102.8	72.0	250.0	150.3	60.2	8.1	3.3	11.4	5.8	0.0
15	47.0	141.9	99.3	197.7	108.5	43.5	5.9	2.4	8.2	3.7	0.0
16	33.8	181.8	127.3	104.2	78.4	31.4	4.2	1.7	6.0	2.0	0.0
17	140.6	146.0	102.2	142.6	56.6	22.7	3.1	1.2	4.3	2.3	0.0
18	171.5	94.2	65.9	248.2	40.9	16.4	3.3	1.3	4.6	9.8	0.0
19	186.4	114.2	79.9	250.0	83.5	33.4	8.3	3.3	11.6	13.2	0.0
20	90.8	125.8	88.1	250.0	61.7	24.7	9.5	3.8	13.3	15.4	0.0
21	127.5	152.4	106.7	250.0	55.3	22.1	9.2	3.7	12.9	18.2	0.0
22	97.8	156.3	109.4	238.4	40.0	16.0	6.7	2.7	9.3	7.2	0.0
23	127.3	127.8	89.5	250.0	42.4	17.0	5.2	2.1	7.3	5.6	0.0
24	113.7	108.3	75.8	250.0	50.2	20.1	+5	1.8	6.3	5.6	0.0
25	74.3	120.9	84.6	239.7	36.2	14.5	3.7	1.5	5.2	5.8	0.0
26	57.3	116.8	81.8	215.2	26.2	10.5	3.1	1.2	4.4	6.0	0.0
27	125.0	140.8	98.6	241.7	18.9	7.6	2.3	0.9	3.2	6.1	0.0
28	167.3	139.5	97.7	250.0	45.3	18.1	3.3	1.3	4.7	5.4	0.0
29	173.9	112.8	79.0	250.0	81.7	32.7	7.9	3.1	11.0	13.5	0.0
30	422.1	126.9	88.8	250.0	230.9	92.4	15.1	6.1	21.2	17.6	0.0
31	310.2	121.2	84.8	250.0	283.0	113.2	18.3	7.3	25.6	21.0	0.0
32	104.3	142.6	99.8	250.0	206.7	82.7	15.0	6.0	21.0	19.7	0.0
33	254.7	126.6	88.6	250.0	235.0	94.0	16.7	6.7	23.4	20.5	0.0
34	112.8	156.4	109.5	250.0	171.4	68.6	12.1	4.8	16.9	10.9	0.0
35	175.8	118.0	82.6	250.0	171.9	68.8	10.6	4.2	14.8	10.4	0.0
36	151.3	105.7	74.0	250.0	164.0	65.6	8.9	3.6	12.4	9.6	0.0
37	38.8	115.2	80.6	208.2	118.5	47.4	6.4	2.6	9.0	3.4	0.0
38	18.7	140.7	98.5	128.4	85.6	34.2	4.6	1.9	6.5	2.5	0.0
39	50.9	168.2	117.7	61.5	61.8	24.7	3.3	1.3	4.7	2.5	0.0
40	96.1	151.3	105.9	51.7	44.6	17.8	2.4	1.0	3.4	4.1	0.0

=====

Tabla Nº 11 (cont)

MODELO BALANCE MODIFICADO--FORMULACION No.= 1

=====  
 RIO CUIRA EN SANTA ROSA, ENE/61 A DIC/64, DATO MENSUAL  
 =====

TRAMO No.= 5

=====  
 I PRE.P TIN.E ETR.V ALM.R SUP.D SUB.S SUP.G SUB.Q FLU.F FLU.O PER.T  
 (mm) (mm) (mm) (mm) (mm) (mm) -- (m<sup>3</sup>/s) -- (mm)  
 =====

41	65.1	185.2	116.8	0.0	32.2	12.9	1.7	0.7	2.4	1.8	0.0
42	457.8	112.8	79.0	250.0	89.7	35.9	3.8	1.5	5.3	8.1	0.0
43	345.6	114.0	79.8	250.0	201.9	80.8	11.9	4.8	16.7	14.7	0.0
44	177.4	136.3	95.4	250.0	188.1	75.3	13.0	5.2	18.3	14.4	0.0
45	135.6	129.6	90.7	250.0	159.0	63.6	12.3	4.9	17.3	11.4	0.0
46	229.3	130.7	91.5	250.0	185.9	74.4	12.5	5.0	17.5	8.3	0.0
47	221.9	116.4	81.5	250.0	206.7	82.7	14.9	5.9	20.8	9.8	0.0
48	229.5	83.3	58.3	250.0	237.6	95.0	16.3	6.5	22.8	14.1	0.0

=====

## CALIBRACION DEL MODELO

P1= 1.4                      P2= 3.6                      P3= 3.6                      P4= 1  
 R(0,J)= 150                      D(0,J)= 100                      S(0,J)= 50                      P5(J)= 250  
 MEDIA SIM.= 10.78                      DESV.ESTANDAR SIM.= 6.44                      COEF.VAR.SIM.= 0.60  
 MEDIA OBS.= 9.44                      DESV.ESTANDAR OBS.= 6.20                      COEF.VAR.OBS.= 0.66  
 MEDIAS Y DESVIACIONES ESTANDAR EN m<sup>3</sup>/s  
 ENTRADAS-SALIDAS= 195.76 mm                      CAMBIO DE ALMACENAMIENTO= 195.76 mm  
 ERROR DE LA MEDIA SIMULADA= 12.41 %  
 COEF. DE CORRELACION= 0.72  
 EL MODELO SE CONSIDERA CALIBRADO

Tabla Nº 12

MODELO BALANCE MODIFICADO--FORMULACION No.= 2

=====

RIO QUIRA EN SANTA ROSA, ENE/61 A DIC/64, DATO MENSUAL

=====

TRAMO No.= 5

=====

I	PRE.P (mm)	TIN.E (mm)	ETR.V (mm)	ALM.R (mm)	SUP.D (mm)	SUB.S (mm)	SUP.G --	SUB.Q (m <sup>3</sup> /s)	FLU.F (mm)	FLU.O --	PER.T (mm)
1	193.6	109.1	76.4	250.0	86.3	34.5	6.5	2.6	9.1	8.5	0.0
2	52.6	120.8	84.6	218.0	62.3	24.9	4.7	1.9	6.5	4.8	0.0
3	6.6	180.1	126.1	98.6	45.0	18.0	3.4	1.4	4.7	5.7	0.0
4	4.7	191.4	103.3	0.0	32.5	13.0	2.4	1.0	3.4	1.4	0.0
5	2.8	200.1	2.8	0.0	23.5	9.4	1.8	0.7	2.5	0.5	0.0
6	133.5	139.1	97.4	36.1	17.0	6.8	1.3	0.5	1.8	1.5	0.0
7	215.3	107.6	75.3	176.1	12.2	4.9	4.2	1.7	5.9	21.9	0.0
8	296.1	98.6	69.0	250.0	87.9	35.1	9.0	3.6	12.7	25.6	0.0
9	203.9	112.5	78.8	250.0	128.0	51.2	9.6	3.8	13.4	11.8	0.0
10	102.5	108.5	76.0	250.0	106.2	42.5	7.3	2.9	10.3	6.7	0.0
11	331.8	79.2	55.4	250.0	219.2	87.7	11.7	4.7	16.4	13.6	0.0
12	84.6	97.3	68.1	250.0	166.8	66.7	9.1	3.6	12.7	10.9	0.0
13	155.1	78.1	54.7	250.0	172.3	68.9	10.2	4.1	14.3	9.8	0.0
14	122.2	102.8	72.0	250.0	150.4	60.1	8.2	3.3	11.4	5.8	0.0
15	47.0	141.9	99.3	197.7	108.6	43.4	5.9	2.4	8.2	3.7	0.0
16	33.8	181.8	127.3	104.2	78.4	31.4	4.3	1.7	6.0	2.0	0.0
17	140.6	146.0	102.2	142.6	56.6	22.7	3.1	1.2	4.3	2.3	0.0
18	171.5	94.2	65.9	248.2	40.9	16.4	3.3	1.3	4.6	9.8	0.0
19	186.4	114.2	79.9	250.0	83.5	33.4	8.3	3.3	11.6	13.2	0.0
20	90.8	125.8	88.1	250.0	61.7	24.7	9.5	3.8	13.3	15.4	0.0
21	127.5	152.4	106.7	250.0	55.3	22.1	9.2	3.7	12.9	18.2	0.0
22	97.8	156.3	109.4	238.4	40.0	16.0	6.7	2.7	9.3	7.2	0.0
23	127.3	127.8	89.5	250.0	42.4	17.0	5.2	2.1	7.3	5.6	0.0
24	113.7	108.3	75.8	250.0	50.2	20.1	4.5	1.8	6.3	5.6	0.0
25	74.3	120.9	84.6	239.7	36.2	14.5	3.7	1.5	5.2	5.8	0.0
26	57.3	116.8	81.8	215.2	26.2	10.5	3.1	1.2	4.4	6.0	0.0
27	125.0	140.8	98.6	241.7	18.9	7.6	2.3	0.9	3.2	6.1	0.0
28	167.3	139.5	97.7	250.0	45.3	18.1	3.3	1.3	4.7	5.4	0.0
29	173.9	112.8	79.0	250.0	81.7	32.7	7.9	3.1	11.0	13.5	0.0
30	422.1	126.9	88.8	250.0	230.9	92.4	15.1	6.1	21.2	17.6	0.0
31	310.2	121.2	84.8	250.0	283.0	113.2	18.3	7.3	25.6	21.0	0.0
32	104.3	142.6	99.8	250.0	206.7	82.7	15.0	6.0	21.0	19.7	0.0
33	254.7	126.6	88.6	250.0	235.0	94.0	16.7	6.7	23.4	20.5	0.0
34	112.8	156.4	109.5	250.0	171.4	68.6	12.1	4.8	16.9	10.9	0.0
35	175.8	118.0	82.6	250.0	171.9	68.8	10.6	4.2	14.8	10.4	0.0
36	151.3	105.7	74.0	250.0	164.0	65.6	8.9	3.6	12.4	9.6	0.0
37	38.8	115.2	80.6	208.2	118.5	47.4	6.4	2.6	9.0	3.4	0.0
38	18.7	140.7	98.5	128.4	85.6	34.2	4.6	1.9	6.5	2.5	0.0
39	50.9	168.2	117.7	61.5	61.8	24.7	3.3	1.3	4.7	2.5	0.0
40	96.1	151.3	105.9	51.7	44.6	17.8	2.4	1.0	3.4	4.1	0.0

=====

Tabla Nº 12 (cont)

MODELO BALANCE MODIFICADO--FORMULACION No.= 2

=====

RIO QUIRA EN SANTA ROSA, ENE/61 A DIC/64, DATO MENSUAL

=====

TRAMO No.= 5

=====

I	PRE.P (mm)	TIN.E (mm)	ETR.V (mm)	ALM.R (mm)	SUP.D (mm)	SUB.S (mm)	SUP.G --	SUB.O (m <sup>3</sup> /s)	FLU.F --	FLU.O --	PER.T (mm)
41	65.1	185.2	116.8	0.0	32.2	12.9	1.7	0.7	2.4	1.8	0.0
42	457.8	112.8	79.0	250.0	89.7	35.9	3.8	1.5	5.3	8.1	0.0
43	345.6	114.0	79.8	250.0	201.9	80.8	11.9	4.8	16.7	14.7	0.0
44	177.4	136.3	95.4	250.0	188.1	75.3	13.0	5.2	18.3	14.4	0.0
45	135.6	129.6	90.7	250.0	159.0	63.6	12.3	4.9	17.3	11.4	0.0
46	229.3	130.7	91.5	250.0	185.9	74.4	12.5	5.0	17.5	8.3	0.0
47	221.9	116.4	81.5	250.0	206.7	82.7	14.9	5.9	20.8	9.8	0.0
48	229.5	83.3	58.3	250.0	237.6	95.0	16.3	6.5	22.8	14.1	0.0

=====

## CALIBRACION DEL MODELO

P1= 1.4                      P2= 3.6                      P3= 3.6                      P4= 1

R(O,J)= 150                      D(O,J)= 100                      S(O,J)= 50                      P5(J)= 250

MEDIA SIM.= 10.78                      DESV.ESTANDAR SIM.= 6.44                      COEF.VAR.SIM.= 0.60

MEDIA OBS.= 9.44                      DESV.ESTANDAR OBS.= 6.20                      COEF.VAR.OBS.= 0.66

MEDIAS Y DESVIACIONES ESTANDAR EN m<sup>3</sup>/s

ENTRADAS-SALIDAS= 195.76 mm                      CAMBIO DE ALMACENAMIENTO= 195.76 mm

ERROR DE LA MEDIA SIMULADA= 12.41 %

COEF. DE CORRELACION= 0.72

EL MODELO SE CONSIDERA CALIBRADO.

Tabla Nº 13

MODELO BALANCE MODIFICADO--FORMULACION No.= 3

RÍO QUIRA EN SANTA ROSA, ENE/61 A DIC/64, DATO MENSUAL

TRAMO No.= 5

	I	PRE.P	TIN.E	ETR.V	ALM.R	SUP.D	SUB.S	SUP.G	SUB.D	FLU.F	FLU.D	PER.T
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	--	(m <sup>3</sup> /s)	--	(mm)	
1	193.6	109.1	76.4	250.0	86.3	34.5	6.5	2.6	9.1	8.5	0.0	
2	52.6	120.8	84.6	250.0	45.8	18.3	2.7	1.1	3.8	4.8	0.0	
3	6.6	180.1	126.1	194.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	0.0	
4	4.7	191.4	134.0	65.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	
5	2.8	200.1	68.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	
6	133.5	139.1	97.4	36.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	
7	215.3	107.6	75.3	176.1	0.0	0.0	3.3	1.3	4.6	21.9	0.0	
8	296.1	98.6	69.0	250.0	79.0	31.6	8.4	3.4	11.7	25.6	0.0	
9	203.9	112.5	78.8	250.0	121.6	48.7	9.1	3.6	12.7	11.8	0.0	
10	102.5	108.5	76.0	250.0	101.5	40.6	5.9	2.4	8.3	6.7	0.0	
11	331.8	79.2	55.4	250.0	215.9	86.4	11.8	4.7	16.5	13.6	0.0	
12	84.6	97.3	68.1	250.0	164.4	65.8	9.1	3.6	12.7	10.9	0.0	
13	155.1	78.1	54.7	250.0	170.6	68.2	10.2	4.1	14.3	9.8	0.0	
14	122.2	102.8	72.0	250.0	149.1	59.6	7.6	3.0	10.6	5.8	0.0	
15	47.0	141.9	99.3	250.0	80.7	32.3	2.6	1.0	3.6	3.7	0.0	
16	33.8	181.8	127.3	250.0	10.1	4.0	0.3	0.1	0.4	2.0	0.0	
17	140.6	146.0	102.2	250.0	27.1	10.8	0.8	0.3	1.2	2.3	0.0	
18	171.5	94.2	65.9	250.0	74.0	29.6	4.5	1.8	6.3	9.8	0.0	
19	186.4	114.2	79.9	250.0	108.4	43.3	9.2	3.7	12.9	13.2	0.0	
20	90.8	125.8	88.1	250.0	79.7	31.9	10.2	4.1	14.3	15.4	0.0	
21	127.5	152.4	106.7	250.0	68.3	27.3	9.7	3.9	13.6	18.2	0.0	
22	97.8	156.3	109.4	250.0	43.3	17.3	6.5	2.6	9.1	7.2	0.0	
23	127.3	127.8	89.5	250.0	50.8	20.3	4.9	2.0	6.9	5.6	0.0	
24	113.7	108.3	75.8	250.0	56.2	22.5	5.0	2.0	6.9	5.6	0.0	
25	74.3	120.9	84.6	250.0	35.3	14.1	3.9	1.6	5.5	5.8	0.0	
26	57.3	116.8	81.8	250.0	12.9	5.1	2.9	1.1	4.0	6.0	0.0	
27	125.0	140.8	98.6	250.0	22.9	9.2	2.5	1.0	3.5	6.1	0.0	
28	167.3	139.5	97.7	250.0	52.5	21.0	3.6	1.5	5.1	5.4	0.0	
29	173.9	112.8	79.0	250.0	86.9	34.8	8.1	3.2	11.3	13.5	0.0	
30	422.1	126.9	88.8	250.0	234.7	93.9	15.3	6.1	21.4	17.6	0.0	
31	310.2	121.2	84.8	250.0	285.7	114.3	18.4	7.4	25.7	21.0	0.0	
32	104.3	142.6	99.8	250.0	208.7	83.5	15.1	6.0	21.1	19.7	0.0	
33	254.7	126.6	88.6	250.0	236.4	94.6	16.7	6.7	23.4	20.5	0.0	
34	112.8	156.4	109.5	250.0	172.4	69.0	10.4	4.2	14.5	10.9	0.0	
35	175.8	118.0	82.6	250.0	172.6	69.0	11.1	4.4	15.6	10.4	0.0	
36	151.3	105.7	74.0	250.0	164.6	65.8	9.2	3.7	12.9	9.6	0.0	
37	38.8	115.2	80.6	250.0	97.3	38.9	4.7	1.9	6.6	3.4	0.0	
38	18.7	140.7	98.5	250.0	29.1	11.6	0.9	0.4	1.3	2.5	0.0	
39	50.9	168.2	117.7	223.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	
40	96.1	151.3	105.9	214.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	0.0	

Tabla N° 13 (cont)

MODELO BALANCE MODIFICADO--FORMULACION No.= 3

=====

RIO CUIRA EN SANTA ROSA, ENE/61 A DIC/64, DATO MENSUAL

=====

TRAMO No.= 5

=====

	I	PRE.P	TIN.E	ETR.V	ALM.R	SUP.D	SUB.S	SUP.G	SUB.Q	FLU.F	FLU.O	PER.T
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	--	(m <sup>3</sup> /s)	--	(mm)	(mm)
41	65.1	185.2	129.6	149.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0
42	457.8	112.8	79.0	250.0	143.6	57.4	6.1	2.4	8.5	8.1	0.0	0.0
43	345.6	114.0	79.8	250.0	240.8	76.3	13.5	5.4	19.0	14.7	0.0	0.0
44	177.4	136.3	95.4	250.0	216.2	86.5	14.2	5.7	19.9	14.4	0.0	0.0
45	135.6	129.6	90.7	250.0	179.3	71.7	13.2	5.3	18.5	11.4	0.0	0.0
46	229.3	130.7	91.5	250.0	200.6	80.2	13.2	5.3	18.4	8.3	0.0	0.0
47	221.9	116.4	81.5	250.0	217.3	86.9	15.3	6.1	21.4	9.8	0.0	0.0
48	229.5	83.3	58.3	250.0	245.3	98.1	16.6	6.7	23.3	14.1	0.0	0.0

=====

## CALIBRACION DEL MODELO

P1= 1.4                      P2= 3.6                      P3= 3.6                      P4= 1

R(0,J)= 150                      D(0,J)= 100                      S(0,J)= 50                      P5(J)= 250

MEDIA SIM.= 10.01                      DESV.ESTANDAR SIM.= 7.61                      COEF.VAR.SIM.= 0.76

MEDIA OBS.= 9.44                      DESV.ESTANDAR OBS.= 6.20                      COEF.VAR.OBS.= 0.66

MEDIAS Y DESVIACIONES ESTANDAR EN m<sup>3</sup>/s

ENTRADAS-SALIDAS= 201.29 mm                      CAMBIO DE ALMACENAMIENTO= 201.29 mm

ERROR DE LA MEDIA SIMULADA= 5.72 %

COEF. DE CORRELACION= 0.75

EL MODELO SE CONSIDERA CALIBRADO

## 8.- ANALISIS DE RESULTADOS

Con ambos esquemas se obtuvieron caudales simulados dentro de un rango que se puede considerar aceptable, según las condiciones impuestas.

### 8.1.- Comparación de los Valores Simulados con los Valores Observados para los Modelos BALANCE y BALANCE MODIFICADO

Para el pico máximo (mes 8) en ambos modelos, la primera formulación se acerca más al valor observado, sin embargo la diferencia es de 8,1 m<sup>3</sup>/s en el modelo BALANCE y de 12,9 m<sup>3</sup>/s en el modelo BALANCE MODIFICADO. Para el mes 21 el valor simulado por el BALANCE está por encima del observado, al contrario que en el BALANCE MODIFICADO. En los meses 31 a 33 y a partir del mes 44, el valor simulado en ambos modelos está por encima del observado.

En líneas generales, el modelo BALANCE en su primera formulación refleja mejor los picos, aunque los mayores valores absolutos se obtuvieron en el modelo BALANCE MODIFICADO. Respecto a los valores mínimos, ambos modelos se comportan similarmente; el mínimo absoluto se observa en el BALANCE MODIFICADO.

Entre los meses 27 a 43 se observa el mejor ajuste entre los valores simulados y observados, en ambos modelos.

Para la tercera formulación se mantiene el mismo com

portamiento en los dos esquemas (Gráficos Nº 1 a Nº 4); para los dos modelos se obtuvieron valores de caudales simulados iguales a cero; éstos coinciden con los meses de mínimo caudal observado.

En ambos modelos y para las dos formulaciones, el valor del pico máximo puede ser superado con la disminución del valor del parámetro P2, que es el que determina la parte del escurrimiento superficial (G) que sale de la cuenca en el intervalo de trabajo (un mes) y la parte de él que se queda como retroalimentación (D) para el mes siguiente; al disminuir P2, aumenta el flujo superficial y disminuye la retroalimentación lo cual implica que aumentan los caudales altos y disminuyen los caudales bajos. Esto indica que los caudales bajos están regidos por las retroalimentaciones.

En la simulación realizada el valor de P2 no se disminuyó para mejorar el valor del pico máximo de la serie simulada, ya que esto produciría un incremento del resto de los caudales altos y una disminución de los caudales bajos, produciendo así una serie menos confiable.

El modelo BALANCE MODIFICADO no simula correctamente el pico máximo observado del mes 8, sino que lo desfasa 1 mes; esto se explica por el valor del parámetro P2 asumido, que hace aumentar la retroalimentación superficial; esta retroalimentación en el mes 8 resultó suficientemente significativa como para que se refleje en un aumento de caudal en el mes 9.

Los caudales simulados iguales a cero se pueden ex-

**GRAFICO N.1**  
Modelo Balance-Formulación N.1  
Caudales Medios Mensuales Totales Observados y Simulados  
Rio Cuira en Santa Rosa, 1961-1964:

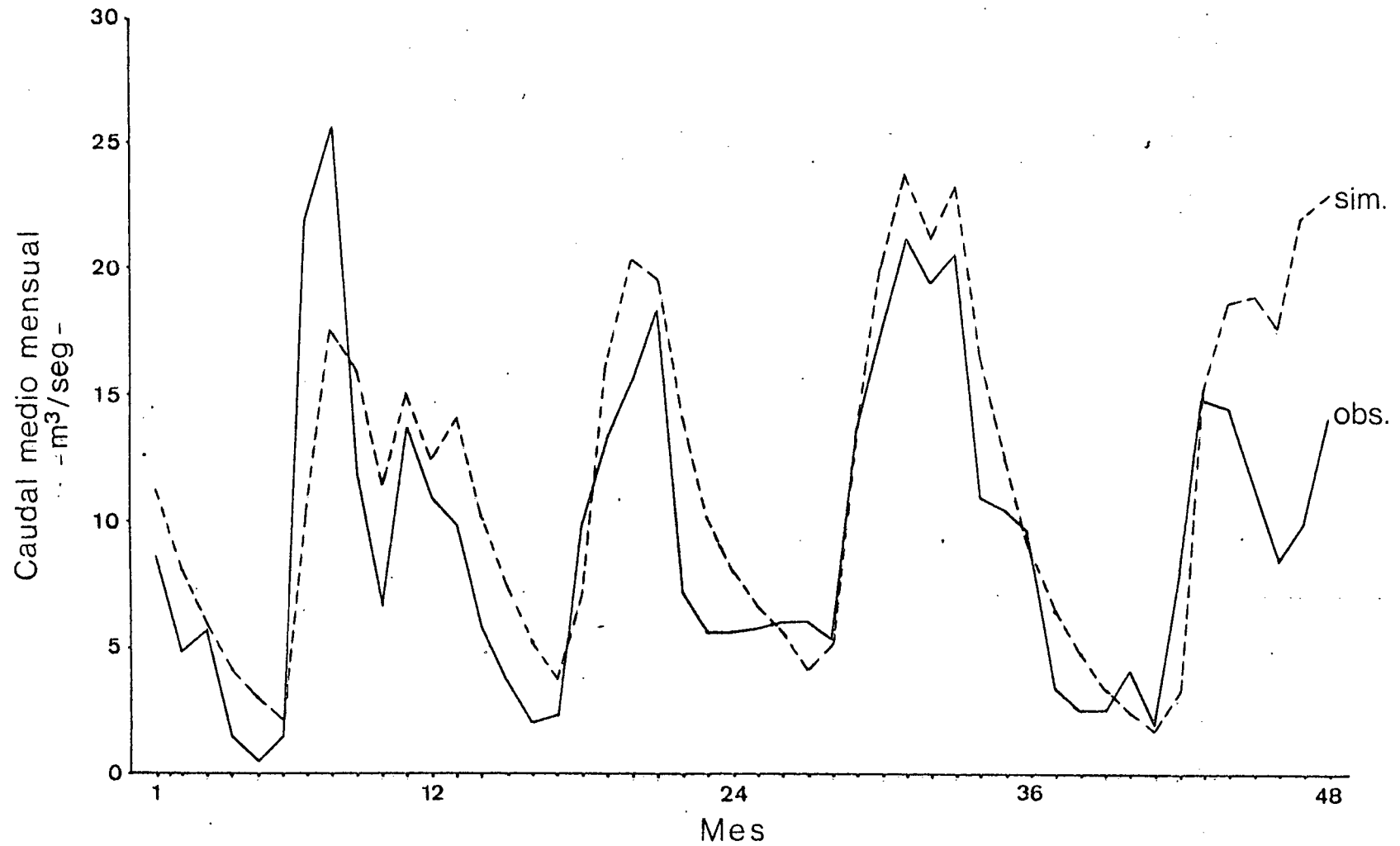
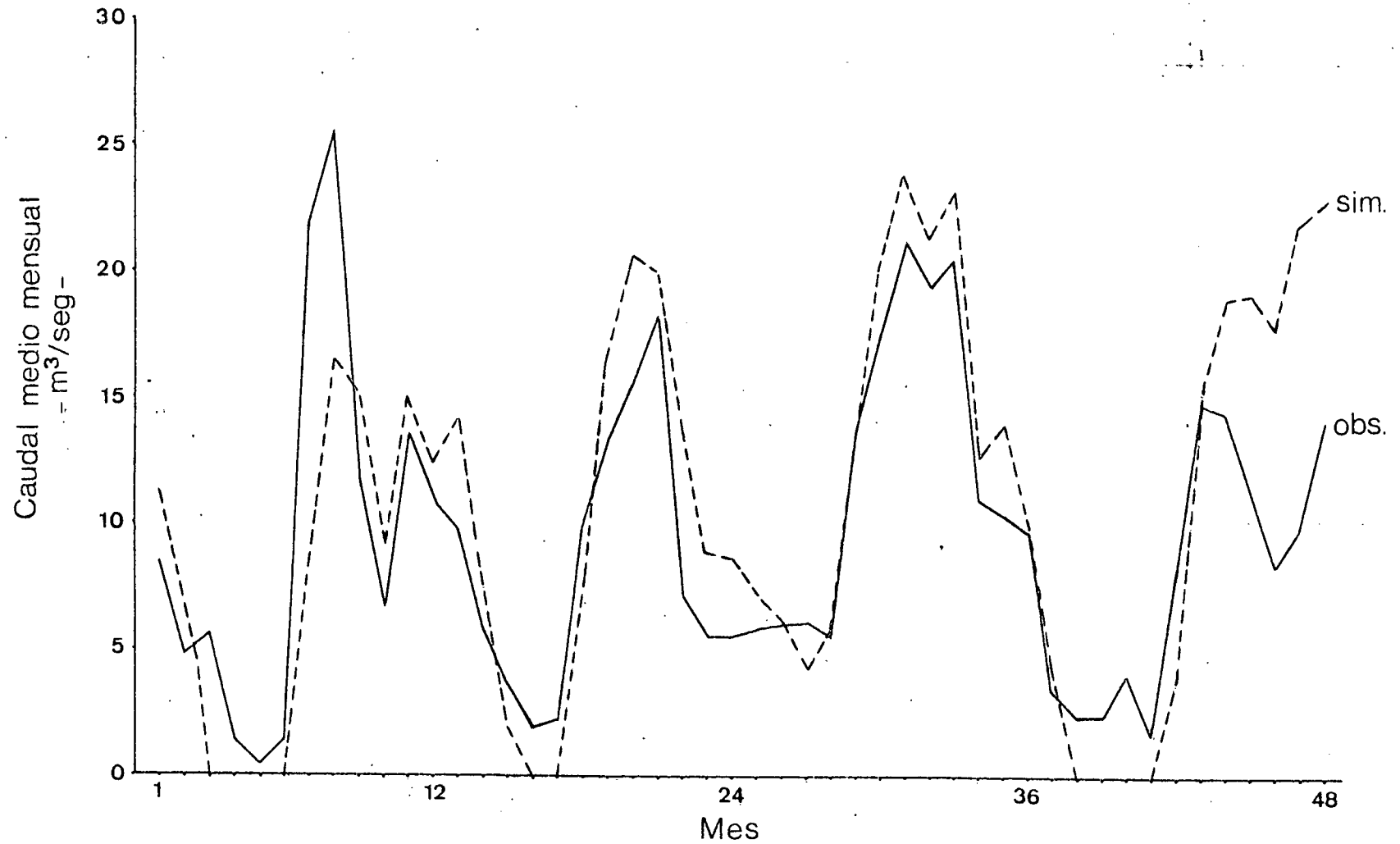


GRAFICO N. 2  
Modelo Balance-Formulación N. 3  
Caudales Medios Mensuales Totales Observados y Simulados  
Rio Cuirá en Santa Rosa , 1961-1964



**GRAFICO N. 3**  
Modelo Balance Modificado  
Formulacion N. 1  
Rio Cuira en Santa Rosa, 1961-1964

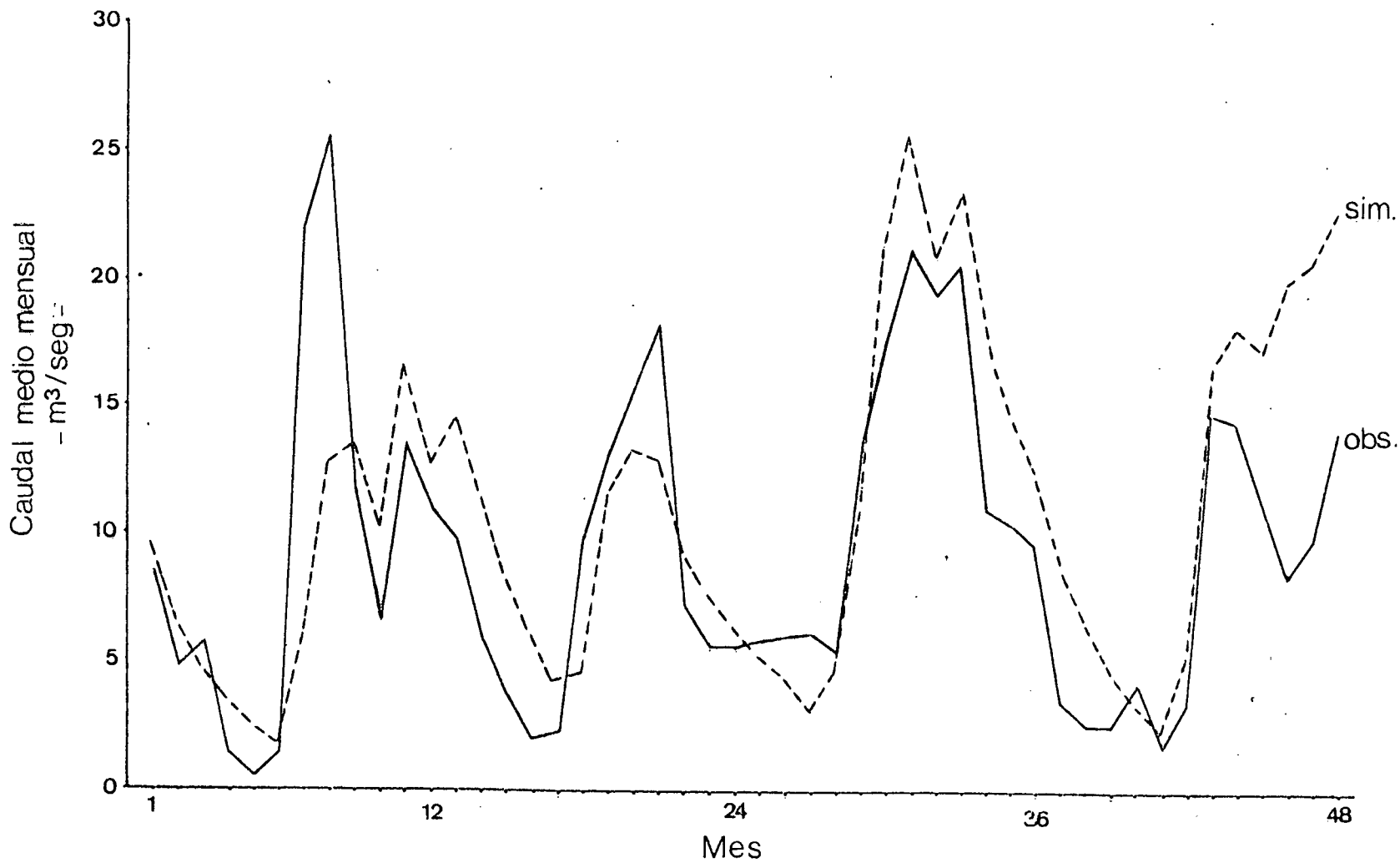
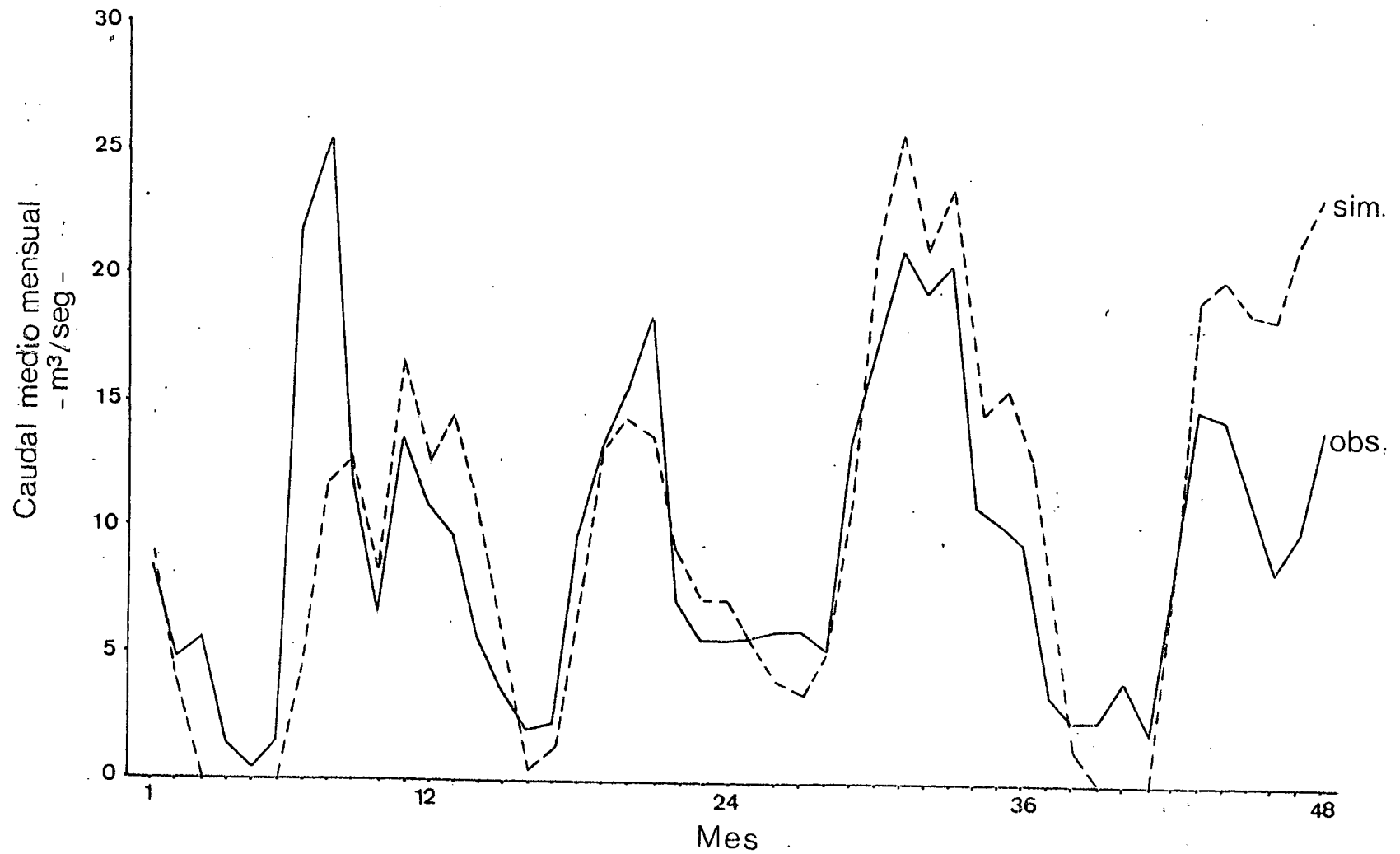


GRAFICO N. 4  
Modelo Balance Modificado-Formulación N. 3  
Caudales Medios Mensuales Observados y Simulados  
Rio Cuirá en Santa Rosa , 1961-1964



plicar por la influencia de los parámetros  $P_1$  y  $P_3$ , cuyos valores son fijos.  $P_1$  distribuye el exceso de agua ( $W$ ) en flujo superficial y subterráneo; el parámetro  $P_3$  tiene la misma función que  $P_2$ , pero respecto al flujo subterráneo.

Para los valores obtenidos ( $P_1=1.4$  y  $P_3=3.6$ ), se deduce que el primero representa un flujo subterráneo bajo, luego  $P_3$  divide nuevamente esa cantidad, minimizando aún más el flujo subterráneo ( $Q$ ) que debe salir de la cuenca en el intervalo de trabajo y la parte que se queda para retroalimentación subterránea en el mes siguiente, originándose el hecho de que el flujo subterráneo es insuficiente para mantener el flujo mínimo del río.

En cuanto al parámetro  $P_4$ , no ejerce ninguna influencia en la simulación, debido al valor asignado ( $P_4=1$ ).

#### 8.2.- Comparación de los Valores Simulados por el Modelo BALANCE y por el Modelo BALANCE MODIFICADO

Haciendo la comparación entre los dos modelos se observa que ambos tienen un comportamiento muy similar, excepto en los picos correspondientes a los meses 8 y 20, donde el modelo BALANCE está por encima del BALANCE MODIFICADO. En el pico secundario (mes 11) la situación es inversa. Los valores mínimos de caudales son muy similares. Esto para la primera formulación; para la tercera, en general se mantiene el mismo comportamiento, aunque en el BALANCE MODIFICADO aumentan ligeramente los picos

(Gráficos Nº 5 y Nº 6).

### 8.3.- Análisis Estadístico de los Valores Simulados

Se observa en el análisis estadístico que la tercera formulación presenta la mejor media simulada y por tanto el menor error de la media, pero estos valores son mejores en el modelo BALANCE MODIFICADO; la desviación estandar es mayor en la tercera formulación que en la primera, y de nuevo el BALANCE MODIFICADO presenta los mejores valores; el coeficiente de variación también es mayor en la tercera formulación, pero su mejor valor está en el modelo BALANCE; el coeficiente de correlación es mayor, de nuevo, en la tercera formulación y su mejor valor corresponde al modelo BALANCE (Cuadro Nº 5).

En resumen, el BALANCE MODIFICADO en su tercera formulación presenta la mejor media simulada, el menor error de la media, el mayor coeficiente de variación y un coeficiente de correlación menor que el del modelo BALANCE para esa misma formulación. Esto implica que, si bien la serie simulada es lo suficientemente cercana a la serie observada, como lo demuestran la media y el error, el modelo tiene la capacidad de moverse hacia valores extremos, máximos y mínimos, como lo demuestra el coeficiente de variación.

Cuadro Nº 5Comparación del Análisis Estadístico de los Modelos BALANCE y BALANCE MODIFICADO

Estadísticos	Modelo	Primera Formulaci6n	Segunda Formulaci6n	Tercera Formulaci6n
Media Simulada (m <sup>3</sup> /s)	BALANCE	11,51	11,51	10,39
	BALANCE MODIFICADO	10,78	10,78	10,01
Desviaci6n Estandar (m <sup>3</sup> /s)	BALANCE	6,60	6,60	7,73
	BALANCE MODIFICADO	6,44	6,44	7,61
Coeficiente de Variaci6n	BALANCE	0,57	0,57	0,74
	BALANCE MODIFICADO	0,60	0,60	0,76
Error de la Media (%)	BALANCE	17,98	17,98	9,14
	BALANCE MODIFICADO	12,41	12,41	5,72
Coeficiente de Correlaci6n (%)	BALANCE	0,81	0,81	0,82
	BALANCE MODIFICADO	0,72	0,72	0,75

Media Observada : 9,44 m<sup>3</sup>/s

Desviaci6n Estandar Observada : 6,20 m<sup>3</sup>/s

Coeficiente de Variaci6n Observado : 0,66

GRAFICO N. 5  
Modelos Balance y Balance Modificado-Formulación N.1  
Rio Cuira en Santa Rosa , 1961-1964

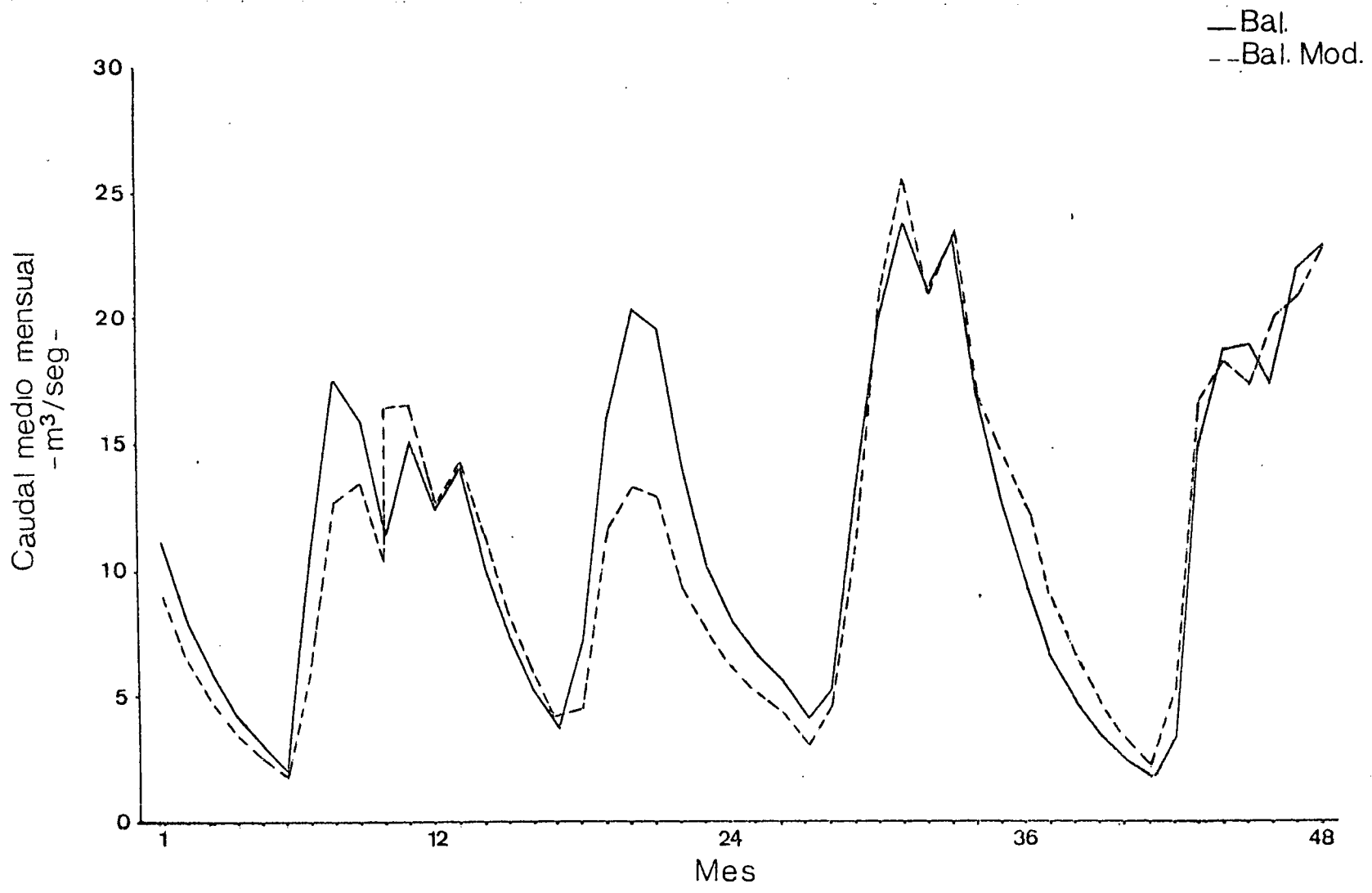
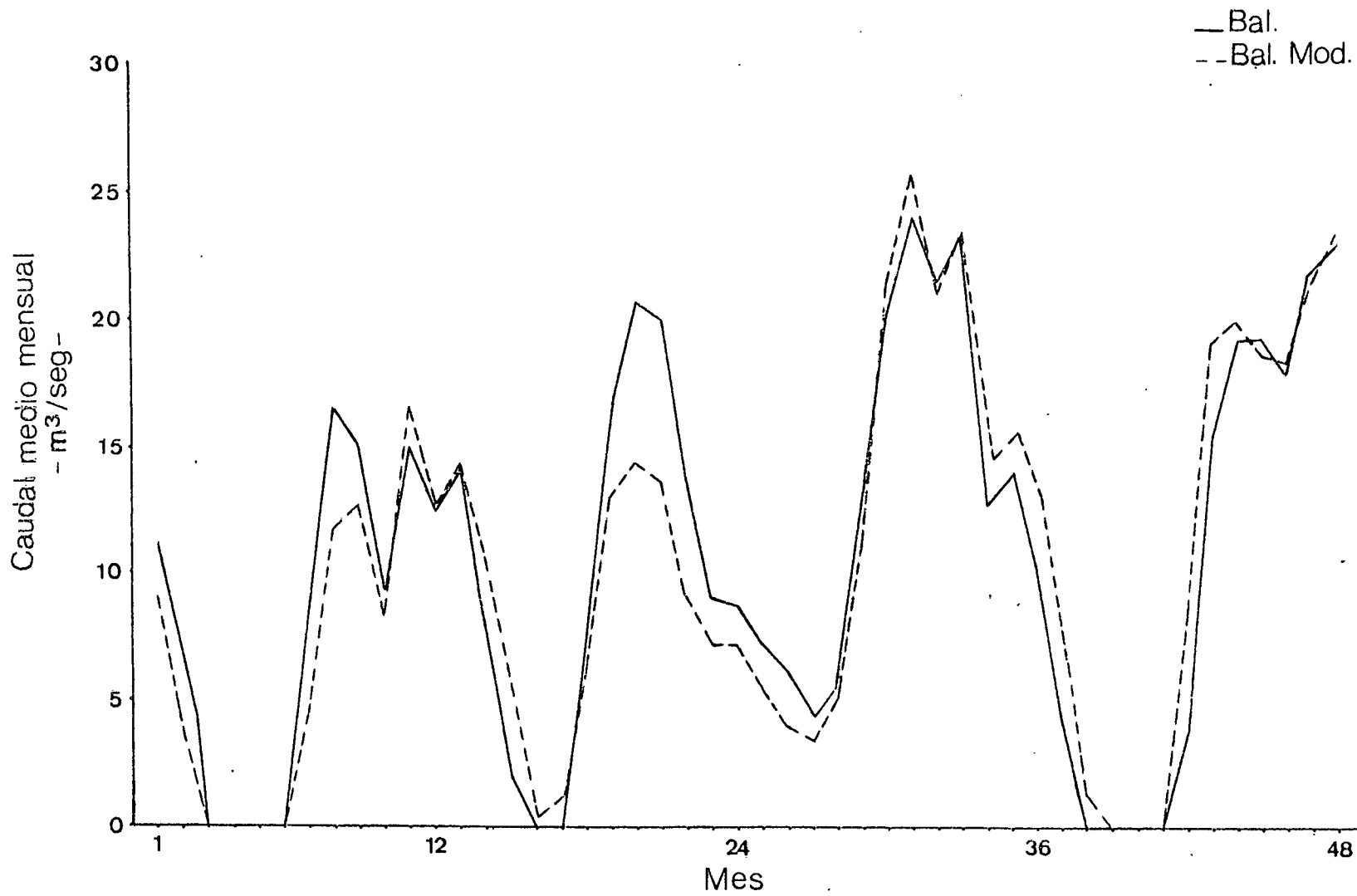


GRAFICO N. 6  
Modelos Balance y Balance Modificado-Formulación N. 3  
Rio Cuirá en Santa Rosa, 1961-1964



## 9.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- a) Se incluyeron en el modelo BALANCE dos nuevos elementos, tramos y segmentos de cuenca.
- b) La inclusión de estos elementos al modelo BALANCE no produjo cambios significativos.
- c) Para el modelo BALANCE MODIFICADO la formulación que más se adaptó fué la tercera formulación.
- d) En la medida en que se conozca mejor la distribución de la precipitación, la simulación es más representativa.
- e) El modelo BALANCE MODIFICADO se implementó para una cuenca mediana; el modelo BALANCE ha sido probado en cuencas grandes; dada la similitud demostrada entre ambos modelos, se puede inferir que el BALANCE MODIFICADO funciona para cuencas grandes.
- f) El modelo BALANCE MODIFICADO presenta limitaciones en cuencas pequeñas, debido a que en éstas normalmente no se cuenta con una buena distribución de la información hidroclimática.
- g) Otra limitación del modelo consiste en que está diseñado para simular caudales en una sola estación hidrométrica, aunque existan varias en la cuenca, de modo que solo puede comparar los valores simulados con los de la estación a la salida de la cuenca.
- h) A pesar de la modificación realizada, el modelo BALANCE MODI-

FICADO es sencillo de utilizar, solo requiere un poco más de labor en las determinaciones de tramos y segmentos.

Se recomienda:

- a) Calcular previamente al uso del modelo, la cantidad de memoria consumida por la serie a simular, para escoger el microcomputador adecuado, ya que pueden presentarse problemas de capacidad de memoria.
- b) Profundizar el análisis de los parámetros en la simulación a nivel diario, a fin de determinar la conveniencia de anexar al programa una subrutina de tránsito de crecientes.

10.- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1) Custodio, E. y Elamas, M.R. "Hidrología Subterránea". Ediciones Omega S.A., Barcelona, 1983.
- 2) Gerez, V. y Grijalva, M. "El Enfoque de Sistemas". Editorial Limusa, 1978.
- 3) World Meteorological Organization. "Hydrological Forecasting Practices. Operational Hydrology". Report Nº 6, Ginebra.
- 4) Hidalgo, L.G. "Desarrollo de un Modelo Hidrológico para la Simulación de Escurrimientos empleando el Lenguaje Basic en Computadores y Microcomputadores. Parte I". 1979, Ciudad Universitaria, Caracas.
- 5) \_\_\_\_\_ "Desarrollo de un Modelo Hidrológico para la Simulación de Escurrimientos empleando el Lenguaje Basic en Computadores y Microcomputadors. Parte II". 1980, Ciudad U  
niversitaria, Caracas.
- 6) \_\_\_\_\_ "El Modelo Hidrológico BALANCE. Parte III". 1981, Ciudad Universitaria, Caracas.
- 7) Guilarte, Ramón J. "Hidrología Básica". U.C.V., Facultad de Ingeniería, Departamento de Meteorología e Hidrología, Septiembre 1978, Caracas.

11.- BIBLIOGRAFIA

- 1) Brabb, George J. "Computadoras y Sistemas de Información en los Negocios". Nueva Editorial Interamericana, S.A., México, 1978.
- 2) Duque C., Roberto C. "Introducción a la Simulación Paramétrica de Sistemas Hidrológicos". CIDIAT, Mérida, 1980.
- 3) Jimenez, Freddy. "Simulación y la Hidrología". Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas, Caracas.
- 4) McMillan, Claude y González, Richard F. "System Analysis". Irwin Inc, USA, 1968
- 5) Murdick, R.G. y Ross, J.E. "Sistemas de Información basados en Computadoras para la Administración Moderna". Editorial Diana, México, 1974.
- 6) Venezuela. Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Dirección de Geología. "Boletín de Geología. Volúmen XI". Octubre 1970, Número 21. Editorial Sucre, Caracas.

A N E X O S

10 REM PROGRAMA MODELO BALANCE MODIFICADO  
20 REM MICROCOMPUTADOR NCR DESICION MATE V  
30 REM PROGRAMADOR NORELLY MILLAN  
40 REM LENGUAJE BASIC  
50 REM ENTADA READ Y DATA  
60 REM OBJETIVO DEL PROGRAMA: CALCULAR CAUDALES MEDIOS MENSUALES  
70 REM RESULTADOS: CAUDALES SIMULADOS SUPERFICIALES, SUBTERRANEOS Y FLUJO TOTAL  
80 REM CUENCA DEL RIO CUIRA EN SANTA ROSA, ENERO 1961 A DICIEMBRE 1964  
90 REM A\$ ES UNA VARIABLE DE IDENTIFICACION  
100 REM X1 ES LA VARIABLE QUE DEFINE EL TIPO DE FORMULACION MATEMATICA DEL  
110 REM MODELO  
120 REM X2 ES LA VARIABLE QUE DEFINE EL PROCESO DE MODELACION: CALIBRACION,  
130 REM VALIDACION O PRODUCCION  
140 REM P1, P2, P3, P4 SON LOS PARAMETROS DEL MODELO, ADIMENSIONALES  
150 REM A ES EL COEFICIENTE EVAPORIMETRICO, ADIMENSIONAL  
160 REM T9 ES EL INTERVALO DE TIEMPO DE TRABAJO  
170 REM C9 ES EL FACTOR DE CONVERSION DE MM A M<sup>3</sup>/S<sup>2</sup>  
180 REM P5 ES LA MAXIMA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DEL SUELO (MM)  
190 REM L ES EL AREA DE LA CUENCA (KM<sup>2</sup>)  
200 REM D(O, J), R(O, J) Y S(O, J) SON LAS CONDICIONES INICIALES DE HUEDAD PARA  
210 REM EL TRAMO J (MM)  
220 REM P ES LA PRECIPITACION MEDIA (MM)  
230 REM E ES LA EVAPORACION DE TINA MEDIA (MM)  
240 REM Q ES EL CAUDAL MEDIO OBSERVADO EN EL SITIO DE CIERRE DE LA CUENCA  
250 REM (M<sup>3</sup>/SEG)  
260 REM W ES EL EXCESO DE AGUA EN EL SUELO (MM)  
270 REM R ES LA RESERVA DE AGUA EN EL SUELO (MM)  
280 REM D ES LA RETROALIMENTACION DEL FLUJO SUPERFICIAL (MM)  
290 REM S ES LA RETROALIMENTACION DEL FLUJO SUBTERRANEO (MM)  
300 REM ETP ES LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (MM)  
310 REM V ES LA EVAPOTRANSPIRACION REAL (MM)  
320 REM G ES EL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL (M<sup>3</sup>/SEG)  
330 REM Q ES EL ESCURRIMIENTO SUBTERRANEO (M<sup>3</sup>/SEG)  
340 REM T ES LA PERDIDA HACIA OTRAS CUENCAS Q POR PERCOLACION PROFUNDA (MM)  
350 REM U ES UNA VARIABLE AUXILIAR PARA LA TERCERA FORMULACION (MM)  
360 REM F ES EL FLUJO TOTAL A LA SALIDA DE LA CUENCA (M<sup>3</sup>/SEG)  
370 REM Y ES EL CAUDAL SUBTERRANEO OBSERVADO (M<sup>3</sup>/SEG)  
380 REM N ES EL NUMERO DE TERMINOS DE LA SERIE DE TIEMPO  
390 REM K ES EL NUMERO DE TRAMOS DE LA RED FLUVIAL  
400 REM S ES EL NUMERO DE SEGMENTOS EN QUE SE HA DIVIDIDO LA CUENCA  
410 REM O1 ES EL NUMERO DE ORDEN MAXIMO DE LOS TRAMOS  
420 REM M ES LA MATRIZ DE DATOS CORRESPONDIENTES A LOS TRAMOS DE CUENCA  
430 REM M1 ES LA MATRIZ DE DATOS DE NUMEROS DE TRAMOS CORRESPONDIENTES A  
440 REM CADA NUMERO DE ORDEN  
450 REM M2 ES LA MATRIZ DE DATOS DE NUMEROS DE TRAMOS CORRESPONDIENTES A  
460 REM CADA SEGMENTO  
470 REM M3 ES LA MATRIZ DE DATOS DE CONDICIONES INICIALES DE HUMEDAD EN  
480 REM CADA SEGMENTO  
490 REM M4 ES LA MATRIZ DE DATOS DE PRECIPITACION MEDIA EN CADA SEGMENTO  
500 REM M5 ES LA MATRIZ DE DATOS DE EVAPORACION DE TINA MEDIA EN CADA  
510 REM SEGMENTO  
520 REM M6 ES LA MATRIZ DE DATOS DE CAUDALES MEDIOS OBSERVADOS  
530 REM I ES LA POSICION I-ESIMA EN LA SERIE DE TIEMPO  
540 REM J ES LA VARIACION DEL NUMERO DE TRAMO

10 REM PROGRAMA MODELO BALANCE MODIFICADO  
20 REM MICROCOMPUTADOR NCR DESICION MATE V  
30 REM PROGRAMADOR NORELLY MILLAN  
40 REM LENGUAJE BASIC  
50 REM ENTADA READ Y DATA  
60 REM OBJETIVO DEL PROGRAMA: CALCULAR CAUDALES MEDIOS MENSUALES  
70 REM RESULTADOS: CAUDALES SIMULADOS SUPERFICIALES, SUBTERRANEOS Y FLUJO TOTAL  
80 REM CUENCA DEL RIO CUIRA EN SANTA ROSA, ENERO 1961 A DICIEMBRE 1964  
90 REM A# ES UNA VARIABLE DE IDENTIFICACION  
100 REM X1 ES LA VARIABLE QUE DEFINE EL TIPO DE FORMULACION MATEMATICA DEL  
110 REM MODELO  
120 REM X2 ES LA VARIABLE QUE DEFINE EL PROCESO DE MODELACION: CALIBRACION,  
130 REM VALIDACION O PRODUCCION  
140 REM P1, P2, P3, P4 SON LOS PARAMETROS DEL MODELO, ADIMENSIONALES  
150 REM A ES EL COEFICIENTE EVAPORIMETRICO, ADIMENSIONAL  
160 REM T9 ES EL INTERVALO DE TIEMPO DE TRABAJO  
170 REM C9 ES EL FACTOR DE CONVERSION DE MM A M<sup>3</sup>/S .  
180 REM P5 ES LA MAXIMA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DEL SUELO (MM)  
190 REM L ES EL AREA DE LA CUENCA (KM<sup>2</sup>)  
200 REM D(O, J), R(O, J) Y S(O, J) SON LAS CONDICIONES INICIALES DE HUEDAD PARA  
210 REM EL TRAMO J (MM)  
220 REM P ES LA PRECIPITACION MEDIA (MM)  
230 REM E ES LA EVAPORACION DE TINA MEDIA (MM)  
240 REM O ES EL CAUDAL MEDIO OBSERVADO EN EL SITIO DE CIERRE DE LA CUENCA  
250 REM (M<sup>3</sup>/SEG)  
260 REM W ES EL EXCESO DE AGUA EN EL SUELO (MM)  
270 REM R ES LA RESERVA DE AGUA EN EL SUELO (MM)  
280 REM D ES LA RETROALIMENTACION DEL FLUJO SUPERFICIAL (MM)  
290 REM S ES LA RETROALIMENTACION DEL FLUJO SUBTERRANEO (MM)  
300 REM ETP ES LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (MM)  
310 REM V ES LA EVAPOTRANSPIRACION REAL (MM)  
320 REM G ES EL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL (M<sup>3</sup>/SEG)  
330 REM Q ES EL ESCURRIMIENTO SUBTERRANEO (M<sup>3</sup>/SEG)  
340 REM T ES LA PERDIDA HACIA OTRAS CUENCAS O POR PERCOLACION PROFUNDA (MM)  
350 REM U ES UNA VARIABLE AUXILIAR PARA LA TERCERA FORMULACION (MM)  
360 REM F ES EL FLUJO TOTAL A LA SALIDA DE LA CUENCA (M<sup>3</sup>/SEG)  
370 REM Y ES EL CAUDAL SUBTERRANEO OBSERVADO (M<sup>3</sup>/SEG)  
380 REM N ES EL NUMERO DE TERMINOS DE LA SERIE DE TIEMPO  
390 REM K ES EL NUMERO DE TRAMOS DE LA RED FLUVIAL  
400 REM S ES EL NUMERO DE SEGMENTOS EN QUE SE HA DIVIDIDO LA CUENCA  
410 REM O1 ES EL NUMERO DE ORDEN MAXIMO DE LOS TRAMOS  
420 REM M ES LA MATRIZ DE DATOS CORRESPONDIENTES A LOS TRAMOS DE CUENCA  
430 REM M1 ES LA MATRIZ DE DATOS DE NUMEROS DE TRAMOS CORRESPONDIENTES A  
440 REM CADA NUMERO DE ORDEN  
450 REM M2 ES LA MATRIZ DE DATOS DE NUMEROS DE TRAMOS CORRESPONDIENTES A  
460 REM CADA SEGMENTO  
470 REM M3 ES LA MATRIZ DE DATOS DE CONDICIONES INICIALES DE HUMEDAD EN  
480 REM CADA SEGMENTO  
490 REM M4 ES LA MATRIZ DE DATOS DE PRECIPITACION MEDIA EN CADA SEGMENTO  
500 REM M5 ES LA MATRIZ DE DATOS DE EVAPORACION DE TINA MEDIA EN CADA  
510 REM SEGMENTO  
520 REM M6 ES LA MATRIZ DE DATOS DE CAUDALES MEDIOS OBSERVADOS  
530 REM I ES LA POSICION I-ESIMA EN LA SERIE DE TIEMPO  
540 REM J ES LA VARIACION DEL NUMERO DE TRAMO

```

550 READ N,K,O1,S
560 DIM L(K),M(K,5),M1(O1,2),M2(S,2),M3(S,5),M4(N,2),M5(N,2),M6(N,2)
570 DIM P(N,K),E(N,K),O(N,K),Y(N,K),P5(K),O9(K)
580 DIM W(N,K),V(N,K),D(N,K),R(N,K),S(N,K),G(N,K),Q(N,K),T(N,K),U(N,K),F(N,K)
590 INPUT "ENTRE EL VALOR DE X2,CALIBRACION=1,VALIDACION=2,PRODUCCION=3":X2
600 GOSUB 690:GOSUB 1010
610 INPUT "CUAL FORMULACION QUIERE,PRIMERA=1,SEGUNDA=2,TERCERA=3":X1
620 FOR I=1 TO N
630 FOR X=1 TO O1
640 Y=2:Z=0:GOSUB 1170
650 NEXT X
660 NEXT I
670 GOSUB 1790:GOSUB 2110
680 END
690 REM "SUBROUTINA PARA LEER DATOS"
700 READ A$,L,A,T9,P1,P2,P3,P4
710 FOR J=1 TO K
720 FOR X=1 TO 5
730 READ M(J,X)
740 NEXT X,J
750 FOR X=1 TO O1
760 FOR Y=1 TO 2
770 READ M1(X,Y)
780 NEXT Y,X
790 FOR X=1 TO S
800 FOR Y=1 TO 2
810 READ M2(X,Y)
820 NEXT Y,X
830 FOR X=1 TO S
840 FOR Y=1 TO 5
850 READ M3(X,Y)
860 NEXT Y,X
870 FOR I=1 TO N
880 FOR X=1 TO S
890 READ M4(I,X)
900 NEXT X,I
910 FOR I=1 TO N
920 FOR X=1 TO S
930 READ M5(I,X)
940 NEXT X,I
950 IF X2=3 THEN 1000
960 FOR I=1 TO N
970 FOR X=1 TO 2
980 READ M6(I,X)
990 NEXT X,I
1000 RETURN
1010 REM "SUBROUTINA PARA ASIGNAR VALORES DE LOS SEGMENTOS A LOS TRAMOS"
1020 FOR X=1 TO S
1030 FOR J=1 TO K:IF M(J,5)=M3(X,1) THEN 1050
1040 GOTO 1090
1050 L(J)=M(J,4):P5(J)=M3(X,2):D(O,J)=M3(X,3):R(O,J)=M3(X,4):S(O,J)=M3(X,5)
1060 FOR I=1 TO N
1070 P(I,J)=M4(I,X):E(I,J)=M5(I,X)
1080 NEXT I
1090 NEXT J

```

```

1100 NEXT X
1110 J=K: IF X2=3 THEN 1160
1120 FOR I=1 TO N
1130 Q(I,J)=M6(I,1)
1140 Y(I,J)=M6(I,2)
1150 NEXT I
1160 RETURN
1170 REM "SUBROUTINA PARA ANALIZAR EL NUMERO DE ORDEN DE CADA TRAMO"
1180 FOR J=1 TO K: IF M(J,3)=M1(X,1) THEN 1200
1190 GOTO 1250
1200 IF M(J,3)=1 THEN 1220
1210 GOSUB 1270: GOTO 1230
1220 P=0: M=0: G(I,P)=0: G(I,M)=0: Q(I,P)=0: Q(I,M)=0
1230 GOSUB 1350
1240 Z=Z+1: IF Z=M1(X,Y) THEN 1260
1250 NEXT J
1260 RETURN
1270 REM "SUBROUTINA PARA TRAMOS CON NUMERO DE ORDEN <> 1"
1280 Y1=0: FOR A1=1 TO J: IF M(A1,2)=J THEN 1300
1290 GOTO 1320
1300 Y1=Y1+1: IF Y1=2 THEN 1330
1310 P=M(A1,1)
1320 NEXT A1
1330 M=M(A1,1)
1340 RETURN
1350 REM "SUBROUTINA PARA CALCULAR EXCESOS DE AGUA"
1360 IF X1=1 OR X1=2 THEN 1380
1370 U(I,J)=P(I,J)+D(I-1,J)+S(I-1,J): GOTO 1390
1380 U(I,J)=P(I,J)
1390 IF R(I-1,J)+U(I,J)-E(I,J)*A-P5(J)>=0 THEN 1450
1400 W(I,J)=0
1410 IF R(I-1,J)+U(I,J)-E(I,J)*A>=0 THEN 1480
1420 R(I,J)=0
1430 V(I,J)=R(I-1,J)+U(I,J)
1440 GOTO 1500
1450 R(I,J)=P5(J)
1460 W(I,J)=U(I,J)+R(I-1,J)-E(I,J)*A-P5(J)
1470 GOTO 1490
1480 R(I,J)=R(I-1,J)+U(I,J)-E(I,J)*A
1490 V(I,J)=E(I,J)*A
1500 ON X1 GOSUB 1520,1610,1700
1510 RETURN
1520 REM "SUBROUTINA PARA LA PRIMERA FORMULACION DEL MODELO"
1530 C9(J)=1000*L(J)/T9
1540 D(I,J)=(W(I,J)/P1+D(I-1,J))*(1-1/P2)
1550 G(I,J)=((W(I,J)/P1+D(I-1,J))/P2)*C9(J)+G(I,P)+G(I,M)
1560 Q(I,J)=((W(I,J)*(1-1/P1)/P4+S(I-1,J))/P3)*C9(J)+Q(I,P)+Q(I,M)
1570 S(I,J)=(W(I,J)*(1-1/P1)/P4+S(I-1,J))*(1-1/P3)
1580 T(I,J)=W(I,J)*(1-1/P1)*(1-1/P4)
1590 F(I,J)=G(I,J)+Q(I,J)
1600 RETURN
1610 REM "SUBROUTINA PARA LA SEGUNDA FORMULACION DEL MODELO"
1620 C9(J)=1000*L(J)/T9
1630 D(I,J)=(W(I,J)+D(I-1,J)+S(I-1,J))*(1-1/P2)/P1
1640 G(I,J)=((W(I,J)+D(I-1,J)+S(I-1,J))/P1/P2)*C9(J)+G(I,P)+G(I,M)

```

```

1650 Q(I,J)=(W(I,J)+D(I-1,J)+S(I-1,J))*(1-1/P1)/P3/P4)*C9(J)+Q(I,P)+Q(I,M)
1660 S(I,J)=(W(I,J)+D(I-1,J)+S(I-1,J))*(1-1/P1)*(1-1/P3)/P4
1670 T(I,J)=(W(I,J)+D(I-1,J)+S(I-1,J))*(1-1/P1)*(1-1/P4)
1680 F(I,J)=G(I,J)+Q(I,J)
1690 RETURN
1700 REM "SUBROUTINA PARA LA TERCERA FORMULACION DEL MODELO"
1710 C9(J)=1000*L(J)/T9
1720 D(I,J)=W(I,J)*(1-1/P2)/P1
1730 G(I,J)=(W(I,J)/P1/P2)*C9(J)+G(I,P)+G(I,M)
1740 Q(I,J)=(W(I,J)*(1-1/P1)/P3/P4)*C9(J)+Q(I,P)+Q(I,M)
1750 S(I,J)=W(I,J)*(1-1/P1)*(1-1/P3)/P4
1760 T(I,J)=W(I,J)*(1-1/P1)*(1-1/P4)
1770 F(I,J)=G(I,J)+Q(I,J)
1780 RETURN
1790 REM "SUBROUTINA PARA IMPRIMIR LOS FLUJOS DE SALIDA"
1800 LPRINT TAB(20);"MODELO BALANCE MODIFICADO--";
1810 LPRINT TAB(47);"FORMULACION No.=";X1:LPRINT SPC(8);:LPRINT STRING$(68,"=")
1820 LPRINT TAB(9);A#:LPRINT SPC(8);:LPRINT STRING$(68,"=")
1830 IF X2=1 OR X2=2 THEN 1930
1840 FOR J=1 TO K:LPRINT TAB(9);"TRAMO No.":J
1850 LPRINT SPC(8);:LPRINT STRING$(68,"="):IF J=K THEN 1940
1860 LPRINT TAB(10);"I";TAB(12);"PRE.P";TAB(18);"TIN.E";TAB(24);"-ETP-";TAB(30);
1870 LPRINT "ETR.V";TAB(36);"ALM.R";TAB(42);"SUP.D";TAB(48);"SUB.S";TAB(54);
1880 LPRINT "SUP.G";TAB(60);"SUB.Q";TAB(66);"FLU.F";TAB(72);"PER.T"
1890 LPRINT TAB(12);"(mm)";TAB(18);"(mm)";TAB(24);"(mm)";TAB(30);"(mm)";TAB(36);
1900 LPRINT "(mm)";TAB(42);"(mm)";TAB(48);"(mm)";TAB(54);"--";TAB(59);"(m^3/s)";
1910 LPRINT TAB(69);"--";TAB(73);"(mm)";LPRINT SPC(8);:LPRINT STRING$(68,"=")
1920 GOTO 2000
1930 J=K:LPRINT TAB(9);"TRAMO No.=";J:LPRINT SPC(8);:LPRINT STRING$(68,"=")
1940 LPRINT TAB(10);"I";TAB(12);"PRE.P";TAB(18);"TIN.E";TAB(24);"ETR.V";TAB(30);
1950 LPRINT "ALM.R";TAB(36);"SUP.D";TAB(42);"SUB.S";TAB(48);"SUP.G";TAB(54);
1960 LPRINT "SUB.Q";TAB(60);"FLU.F";TAB(66);"FLU.O";TAB(72);"PER.T"
1970 LPRINT TAB(12);"(mm)";TAB(18);"(mm)";TAB(24);"(mm)";TAB(30);"(mm)";TAB(36);
1980 LPRINT "(mm)";TAB(42);"(mm)";TAB(48);"--";TAB(56);"(m^3/s)";TAB(69);"--";
1990 LPRINT TAB(73);"(mm)";LPRINT SPC(8);:LPRINT STRING$(68,"=")
2000 FOR I=1 TO N:LPRINT SPC(8);:LPRINT USING "## ";I;:IF J=K THEN 2040
2010 LPRINT USING "###.# ";P(I,J);E(I,J);E(I,J)*A;V(I,J);R(I,J);D(I,J);
2020 LPRINT USING "###.# ";S(I,J);:LPRINT USING "##.## ";G(I,J);Q(I,J);F(I,J);
2030 LPRINT USING " #.# ";T(I,J);GOTO 2070
2040 LPRINT USING "###.# ";P(I,J);E(I,J);V(I,J);R(I,J);D(I,J);S(I,J);
2050 LPRINT USING "###.# ";G(I,J);Q(I,J);F(I,J);O(I,J);
2060 LPRINT USING " #.# ";T(I,J)
2070 NEXT I:IF J=K THEN 2090
2080 LPRINT:LPRINT:NEXT J
2090 LPRINT SPC(8);:LPRINT STRING$(68,"=")
2100 RETURN
2110 REM "SUBROUTINA PARA LA ESTADISTICA DE LA SIMULACION Y BALANCE DE AGUA"
2120 ON X2 GOTO 2130,2140,2150
2130 LPRINT TAB(9);"CALIBRACION DEL MODELO":GOTO 2160
2140 LPRINT TAB(9);"VALIDACION DEL MODELO":GOTO 2160
2150 LPRINT TAB(9);"PRODUCCION DE CAUDALES"
2160 C9=1000*L/T9:A2=0:B1=0:B2=0:B3=0:B4=0:B5=0:B6=0:B7=0:S1=0:S2=0:D1=0:D2=0
2170 S3=0
2180 FOR X=1 TO 3:Z=0:A1=0:B8=0:B9=0:B0=0
2190 FOR J=1 TO K:IF M(J,5)=M2(X,1) THEN 2210

```

5060 DATA 95.2,193.6,15.3,52.6,6.8,6.6,2.6,4.7,10.2,2.8,75.7,133.5,346.8,215.3  
5070 DATA 234.6,296.1,126.7,203.9,55.3,102.5,187.9,331.8,94.4,84.6,129.2,155.1  
5080 DATA 40.8,122.2,23,47,3.4,33.8,146.2,140.6,219.3,171.5,244,186.4,214.2,90.8  
5090 DATA 170.9,127.5,85.9,97.8,63.8,127.3,102.9,113.7,80.8,74.3,83.3,57.3,81.6  
5100 DATA 125,128.4,167.3,213.4,173.9,241.4,422.1,221.9,310.2,147.9,104.3,196.4  
5110 DATA 254.7,34.9,112.8,134.3,175.8,66.3,151.3,28.2,38.8,14.4,18.7,37.2,50.9  
5120 DATA 120.2,96.1,54.6,65.1,239.4,457.8,267.6,345.6,209.4,177.4,162.1,135.6  
5130 DATA 145.8,229.3,218.5,221.9,160.2,229.5  
5140 DATA 74,109.1,98,120.8,155.9,180.1,164.7,191.4,176.6,200.1,93,139.1,119.3  
5150 DATA 107.6,143.8,98.6,124.3,112.5,135.5,108.5,103.3,79.2,116.9,97.3,75.1  
5160 DATA 78.1,91.1,102.8,143.7,141.9,159,181.8,136.3,146,114.3,94.2,118.9,114.2  
5170 DATA 119.3,125.8,135.8,152.4,141.5,156.3,111.7,127.8,102.9,108.3,87.9,120.9  
5180 DATA 96.3,116.8,117.9,140.8,142.9,139.5,93.6,112.8,121.2,126.9,115.9,121.2  
5190 DATA 118.1,142.6,107.9,126.6,144.5,156.4,77.1,118,95.3,105.7,109.9,115.2  
5200 DATA 116,140.7,129,168.2,128.1,151.3,168.3,185.2,101.4,112.8,118,114,130  
5210 DATA 136.3,113.3,129.6,131.7,130.7,120.4,116.4,75.4,83.3  
5220 DATA 8.5,2.4,8,1.9,5.7,1.7,1.4,1.4,0.5,0.5,1.5,0,7.21,9,0.9,25.6,1.2,11.8  
5230 DATA 1.5,6.7,1.8,13.6,2.2,10.9,2.5,9.8,2.7,5.8,2.7,3.7,2.6,2,2,2.3,2.3,9.8  
5240 DATA 2.5,13.2,2.6,15.4,2.7,18.2,2.8,7.2,2.9,5.6,3,5.6,3.1,5.8,3.2,6,3.3,6.1  
5250 DATA 3.4,5.4,3.5,13.5,3.6,17.6,3.7,21,3.8,19.7,3.9,20.5,4,10.9,4,10.4,4,9.6  
5260 DATA 3.9,3.4,3.4,2.5,2.5,2.5,2.5,4.1,2.3,1.8,1.8,8.1,1.6,14.7,1.6,14.4,1.7  
5270 DATA 11.4,1.9,8.3,2.2,9.8,2.8,14.1,3.4

```
10 REM PROGRAMA MODELO BALANCE
20 REM MICROCOMPUTADOR NCR DECISION MATE V
30 REM PROGRAMADOR LUIS G.HIDALGO P.
40 REM LENGUAJE BASIC
50 REM ENTRADA READ Y DATA
60 REM OBJETIVO DEL PROGRAMA CALCULAR CAUDALES MEDIOS MENSUALES
70 REM RESULTADOS CAUDALES SIMULADOS SUPERFICIALES, SUBTERRANEOS Y FLUJO TOTAL
80 REM CUENCA DEL RIO QUIRA EN SANTA ROSA, ENERO 1961 A DICIEMBRE 1964
90 REM A$ ES UN COMENTARIO DE IDENTIFICACION
100 REM P1,P2,P3 Y P4 SON LOS PARAMETROS DEL MODELO, ADIMENSIONALES
110 REM P5 ES LA MAXIMA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DEL SUELO (MM)
120 REM T9 ES EL NUMERO PROMEDIO DE SEGUNDOS DEL INTERVALO DE TRABAJO
130 REM A ES EL COEFICIENTE EVAPORIMETRICO, ADIMENSIONAL
140 REM C9 ES EL FACTOR DE CONVERSION DE MM A M^3/SEG
150 REM L ES EL AREA DE LA CUENCA EN KM^2
160 REM R(0),D(0) Y S(0) SON LAS CONDICIONES INICIALES DE HUMEDAD (MM)
170 REM P ES LA PRECIPITACION MEDIA (MM)
180 REM E ES LA EVAPORACION DE TINA MEDIA (MM)
190 REM O ES EL CAUDAL MEDIO EN EL SITIO DE CIERRE DE LA CUENCA (M^3/SEG)
200 REM W ES EL EXCESO DE AGUA EN EL SUELO (MM)
210 REM R ES LA RESERVA DE AGUA EN EL SUELO (MM)
220 REM D ES LA RETROALIMENTACION DEL FLUJO SUPERFICIAL (MM)
230 REM S ES LA RETROALIMENTACION DEL FLUJO SUBTERRANEO (MM)
240 REM ETP ES LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MEDIA (MM)
250 REM V ES LA EVAPOTRANSPIRACION REAL MEDIA (MM)
260 REM G ES EL ESCURRIMIENTO MEDIO SUPERFICIAL (M^3/SEG)
270 REM Q ES EL ESCURRIMIENTO MEDIO SUBTERRANEO (M^3/SEG)
280 REM T ES LA PERDIDA HACIA OTRAS CUENCAS O PERCOLACION PROFUNDA (MM)
290 REM U ES UNA VARIABLE AUXILIAR PARA LA TERCERA FORMULACION (MM)
300 REM F ES EL FLUJO TOTAL MEDIO A LA SALIDA DE LA CUENCA (M^3/SEG)
310 REM N ES EL NUMERO DE DATOS DE LA SERIE DE TIEMPO
320 REM I ES LA POSICION I-ESIMA EN LA SERIE DE TIEMPO
330 REM X1 DEFINE EL TIPO DE FORMULACION MATEMATICA DEL MODELO
340 DIM P(100),E(100),W(100),R(100),U(100),V(100),D(100),S(100),G(100)
350 DIM Q(100),T(100),F(100),O(100)
360 GOSUB 410
370 GOSUB 540
380 GOSUB 1040
390 GOSUB 1240
400 END
410 REM SUBROUTINA PARA LEER DATOS
420 REM =====
430 READ A$,P1,P2,P3,P4,P5,D(0),R(0),S(0),A,N,L,T9
440 FOR I=1 TO N
450 READ P(I)
460 NEXT I
470 FOR I=1 TO N
480 READ E(I)
490 NEXT I
500 FOR I=1 TO N
510 READ O(I)
520 NEXT I
530 RETURN
540 REM SUBROUTINA PARA CALCULAR LOS EXCESOS DE AGUA
550 REM =====
```

```

560 INPUT "CUAL FORMULACION QUIERE, PRIMERA=1, SEGUNDA=2, TERCERA=3": X1
570 C9=1000*L/T9
580 FOR I=1 TO N
590 IF X1=1 OR X1=2 THEN 620
600 U(I)=P(I)+D(I-1)+S(I-1)
610 GOTO 630
620 U(I)=P(I)
630 IF R(I-1)+U(I)-E(I)*A-P5>=0 THEN 690
640 W(I)=0
650 IF R(I-1)+U(I)-E(I)*A>=0 THEN 720
660 R(I)=0
670 V(I)=R(I-1)+U(I)
680 GOTO 740
690 R(I)=P5
700 W(I)=U(I)+R(I-1)-E(I)*A-P5
710 GOTO 730
720 R(I)=R(I-1)+U(I)-E(I)*A
730 V(I)=E(I)*A
740 ON X1 GOSUB 770,860,950
750 NEXT I
760 RETURN
770 REM SUBROUTINA PARA LA PRIMERA FORMULACION DEL MODELO
780 REM =====
790 D(I)=(W(I)/P1+D(I-1))*(1-1/P2)
800 G(I)=(W(I)/P1+D(I-1))/P2*C9
810 Q(I)=((W(I)*(1-1/P1)/P4)+S(I-1))/P3*C9
820 S(I)=(W(I)*(1-1/P1)/P4+S(I-1))*(1-1/P3)
830 T(I)=W(I)*(1-1/P1)*(1-1/P4)
840 F(I)=G(I)+Q(I)
850 RETURN
860 REM SUBROUTINA PARA LA SEGUNDA FORMULACION DEL MODELO
870 REM =====
880 D(I)=(W(I)+D(I-1)+S(I-1))*(1-1/P2)/P1
890 G(I)=(W(I)+D(I-1)+S(I-1))/P1/P2*C9
900 Q(I)=(W(I)+D(I-1)+S(I-1))*(1-1/P1)/P3/P4*C9
910 S(I)=(W(I)+D(I-1)+S(I-1))*(1-1/P1)*(1-1/P3)/P4
920 T(I)=(W(I)+D(I-1)+S(I-1))*(1-1/P1)*(1-1/P4)
930 F(I)=G(I)+Q(I)
940 RETURN
950 REM SUBROUTINA PARA LA TERCERA FORMULACION DEL MODELO
960 REM =====
970 D(I)=W(I)*(1-1/P2)/P1
980 G(I)=W(I)/P1/P2*C9
990 Q(I)=W(I)*(1-1/P1)/P3/P4*C9
1000 S(I)=W(I)*(1-1/P1)*(1-1/P3)/P4
1010 T(I)=W(I)*(1-1/P1)*(1-1/P4)
1020 F(I)=G(I)+Q(I)
1030 RETURN
1040 REM SUBROUTINA PARA CALCULAR ESTADISTICA DE LA SIMULACION Y BALANCE DE AGUA
1050 REM =====
1060 B1=0: B2=0: B3=0: B4=0: B5=0: S1=0: S2=0: S3=0: D1=0: D2=0
1070 FOR I=1 TO N
1080 B1=B1+F(I)
1090 B2=B2+Q(I)
1100 B3=B3+P(I)

```

```

1110 B4=B4+V(I)
1120 B5=B5+T(I)
1130 NEXT I
1140 M1=B1/N:M2=B2/N
1150 FOR I=1 TO N
1160 S1=S1+(F(I)-M1)^2
1170 S2=S2+(O(I)-M2)^2
1180 S3=S3+((O(I)-M2)*(F(I)-M1))
1190 NEXT I
1200 D1=SQR(S1/(N-1)):D2=SQR(S2/(N-1))
1210 R=(S3/(N-1))/(D2*D1)
1220 C1=D1/M1:C2=D2/M2:B6=R(O)+D(O)+S(O):B7=R(N)+D(N)+S(N)
1230 RETURN
1240 REM SUBROUTINA PARA IMPRIMIR LAS SALIDAS
1250 REM =====
1260 LPRINT TAB(27);"MODELO BALANCE_";TAB(43);"FORMULACION No. ";X1
1270 LPRINT SPC(8);:LPRINT STRING$(68,"="):LPRINT TAB(9);A$
1280 LPRINT SPC(8);:LPRINT STRING$(68,"=")
1290 LPRINT TAB(10)"I";TAB(12);"PRE.P";TAB(18);"TIN.E";TAB(24);"ETR.V";TAB(30);
1300 LPRINT "ALM.R";TAB(36);"SUP.D";TAB(42);"SUB.S";TAB(48);"SUP.G";TAB(54);
1310 LPRINT "SUB.Q";TAB(60);"FLU.F";TAB(66);"FLU.O";TAB(72);"PER.T"
1320 LPRINT TAB(12);" (mm)";TAB(18);" (mm)";TAB(24);" (mm)";TAB(30);" (mm)";TAB(36);
1330 LPRINT " (mm)";TAB(42);" (mm)";TAB(48);"--";TAB(56);" (m^3/s)";TAB(62);"--";
1340 LPRINT TAB(73);" (mm)";LPRINT SPC(8);:LPRINT STRING$(68,"=")
1350 FOR I=1 TO N:LPRINT SPC(8);:LPRINT USING "## ";I;
1360 LPRINT USING "###.## ";P(I);E(I);V(I);R(I);D(I);S(I);
1370 LPRINT USING " ##.## ";G(I);Q(I);F(I);O(I);T(I)
1380 NEXT I
1390 LPRINT SPC(8);:LPRINT STRING$(68,"="):LPRINT
1400 LPRINT TAB(9);"P1=";P1,"P2=";P2,"P3=";P3,"P4=";P4
1410 LPRINT TAB(9);"R(O)=";R(O),"D(O)=";D(O),"S(O)=";S(O),"P5=";P5
1420 LPRINT SPC(8);:LPRINT USING "MEDIA SIM. =###.## ";M1;
1430 LPRINT SPC(2);:LPRINT USING "DESV. ESTANDAR SIM. =###.## ";D1;
1440 LPRINT SPC(2);:LPRINT USING "COEF. VAR. SIM. =##.## ";C1
1450 LPRINT SPC(8);:LPRINT USING "MEDIA OBS. =###.## ";M2;
1460 LPRINT SPC(2);:LPRINT USING "DESV. ESTANDAR OBS. =###.## ";D2;
1470 LPRINT SPC(2);:LPRINT USING "COEF. VAR. OBS. =##.## ";C2
1480 LPRINT TAB(9);"MEDIAS Y DESVIACIONES ESTANDAR EN m^3/s"
1490 LPRINT SPC(8);:LPRINT USING "ENTRADAS-SALIDAS=####.## mm";B3-(B1/C9+B4+B5);
1500 LPRINT SPC(5);:LPRINT USING "CAMBIO DE ALMACENAMIENTO=####.## mm";B7-B6
1510 LPRINT SPC(8);:LPRINT USING "COEF. DE CORRELACION =##.## ";R
1520 RETURN
1530 DATA "RIO QUIRA EN SANTA ROSA, ENE/61 A DIC/64, DATO MENSUAL"
1540 DATA 1.4,3.6,3.6,1.150,100,150,50,0.7,48,563,2628000
1550 DATA 103,16.6,7.4,2.8,11,81.9,375.4,253.9,137.1,59.8,203.3,102.1
1560 DATA 139.8,44.2,24.8,3.7,158.2,237.4,264,231.8,184.9,92.9,69,111.3
1570 DATA 87.4,90.2,88.3,138.9,230.9,261.3,240.1,160.1,212.5,37.7,145.4,71.8
1580 DATA 30.5,15.5,40.3,130.1,59.1,259.1,289.6,226.6,175.4,157.8,236.4,173.4
1590 DATA 91.6,109.4,168,178.1,188.4,116.1,113.5,121.2,118.4,122,91.3,107.1
1600 DATA 76.6,97,142.8,170.4,141.2,104.3,116.6,122.6,144.1,148.9,119.8,105.6
1610 DATA 104.4,106.6,129.4,141.2,103.2,124.1,118.6,130.4,117.3,150.5,97.6,101.4
1620 DATA 112.6,128.4,148.6,139.7,176.8,107.1,116,133.2,121.5,131.2,118.4,79.4
1630 DATA 8.5,4.8,5.7,1.4,0.5,1.5,21.9,25.6,11.8,6.7,13.6,10.9,9.8,5.8,3.7,2,2.3
1640 DATA 9.8,13.2,15.4,18.2,7.2,5.6,5.6,5.8,6,6,1,5.4,13.5,17.6,21,19.7,20.5
1650 DATA 10.9,10.4,9.6,3.4,2.5,2.5,4.1,1.8,8.1,14.7,14.4,11.4,8.3,9.8,14.1

```

