

ESTUDIO HIDROCLIMÁTICO DE LA CUENCA DEL RÍO MARABASCO

Por *Arturo Jiménez Román**

RESUMEN

El régimen hidrológico del río Marabasco está vinculado principalmente a los elementos del clima predominantes en el área drenada.

En este trabajo se analiza cada uno de esos elementos y se cotejan con las características del escurrimiento, con la finalidad de explicar el comportamiento de sus aguas.

SUMMARY

The hidrological regime of the Marabasco river is tied principally to the elements of the climate of the basin.

In this study each one of those elements are analyzed and compared with the runoff features in order to explain the behavior of its regime.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la influencia de los elementos del clima en el régimen hidrológico de un río es esencial si se toma en consideración que el incremento y las pérdidas del agua de escurrimiento son el resultado, en la mayor parte de los casos, de la acción de ellos.

El propósito de este trabajo es explicar el régimen hidrológico del río Marabasco, en función de los elementos acuosos del clima, con el fin de conocer la manera como

influyen en el agua de escurrimiento y, al mismo tiempo, lograr cuantificar el recurso.

La elección de esta cuenca obedece principalmente a que es escaso el aprovechamiento de sus aguas, por lo que este estudio puede contribuir a mejor planeación de este recurso.

La información climatológica fue proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional y la Dirección de Hidrología de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Con respecto a los datos hidrométricos, estos fueron recabados en esta última Dirección.

La cartografía empleada corresponde a la Dirección de Estudios del Territorio Nacio-

* Investigador del Instituto de Geografía de la UNAM.

nal, de la Secretaría de Programación y Presupuesto.

LOCALIZACIÓN Y LIMITES

El área drenada por el río Marabasco o Cihuatlán se encuentra localizada entre los paralelos 19°09'05" y 19°36'40" de latitud Norte y los meridianos de 103°59'30" y 104°36'15" de longitud Oeste; es decir, queda ubicada entre los estados de Jalisco y Colima de cuya superficie total corresponde, el 64.82% al primero y el 35.18% al último.

La línea divisoria que determina el espacio avenado por este río está compartida con las cuencas del río Armería, por el norte y el este; por el sur con los arroyos El Zacate, Punta de Agua y el estero Potrero Grande; por el noreste con el río Purificación y por el oeste con el río Seco; así, todos ellos limitan al área drenada por el río Marabasco (Fig. 1).

FISIOGRAFÍA

Las condiciones físicas de la superficie de la cuenca en cuestión son significativas para un estudio hidrológico porque constituyen factores muy importantes que modifican los elementos del clima y, al mismo tiempo, condicionan el escurrimiento.

El área que desagua el río Marabasco representa una zona ubicada entre los sistemas montañosos de la Sierra Occidental y la Sierra Volcánica Transversal, constituyendo parte de la vertiente occidental del país.

La superficie, de 2 034.3 Km², es muy irregular ya que algunos de los elementos que integran los sistemas montañosos arriba señalados no presentan un orden particular determinado, sino que se distribuyen en forma arbitraria; de ellos sobresalen la Sierra de Perote, que se extiende de norte a sur en el extremo oriental de la cuenca y desde este punto hacia el oeste, quedando interrumpida en la parte central de la cuenca; la Sierra de Manantlán se proyecta de

nornoroeste a sursureste hasta unirse a la formación anterior y, por último, la Sierra de El Mamey va de noreste (desde la unión mencionada) hacia el suroeste (Fig. 2); todas ellas son de origen volcánico y se encuentran sumamente fracturadas.

Por otra parte, una zona próxima a la desembocadura del río está representada por la llanura costera del Océano Pacífico, cuyas dimensiones (6.09% del total del área de la cuenca) son bastante reducidas, por el acercamiento a la costa de los sistemas montañosos.

CLIMATOLOGÍA

Los efectos climáticos indiscutiblemente van a repercutir en el comportamiento del escurrimiento del río Marabasco, de ahí la necesidad de analizar los parámetros más significativos tales como la temperatura, la precipitación y la evaporación; para esto se ha utilizado la información de 19 estaciones meteorológicas (cuadro 1) de las cuales 18 tienen termómetro, 13 cuentan con evaporímetro y todas están equipadas con pluviómetro.

Con respecto a su ubicación, 5 de ellas se localizan dentro del área drenada y 14 fuera de ésta, siendo utilizadas como puntos de apoyo para el trazo de isolíneas.

Para determinar cuantitativamente el valor medio de cada uno de los elementos del clima en la región en estudio, se empleó el método de isolíneas que se trazaron en función de los datos recabados en las estaciones climatológicas y los determinados mediante ecuaciones matemáticas. Posteriormente se utilizó la siguiente fórmula:

$$Em = \frac{\sum em + a}{A}$$

cuyos parámetros son:

- Em = valor medio por determinar en sus respectivas unidades
 \sum em = valor medio entre cada dos isolíneas. Se determina de la semi-

nal, de la Secretaría de Programación y Presupuesto.

LOCALIZACIÓN Y LIMITES

El área drenada por el río Marabasco o Cihuatlán se encuentra localizada entre los paralelos 19°09'05" y 19°36'40" de latitud Norte y los meridianos de 103°59'30" y 104°36'15" de longitud Oeste; es decir, queda ubicada entre los estados de Jalisco y Colima de cuya superficie total corresponde, el 64.82% al primero y el 35.18% al último.

La línea divisoria que determina el espacio avenado por este río está compartida con las cuencas del río Armería, por el norte y el este; por el sur con los arroyos El Zacate, Punta de Agua y el estero Potrero Grande; por el noreste con el río Purificación y por el oeste con el río Seco; así, todos ellos limitan al área drenada por el río Marabasco (Fig. 1).

FISIOGRAFÍA

Las condiciones físicas de la superficie de la cuenca en cuestión son significativas para un estudio hidrológico porque constituyen factores muy importantes que modifican los elementos del clima y, al mismo tiempo, condicionan el escurrimiento.

El área que desagua el río Marabasco representa una zona ubicada entre los sistemas montañosos de la Sierra Occidental y la Sierra Volcánica Transversal, constituyendo parte de la vertiente occidental del país.

La superficie, de 2 034.3 Km², es muy irregular ya que algunos de los elementos que integran los sistemas montañosos arriba señalados no presentan un orden particular determinado, sino que se distribuyen en forma arbitraria; de ellos sobresalen la Sierra de Perote, que se extiende de norte a sur en el extremo oriental de la cuenca y desde este punto hacia el oeste, quedando interrumpida en la parte central de la cuenca; la Sierra de Manantlán se proyecta de

nornoroeste a sursureste hasta unirse a la formación anterior y, por último, la Sierra de El Mamey va de noreste (desde la unión mencionada) hacia el suroeste (Fig. 2); todas ellas son de origen volcánico y se encuentran sumamente fracturadas.

Por otra parte, una zona próxima a la desembocadura del río está representada por la llanura costera del Océano Pacífico, cuyas dimensiones (6.09% del total del área de la cuenca) son bastante reducidas, por el acercamiento a la costa de los sistemas montañosos.

CLIMATOLOGÍA

Los efectos climáticos indiscutiblemente van a repercutir en el comportamiento del escurrimiento del río Marabasco, de ahí la necesidad de analizar los parámetros más significativos tales como la temperatura, la precipitación y la evaporación; para esto se ha utilizado la información de 19 estaciones meteorológicas (cuadro 1) de las cuales 18 tienen termómetro, 13 cuentan con evaporímetro y todas están equipadas con pluviómetro.

Con respecto a su ubicación, 5 de ellas se localizan dentro del área drenada y 14 fuera de ésta, siendo utilizadas como puntos de apoyo para el trazo de isolíneas.

Para determinar cuantitativamente el valor medio de cada uno de los elementos del clima en la región en estudio, se empleó el método de isolíneas que se trazaron en función de los datos recabados en las estaciones climatológicas y los determinados mediante ecuaciones matemáticas. Posteriormente se utilizó la siguiente fórmula:

$$Em = \frac{\sum em + a}{A}$$

cuyos parámetros son:

- Em = valor medio por determinar en sus respectivas unidades
 $\sum em$ = valor medio entre cada dos isolíneas. Se determina de la semi-

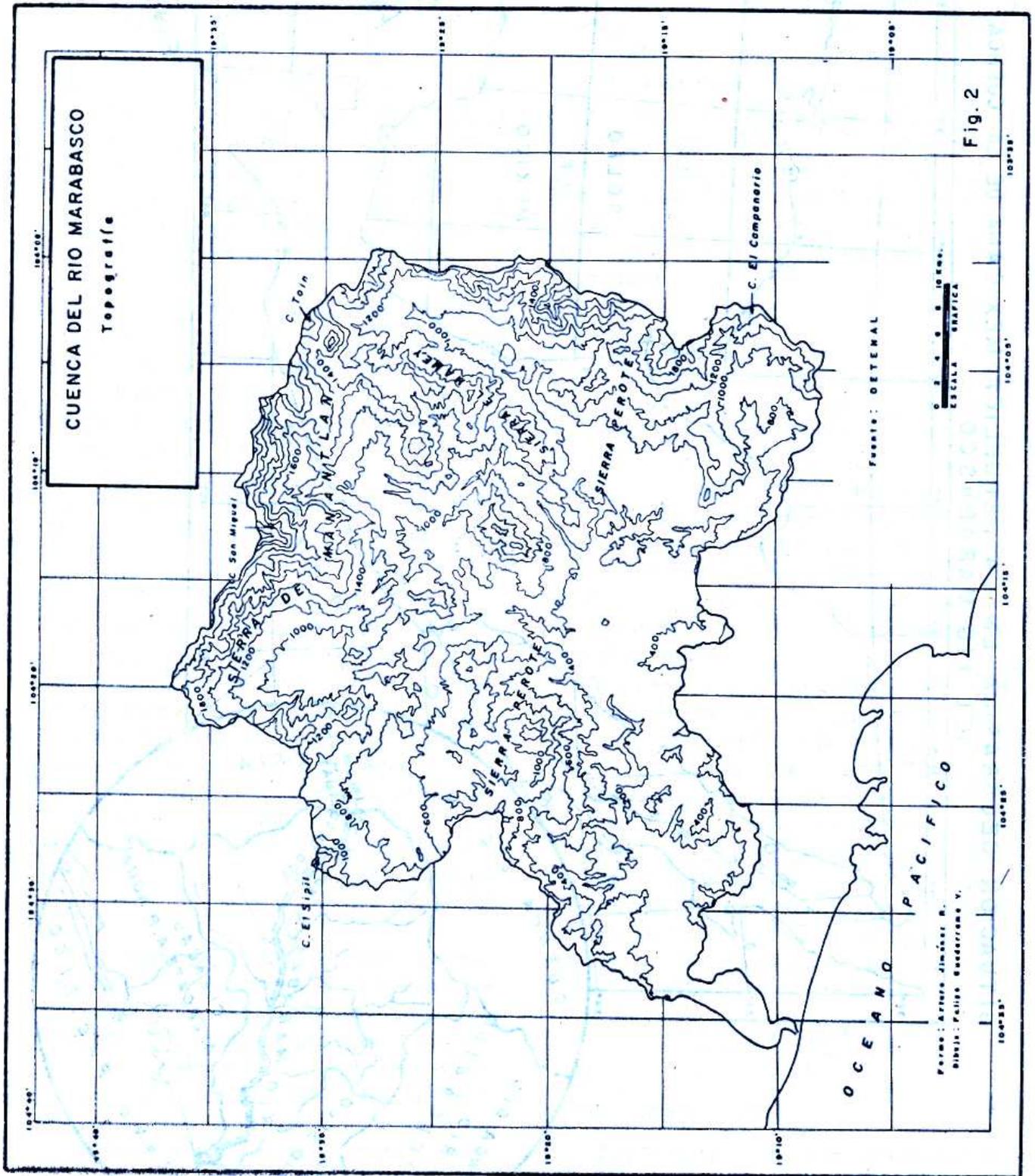


Fig. 2

CUADRO 1

Núm.	Nombre de la Estación	Coordenadas		
		Latitud	Longitud	Altitud*
1	Apasulco	19° 22' 35"	104° 52' 45"	15
2	Ayotitlán	19° 30' 50"	104° 10' 55"	930
3	Carranza V.	19° 03' 20"	104° 06' 55"	10
4	Castillo Casimiro	19° 38' 35"	104° 29' 05"	360
5	Chiflón, El	19° 36' 30"	104° 33' 05"	
6	Cihuatlán	19° 14' 20"	104° 33' 35"	35
7	Comala	19° 17' 25"	103° 45' 40"	600
8	Comotlán de M.	19° 13' 10"	104° 14' 25"	360
9	Cuautitlán	19° 27' 45"	104° 21' 45"	590
10	Huertas Las	19° 28' 45"	104° 38' 25"	290
11	Pueblo Juárez	19° 09' 55"	103° 57' 25"	
12	Manantlán	19° 35' 40"	104° 12' 45"	1 545
13	Manzanillo	19° 04' 50"	104° 18' 00"	5
14	Minatitlán	19° 23' 10"	104° 03' 05"	835
15	Peñitas	19° 14' 15"	103° 50' 00"	
16	Salada	19° 07' 30"	103° 48' 40"	
17	Seguaya	19° 18' 50"	104° 18' 00"	330
18	Tecomates	19° 35' 35"	104° 29' 10"	305
19	Zapotitlán	19° 33' 00"	103° 49' 00"	125

* Determinada del mapa topográfico

suma del valor de las dos isolíneas limitantes.

a = superficie entre cada dos isolíneas, en Km^2

A = área total de la cuenca, considerada en Km^2

Es importante dejar establecido que, en virtud de que este estudio solamente abarca hasta la estación hidrométrica Cihuatlán, las condiciones medias de los elementos del clima se refieren únicamente a los 2 005.6 Km^2 drenados hasta la estación hidrométrica y no a toda la cuenca del río Marabasco. En realidad, la diferencia es muy poca, tan sólo de 28.7 Km^2 .

1. *Temperatura.* La temperatura es un elemento del clima, aunque no acuoso, muy significativo para un estudio hidrológico, pues a pesar de que no tiene intervención directa puede decirse que su importancia radica en que actúa en otros elementos que sí afectan poderosamente el régimen de escurrimiento de todo río, como se explica más adelante.

La temperatura en la cuenca del río Marabasco varía en el tiempo y el espacio.

La localización geográfica de la cuenca dentro de la zona intertropical contribuye a que las temperaturas sean altas; por otro lado, el doble paso del Sol por el cenit se hace notorio en la curva del régimen térmico, por la presencia de dos ascensos de temperatura durante el año, aunque el segundo máximo con frecuencia no es muy marcado, por la presencia de las lluvias que propician un descenso de la temperatura; por otro lado, la acción de las masas de aire polar continental que año con año invaden el territorio nacional, y por ende la zona en estudio, propician descenso de la temperatura durante el invierno (Fig. 3, 4, 5 y 6).

La marcha anual de las temperaturas presenta generalmente extremos; las más bajas en invierno (principalmente en los meses de enero y febrero) y las más altas en el verano (en el que sobresalen los meses

de junio y julio), mientras que en la primavera y el otoño son consideradas como de transición.

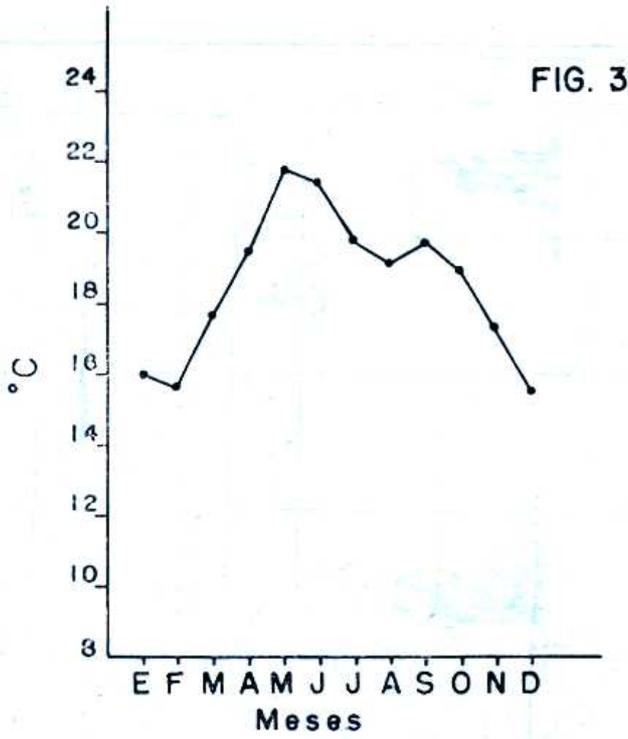
El hecho de que en cada una de las estaciones climatológicas se registren temperaturas distintas en la misma época del año, demuestra que esas diferencias térmicas están afectadas por las condiciones físicas del terreno, principalmente el relieve, pues se observa que la temperatura decrece, desde los 26.2°C en la estación Cihuatlán localizada a 35 msnm, hasta los 18.5°C en la estación Manantlán ubicada a 1 545 m de altitud; esto puede comprobarse en la figura 7, con lo que se confirma que la temperatura decrece a medida que se gana altitud.

La temperatura media anual de la cuenca del río Marabasco se ha calculado utilizando la metodología ya señalada, con base en la información del cuadro 2; de acuerdo con esto, la estimación resulta de 23.5°C.

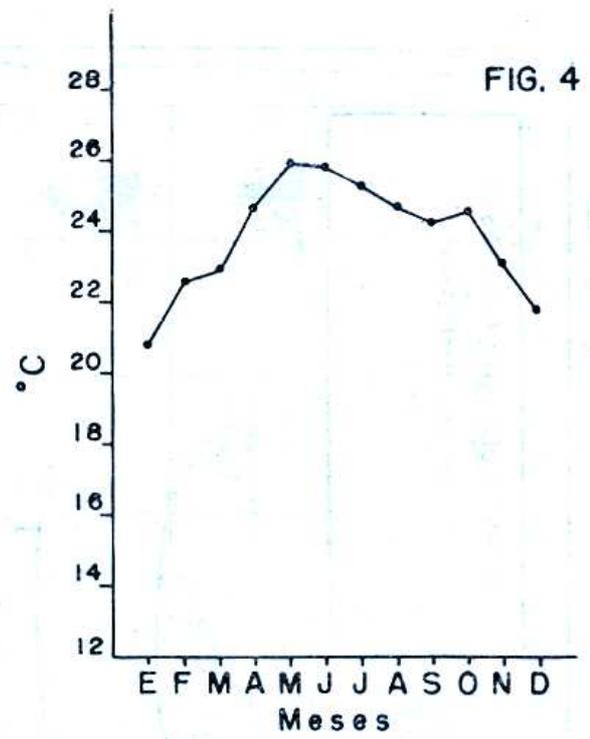
2. *Precipitación.* La precipitación es el elemento del clima de mayor importancia en todo estudio hidrológico porque, generalmente, constituye la principal fuente de alimentación de un río.

La precipitación en la cuenca del río Marabasco está determinada en parte por la circulación general de la atmósfera, la cual interviene a través de los vientos del sureste que transportan la humedad que a su paso recogen del Golfo de México, y se dirigen al noroeste durante las estaciones de verano y principios del otoño; es decir, marcan la época lluviosa más significativa del año, la cual se inicia generalmente en el mes de junio (Fig. 8).

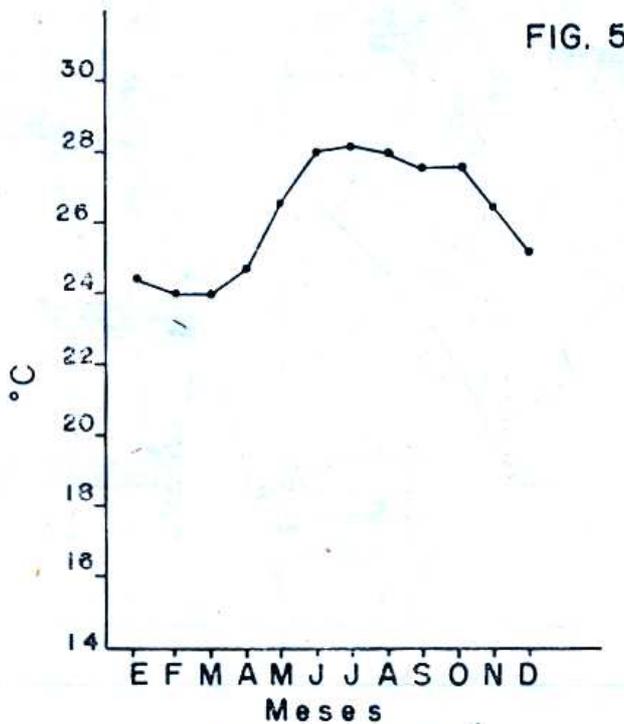
Las perturbaciones que tienen origen dentro de la zona de los vientos alisios, a los que se les denomina ondas del este, se presentan en periodos alternos de buen tiempo con lapsos consecutivos de precipitación que en ocasiones se prolongan por varios días. El periodo de estas condiciones del tiempo se presenta desde el mes de junio y alcanza su máximo en agosto, para, posteriormente,



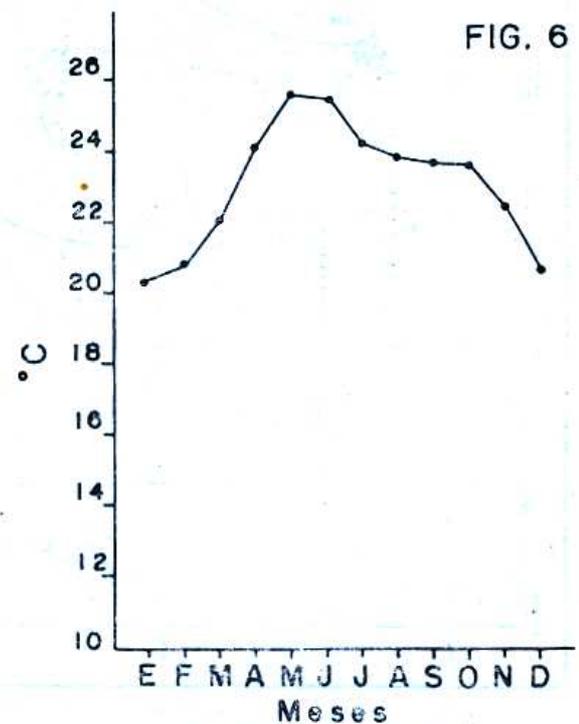
Estación Manantlán



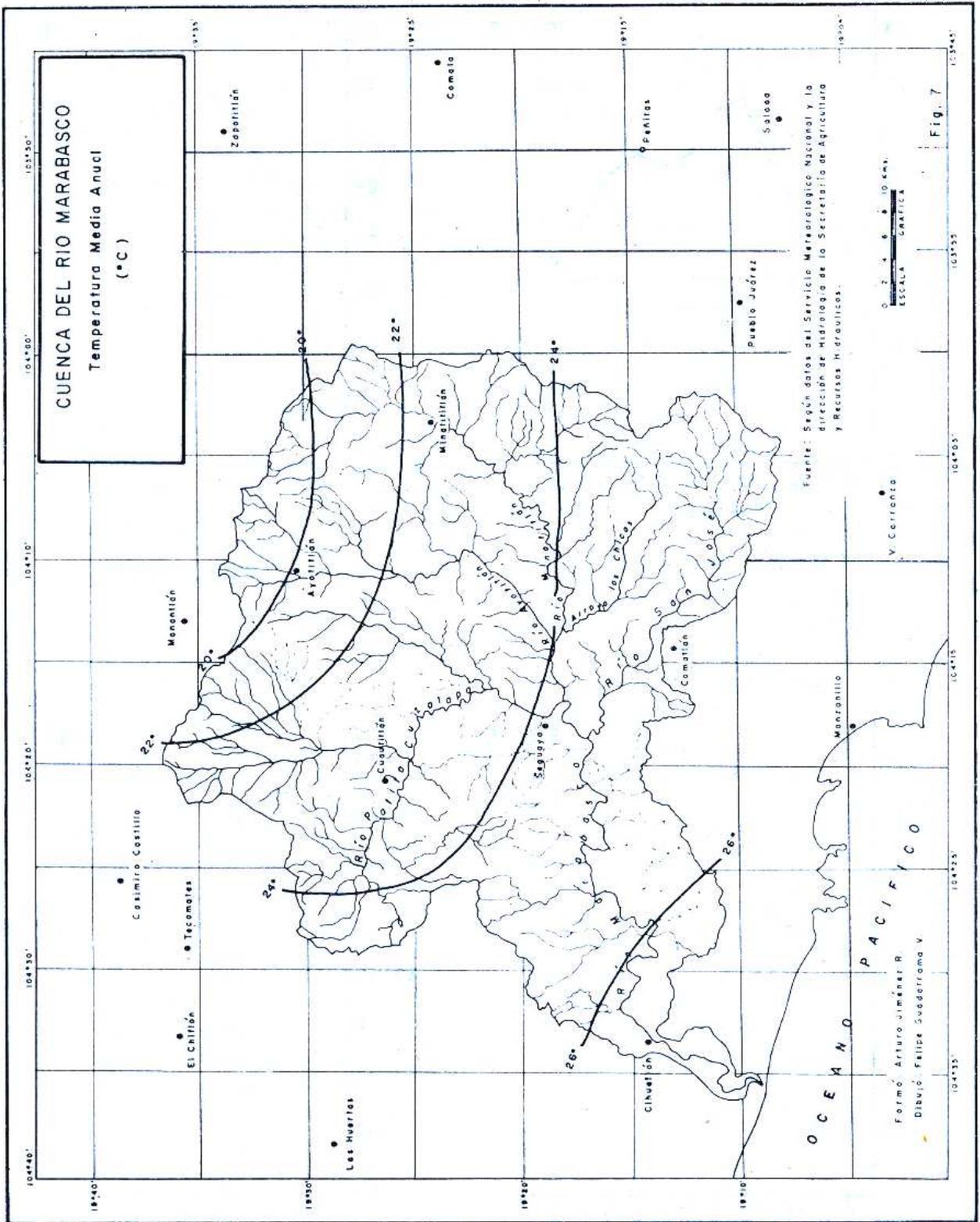
Estación Minatitlán



Estación Cihuatlán



Estación Cucutitlán



CUADRO 2

No.	Estación	°C	No.	Estación	°C
1	Apasulco	28.511	Pueblo Juárez	25.5	
2	Ayotitlán	21.612	Manantlán	18.5	
3	Carranza V.	26.013	Manzanillo	26.3	
4	Casimiro Castillo	27.714	Minatitlán	23.9	
5	Chiflón, El	26.715	Peñitas	26.9	
6	Cihuatlán	26.216	Salada	25.5	
7	Comala	22.217	Seguaya	25.0	
8	Camotlán de M.	24.718	Tecomates	25.4	
9	Cuautitlán	23.119	Zapotitlán		
10	Huertas, Las	25.2			

finalizar en octubre con una frecuencia de 0.7, 1.4 y 0.3¹ respectivamente.

Los ciclones tropicales es otro tipo de perturbaciones que intervienen poderosamente en la distribución temporal y espacial de la lluvia en la cuenca del río Marabasco; este tipo de fenómenos generalmente se origina en el Golfo de Tehuantepec, en un lapso que comprende desde el mes de mayo al de noviembre, siendo más frecuente su formación en septiembre (2.0).¹ De los ciclones que se desplazan generalmente paralelos al litoral, el 18%¹ logra tocar la costa en una amplia superficie en la que queda localizada la cuenca en estudio.

A la temporada de lluvia de verano debe agregarse la influencia de los vientos cálidos y húmedos procedentes del Océano Pacífico y las condiciones locales de la atmósfera de la cuenca en cuestión.

La altura promedio de la lluvia aumenta de 13.9 mm, en el mes de mayo, a 179.3 mm, en junio, llegándose a incrementar hasta 295.6 mm, en agosto; posteriormente, el periodo húmedo finaliza en el mes de octubre, con 163.0 mm.

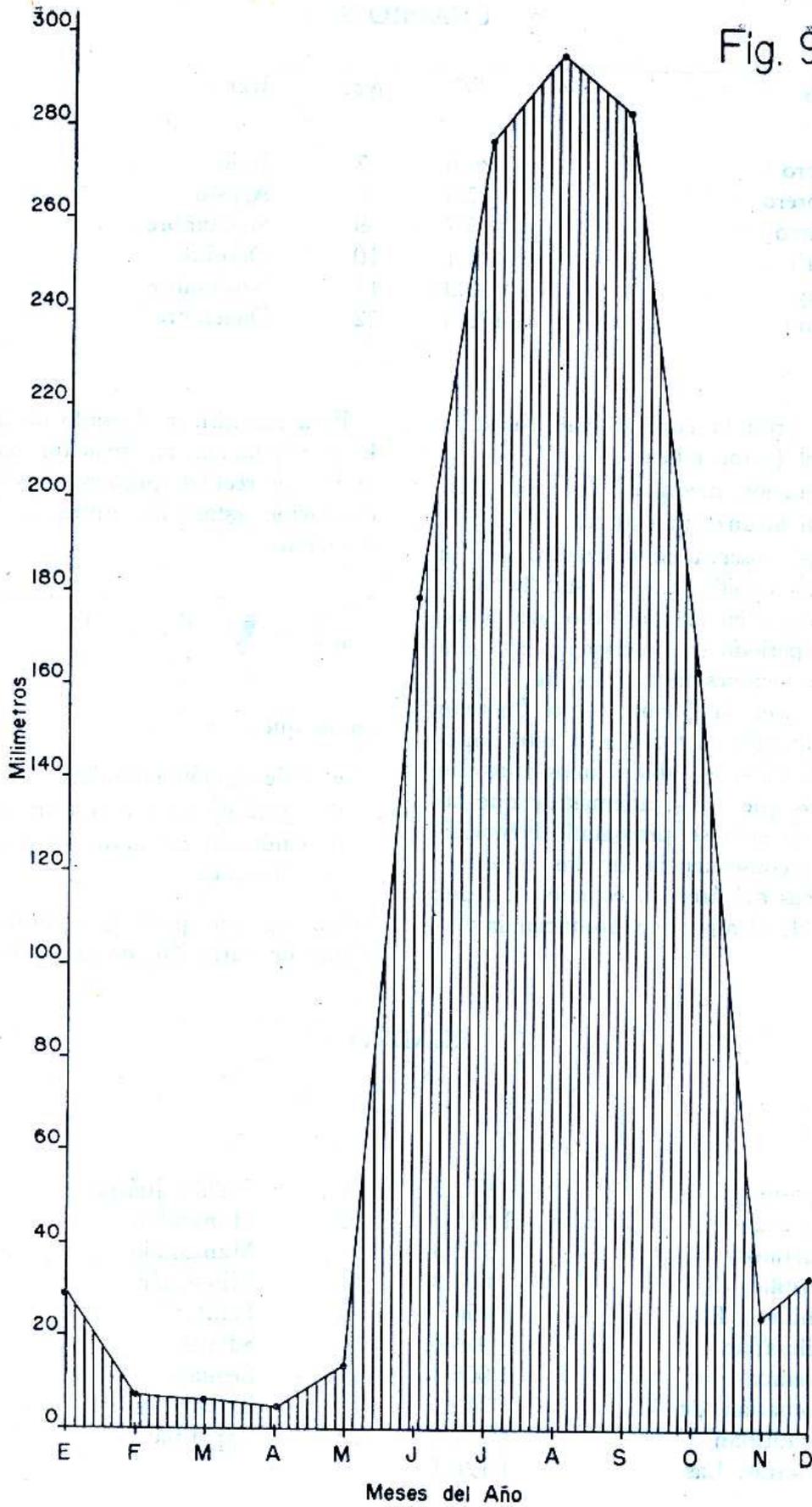
¹ Jáuregui O. Ernesto, "Las ondas del este y los ciclones tropicales en México", *Rev. Ingeniería Hidráulica en México*, Vol. XXI, Núm. 3, pp. 206 y 207, México 1967.

Las precipitaciones de la temporada invernal en el área en estudio resultan ser de menor importancia (7.5% de la anual) en relación con las de verano y principios del otoño; las primeras son el resultado de las invasiones de masas de aire continental polar que proceden del Canadá, generalmente te durante el periodo que va del mes de noviembre al de abril del año siguiente.

En la distribución temporal de la lluvia sobresale el mes de agosto, con 295.6 mm (Fig. 9 y cuadro 3).

La precipitación mayor promedio se registró en la estación meteorológica Cuautitlán, con 1767.9 mm, localizada a 590 msnm dentro de la cuenca, y la más escasa en Venustiano Carranza alcanzó sólo 742.6 mm; esta lluvia se observó a 10 m de altitud. Estas variaciones, además de las causas ya establecidas, también se deben a las irregularidades del terreno, pues la distribución espacial de las lluvias está modificada por el relieve representado por la Sierra de Manantlán en cuyas estribaciones se localiza la mayor precipitación, o sea más de 1600 mm, debido a que ahí las masas de aire húmedo alcanzan su nivel de condensación, mientras que en la parte más alta se reduce a 1400 mm y en la desembocadura

Fig. 9



CUADRO 3

No.	Mes	°C	No.	Mes	mm
1	Enero	30.0	7	Julio	276.6
2	Febrero	7.3	8	Agosto	295.6
3	Marzo	6.7	9	Septiembre	282.8
4	Abril	4.4	10	Octubre	163.0
5	Mayo	13.9	11	Noviembre	24.3
6	Junio	179.3	12	Diciembre	32.7

a 1 000 mm, con lo cual se comprueba la influencia del factor relieve (Fig. 10).

La precipitación media en la cuenca del río Cihuatlán alcanza una altura de 1 507.1 mm, como se observa en el cuadro 4 y la Fig. 10, pero debido a que esta lluvia se obtiene con base en el promedio aritmético de un largo periodo de observación en cada una de las estaciones meteorológicas, es importante conocer la forma como fluctúan los valores anuales en torno a la cifra anterior, ya que, como es sabido, unos años son más húmedos que otros; además de que las variaciones no sólo se presentan territorialmente como consecuencia de las condiciones geográficas del área en estudio, sino por los sistemas de tiempo que producen la lluvia.

Para cuantificar el grado de dispersión de la precipitación en relación con la lluvia anual, se recurre primero al cálculo de la desviación estándar, utilizando la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{P^2}{n} - \frac{P^2}{n}}$$

en la que:

σ = desviación estándar

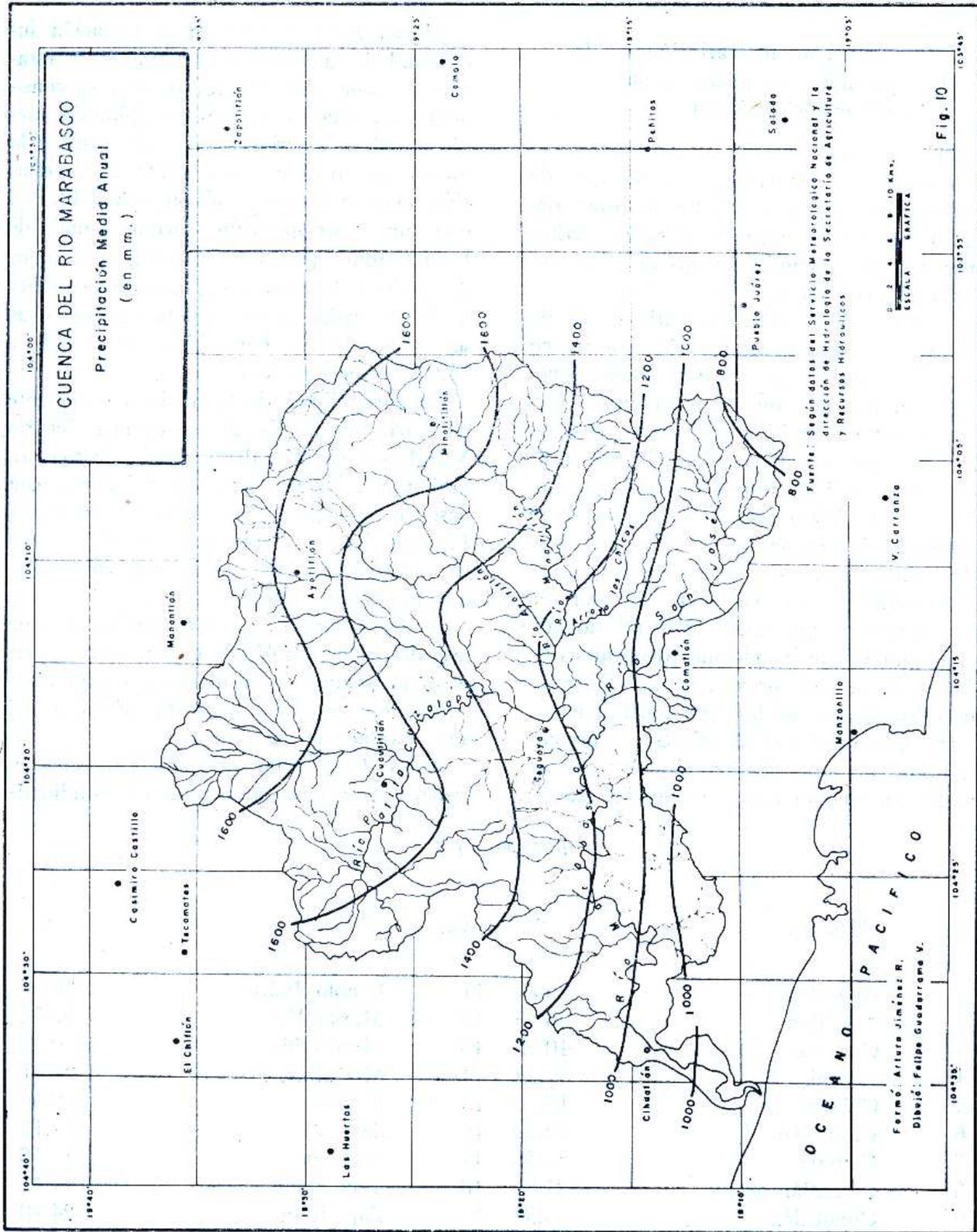
P = precipitación anual en mm

n = número de años del periodo de observación

como segundo paso se determina el coeficiente de variación, de la siguiente manera:

CUADRO 4

No.			No.		
1	Apasulco	952.9	11	Pueblo Juárez	742.6
2	Ayotitlán	1 618.5	12	Manantlán	1 377.2
3	Carranza V.	732.3	13	Manzanillo	1 236.0
4	Castillo C.	1 687.8	14	Minatitlán	1 740.3
5	Chiflón, El	1 450.0	15	Peñitas	1 134.3
6	Cihuatlán	974.6	16	Salada	767.7
7	Comala	1 006.1	17	Seguaya	1 232.4
8	Comatlán de M.	949.1	18	Tecomates	1 607.1
9	Cuautitlán	1 767.5	19	Zapotitlán	670.1
10	Huertas, Las	1 128.1			



$$CV = \frac{100 \sigma}{P}$$

donde:

- CV = coeficiente de variación en %
 P = precipitación media anual
 σ = desviación estándar

Así, en cada una de las estaciones meteorológicas, se advierte que cada una de éstas presenta grados diferentes de dispersión, por lo que fue necesario localizarlos territorialmente para delimitar zonas de igual variabilidad (cuadro 5).

El análisis de la carta de variabilidad de la lluvia de la cuenca del río Marabasco (Fig. 11) indica que dichas fluctuaciones se presentan generalmente de manera inversa a la altura de la precipitación, esto es, las variaciones son menores en la Sierra de Manantlán (20%) donde la lluvia es mayor (más de 1 600 mm); desde esta sierra la precipitación presenta más variación hacia todas direcciones, excepto al noroeste.

El coeficiente de variación del sureste, sur y suroeste, seguramente está relacionado con las lluvias de los ciclones tropicales que influyen en la costa próxima al área en estudio; mientras que en la parte norte, además de las perturbaciones anteriores, se presentan masas de aire continental polar que se manifiestan en esta parte con lluvias excep-

cionales; por otro lado, en la porción nor-oriental las ondas del este dejan sentir allí sus efectos.

El porcentaje mayor en la variación interanual de la lluvia se presenta en la estación Comala, con 54.5%, la cual se considera muy alta ya que su precipitación media anual es superior a los 1 000 mm; y la menor fluctuación corresponde a la estación meteorológica El Chiflón, con el 13.7%, con una precipitación media anual de 1 450.0 mm; ambas están localizadas fuera de la línea de parteaguas, pero si se prefieren las ubicadas dentro de la cuenca, ellas son Cihuatlán y Cuautitlán, con 28.5 y 15.5% respectivamente.

La variabilidad de la lluvia o coeficiente de variación media de la cuenca del río Marabasco ha sido determinada de manera similar a la de los elementos del clima, con base en los datos del cuadro 4 y la figura 11, obteniéndose como resultado 32.8% en las fluctuaciones de la precipitación, valor que no es muy alto.

3. *Evaporación.* La evaporación es una fase del ciclo hidrológico cuyo efecto se presenta de manera muy marcada en los escurrimientos, porque representa pérdidas del agua captada en la cuenca.

Antes de abordar de lleno este tema es importante aclarar que, para un estudio de

CUADRO 5

No.	Estación	%	No.	Estación	%
1	Apasulco	25.83	11	Pueblo Juárez	33.96
2	Ayotitlán	26.13	12	Manantlán	22.52
3	Carranza V.	40.29	13	Manzanillo	30.10
4	Casimiro C.	17.27	14	Minatitlán	21.71
5	Chiflón, El	13.70	15	Peñitas	19.09
6	Cihuatlán	28.50	16	Salada	17.12
7	Comala	54.49	17	Seguaya	17.50
8	Comatlán de M.	21.31	18	Tecomates	14.14
9	Cuautitlán	15.54	19	Zapotitlán	24.10
10	Huertas, Las	14.61			

hidrología no solamente es importante la evaporación que ocurre directamente de un cuerpo de agua, sino, también, la que se desprende del suelo y la que las plantas dejan escapar fisiológicamente. En el primero de los casos se efectúa la evaporación potencial, o sea el agua que se pierde cuando la atmósfera dispone constantemente de agua para evaporar, mientras en el segundo y tercer casos tiene lugar la evaporación del agua que realmente existe en el terreno, a la que se le llama evaporación real.

Evaporación potencial. La evaporación potencial está representada por los registros hechos directamente en el tanque del evaporímetro de cada estación meteorológica.

El régimen anual de la evaporación potencial en la cuenca del río Marabasco está relacionado, en parte, con el comportamiento de la temperatura a lo largo del año, lo cual resulta lógico, ya que a mayor temperatura corresponde alta evaporación; esto ocurre generalmente en el mes de mayo, cuando alcanza 202.2 mm; sin embargo, en el verano la evaporación se abate a partir de ese mes, por la presencia de la precipitación; es decir, el poder evaporante de la atmósfera se reduce porque ésta va a tomar la humedad procedente de la lluvia; en el mes de enero adquiere el promedio más bajo, que es de 111.0 mm, como resul-

tado de la disminución de las temperaturas (cuadro 6 y Fig. 12).

La distribución espacial de la evaporación potencial en la cuenca en estudio está también vinculada con la temperatura que, a su vez, es modificada por el relieve. En la cabecera de la cuenca es más reducida la evaporación (1 500 mm) y la temperatura es baja; aumenta hacia la desembocadura y al este, correspondiendo este aumento a las altas temperaturas.

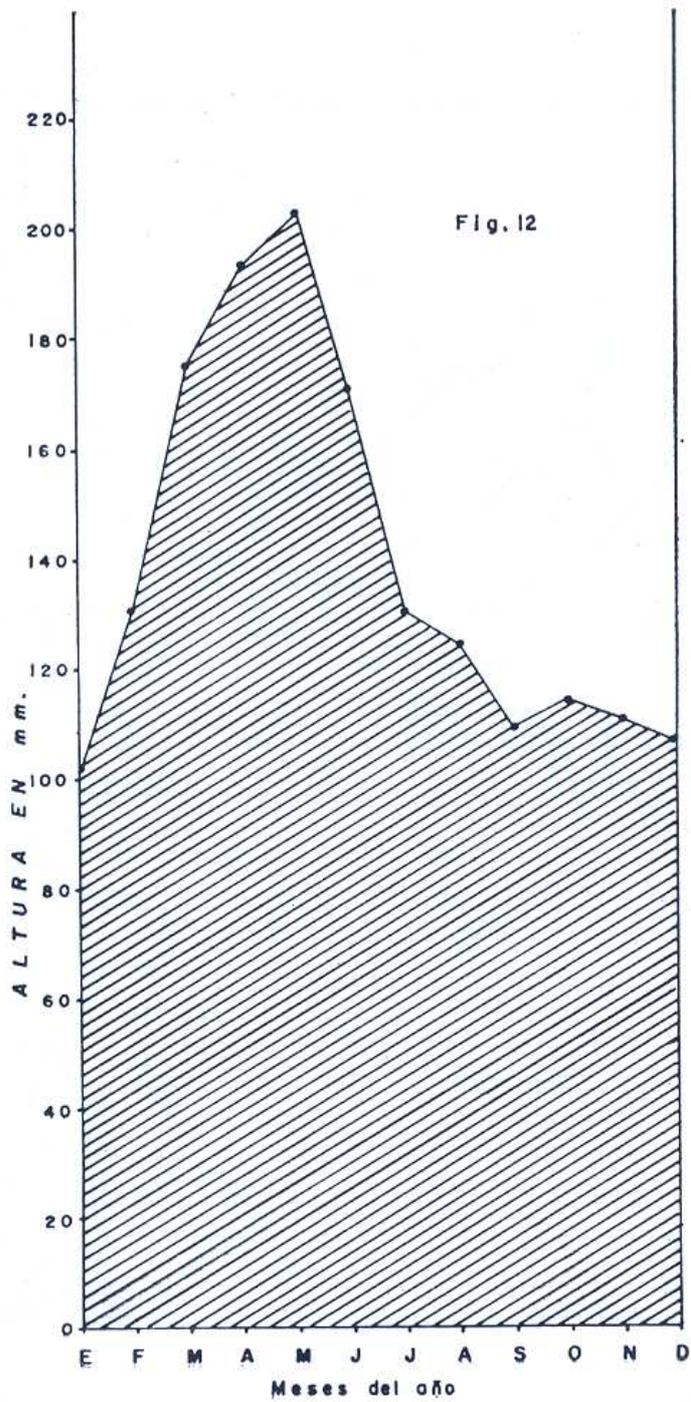
La evaporación potencial media anual de la cuenca en estudio, de acuerdo con los datos del cuadro 7 y la figura 13, se calculó en 1 722.9 mm.

Evaporación real. La evaporación obtenida directamente del evaporímetro no es representativa del área drenada por el río Marabasco porque no cuenta con una capa de agua que cubra constantemente la cuenca y, por tanto, resulta mayor que la normal; por esto, y con base en la información disponible, se decidió utilizar la fórmula desarrollada por Thornthwaite en 1944, para calcular la evapotranspiración media real de la cuenca:²

² Secretaría de Recursos Hidráulicos, *Instructivo para la determinación del clima de acuerdo con el segundo sistema de Thornthwaite*, pp. 11-16.

CUADRO 6

No.	Mes	mm	No.	Mes	mm
1	Enero	111.0	7	Julio	132.2
2	Febrero	132.2	8	Agosto	126.0
3	Marzo	177.0	9	Septiembre	110.2
4	Abril	193.6	10	Octubre	116.5
5	Mayo	202.2	11	Noviembre	112.8
6	Junio	173.8	12	Diciembre	98.9



CUADRO 7

No.	Estación	mm	No.	Estación	mm
1	Apasulco	1 663.8	8	Pueblo Juárez	1 991.7
2	Carranza V.	1 610.4	9	Manantlán	1 426.1
3	Castillo C.	1 644.6	10	Minatitlán	1 886.3
4	Chiflón, El	1 766.3	11	Peñitas	2 256.4
5	Cihuatlán	1 754.0	12	Seguaya	1 529.1
6	Comatlán de M.	1 945.3	13	Tecomates	1 602.2
7	Huertas, Las	1 846.8			

$$EVT' = 1.6 \left(10 \frac{t}{I}\right) \alpha$$

en que:

EVT' = Evapotranspiración mensual en cm, para un mes teórico de 30 días y una insolación teórica de 12 horas.

Sin corrección por latitud.

t = temperatura media anual en °C

α = se obtiene de la ecuación:

$$\alpha = \frac{1.6}{100} I + 0.5$$

en la cual:

I = índice anual de calor que se determina de la suma de los 12 índices mensuales (i), mismos que son el resultado de la aplicación de la fórmula:

$$i = \left(\frac{t}{5}\right) 1.514$$

en la que:

i = índice térmico mensual.

t = temperatura media mensual en °C

Para obtener la evapotranspiración corregida se hace uso del valor iluminación, de acuerdo con la latitud que se da en tablas; y la evaporación real se reduce de la siguiente manera:

$$EVT = EVT'(F)$$

en donde:

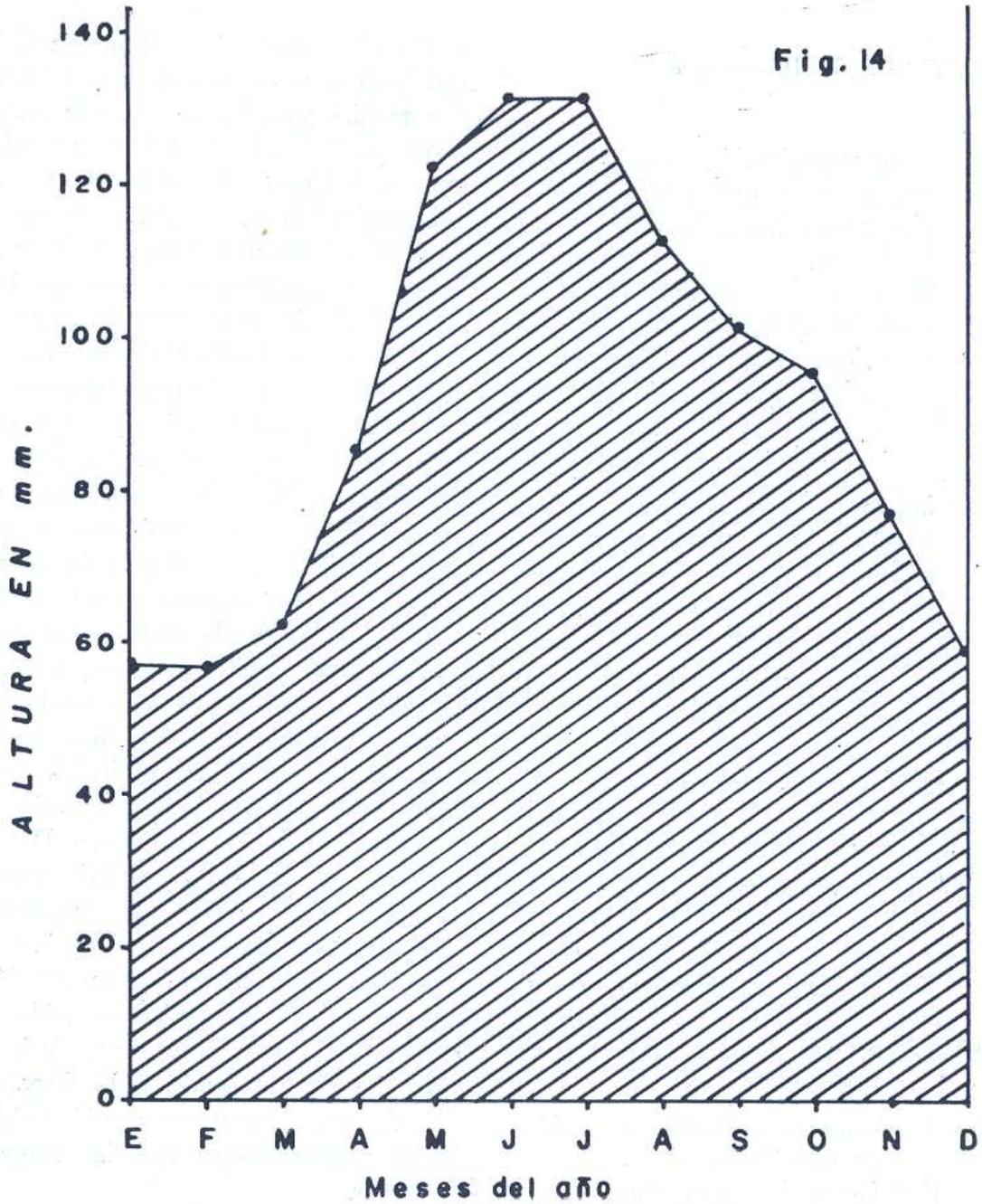
EVT = evapotranspiración corregida en cm (la real)

F = factor de corrección

Como resultado de la secuencia de la metodología anterior se obtuvieron los resultados medios para la cuenca, que presenta el cuadro 8, y con base en ellos se puede apreciar, en la figura 14, que el ritmo de la evapotranspiración se comporta de manera semejante al poder evaporante de la atmósfera; en esa gráfica se observa que la curva se agudiza desde el mes de marzo (62.3 mm) hasta los meses de junio (130.8 mm) y julio (131.1 mm) que conforman su pico, y corresponden al lapso de mayor pérdida como consecuencia de las altas temperaturas y la disponibilidad de agua por las precipitaciones que comienzan a generalizarse. Desde el mes de julio la evapotranspiración decrece a pesar de que las temperaturas siguen siendo altas en los meses de agosto, septiembre y octubre, pero el aire ha absorbido parte de la humedad de las lluvias de la época y, por tanto, su capacidad de absorción ha disminuido, pero las primeras han contribuido a que dicha evaporación se abata suavemente. Durante el invierno, la relativamente baja temperatura del aire no permite una evapotranspiración alta, mientras que en la primavera las escasas precipitaciones de esta estación y el agua que no se evaporó o escurrió en el invierno contribuyen al aumento de la evapotranspiración, poniendo a la disponibilidad del aire una importante cantidad del líquido al mismo tiempo que las temperaturas se elevan.

CUADRO 8

1	Enero	56.8	7	Julio	131.1
2	Febrero	55.9	8	Agosto	112.7
3	Marzo	62.3	9	Septiembre	101.0
4	Abril	85.0	10	Octubre	95.6
5	Mayo	121.5	11	Noviembre	76.9
6	Junio	130.8	12	Diciembre	58.0



Para conocer la distribución territorial de la evaporación real anual se recurrió a la fórmula de L. Turc.³

$$EVT = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

en la que:

EVT = evaporación real o evapotranspiración anual en mm.

P = precipitación anual en mm.

L = variable según la temperatura, esto es

$$L = 300 + 25t + 0.05 t^3$$

donde:

T = temperatura media anual en °C

La aplicación de esta fórmula y no la del autor anterior obedece, principalmente, a mayor disponibilidad de elementos de información, y facilidad de manejo de los mismos, que los requeridos para el método de Thornthwaite.

De la aplicación de la fórmula se obtuvieron los datos del cuadro 9, con los que se trazó la figura 15 en la que se puede ver que la evapotranspiración anual tam-

bién está íntimamente relacionada con la temperatura y la precipitación, lo cual resulta obvio si se considera que ambos elementos constituyen los parámetros de la fórmula de Turc.

La evaporación real en la cuenca en cuestión generalmente aumenta con el relieve, hasta determinada altitud, y decrece en la cabecera de la cuenca; esto es, de 700 mm en la desembocadura, hasta los 800 mm en la Sierra de Perote y las estribaciones de la Sierra de Manantlán; a partir de ésta, la evapotranspiración disminuye conforme se gana altitud.

El comportamiento territorial de la evaporación real está determinado principalmente por la disponibilidad de agua tanto por las lluvias como por la presencia del Océano Pacífico, por un lado, y por otro, por la capacidad de la atmósfera para absorber humedad. En el primer caso se puede apreciar, al comparar las figuras 7, 10 y 15, que la evapotranspiración varía de manera similar a la precipitación; sin embargo, hay que tener en cuenta que las bajas temperaturas de la cabecera no permiten que exista una pérdida muy grande, pero en el caso de la cuenca baja, la temperatura es alta y la precipitación considerable; a pesar de eso, la evaporación real no es muy alta debido a que el aire ha absorbido gran cantidad de humedad del Océano Pacífico.

³ Remenieras, G., *Tratado de Hidrología Aplicada*, Ed. Técnicos Asociados, S. A., p. 236, Barcelona, 1971.

CUADRO 9

No.	Estación	mm	No.	Estación	mm
1	Apasulco	667.2	10	Huertas, Las	559.3
2	Ayotitlán	769.1	11	Pueblo Juárez	565.7
3	Carranza V.	563.1	12	Manantlán	632.8
4	Castillo C.	906.4	13	Manzanillo	791.3
5	Chiflón, El	873.1	14	Minatitlán	869.5
6	Cihuatlán	683.6	15	Peñitas	700.9
7	Comala	622.0	16	Salada	576.5
8	Comatlán de M.	646.5	17	Seguaya	755.0
9	Cuautitlán	848.4	18	Tecomates	897.3

La evaporación real media anual del espacio drenado por el río Marabasco se determinó de la misma manera que los elementos del clima hasta ahora tratados. La altura resultante es de 689.7 mm que resulta más lógica en comparación con la evaporación potencial y la precipitación.

HIDROGRAFIA

a) Río Principal.

1. *Río Marabasco.* El río Marabasco o Cihuatlán nace en un lugar localizado a los $104^{\circ}13'0''$ de longitud Oeste y los $19^{\circ}32'31''$ de latitud Norte, ubicado a 2 830 m de altitud en la Sierra de Manantlán; con el nombre de arroyo La Paloma, se desplaza con una orientación noreste-suroeste, hasta la población de Cuzalapa, Jal. donde toma esta denominación y cambia de rumbo hacia el sur, recibiendo a su paso las descargas del río Ayotitlán, su afluente principal; después de este sitio modifica su trayectoria de este-noreste a sur-suroeste, y a 5.3 Km corriente abajo las aguas del río San José son descargadas en él, y a 3.9 Km antes de la estación hidrométrica Cihuatlán el colector general nuevamente cambia su curso hacia el suroeste, hasta su desembocadura en el Océano Pacífico.

Desde la confluencia del río Ayotitlán, hasta su desembocadura, el río Marabasco representa la línea limítrofe de los estados de Jalisco y Colima.

Los afluentes principales del río Cihuatlán son: el río Ayotitlán, el río San José y el arroyo Las Marías, por su margen izquierda, y el río La Patita, por la derecha (Fig. 16).

b) Afluentes.

1. *Río Ayotitlán.* El río Ayotitlán es el afluente más significativo del río Marabasco, su origen se encuentra a los 2 500 msnm en la Sierra de Manantlán, la denomina-

ción inicial de este escurrimiento es la de Arroyo Hondo el cual, a su vez, está formado por los arroyos Guamuchilita y El Épazote. La orientación de su cauce es originalmente de noroeste a sureste, hasta la población de Minatitlán, Col., donde adquiere este mismo nombre y modifica su trayecto hacia el suroeste, y aproximadamente 5.8 Km aguas arriba de su desembocadura recibe los aportes del arroyo Ayotitlán, y con el nombre de río Ayotitlán, finalmente, vierte sus aguas en el río principal, por su margen izquierda.

Desde la localidad de Minatitlán hasta su afluente en el colector general su cauce es utilizado como límite natural entre los estados de Jalisco y Colima.

2. *Río San José.* El río San José, que es el segundo afluente de importancia del río Cihuatlán (después del río anterior), fluye desde el cerro El Campanario, de 1 510 m de altitud, con una dirección general de sureste a noreste, hasta finalizar en el río Marabasco, a una distancia de 4.2 Km² aproximadamente, al suroeste del pueblo El Huizcolote, Col. Su aportador más sobresaliente es el arroyo Almácigos.

3. *Arroyo Las Marías.* Otro de los afluentes importantes del colector principal está representado por el arroyo Las Marías cuyo nacimiento tiene lugar en el cerro San Miguel, con el nombre de arroyo La Ventana, el cual empieza a escurrir, desde los 2 610 m de altitud, hacia el sursuroeste, hasta concluir en el río Cihuatlán. A lo largo de su recorrido recibe, además de la denominación anterior, el de Las Palomas y finalmente Las Marías.

4. *Río La Patita.* Se origina con el nombre de arroyo El Sipil, a 1 420 msnm, en el cerro del mismo nombre; el curso general de sus aguas es de noreste a sureste, hasta el río Marabasco donde deposita sus aguas. Durante su trayectoria se le denomina indistintamente El Sipil, La Zanja y, por último, río La Patita.

HIDROLOGÍA

El escurrimiento de un río presenta ciertas fluctuaciones en el tiempo, generalmente motivadas por la variabilidad de las condiciones meteorológicas de las que se puede decir que están presentes a corto plazo; en contraste con las del terreno drenado que ocurren en lapsos mayores.

El régimen hidrológico del río Marabasco puede analizarse de diversas maneras, las cuales tienden siempre a la búsqueda de la explicación más real del comportamiento de sus aguas; para esto, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos ha instalado una estación hidrométrica en la sección del cauce localizada a los $19^{\circ}14'30''$ de latitud Norte y a los $104^{\circ}34'00''$ de longitud Oeste; la altitud del cero de la escala no ha sido determinada, sin embargo, considerando la carta topográfica, se calcula en 16 m aproximadamente.

Por otra parte, la estación de aforo Cihuatlán se ubica a 34.7 Km de la desembocadura y, por ende, el área de la que se tiene información es de $2\ 005.6\ \text{Km}^2$ (Fig. 17).

El equipo con que cuenta la estación mencionada es una escala, un molinete hidráulico, un limnógrafo y un laboratorio de sólidos en suspensión.

El inicio de las actividades es 1o./Feb./1946, pero la información recabada en los primeros años es irregular, de ahí que para este estudio comprenda el periodo de 1960-1976.

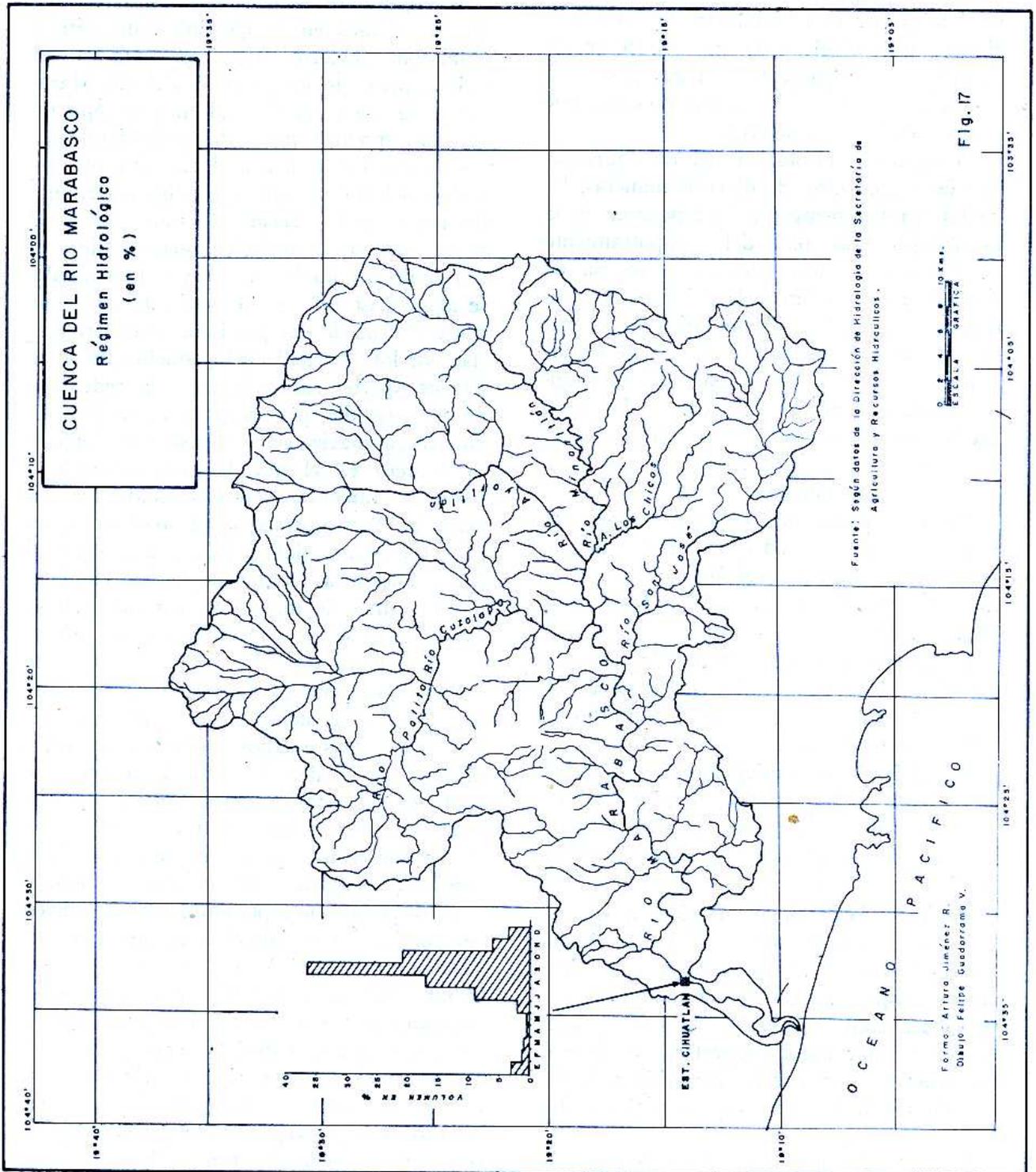
Régimen Hidrológico. Debido a que el objetivo de este estudio consiste en encontrar la influencia de los elementos del clima en el comportamiento del escurrimiento del río Marabasco, es necesario procesar, analizar y cotejar ambos aspectos, de diversas maneras; para esto se ha recurrido a la obtención de índices propios del régimen fluvial.

1) *Caudales.* Los caudales que son determinados directamente en la estación de aforo representan la velocidad del desalo-

jamiento del agua de la cuenca en estudio y tienen importancia porque en parte es el reflejo del régimen climatológico.

La figura 18, hecha con los datos medios recabados en la estación hidrométrica Cihuatlán (cuadro 10), representa el estado general de los caudales del río Marabasco; en dicha gráfica, al mes de septiembre corresponden los gastos más significativos, como consecuencia de la alta precipitación del verano que llega con determinado retraso a la sección de muestreo en el cauce del escurrimiento mencionado; al disminuir las lluvias, la curva de caudales se abate hasta el mes de noviembre, y como consecuencia de las precipitaciones originadas por los "nortes" en la estación invernal, de los aportes subterráneos y la reducción en las pérdidas por evapotranspiración, dicha curva suaviza su descenso hasta el mes de febrero en el que la evaporación real tiende a aumentar como resultado del ascenso de la temperatura; el creciente aporte y las escasas lluvias logran mantener en cierta forma la constancia de los caudales hasta el mes de mayo a partir del cual se empiezan a sentir los efectos de las primeras precipitaciones.

Para confirmar lo anterior y hacer algunas otras observaciones, fue necesario graficar los gastos medios mensuales de cada uno de los 17 años del periodo de observación de la estación hidrométrica (1960-1976); así, la figura 19 muestra las variaciones que se han presentado en el periodo considerado para este estudio; sobresale siempre el mes de septiembre por sus mayores caudales, especialmente en los años 10 (1969), 12 (1971) y 15 (1974), con 233.01, 218.42 y 173.93 $\text{m}^3/\text{seg.}$ respectivamente; por el contrario, los gastos menores corresponden indistintamente a los meses de abril y mayo, siendo más frecuentes en este último y sobresaliendo los años 6 (1965), 5 (1964), 7 (1966) y 8 (1967), con 0.25 $\text{m}^3/\text{seg.}$ en abril, y 0.37 $\text{m}^3/\text{seg.}$ en los tres últimos, durante el mes de mayo y el 10 (1969) con 0.36 $\text{m}^3/\text{seg.}$ en abril.



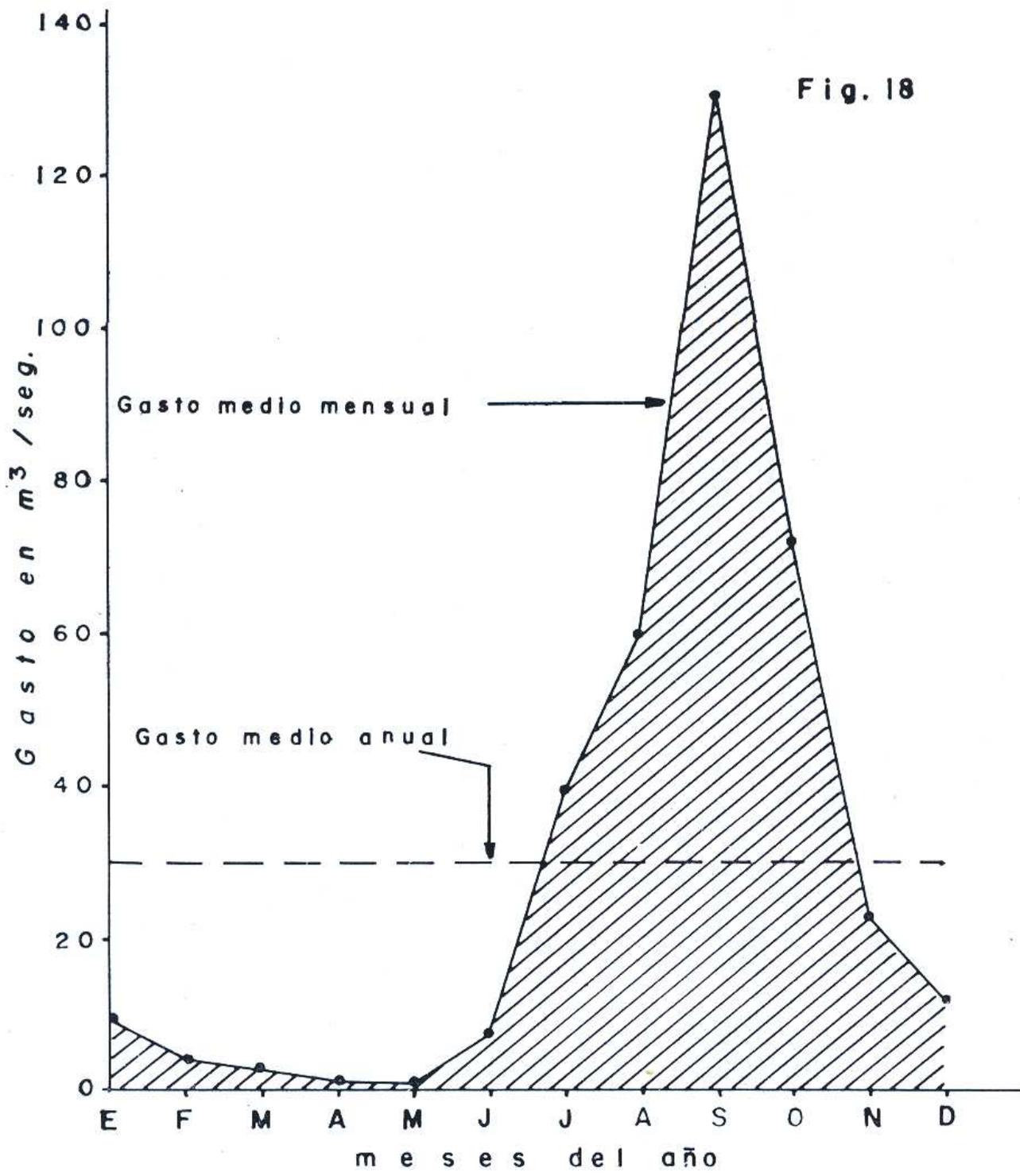
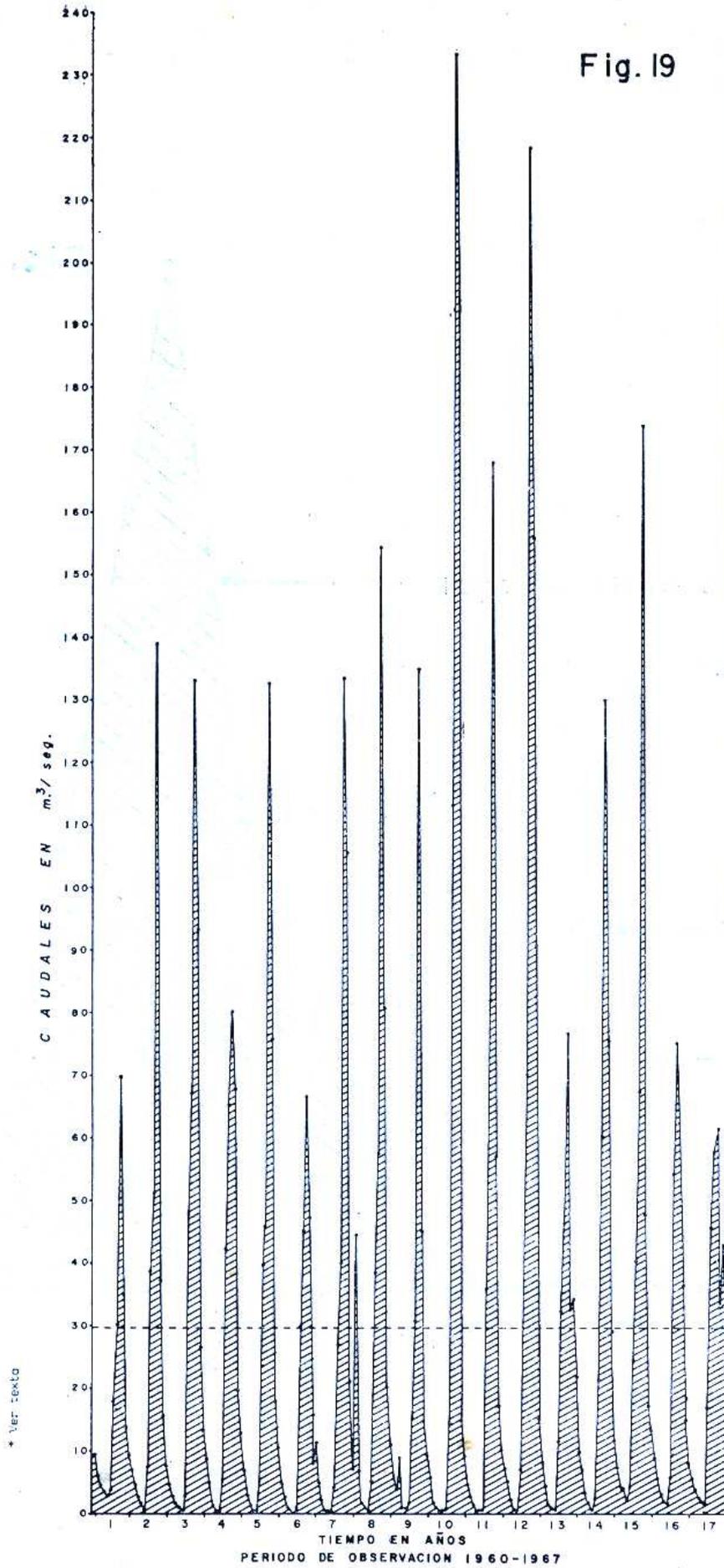


Fig. 19



En algunos años como 7 (1966) y 14 (1973), 8 (1967), 9 (1968) y 17 (1976) la curva de caudales registra un aumento en los gastos, como consecuencia de la precipitación en los meses de diciembre en los dos primeros, y enero, marzo y noviembre en ese mismo orden.

2) *Coefficiente mensual de caudales.* Una vez confirmadas las variaciones medias en el lapso de estudio, la comparación de ellas con el año medio de caudales, y en cierta forma con el comportamiento hidrológico del río Marabasco, se llevó a cabo a través del coeficiente mensual de caudales, el cual se determina por la relación de los gastos medios mensuales entre el módulo anual, es decir, por la ecuación:⁴

$$X_1 = \frac{q}{M}$$

en la que:

X_1 = coeficiente mensual del caudal

q = caudal medio mensual en $m^3/seg.$

M = módulo anual en $m^3/seg.$

Los resultados se muestran en el cuadro 10 y en la figura 20 y corroboran, efectivamente, que la variabilidad de los caudales promedio de cada mes, en torno al medio anual, confirma el régimen del río en cuestión.

3. *Caudales específicos.* La variación anual de caudales motiva la presencia de años húmedos y años secos; ambos pueden ser distinguidos tomando como referencia el año medio. Los gastos más grandes se presentaron en 1969, 1967, 1971 y 1974, con 49.263, 46.180, 36.368 y 33.860 $m^3/seg.$, y los caudales más reducidos en 1960, 1965, 1968 y 1972, con 17.272, 17.507, 22.155 y 22.2000 m^3/seg respectivamente; para apreciar mejor esto y poder distinguir esas diferencias en los 17 años del periodo de observación y, al mismo tiempo, distinguir los años lluviosos y los secos, se determinaron

⁴ Remenieras, G., *Tratado de Hidrología Aplicada*, Ed. Técnicos Asociados, S. A., p. 357, Barcelona, 1971.

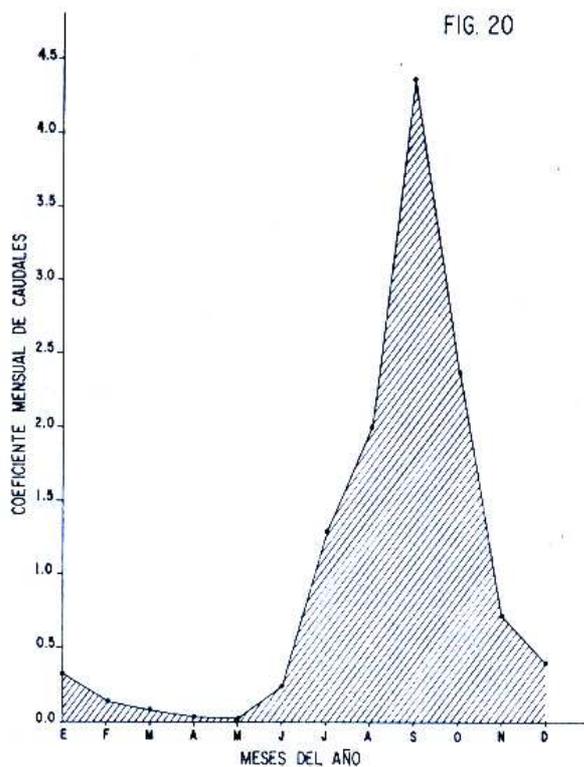


FIG. 20

los caudales específicos que se clasificaron de mayor a menor y se graficaron posteriormente.

Para determinar los caudales específicos del río Marabasco se procedió con la siguiente fórmula:⁵

$$q = \frac{Q}{A} K$$

en la cual:

q = caudal específico en $l/s/Km^2$

Q = caudal o gasto en m^3/seg

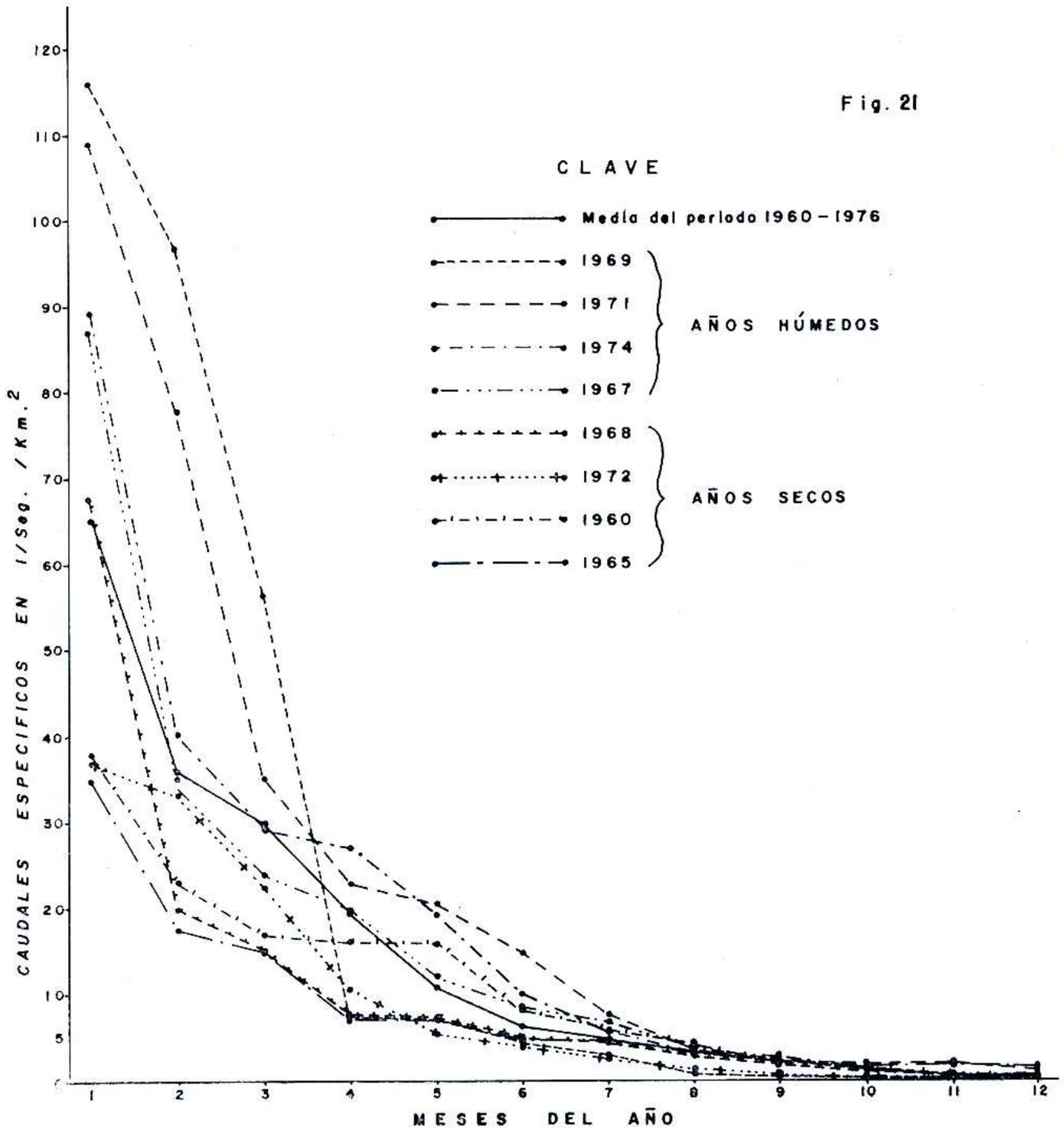
A = área de la cuenca o sección considerada en Km^2

K = constante para transformar m^3 a litros (1000).

Los resultados producto de esta fórmula aparecen ya ordenados en el cuadro 11, de los cuales han sido graficados sólo los 4 años más húmedos y los 4 más secos definidos por la curva media anual del periodo considerado (Fig. 21).

⁵ Remenieras, G. *Tratado de Hidrología Aplicada*, Ed. Técnicos Asociados, S. A. p. 356, Barcelona, 1971.

Fig. 21



4. *Láminas de agua.* Otra manera de analizar el régimen de un río es por medio de las alturas de las láminas de agua correspondientes a las distintas fases del ciclo hidrológico; esto es, de la precipitada, la evaporada, la infiltrada y la escurrida.

a) *Lámina de agua precipitada.* El escurrimiento de un río es parte del ciclo hidrológico del cual es importante explicar el comportamiento con base en las características de su alimentación de la que, para el caso en estudio, la precipitación es la parte más significativa.

Para obtener la altura de la lámina de agua precipitada se utiliza la misma metodología con que se determinó la lluvia media de la cuenca; sin embargo, debido a que la precipitación promedio para este estudio quedó limitada al área de la que recoge información la estación hidrométrica Cihuatlán, aquélla resulta ser la misma; es decir, la que se concentra en el cuadro 3.

b) *Lámina de agua evaporada.* Como ya es conocido, gran parte del agua precipitada regresa a la atmósfera como parte del ciclo hidrológico. La evaporación afecta también el régimen de escurrimiento de un río, de ahí que haya necesidad de incluirla con el fin de que la explicación sea más completa; para esto se determinó la lámina de agua que se ha evaporado. Conviene recordar, de nuevo, que existen dos tipos de evaporación: la potencial y la real. Para corroborar la representatividad de ambas y al mismo tiempo destacar la relación que guarda cada una con el régimen de escurrimiento en el río Marabasco, es importante hacerlo a través de sus respectivas láminas.

La determinación de la altura de las láminas de evaporación también se hizo mediante el mismo sistema usado para la precipitación media; por ende, los valores de los cuadros 6 y 8 son válidos para este fenómeno.

c) *Lámina de agua de escurrimiento.* Con la finalidad de poder establecer la correlación del escurrimiento con los elementos acuosos del clima es necesario convertir

los volúmenes desalojados en láminas escurridas, para esto se utiliza la siguiente ecuación:

$$h = \frac{V}{A}$$

donde:

h = altura de la lámina de agua escurrida, en mm

V = volumen de agua escurrida, en m^3

A = área considerada en Km^2

La fórmula anterior se aplicó a los valores medios mensuales y al medio anual; los resultados se concentraron en el cuadro 10, entre los cuales sobresale la altura, 169.1 mm, como la mayor registrada, esto ocurre en el mes de septiembre, mientras que la más reducida es de 1.2 mm, durante el mes de mayo (Fig. 22).

La altura media anual del escurrimiento es de 463.3 mm.

d) *Lámina de agua infiltrada y de usos del agua.* Antes de abordar formalmente la reiterada comparación, debe observarse, por último, la altura de agua que se ha infiltrado, además de la que es utilizada por los habitantes de la región antes de pasar por la sección del río donde se ubica la estación de aforo, pero debido a que infortunadamente no se cuenta con los valores de agua aprovechada como recurso corriente arriba, y como la cuantificación de la infiltración resulta difícil, se ha optado por deducirlas en forma global de los elementos, por diferencia, de la manera siguiente:

$$IU = P - Evt - E$$

en la cual:

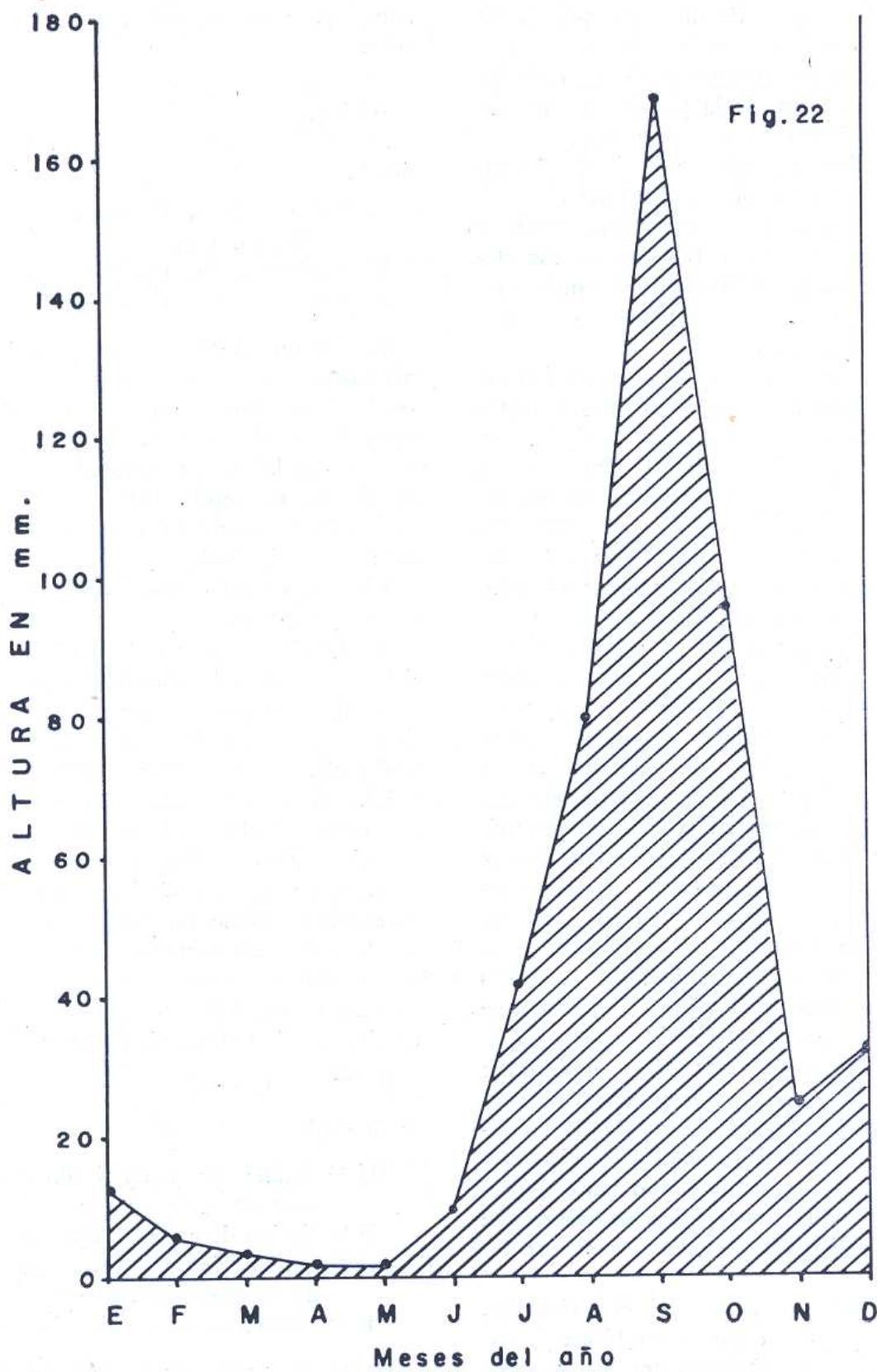
IU = lámina de agua infiltrada y de usos de agua, en mm

P = lámina de agua precipitada, en mm

Evt = lámina de agua evotranspirada o de evaporación real en mm

E = lámina de agua escurrida, en mm

De acuerdo con este procedimiento, en el cuadro 10 se reúnen los resultados en los



que se aprecia que en los 6 primeros y en los 2 últimos meses no aparece valor alguno, lo cual se debe a que en ese lapso no hubo aportes importantes ya que el subsuelo, más bien, está alimentando el escurrimiento superficial y la evapotranspiración, mientras que la recarga o infiltración se inicia a mediados del mes de junio, poco después de que se inician las lluvias; así, a medida que éstas se generalizan se incrementa el flujo hacia el subsuelo alcanzando su máximo valor en el mes de julio en el que la altura es de 104.1; el proceso finaliza antes del mes de octubre (Fig. 23).

5. *Análisis del régimen hidrológico.* Una de las maneras menos complicadas de estudiar el comportamiento hidrológico de un escurrimiento parece ser a través del ritmo de las diferentes láminas de agua medias mensuales, considerando las etapas más significativas del ciclo hidrológico en el área drenada.

Con base en los resultados medios mensuales de las diferentes láminas se elaboró la figura 24 en la que gráficamente se demuestra la interrelación que presenta cada uno de los distintos elementos del clima con el escurrimiento.

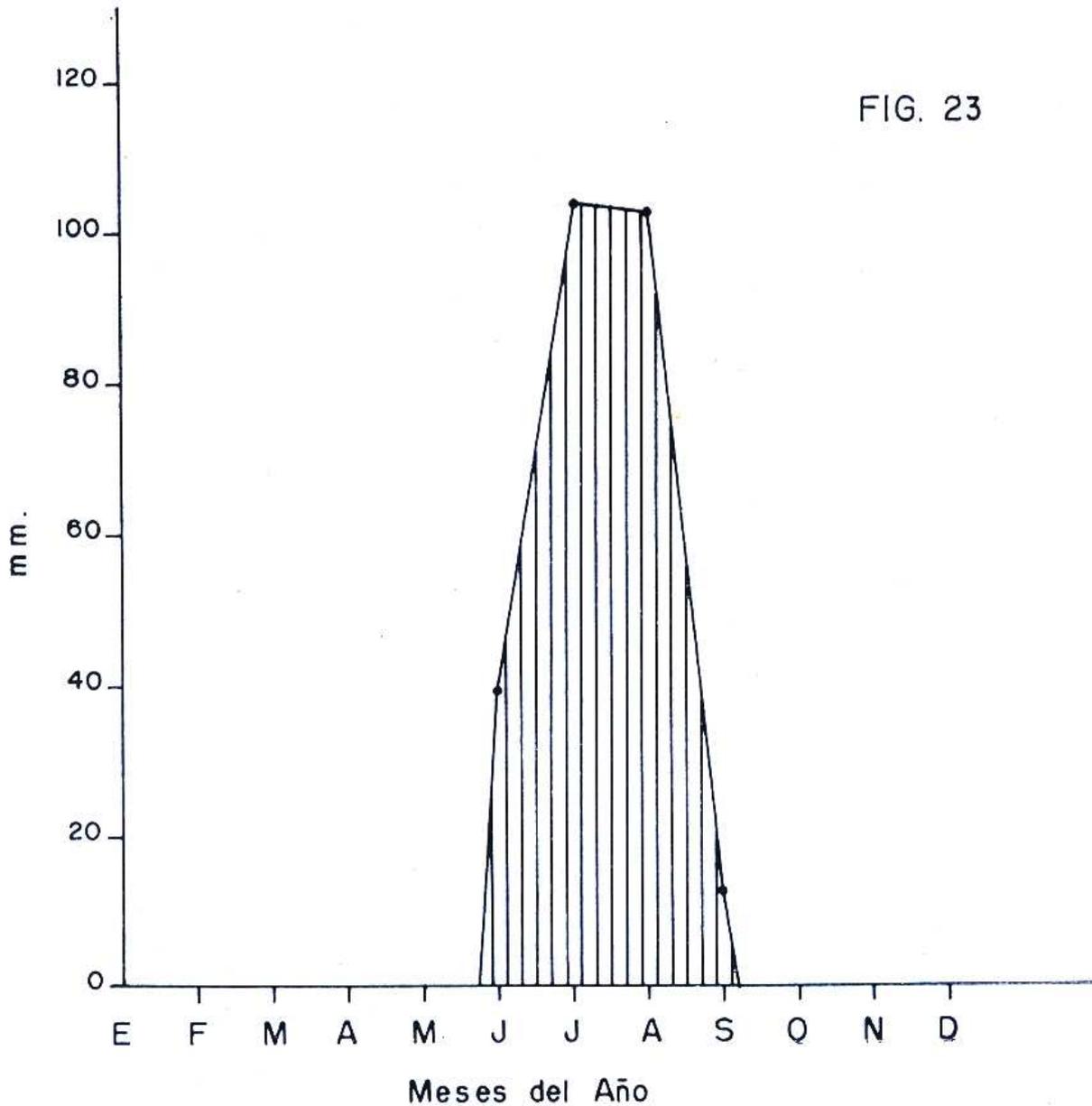
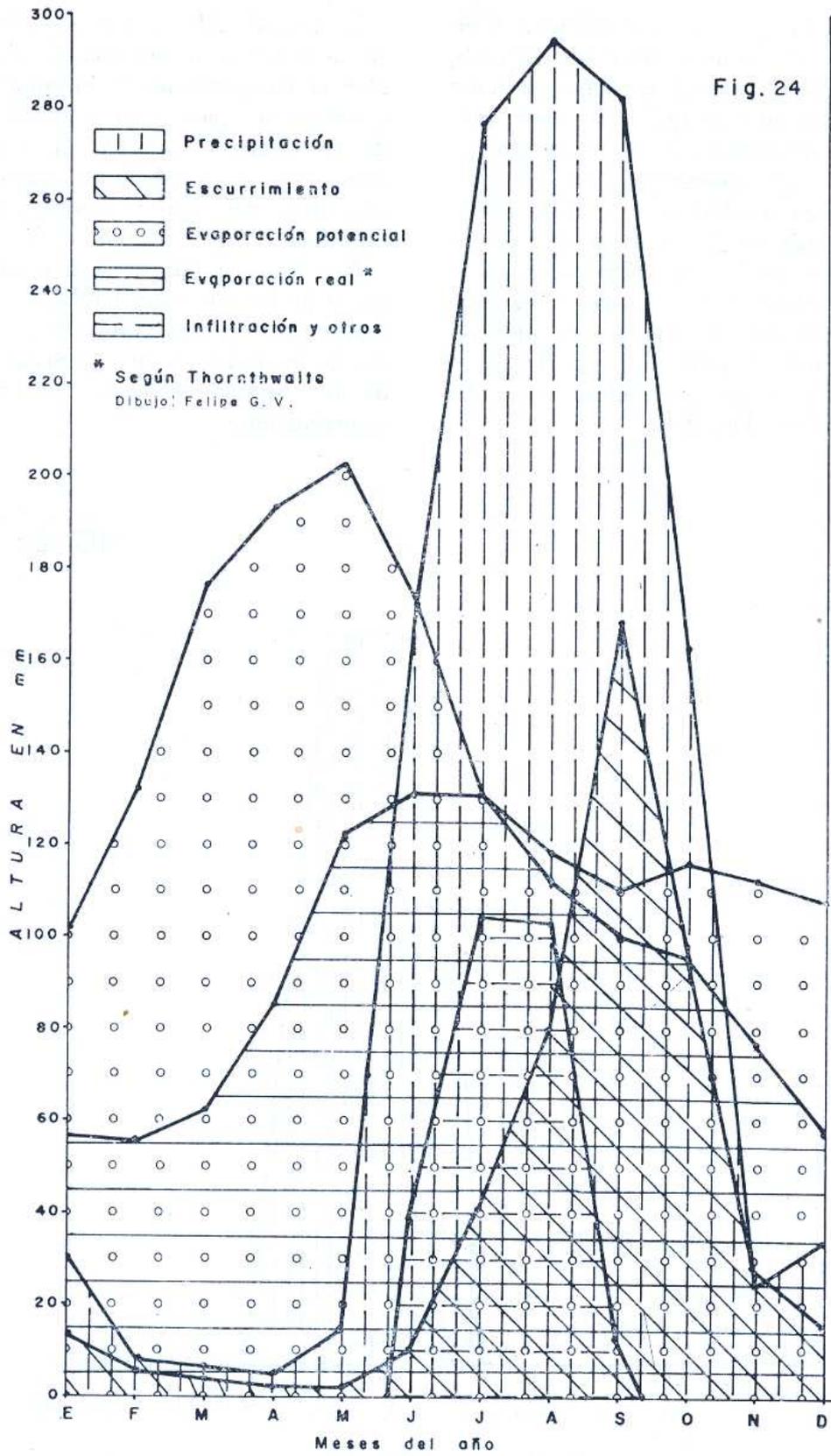


FIG. 23



El régimen anual del escurrimiento del río Marabasco presenta, en efecto, un marcado retardo en relación con el inicio de las lluvias, pues éstas empiezan a partir de mayo y el escurrimiento comienza a incrementarse un mes después como consecuencia de la alta evapotranspiración y de la deficiencia de humedad del suelo; posteriormente la curva de escurrimiento asciende conforme las precipitaciones se generalizan, se reduce la evapotranspiración y las necesidades de agua del suelo han sido satisfechas; es decir, la mayor altura de agua escurrida se registra en el mes de septiembre, con 169.1 mm, sin que esto coincida exactamente con el mes más lluvioso, debido a las causas expuestas.

El abatimiento de las láminas escurridas comienza desde el mes de septiembre, lo que se explica por el decremento pluvial, principalmente hasta el mes de noviembre cuando la precipitación llega a ser menor que el escurrimiento como consecuencia de los aportes subterráneos al cauce del río, los cuales empiezan a ser importantes desde que se detiene el proceso de infiltración, en el mes de octubre, hasta que nuevamente se inicia el incremento de las recargas en el mes de mayo del año siguiente.

Por otra parte, la lluvia invernal también presenta ese retraso en el escurrimiento; esto es, generalmente la mayor cantidad tiene lugar en diciembre y se manifiesta en el escurrimiento hasta el mes de enero.

Es importante destacar cómo la curva de evaporación tomada directamente del evaporímetro se encuentra muy lejos de la realidad, ya que las condiciones que presenta este aparato no son representativas de la cuenca en estudio; esto se comprueba al observar que la totalidad del agua precipitada durante todo el año no compensa las pérdidas que registran las estaciones meteorológicas aun tomando en cuenta los aportes subterráneos del año anterior, de ahí que se le denomine evaporación potencial.

6. *Volúmenes.* El comportamiento de los volúmenes del río Marabasco está estrecha-

mente vinculado con el ritmo anual de la lluvia, sin que esto llegue a un estricto paralelismo, pues, como ya quedó establecido, los volúmenes presentan una demora lógica si se considera que, primero, el agua tiene que precipitarse para que pueda existir escurrimiento; además de que, después de un largo periodo de estiaje el subsuelo ha perdido parte de sus reservas que es necesario vaya reponiendo; por otro lado, la primera agua precipitada está expuesta a alta evapotranspiración; la época de lluvias comienza en el mes de mayo (27 877 840 m³) y es hasta el de agosto (592 855 360 m³) cuando se registra el mayor volumen precipitado; sin embargo, esto, en el escurrimiento, se manifiesta como ya se dijo, hasta septiembre, cuando el volumen desalojado es de 339 140 800 m³, o sea un mes más tarde, cuando la alimentación ha decrecido a 567 183 680 m³. A partir del 9o. mes del año los volúmenes escurridos decrecen con el abatimiento de la lluvia, hasta el fin de la primavera (cuadro 10 y Fig. 25).

Para comprobar si la marcha anual de los volúmenes medios mensuales son representativos del régimen hidrológico del río en cuestión, es necesario llevar a cabo un análisis del comportamiento de los volúmenes de agua observados durante el lapso de 17; así, en los años 1969, 1971 y 1974 se presentan los mayores volúmenes con 60 397 000, 56 613 900 y 45 082 600 m³ respectivamente, en el mes de septiembre en el que durante todos los años siempre se registran los mayores volúmenes; por el contrario, los más bajos ocurren frecuentemente en el mes de mayo; sin embargo, ocasionalmente también se presentan en abril; por ejemplo, en 1965 se registró 65 900 y en 1967 97 800 m³ en el primer mes, y durante 1969 representó 93 600 m³ en el último (Fig. 26)

Cabe observar que, la trayectoria descendente de los volúmenes desalojados se ve alterada por un reinicio breve de la lluvia durante diciembre, en 1965, con 2 996 800; en febrero de 1967, con 1 672 200; en mar-

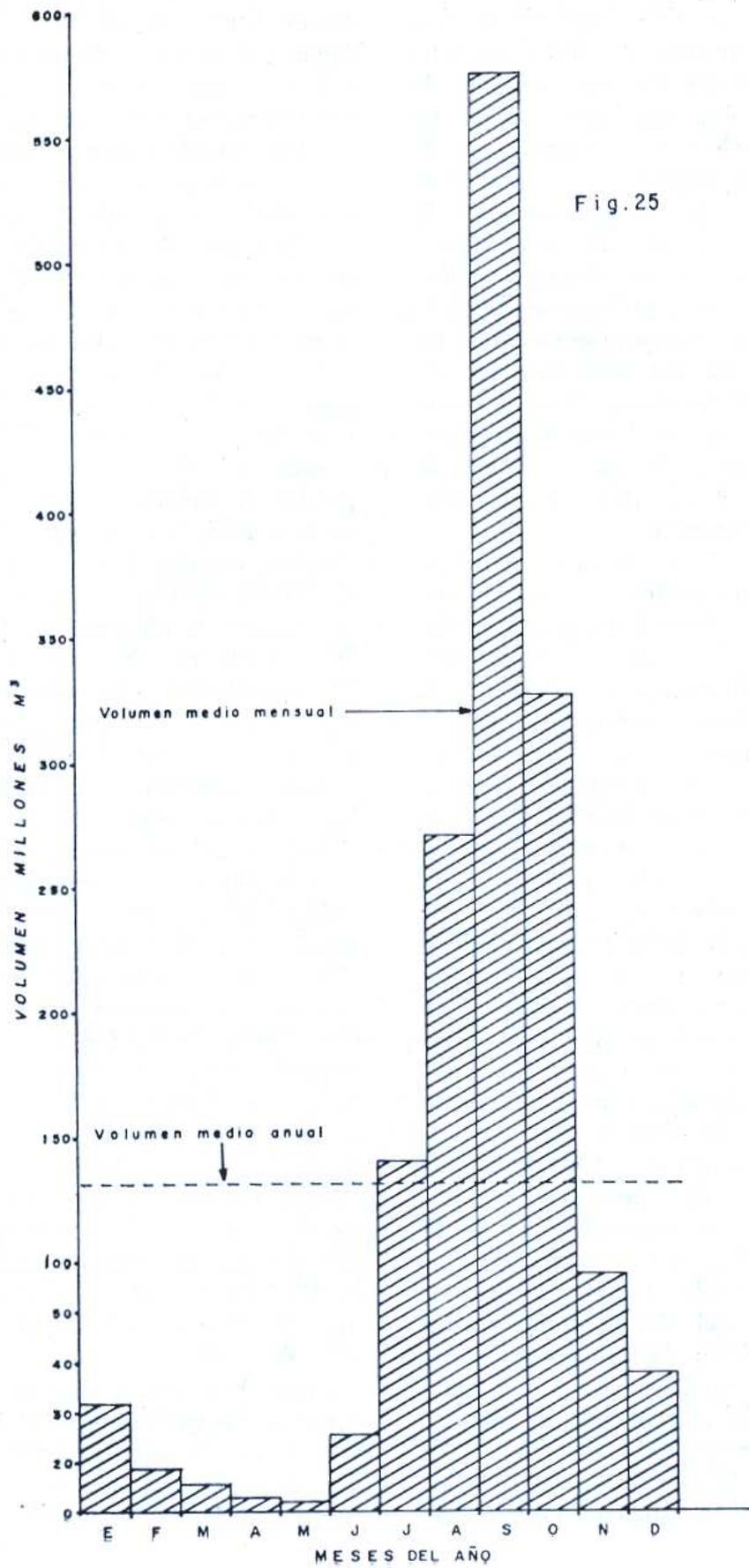
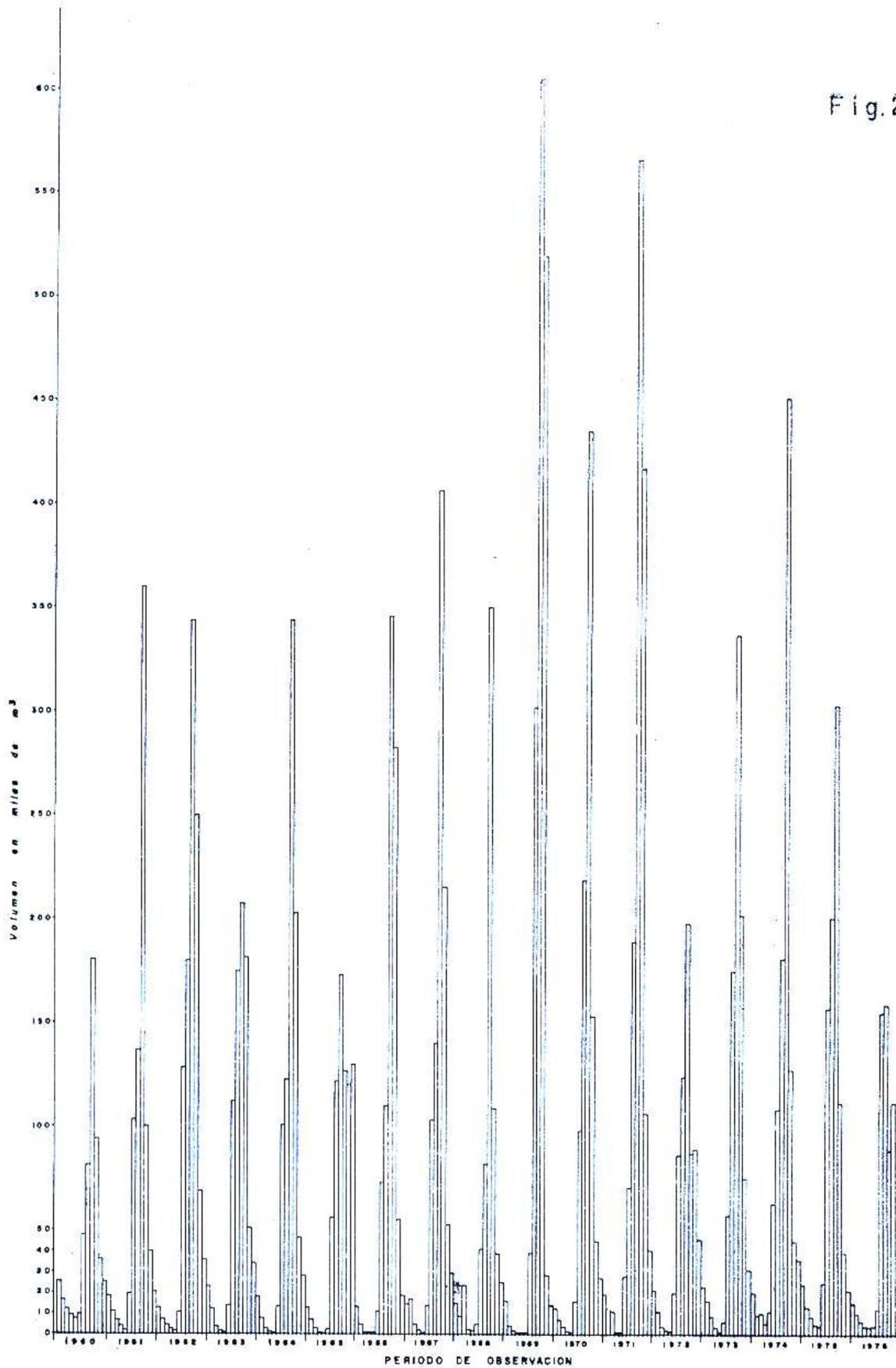


Fig. 26

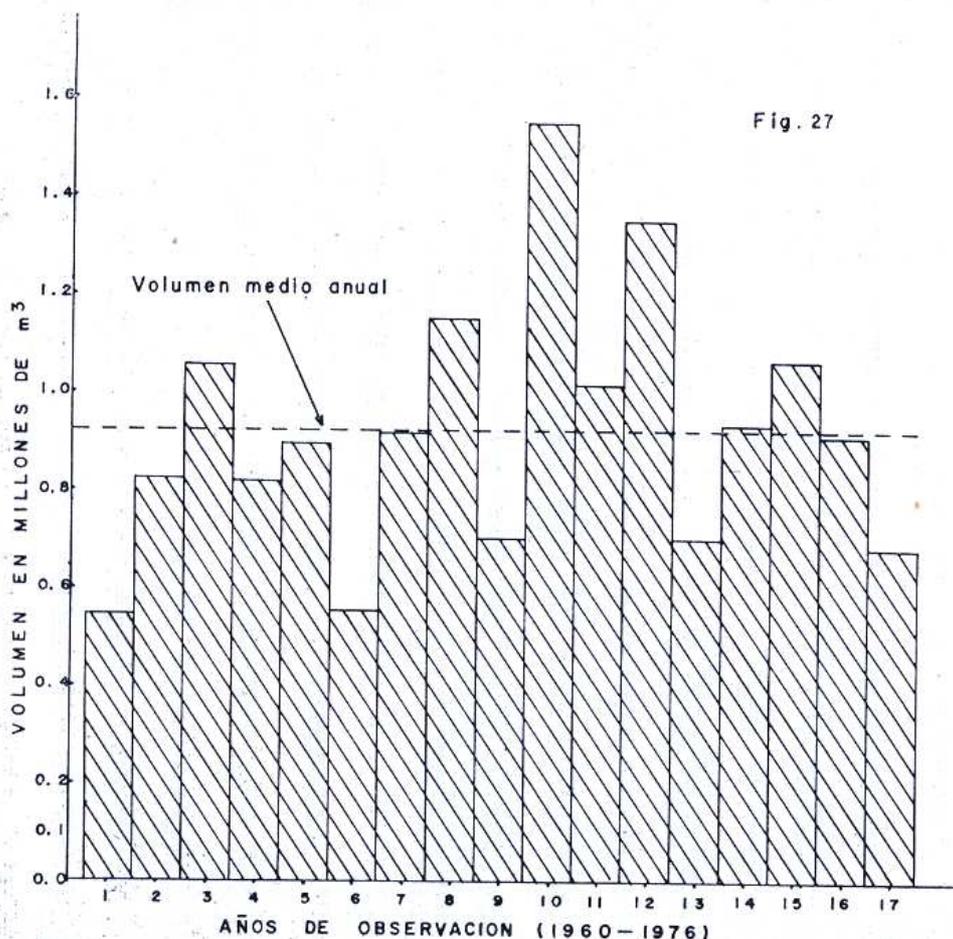


zo de 1968 y 1974, con 2 354 500 y 1 047 700 respectivamente y en noviembre de 1972 y 1976, con 8 881 200 y 11 155 300 m³ en ese mismo orden; esta particularidad se atribuye a la presencia de las masas de aire polar que dejan caer su humedad en esa época, como ya quedó establecido en el capítulo correspondiente.

Anualmente los volúmenes también presentan fluctuaciones de un año a otro, como se aprecia en la Fig. 27, de la que sobresalen 10 (1969), 12 (1971), 8 (1967) y 3 (1962) como los más húmedos, ya que las cantidades acumuladas alcanzan 155 354 800, 145 632 600, 114 690 1000 y 105 599 100 m³ respectivamente, pero existen otros años de escaso escurrimiento, como 1 (1960), 6 (1965), 17 (1976) y 13 (1973) que fueron de 54 619 300, 55 462 400, 68 722 400 y 70 010 300 m³ en el mismo orden en que se mencionan.

Para cuantificar esas fluctuaciones en relación con el promedio anual del periodo, se procede en la misma forma que se hizo con la variabilidad de la lluvia, o sea empleando el coeficiente de variación que para los volúmenes del río Marabasco es del 29.89% que, en relación con la oscilación de la precipitación (32.9%) resulta menor en un 3.01%, lo cual resulta obvio si se toma en consideración que las precipitaciones cuando son muy esporádicas no afectan el escurrimiento de manera significativa, ya sea porque se evapotranspire el agua llovida o porque se infiltre; pero la vegetación también participa en este aspecto regulando el escurrimiento.

11. *Balace hidrológico medio.* Para concluir con la hidrología del río Marabasco es importante determinar cuantitativamente cuáles son los volúmenes medios anuales captados en la cuenca, los que retornan a



la atmósfera, los de recarga del subsuelo y los drenados.

Para llevar a cabo el balance hídrico medio en la forma mencionada, es conveniente convertir las distintas láminas de agua, ya citadas, a volúmenes, excepto el escurrimiento que ya se tiene; para eso se usa la siguiente ecuación:

$$V = h (A)$$

en que:

V = volumen en m^3

h = lámina de agua en mm

A = área considerada en Km^2

De acuerdo con esta expresión los volúmenes resultantes son (Fig. 26)

Precipitación	302 263 976 m^3
Evaporación real	138 326 232 m^3
Infiltración y usos	69 021 064 m^3
Escurrimiento	92 916 680 m^3

como puede comprobarse, la alimentación de la cuenca del río Cihuatlán depende exclusivamente de la precipitación, y el déficit del escurrimiento lo representan la evapotranspiración, la infiltración y los usos del agua.

Para dejar firmemente establecida la representatividad de la evaporación potencial baste decir que el volumen por este concepto es de 345 544 824 m^3 que, en relación con la precipitación es mayor en un 14.3%, lo cual, como se ha visto, no corresponde al régimen hidrológico del río Marabasco o Cihuatlán (Fig. 28).

RESUMEN Y CONCLUSIONES

El río Marabasco o Cihuatlán drena una superficie de 2 034.3 Km^2 localizada en la unión de los sistemas montañosos de la Sierra Madre Occidental y la Sierra Volcánica Transversal, por lo que forma parte de al vertiente occidental del territorio nacional.

La superficie de la cuenca de este escurrimiento es muy irregular ya que las for-

maciones que integran los citados sistemas montañosos ubicados en ella, como las sierras Manantlán, Perote y El Mamey se presentan sin orden alguno, y su escasa llanura costera apenas si cubre el 6.1% de la superficie total.

En virtud de que la información hidrométrica sólo corresponde a 2 005.6 Km^2 , este estudio también está limitado a esa superficie.

Las condiciones climatológicas de esta cuenca están determinadas principalmente por la circulación general regional de la atmósfera, la proximidad al mar y las características físicas del terreno.

El régimen térmico está afectado por la ubicación de la cuenca en la zona intertropical en la que el doble paso del Sol por el cenit, hacia el trópico de Cáncer, y su retorno, determina dos máximos en el verano, mientras que en el invierno las masas de aire polar continental intervienen en las bajas temperaturas.

La distribución espacial está influida generalmente por el relieve, es decir, disminuye con la altitud. Las temperaturas son más bajas en la cabecera de la cuenca, y en la desembocadura son más elevadas. La temperatura media de la cuenca es, aproximadamente, 23.5°C.

La precipitación en el área en estudio se caracteriza por tener un periodo húmedo perfectamente bien definido durante el verano y al iniciarse el otoño, el cual está determinado por la influencia de los vientos alisios, las ondas del este, los ciclones tropicales y el flujo de las masas de aire cálidas y húmedas procedentes del Océano Pacífico. Durante el invierno la lluvia también es notable aunque no con la misma importancia de la época anterior, si bien la presencia de los "nortes" en ocasiones origina un ligero incremento en la precipitación.

La variabilidad de la lluvia que se presenta como consecuencia de los cambios característicos en los sistemas del tiempo generadores de la precipitación, se ha calculado en 32.8% en relación a lluvia anual.

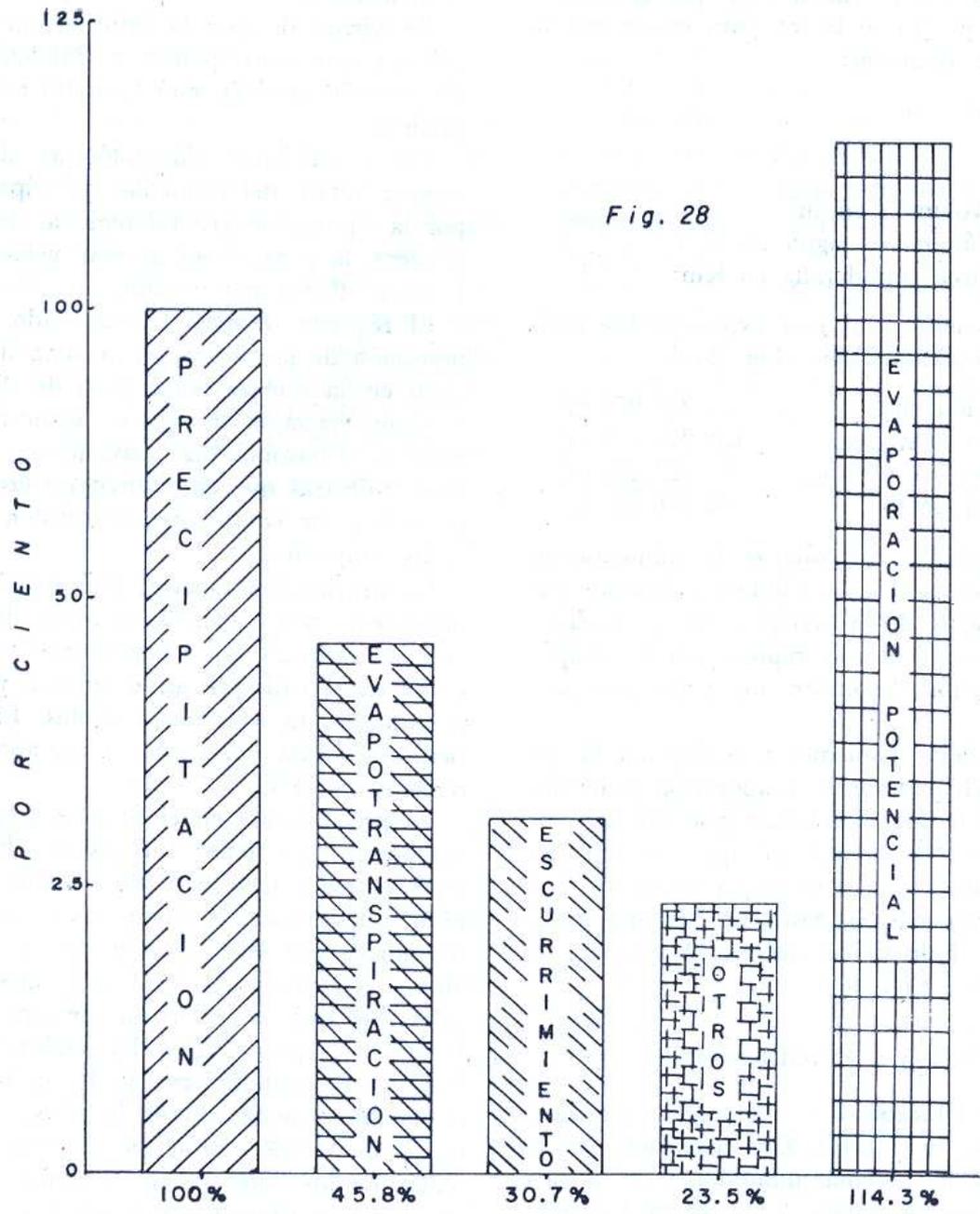


Fig. 28

NOMBRE DE LA ESTACION HIDROMETRICA ----- CUAUTLAN

Cuenca general ----- Rio Veracruz
 Corriente ----- Rio Veracruz
 Entidad - Lfmite de los Estados de Jalisco y Colima
 Area drenada ----- 2 005.6 Km²
 Coordenadas
 Latitud Norte ----- 19°14'30"
 Longitud Oeste ----- 104°04'00"
 Altitud del centro de la escala no determinada

MES	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Caudal o gasto medio m ³ /seg.	9.8	4.2	2.5	1.1	1.9	7.7	54.1	59.5	130.6	71.3	21.7	12.1
Coefficiente de caudales medios	0.320	0.140	0.063	0.027	0.103	0.240	1.501	1.590	4.222	2.364	0.722	0.410
Caudales especificos clasificados l/seg/Km ²	4.8	2.1	1.2	0.6	0.9	3.5	12.5	25.7	55.2	31.6	10.8	5.9
Lamina de agua escurrida en mm.	12.8	5.1	3.3	1.4	1.0	4.3	41.4	75.5	154.1	94.9	28.1	16.2
Lamina de infiltracion y usos del agua en mm.	-	-	-	-	-	34.2	104.1	103.4	12.7	-	-	-
Volumen de escurrimiento en m ³	25 635.8	10 230.3	5 550.4	2 354.8	2 576.5	18 567.9	83 070.6	159 430.9	339 100.6	190 136.3	56 346.7	32 405.2

Caracteristicas del regimen

Caudal medio anual	30.06 m ³ /seg	Volumen medio anual	1 029 156 500 m ³
Caudal medio maximo mensual	130.8 m ³ /seg	Volumen medio maximo mensual	339 140 800 m ³
Caudal medio minimo mensual	1.0 m ³ /seg	Volumen medio minimo mensual	2 556 500 m ³
Caudal especifico medio anual (rendimiento)	15.06 l/s/Km ²	Variabilidad medio de volumenes anuales	29.55 %

CUADRO 11

Año	meses *											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1960	34.8	17.5	15.2	9.0	6.9	4.8	4.7	3.2	2.2	1.9	1.7	1.5
1961	69.4	25.5	19.2	18.6	7.8	3.8	3.7	3.7	2.2	1.2	0.8	0.4
1962	61.7	46.6	33.5	24.0	13.2	6.7	3.9	2.3	1.5	0.8	0.5	0.3
1963	39.9	33.9	32.6	20.9	9.8	6.4	4.3	2.7	2.5	0.7	0.3	0.2
1964	66.2	37.8	22.8	19.8	8.9	5.2	5.3	2.6	1.5	0.6	0.3	0.2
1965	37.1	33.2	22.6	10.5	5.6	3.9	2.4	1.5	0.6	0.5	0.2	0.1
1966	66.6	52.6	20.5	13.6	10.6	3.5	2.4	2.1	1.0	0.2	0.2	0.2
1967	78.2	40.2	28.9	27.2	19.2	10.1	5.5	3.4	2.6	0.9	0.4	0.2
1968	67.4	20.2	15.3	7.6	7.4	4.7	4.5	2.7	1.8	0.9	0.4	0.4
1969	116.2	96.7	56.3	7.4	7.3	4.5	3.0	0.8	0.4	0.3	0.3	0.2
1970	83.6	40.8	28.5	18.3	8.6	5.1	3.1	2.3	2.3	0.7	0.3	0.3
1971	108.9	77.6	35.1	23.0	20.4	15.0	7.6	3.6	2.5	1.1	0.3	0.2
1972	38.1	23.1	17.1	16.2	16.1	8.5	5.8	4.0	2.2	0.7	0.4	0.3
1973	64.8	37.6	32.6	14.5	10.7	5.8	4.3	3.4	1.6	1.1	0.7	0.3
1974	86.7	33.7	23.8	20.1	12.1	8.6	6.7	3.7	2.0	1.9	1.9	1.1
1975	58.3	37.5	29.2	20.7	7.5	5.3	4.5	3.9	2.7	1.6	1.0	0.8
1976	30.6	28.9	22.7	21.4	16.5	14.1	8.4	2.8	2.8	1.8	0.8	0.7

* Ver texto para conocer el orden de los caudales específico.

La distribución espacial de la lluvia se modifica con la topografía del áreaavenada: aumenta hasta las estribaciones de la Sierra de Manantlán porque ahí las masas de aire húmedo alcanzan su nivel de condensación, y desde ahí disminuye conforme se gana altura. La precipitación media de la cuenca es de 1 507.1 mm.

La evaporación potencial está relacionada en parte con el régimen térmico, esto es, aumenta con la temperatura, pero se reduce al iniciarse la época de lluvia porque ésta contribuye a la disminución del poder evaporante de la atmósfera. Tomando como base esto, estos dos elementos del clima (temperatura y precipitación) espacialmente se convierten en modificadores de la evaporación potencial, ya que en las zonas de baja temperatura y más húmedas, aquélla es escasa, y aumenta donde los lugares son cálidos y las precipitaciones son pocas.

La evaporación potencial media de la cuenca se ha determinado en 1 722.9 mm, esto es, superior a la precipitación.

Considerando lo antes expuesto, se recurrió a las fórmulas de Thornthwaite y L. Turc para buscar un valor fidedigno de este elemento, de acuerdo con la información disponible.

La evaporación real, según la fórmula de Thornthwaite aplicada mensualmente, permite observar que el régimen de evapotranspiración real también está influido tanto por la temperatura como por la precipitación. Las temperaturas altas de principios del verano ocasionan alta evaporación real, lo cual coincide con el inicio del periodo lluvioso y, con esto, la disponibilidad de agua, pero la evapotranspiración se reduce en el último mes del verano como consecuencia de la saturación del aire. Durante el invierno la baja temperatura del aire reduce su poder evaporante y, por tanto, la evapotranspiración es escasa.

La distribución de la evaporación real en la cuenca va en aumento hasta determinada altitud y disminuye posteriormente debido a las bajas temperaturas y la escasa

precipitación. En la cuenca baja, a pesar de que las temperaturas son altas y la disponibilidad de agua es suficiente, la evaporación real es menor debido a la influencia del océano al ceder éste parte de su humedad a la atmósfera.

La evaporación real media anual de la cuenca se calculó en 689.7 mm que es más representativa en comparación con la evaporación potencial.

Al cotejar los elementos del clima, ya tratados, con las características del escurrimiento del río Marabasco, se observa un marcado retraso, hasta de un mes, en la manifestación del periodo de escurrimiento en relación con el inicio de las lluvias ya que, en el momento de iniciarse éstas, la evapotranspiración es muy alta como consecuencia de la alta temperatura, y los grandes requerimientos de agua del suelo hacen que ese lapso se prolongue; pero a medida que las precipitaciones se regularizan la evaporación real se abate, ya que el poder evaporante de la atmósfera se ha reducido porque la precipitación ha satisfecho en parte sus necesidades de humedad y los requisitos de agua del suelo han sido cubiertos. La lluvia del mes más húmedo, agosto, se manifiesta hasta septiembre en el escurrimiento; posteriormente, la precipitación, la temperatura, la evaporación real y el escurrimiento descienden rápidamente. De todos ellos, la primera lo hace con mayor brevedad, a tal grado que en el mes de noviembre el escurrimiento la supera. Quizá es en este corto lapso cuando más se aprecia la participación de los aportes subterráneos, aunque, de hecho, este aspecto se viene realizando desde que finaliza la recarga, y se prolonga hasta el mes de mayo del año siguiente logrando contribuir en ese espacio de tiempo a la alimentación del cauce y a contrarrestar las pérdidas por evapotranspiración.

Durante fines del otoño y todo el invierno las lluvias ocasionalmente logran incrementar por breve tiempo el escurrimiento, sin que aumenten las pérdidas por evapo-

transpiración debido a la presencia de las bajas temperaturas. Después de transcurrida la estación invernal el descenso de la precipitación y del escurrimiento continúan excepto la evaporación real que, por lo contrario, aumenta por el incremento térmico; lo mismo sucede con los aportes subterráneos que, junto con parte de las escasas lluvias mantienen en cierta medida un escaso escurrimiento, a pesar de las grandes pérdidas.

La variabilidad interanual de los volúmenes en relación con el promedio anual es de 29.89%, mientras que la de la precipitación es de 32.9%; esa diferencia de 3.01% se justifica, en parte, por la acción de la evapotranspiración, la infiltración y la vegetación; desempeñando estas dos últimas un papel regulador del escurrimiento. Cuan-

do las lluvias son ocasionales la evapotranspiración impide su manifestación en las descargas.

Para concluir, la cuantificación total de cada uno de los elementos del clima y del escurrimiento, y su comparación, condujo a un balance hidrológico medio. Si se toma como base la precipitación, del 100% del agua que entra a la cuenca (302 263 976 m³) el escurrimiento representa el 31.4% (92 916 680 mm³) y el déficit de escurrimiento el 68.6%, correspondiendo el 45.8% (138 326 232 m³) a la evaporación real y el 22.8% (69 021 064 m³) a la recarga del subsuelo. La evaporación potencial no ha sido considerada en esta relación porque su volumen, de 345 544 824 m³, no es representativo de la evaporación efectiva de la cuenca del río Marabasco.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Cruz Navarro, Fco. J. *La climatología sinóptica de Sonora y Baja California*. Tesis. México, 1978.
- Jáuregui, O. Ernesto. "Las ondas del este y los ciclones tropicales". *Rev. Ingeniería Hidráulica en México*. Vol. XXI, Núm. 3, México, 1967.
- Jáuregui, O. E. y Soto M. Consuelo. "Algunas características de la precipitación y otros elementos del clima en el Estado de Michoacán", *Rev. Ingeniería Hidráulica en México*, Vol. XXIV, Núm. 1, México, 1977.
- Linsley, R. K. y otros. *Hidrología para ingenieros*, Ed. Mc Graw-Hill Latinoamericana, S. A., México, 1977.
- Lorente, J. Ma. *Meteorología*. Ed. Labor, S. A. Barcelona, 1966.
- Maderey, R. L. E. "Análisis de la evaporación media en la cuenca del río Conchos, afluente del río Bravo". *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. Vol. V. México, 1974.
- Petterssen Sverre, *Introducción a la meteorología*. Ed. Espasa Calpe, S. A. Madrid, 1976.
- Remenieras, G. *Tratado de hidrología aplicada*. Ed. Técnicos Asociados, S. A. Barcelona, 1971.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos: *Boletín Hidrológico* No. 41 *Regiones Hidrológicas* Nos. 13, 14, 15, 16 y 17, *Zona Pacífico Norte*, Tomos I y II, México, 1971.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos. *Instructivo para la determinación del clima de acuerdo con el segundo sistema de Thornthwaite*. México, 1972.
- Sierra Morales, Ramón. "La variabilidad de la lluvia al sur del paralelo 20° Norte en el Estado de Veracruz". *Boletín del Instituto de Geografía, UAM*, Vol. II, México, 1969.
- Silviu Stanescu. "Determinación práctica de las principales características morfométricas y fisiográficas de las cuencas hidrográficas y su aplicación en recursos hidrológicos". *Rev. del Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología*, Bogotá, 1970.