

ESTUDIO HIDROEDAFOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO MIXCOAC

Por *Arturo Jiménez Román*.*

RESUMEN

En este trabajo se intenta explicar algunas características hidrológicas del suelo de la cuenca del río Mixcoac, con base en sus condiciones fisiográficas y climatológicas, así como algunas propiedades físicas del suelo, con el propósito de conocer su régimen de humedad.

SUMMARY

This study intends to explain some hydrologic characteristics of the soil of the basin of the Mixcoac river, analyzing its physiographic and climatological conditions as well as some physical soil qualities with the purpose of knowing the moisture regime of soil.

INTRODUCCION

Las características hidrológicas del suelo de una cuenca están en relación directa con una serie de condiciones fisiográficas y climatológicas, así como edafológicas, que se reflejan significativamente en dos aspectos importantes: el hidrológico y el agronómico, ya que el suelo constituye en sí un reservorio o almacén de agua como parte de su ciclo en la naturaleza.

El propósito de este trabajo es, principalmente, determinar las propiedades hidrológicas de suelo así como conocer la variabilidad de su contenido de agua en función de

* Investigador del Instituto de Geografía de la UNAM.

parámetros geográficos y edafológicos que intervienen en las características hídricas del medio observado. Para este último propósito se tomó el periodo del mes de agosto de 1976 al de julio de 1977, y debido a que no existe la información requerida fue necesario obtenerla directamente en el campo.

La elección del área estudiada se debe a la facilidad de aplicación de la metodología seguida por el autor, en relación con el conocimiento de la humedad del suelo y la accesibilidad al terreno.

El presente trabajo puede contribuir de diversas maneras a estudios hidrológicos, agronómicos, edafológicos, silvícolas, geomorfológicos y algunos otros que estén relacionados con este tema.

Para obtener la información de campo se contó con valiosas facilidades del personal de la Dirección de Servicios Urbanos del Departamento del Distrito Federal, comisionado en el Parque Nacional del Desierto de los Leones, así como de las familias Pérez Ledesma y Sánchez Ramírez, de las poblaciones de Santa Lucía y Santa Rosa respectivamente; y en lo referente a los análisis del suelo, al Lic. José G. Camacho S. al permitir usar el laboratorio de suelos del Colegio de Geografía de la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM. A todos ellos, el autor les patentiza su agradecimiento.

La información climatológica utilizada fue proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional y por la Dirección de Hidrología y Meteorología de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

La asesoría de este estudio estuvo a cargo de la Dra. Laura E. Maderey R. investigadora del Instituto de Geografía.

I. LOCALIZACION Y LIMITES

Localización. La cuenca del río Mixcoac se localiza al suroeste de la cuenca del Valle de México de la que forma parte (Fig. 1); tiene por coordenadas extremas los 99° 19' 56" y los 99° 14' 02" de longitud oeste y los 19° 15' 36" y los 19° 21' 02" de latitud norte; es decir, se encuentra comprendida dentro de los límites del Distrito Federal.

Límites. La línea de parteaguas que limita el área en cuestión, es común para las cuencas de los ríos: Tacubaya y Barranca Becerra, al norte; Magdalena, al sur; al este la divisoria es compartida con las barrancas de los Frailes y del Muerto y, por último, al oeste, con la del Río Hondo.

II. CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS DE LA CUENCA

Las peculiaridades fisiográficas de la cuenca en estudio tienen importancia porque repercuten en las condiciones hidrológicas del suelo y en el comportamiento de sus aguas de escurrimiento superficial.

La magnitud y forma de la cuenca se manifiestan en la captación del volumen de agua durante la precipitación; por lo que corresponde a la pendiente, ésta puede favorecer o no la infiltración del agua llovida.

Fisiografía. El río Mixcoac drena parte de la vertiente original de la Sierra de las Cruces, uno de los elementos que forman el sistema montañoso de la Sierra Volcánica Transversal.

La Sierra de las Cruces se localiza al suroeste del Valle de México y presenta una orientación sureste-noroeste; los principales materiales geológicos que la constituyen son rocas de origen volcánico, tales como andesitas y traquitas que se presentan en forma de tobas con grandes fracturas y oquedades de diversos tamaños. En sus laderas existe material de acarreo que ha constituido depósitos de arenas y gravas sobre las cuales se acumularon cenizas que al consolidarse formaron brechas pomosas o tepetales.¹

El área drenada por el río Mixcoac, desde la zona de captación hasta la presa de su nombre, fue determinada con el planímetro, en una superficie de 34.3 Km.² a la que se considera pequeña y de forma alargada, semejante a un huso (Fig. 1); lo anterior puede comprobarse con el índice de compasividad (K) de 4.14, según la fórmula de Gravelius:²

$$K = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

en la que:

P = perímetro de la cuenca en Km.

A = área de la cuenca en Km²

0.28 = constante

¹ Secretaría de Recursos Hidráulicos. Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México. *Hidrología de la cuenca del Valle de México*. Tomo I. México, 1964. pp. 2-89 y 2-90.

² Wisley, C. O. y Brater, E. F. *Hydrology*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 1950. pp. 45-46.

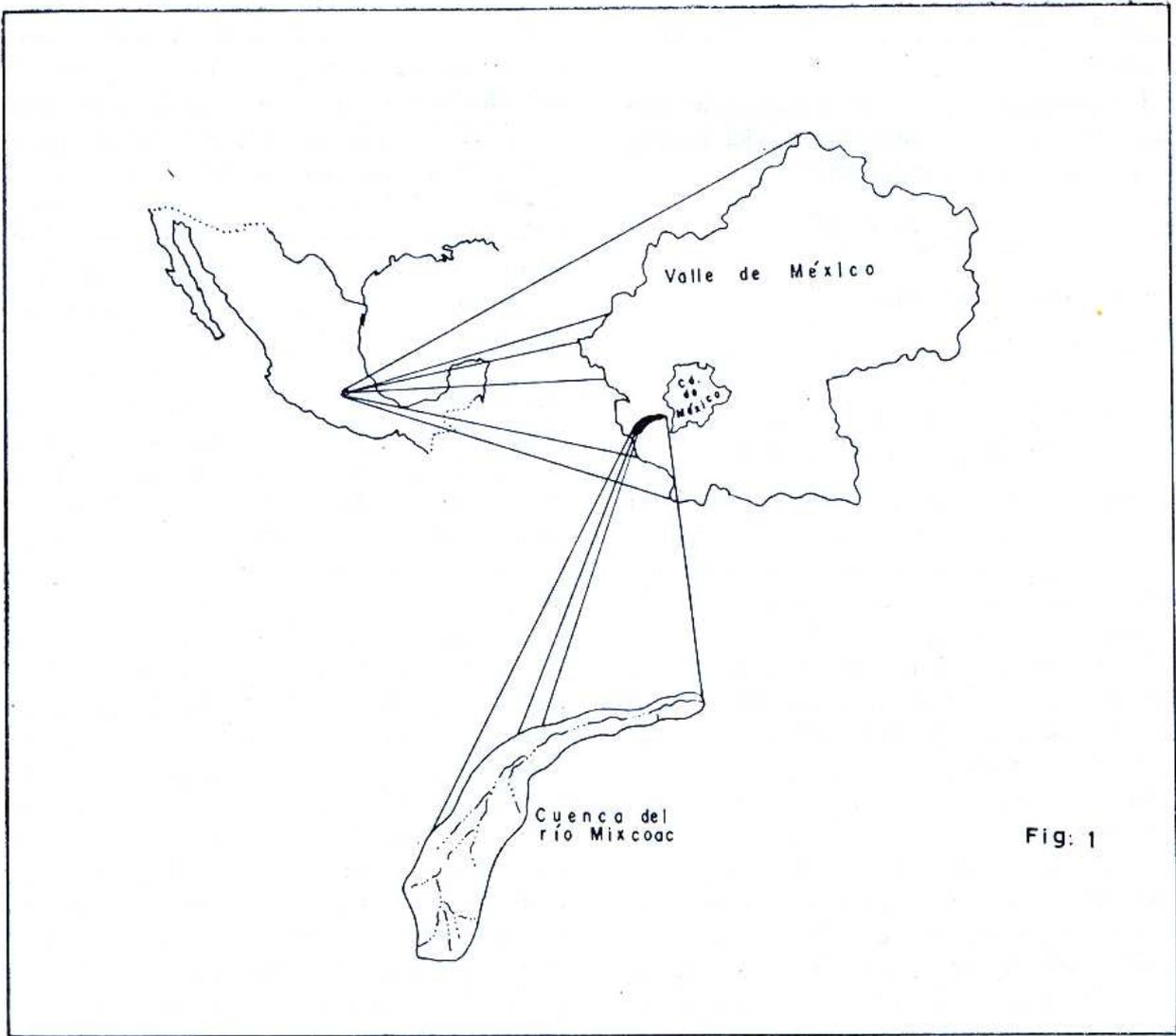


Fig: 1

Mapa de localización de la cuenca en estudio.

Índice que al ser cotejado con el factor de forma (Ff) de 0.18, determinado por la relación:³

$$Ff = \frac{Am}{Ea}$$

cuyos parámetros son :

Am = anchura media

Ea = eje axial

confirma que los resultados se alejan de la unidad.

La pendiente media de la superficie avenada resultó ser de 0.301, esto es, del 30.1%, de acuerdo con la ecuación:⁴

$$Pm = \frac{(Lc) (C)}{A}$$

cuyos componentes son:

Lc = longitud total de las curvas de nivel, en Km

A = área de la cuenca en Km²

C = cota de las curvas de nivel, en m

el resultado anterior permite considerar como muy acentuada la pendiente media, lo cual puede apreciarse en la curva hipsométrica, en la que sobresale la marcada inclinación de su cabecera (Fig. 2).

La pendiente del terreno de esta cuenca se presenta en forma muy irregular, como puede verse en la proximidad de las curvas de nivel de la carta topográfica (Fig. 3).

Otra manera de apreciar las desigualdades del terreno es por medio del histograma de frecuencias altimétricas (Fig. 4), cuya distribución de áreas parciales en función de altitud permite ver que las más amplias y por ende de menor pendiente, corresponden a la cuenca baja; esto, por supuesto, influye en mayor aprovechamiento de las precipitaciones por parte del suelo.

³ Maderey L. E. "Características Físicas de la Cuenca del Río Tizar". *Boletín del Instituto de Geografía*. Núm. 3. 1970, p. 31.

⁴ Stanescu Silviu. *Determinación práctica de las principales características morfométricas y fisiográficas de las cuencas hidrográficas y su aplicación en los cálculos hidrológicos*. Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología. Bogotá. 1970. pp. 49-55.

El uso del suelo está muy relacionado con la capacidad de éste para contener el agua, porque cada una de las actividades que el hombre lleva a cabo en él, han alterado sus características primigenias y, por tanto, sus peculiaridades hidrológicas.

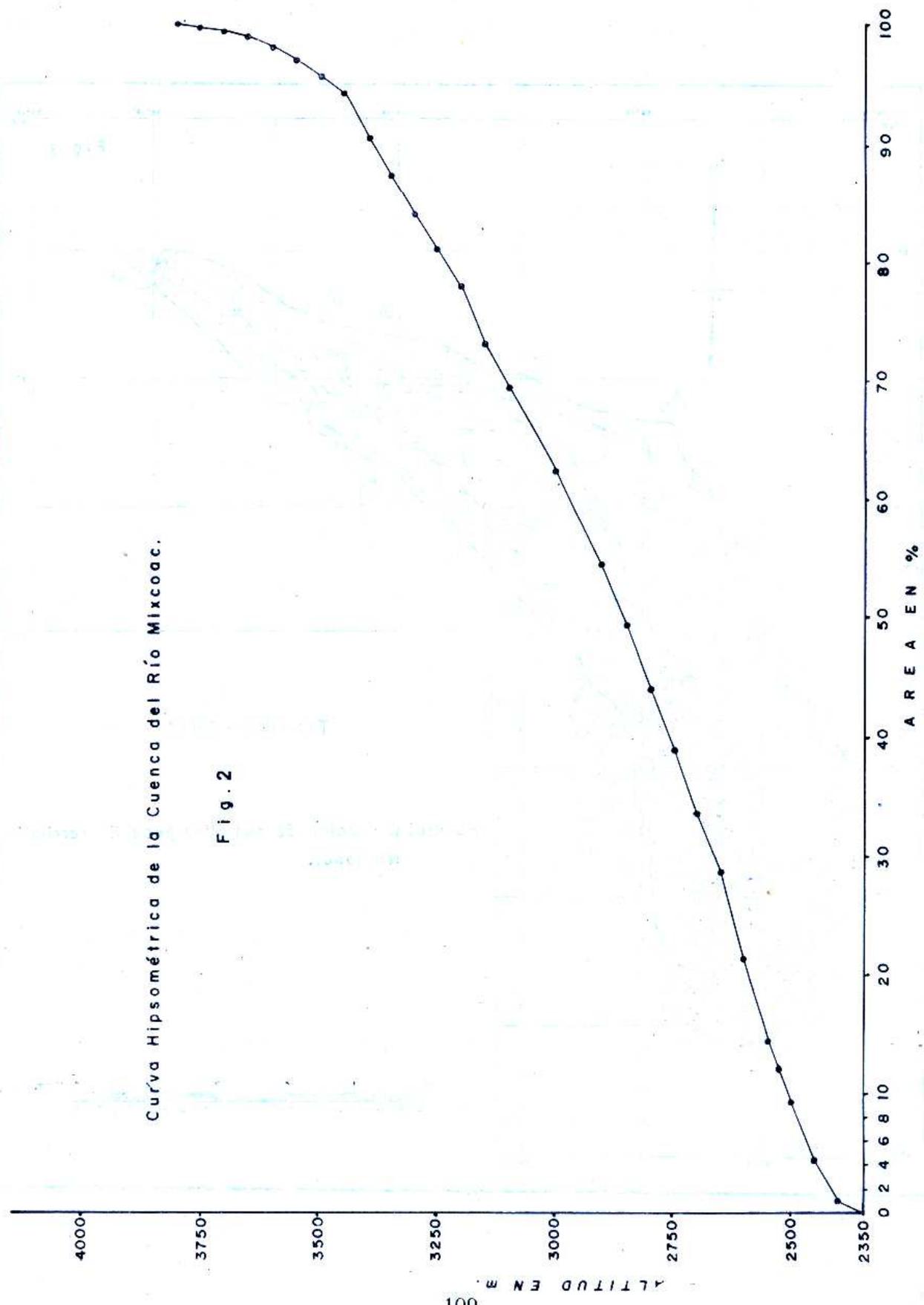
La superficie de la cuenca del río Mixcoac presenta cinco principales usos, de los que el 68.8% del área total, o sea 23.6 Km² corresponden a zonas boscosas pertenecientes en su mayor parte al Parque Nacional del Desierto de los Leones, en la parte más elevada; le sigue en importancia el aprovechamiento agrícola de temporal, con el 21.0% (7.2 Km²) en su porción media y baja, mientras que el 2.6%, esto es, 0.9 Km² están cubiertos por pastizales (introducidos y naturales) que se presentan en forma aislada; por otra parte, aproximadamente el 1.6% está ocupado por los asentamientos humanos, de los que sobresalen San Pedro Tlaltenango, Santa Rosa Xochilac y Santa Lucía. El uso más restringido del suelo es apenas de 0.3 Km² que están dedicados a la extracción de materias para construcción, y los restantes, 0.7 Km², están en desuso porque se encuentran erosionados (Fig. 5).

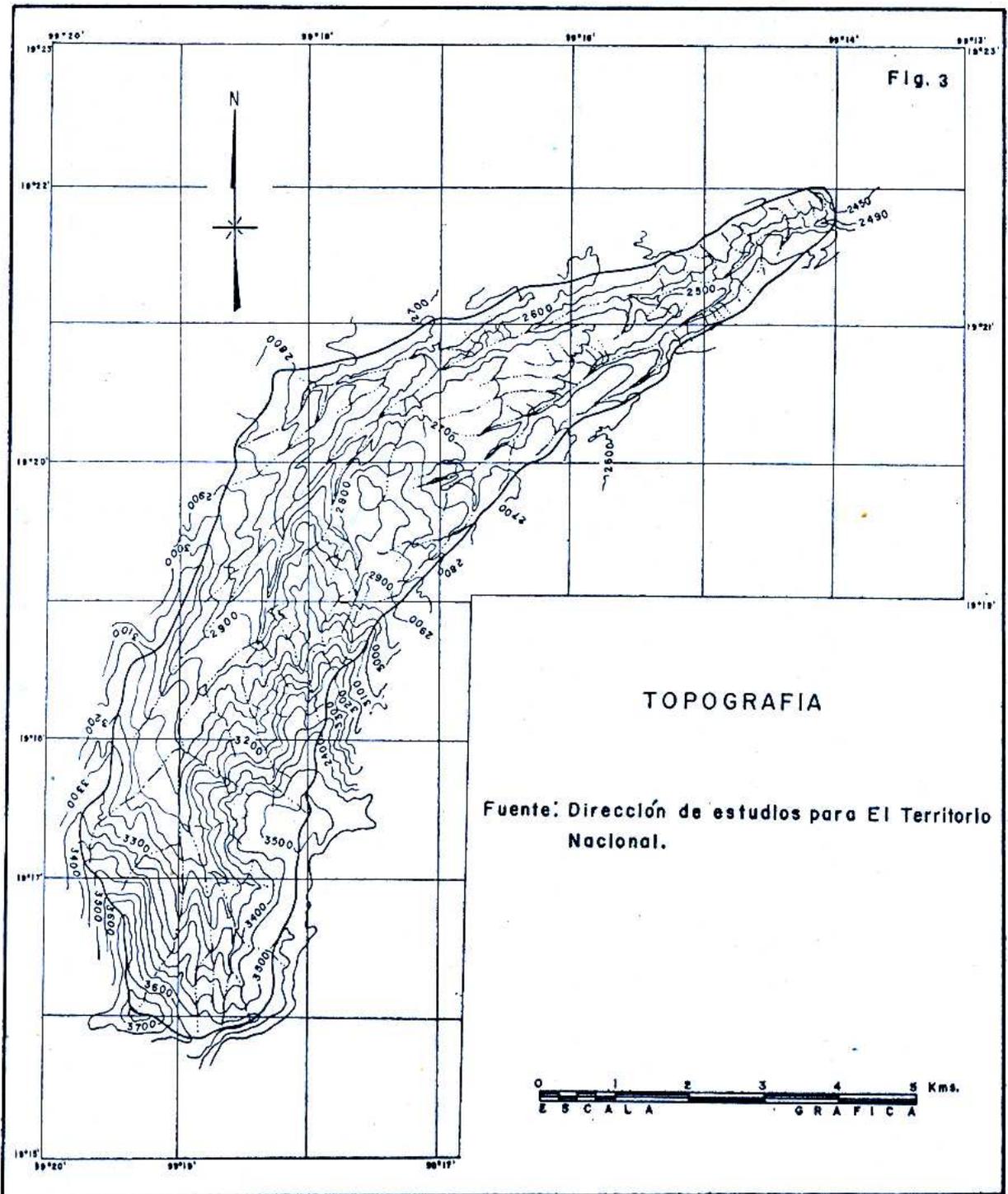
Las áreas cubiertas por bosque facilitan la infiltración del agua precipitada debido, por una parte, a que ésta descende por el tallo de los árboles y continúa por las raíces, introduciéndose de esa manera en el suelo; pero también influyen los desechos vegetales que por su naturaleza resinosa propician la agregación de las partículas del suelo; sin embargo, debe tomarse en consideración que es en esta zona donde teóricamente existe mayor pérdida de agua por evaporación, pero existen otros elementos del clima que contrarrestan este efecto, como se verá más adelante.

Con respecto a las superficies cultivadas, las características de variabilidad en la humedad del suelo se reduce, ya que las peculiaridades de la vegetación son diferentes a la anterior; además de que también es importante al manejo que el campesino dé al suelo, ya que cuando éste queda desnudo,

Curva Hipsométrica de la Cuenca del Río Mixcoac.

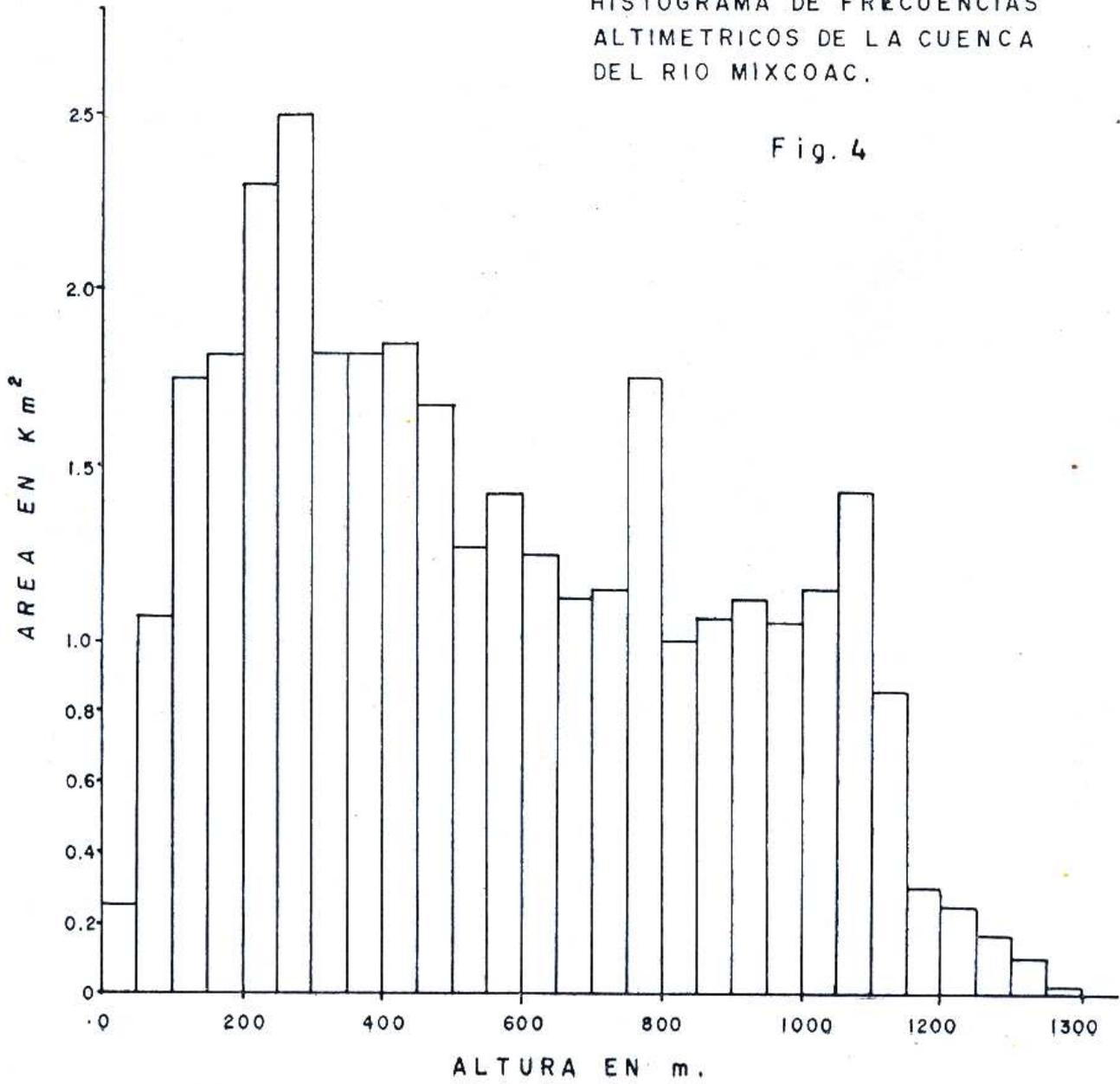
Fig. 2

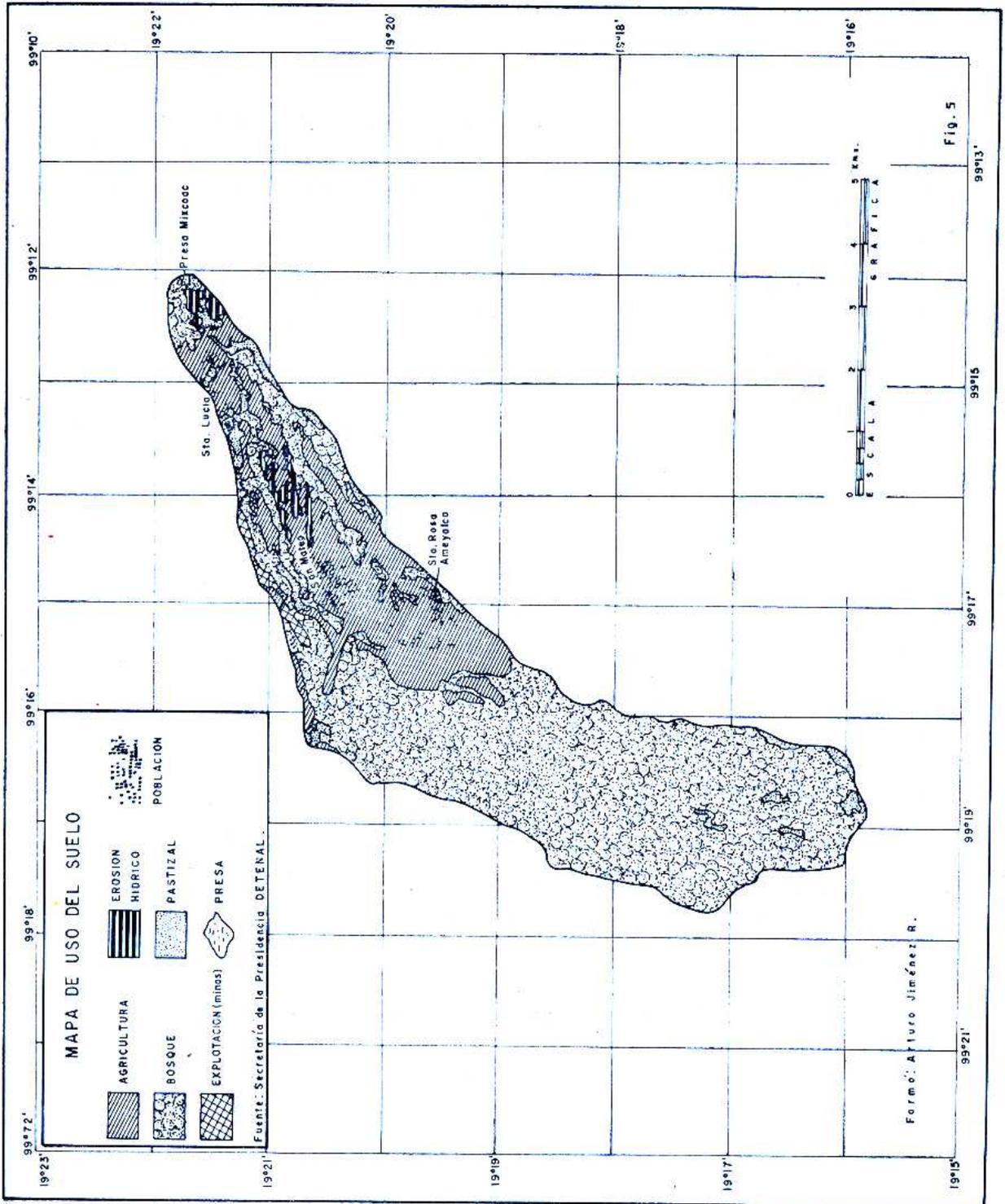




HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS
ALTIMETRICOS DE LA CUENCA
DEL RIO MIXCOAC.

Fig. 4





después de la cosecha, la pérdida de agua es directa.

En relación a las superficies cubiertas por pasto, su aspecto es más significativo debido a que este tipo de vegetación reduce aún más la infiltración y la evapotranspiración, pero si a todo esto se adiciona la compactación del suelo de estas áreas, como consecuencia de la introducción de ganado, así como su densidad y la frecuencia del pastoreo, la penetración del agua en el suelo será todavía menor.

III. CLIMATOLOGIA

El aspecto climático, en lo referente a sus elementos más significativos, como son la precipitación, la temperatura y la evaporación, están vinculados a las características hidrológicas del suelo.

Para conocer el comportamiento de dichos componentes climáticos se utilizó información de los diez últimos años de observación, además del periodo durante el cual se llevó a cabo la determinación directa de la humedad del suelo.

Las estaciones climatológicas empleadas son las siguientes (Tabla 1):

De las nueve estaciones mencionadas, las seis primeras se encuentran distribuidas fuera de la línea de parteaguas y sólo se utilizaron como apoyo, mientras que las tres últimas se localizan dentro de la cuenca.

Las estaciones cuentan con diversos instrumentos tales como: pluviómetros, termómetros (para temperaturas: ambiente, máxima y mínima) y evaporímetros; solamente en la estación Desierto de los Leones existe pluviógrafo.

Para la determinación del valor medio de los elementos del clima de la cuenca en estudio se utilizó el método de las isolíneas, que se trazaron empleando la media aritmética de los datos aportados por las estaciones climatológicas y, después, se aplicó la siguiente ecuación:⁵

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

cuyos componentes son:

Em = elemento medio del clima que va a determinarse, en sus unidades respectivas.

$\sum em$ = elemento medio correspondiente a las áreas entre cada dos isolíneas. Se obtiene de la semisuma del valor de las dos isolíneas.

a = área entre cada dos isolíneas, en Km²

A = área total de la cuenca en Km²

Precipitación. La precipitación es la principal fuente de abastecimiento del agua en el suelo, y para apreciar la distribución de la

⁵ *Idem.*

TABLA 1

No.	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud en m *
1	Cuajimalpa	19° 21' 12"	99° 15' 43"	2 710
2	Desviación alta	19° 18' 00"	99° 12' 05"	2 500
3	La Marquesa	19° 18' 46"	99° 16' 38"	3 064
4	Santa Fe	19° 22' 48"	99° 11' 48"	2 390
5	Presa Anzaldo	19° 18' 12"	99° 11' 09"	2 370
6	Presa Tarango	19° 21' 37"	99° 10' 50"	2 335
7	Presa Mixcoac	19° 21' 53"	99° 12' 04"	2 430
8	La Venta	19° 20' 00"	99° 16' 36"	2 780
9	Desierto de los Leones	19° 18' 46"	99° 16' 38"	2 920

* Determinada del mapa altimétrico.

lluvia en la cuenca del río Mixcoac, se trazaron las isoyetas. En el mapa de precipitación media anual, se observa que la lluvia varía entre los 950 y 1 450 mm; dicha fluctuación se incrementa proporcionalmente con la altitud del terreno, que es uno de los factores que modifican este elemento (Fig. 6).

La precipitación de la cuenca en estudio presenta un comportamiento anual en el que el periodo húmedo se inicia en el mes de marzo, llegando a su máximo en el de julio, e inicia su abatimiento en agosto; esta peculiaridad es consecuencia de la acción de los vientos alisios y de algunos efectos ciclónicos de ambos océanos, mientras que en el lapso restante, del invierno y primavera, la invasión de masas de aire polar provoca lluvias que no llegan a ser tan importantes como las anteriores.

En la cuenca en estudio la precipitación media se ha calculado en 1 273.8 mm, determinada de acuerdo con el método anteriormente señalado.

Al comparar la precipitación media anual con la del periodo del estudio (Fig. 7), en lo referente a distribución, régimen y altura, se observa que la lluvia experimenta una concentración hacia la parte central de la cuenca, desde los 1 150 hasta los 1 750 mm; sin embargo, el descenso de la altura del agua precipitada disminuye solamente en 300 mm, hacia la cabecera, mientras que en el transcurso de 1967 a 1976, la fluctuación media se presenta de manera casi uniforme con la altitud.

En el promedio decenal se observa que la época húmeda también corresponde al verano y al otoño; sin embargo, el mes más lluvioso es julio. La época seca abarca también el invierno y la primavera, pero el mes más seco es febrero.

Con respecto al régimen pluviométrico del régimen considerado, resulta ser marcadamente húmedo durante el verano y principios del otoño; el mes más lluvioso fue agosto, y presenta una época seca en el invierno y la primavera, cuando el mes de marzo resulta ser el más seco, con cero mi-

límetros, con lo que se puede inferir cierto retraso respecto al promedio anual (Fig. 8).

La precipitación del lapso señalado es de 1 481.4 mm, que resulta ser mayor en un 14% de la media anual que es de 1 273.8 mm.

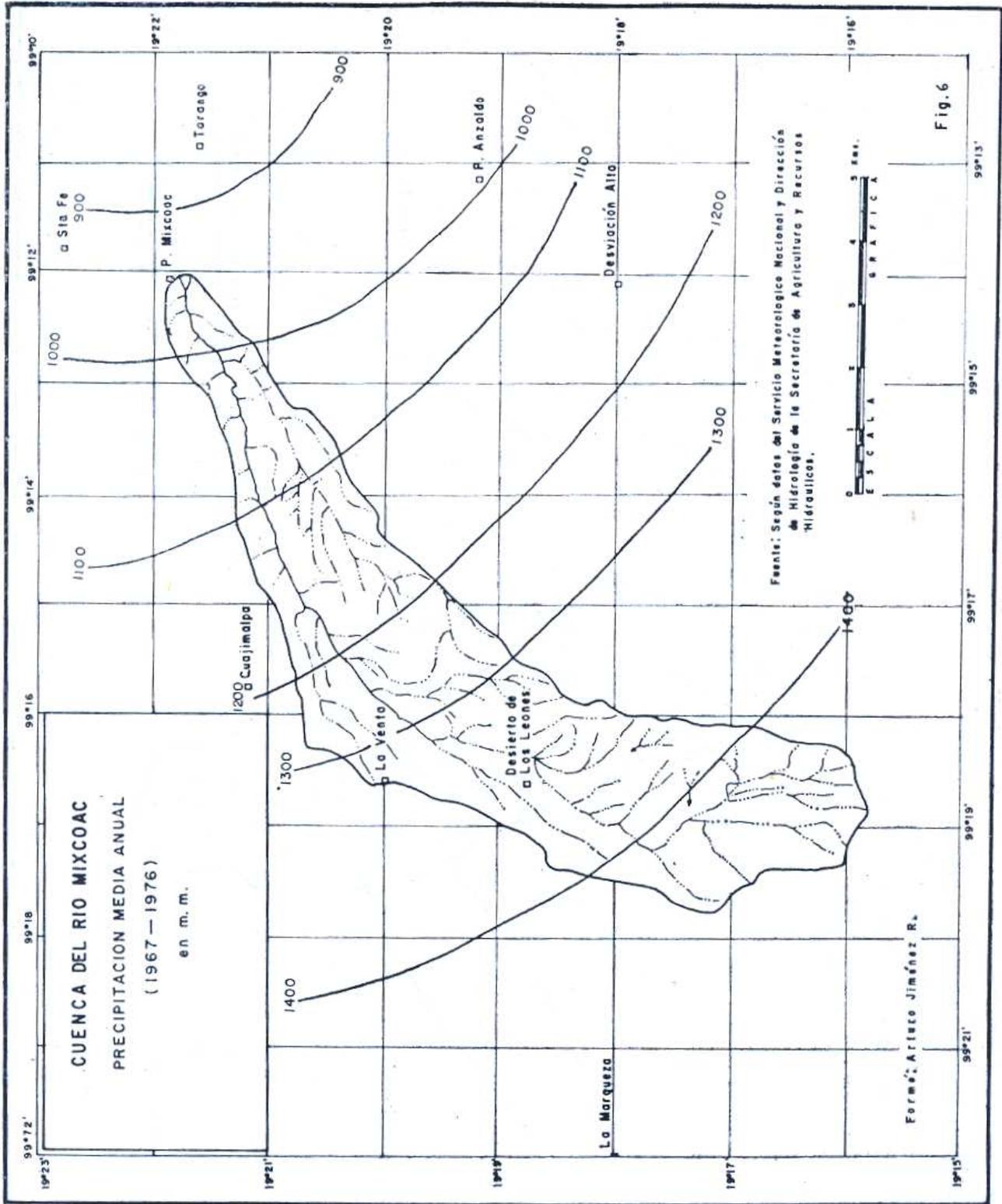
Con este examen se muestran las condiciones de distribución, en el espacio y en el tiempo, de la precipitación, lo cual representa las características de abastecimiento de agua al suelo de la región.

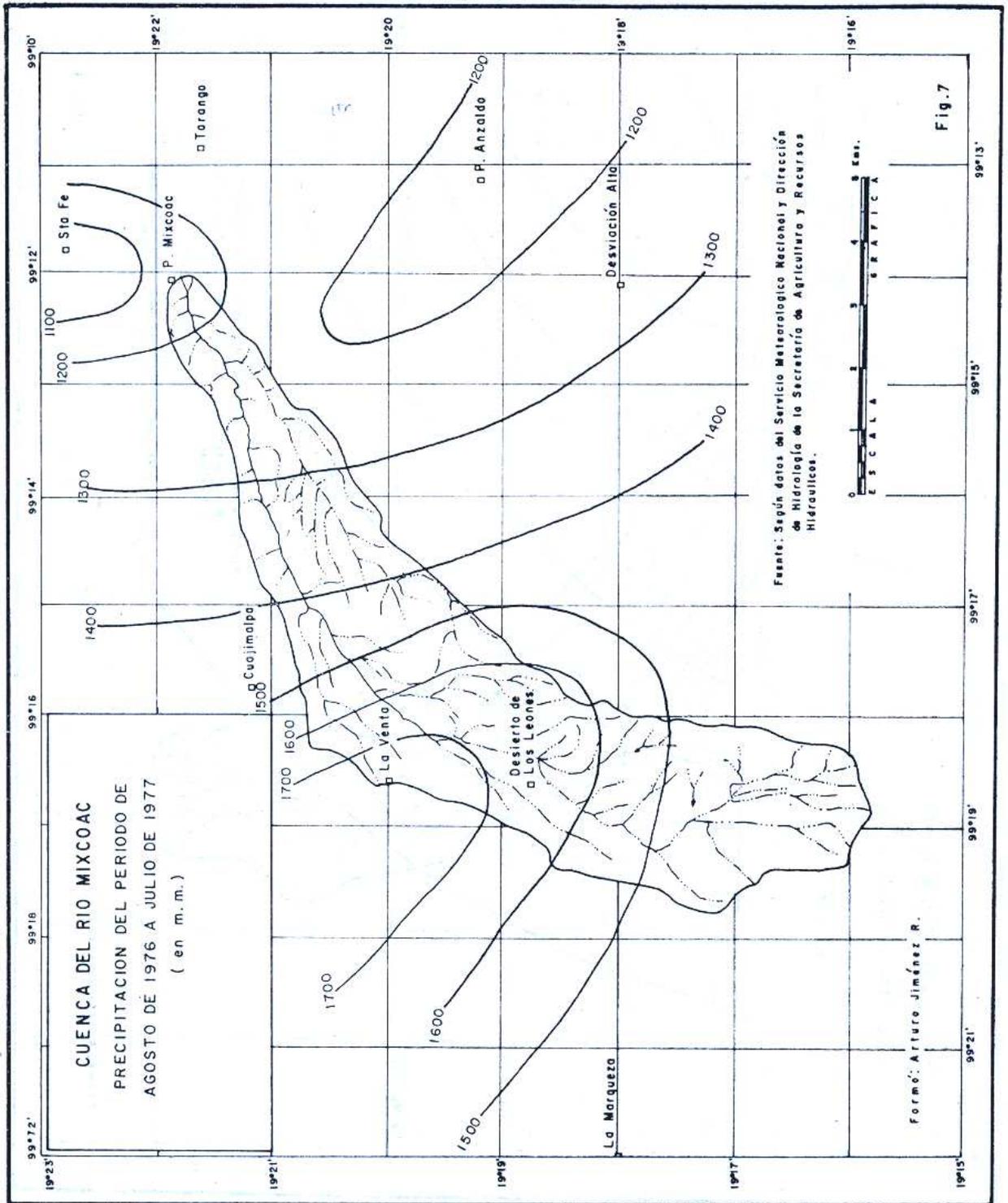
Los principales tipos de lluvia que se presentan en la cuenca son orográficas y ciclónicas, cuyas intensidades máximas en 24 horas, durante el periodo de trabajo, resultaron ser mayores en la parte centro-occidental del área en cuestión, la cual es superior a 28 mm y decrece a partir de la estación La Venta, lo que coincide con la más lluviosa (Fig. 9). A partir de esta estación la intensidad decrece hacia la cabecera y hasta la estación Presa Mixcoac, en menos de 22 mm; sin embargo, si se cotejan las figuras 7 y 10 puede verse que, en realidad, en la parte más baja de la cuenca la intensidad de la lluvia es menor.

La importancia del análisis de la intensidad de la lluvia estriba en que afecta la porosidad del suelo por la acción del golpeteo de las gotas cuando alcanzan la superficie; en el caso particular de esta cuenca existen factores, tales como la vegetación, que la modifica, salvo excepciones.

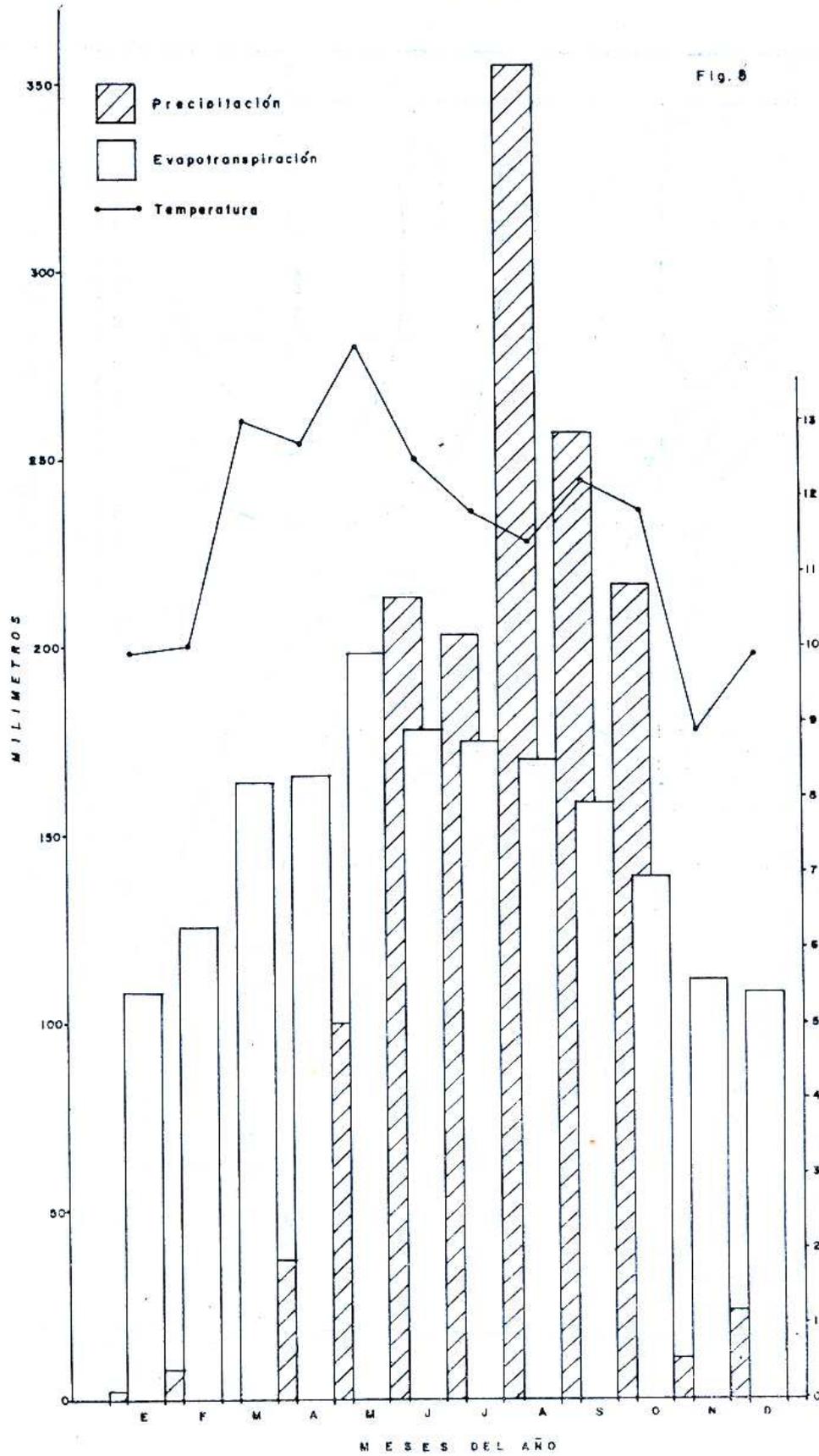
Temperatura. La temperatura de la cuenca tiene gran significado en las características hidrológicas del suelo, tanto cuando es elevada como cuando es baja. En el primer caso da lugar a que exista mayor pérdida del agua del suelo por evapotranspiración, como se verá posteriormente. En el segundo, las temperaturas pueden ser tan bajas que llegue a congelarse el agua del medio.

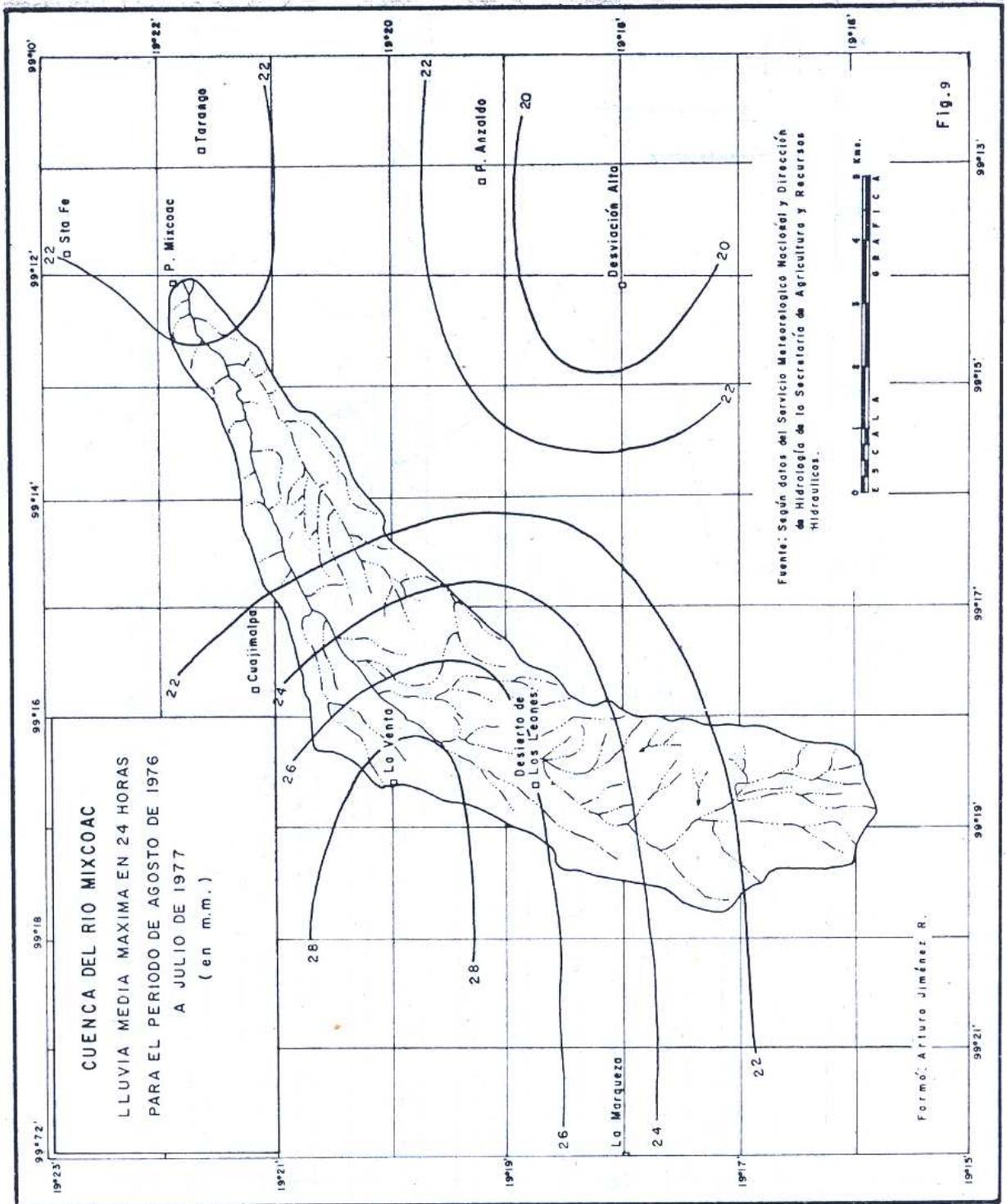
La temperatura considerada para este estudio es la media ambiental que, de acuerdo con el promedio anual observado en el último decenio, se utilizó para trazar el mapa de isotermas en el que se distingue que la temperatura generalmente está distribui-





CLIMOGRAMA





da en forma inversa a la altitud de la superficie de la cuenca; dicho en otras palabras, aumenta desde los 9.9 a los 15.5°C (Fig. 11 y 12).

La temperatura media anual más baja se registró en la estación La Marquesa, con 10.2°C, localizada fuera de la cuenca, a los 3 064 msnm y la máxima de 16.7°C corresponde a la estación Presa Tarango, a 2 335 m de altitud.

La variación anual de la temperatura, como resultado del desplazamiento del ecuador térmico, hace ésta más elevada generalmente en el mes de mayo, mientras que el efecto contrario se observa marcadamente en los meses de diciembre y enero. La temperatura media anual de la cuenca del río Mixcoac es de 11.9°C.

Si se comparan los resultados medios de los diez años, con el lapso en que se realizó la observación de la humedad del suelo, puede verse también que la temperatura decrece hacia la cabecera de la cuenca (Figs. 12 y 13); la temperatura media más elevada se registró en la estación climatológica Santa Fe, con 16.3°C, localizada a 2 390 m de altitud, y la más baja correspondió a La Marquesa, con 8.5°C, ubicada a 3 064 msnm.

En el lapso de este estudio, la temperatura media de la cuenca fue de 11.2°C, esto es, más fría que la media anual en 0.7°C, lo que puede deberse a que las precipitaciones fueron más abundantes en el primero.

Evaporación. La evaporación es otro elemento importante del clima, que participa en el ciclo hidrológico, ya que, en comparación con el agua infiltrada y la de escurrimiento, las mayores pérdidas se deben a este último.

Antes de abordar formalmente este elemento, conviene aclarar que, la información proporcionada por las estaciones climatológicas sobre este aspecto, corresponde a la evaporación que se produce a partir de un cuerpo de agua y, por tanto, para este estudio no es representativo; por lo que es necesario considerar también la que se efectúa

directamente del suelo y la transpirada fisiológicamente por las plantas, lo cual queda englobado en la evapotranspiración.

La evapotranspiración media anual y media mensual de la cuenca en cuestión, fue calculada por fórmulas desarrolladas por L. Turc, que fueron las más indicadas de acuerdo con la información disponible.

El cálculo de la evapotranspiración media anual de la última década, en esta zona, se llevó a cabo por la fórmula:⁶

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

cuyos parámetros son:

E = evapotranspiración en mm.

P = precipitación media anual en mm.

L = variable según la temperatura, esto es:

$$L = 300 + 25t + 0.05t^2$$

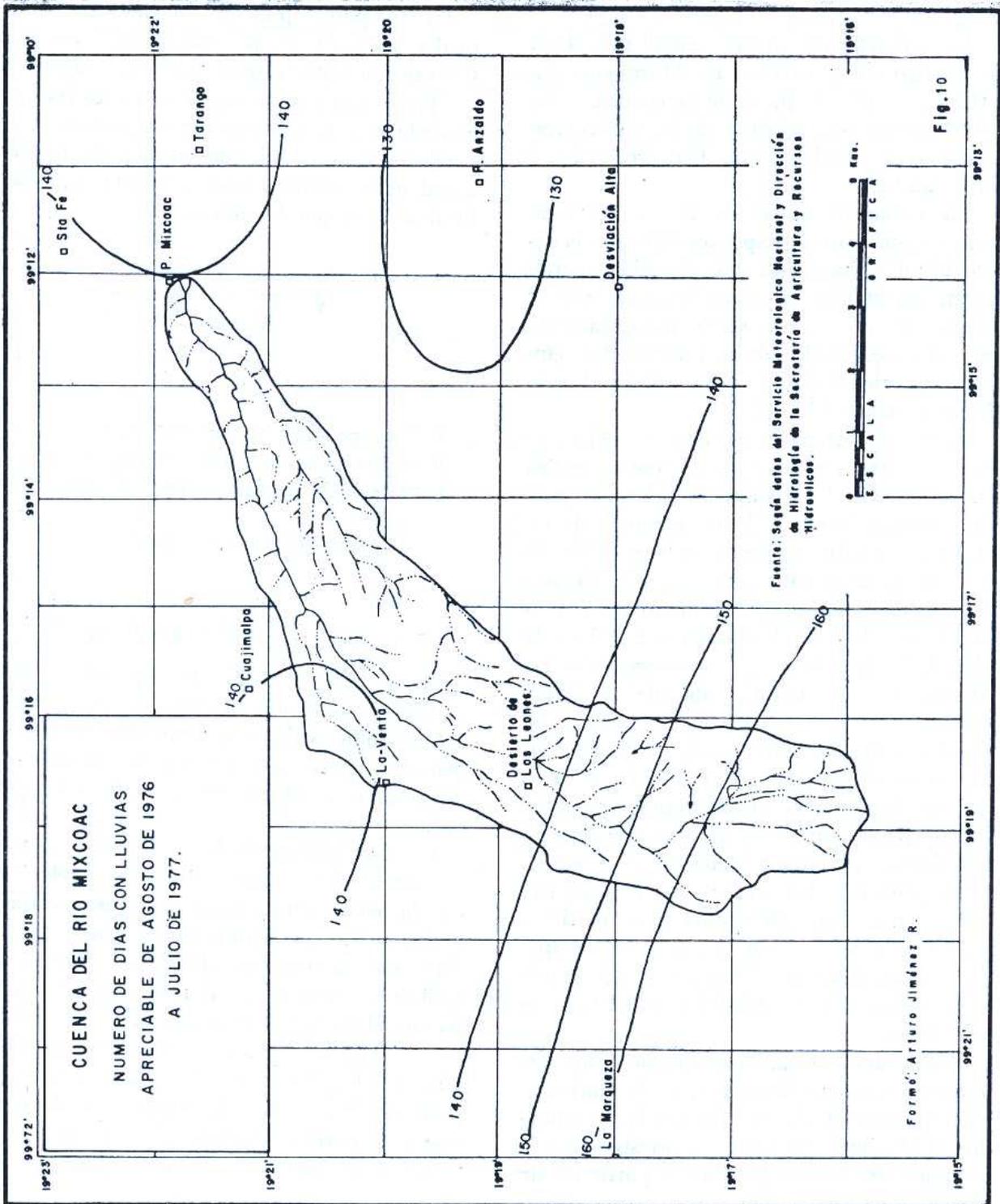
en la que:

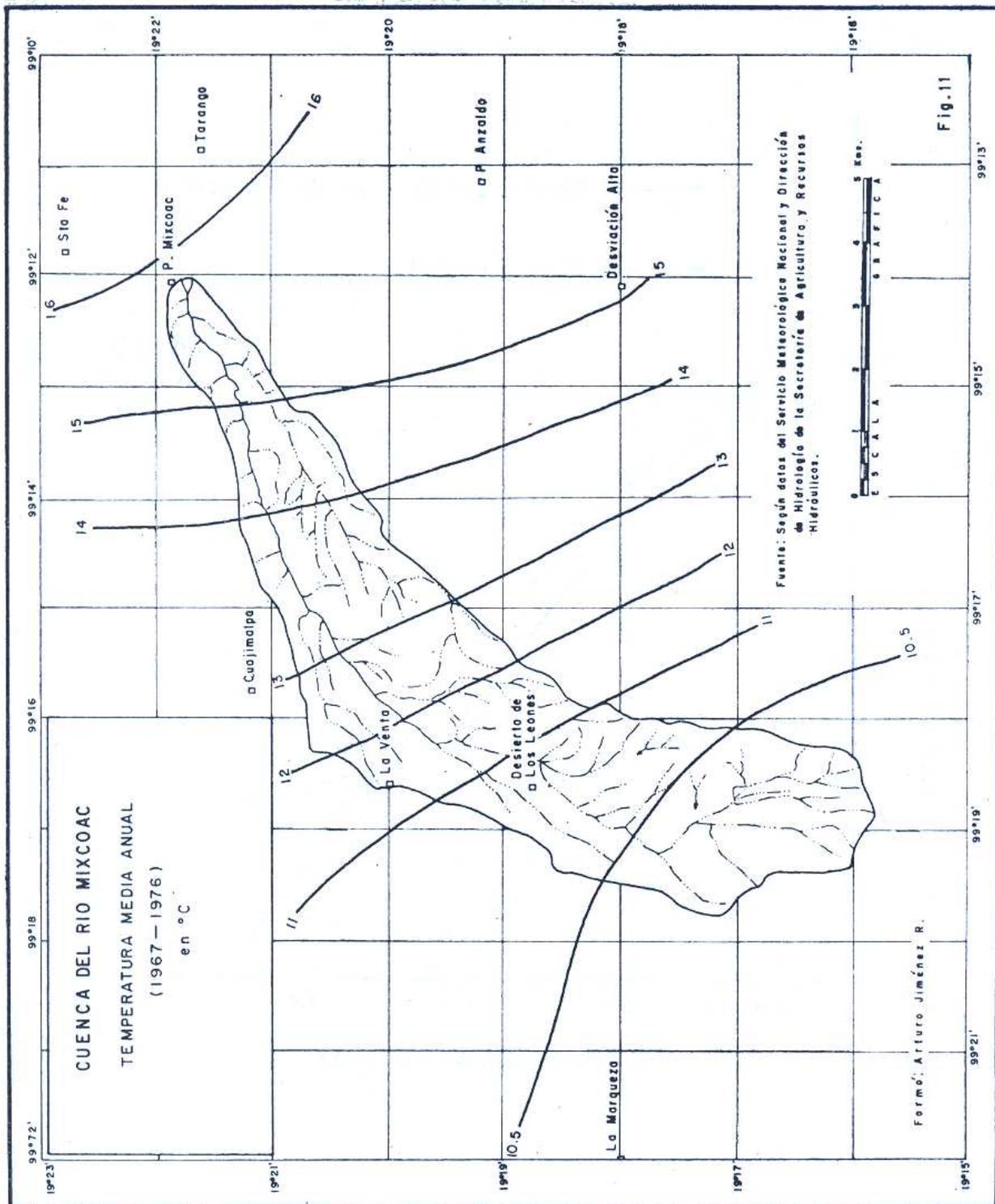
t = temperatura media anual en °C.

Los resultados medios de diez años y del periodo considerado sirvieron para el trazo de las isolíneas de evapotranspiración, indispensables para observar su distribución y determinar su estado medio en la reiterada cuenca.

La variabilidad de la evapotranspiración se presenta de manera directa en relación con la temperatura; dicho en otras palabras, y observando la figura 14, se puede apreciar que la primera disminuye pendiente arriba; por otra parte, el cotejo de este mapa con el de isolíneas de precipitación media anual (Fig. 6) permite observar que la pérdida del líquido decrece a pesar de la disponibilidad de agua. Lo anterior se debe a que gran parte de la lluvia en la cuenca baja es evaporada, ya que la temperatura es

⁶ Remenieras, G. *Tratado de Hidrología Aplicada*. Ed. Técnicos Asociados, S. A. Barcelona, 1971. pp. 263-264.





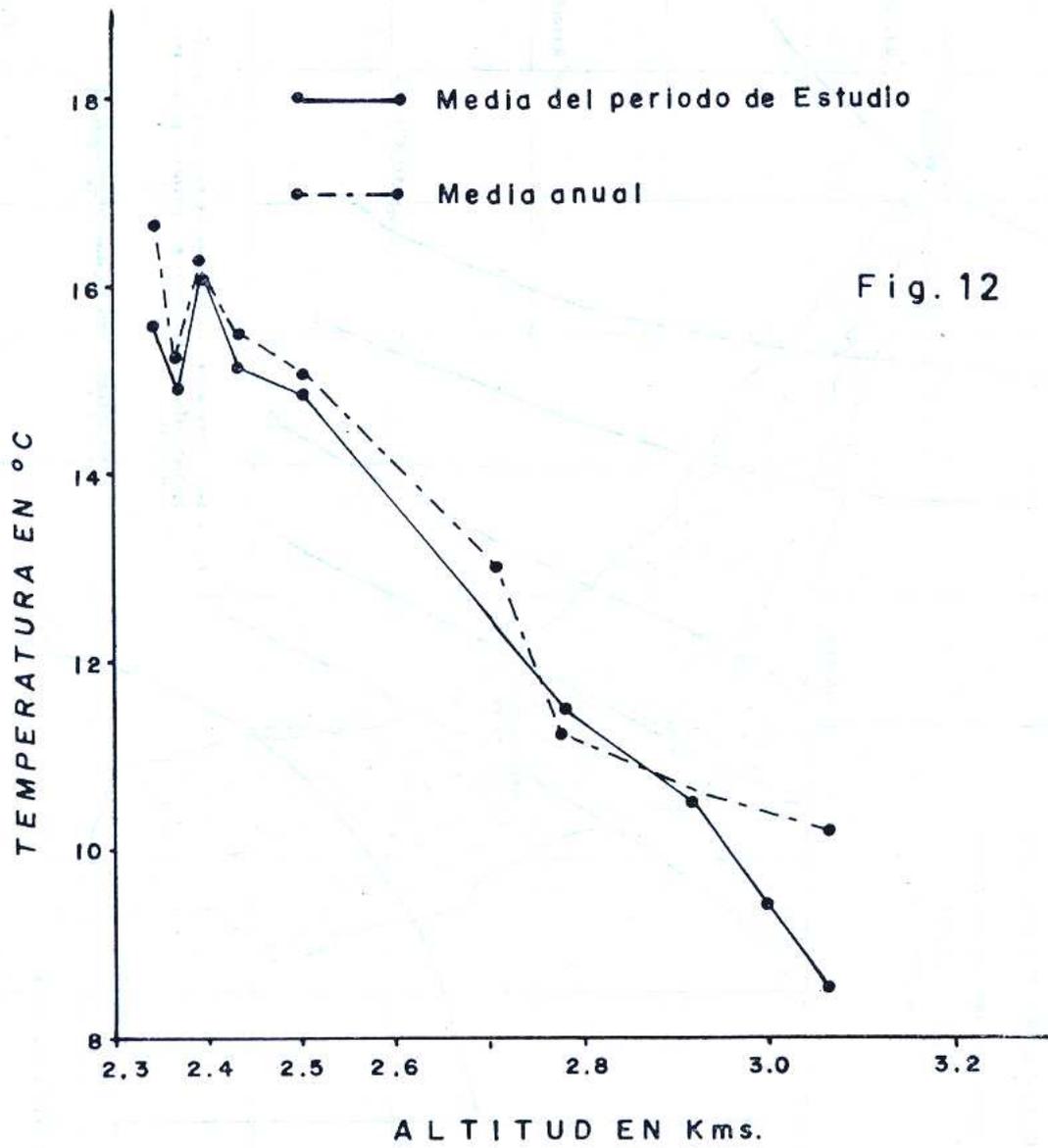
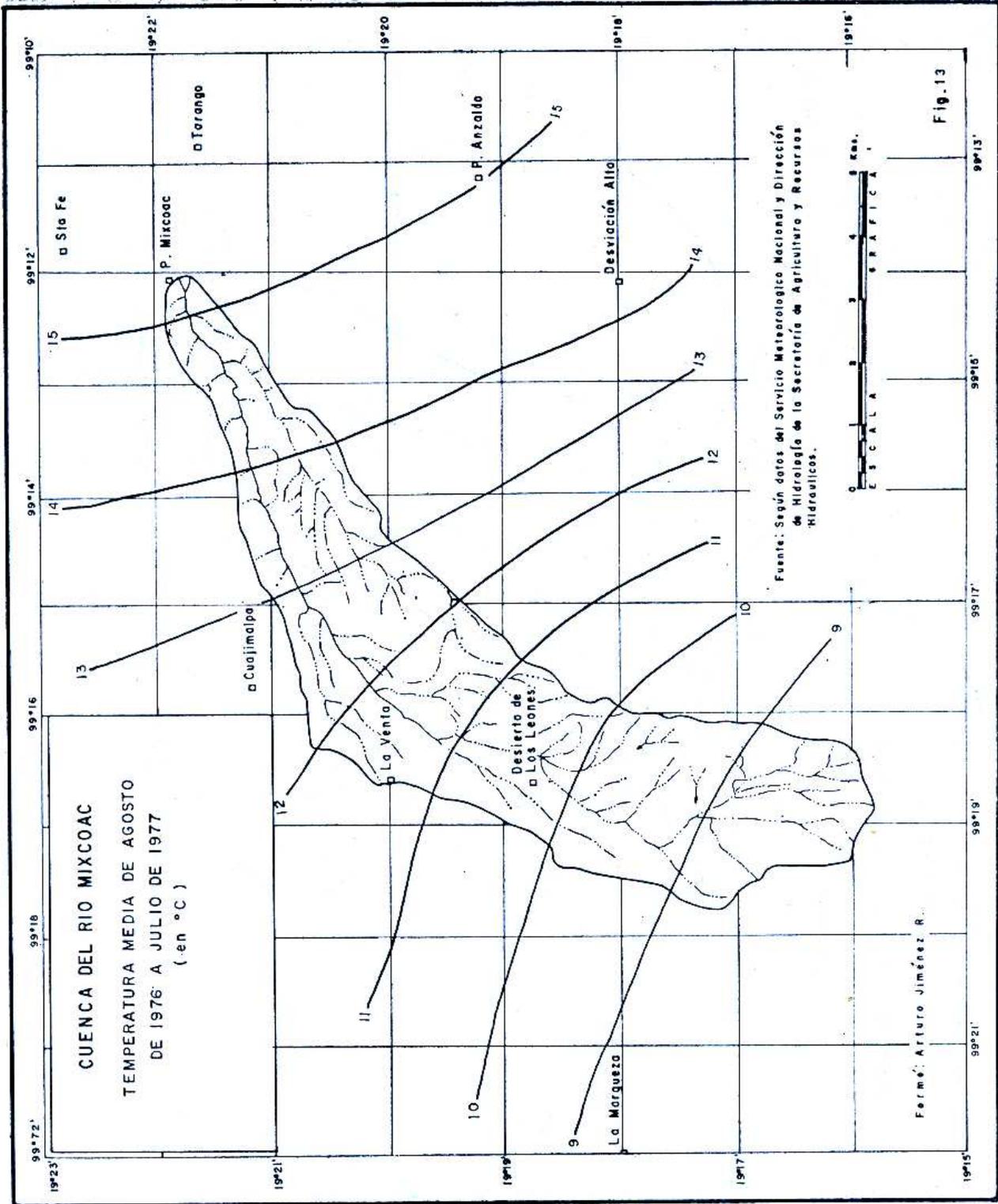
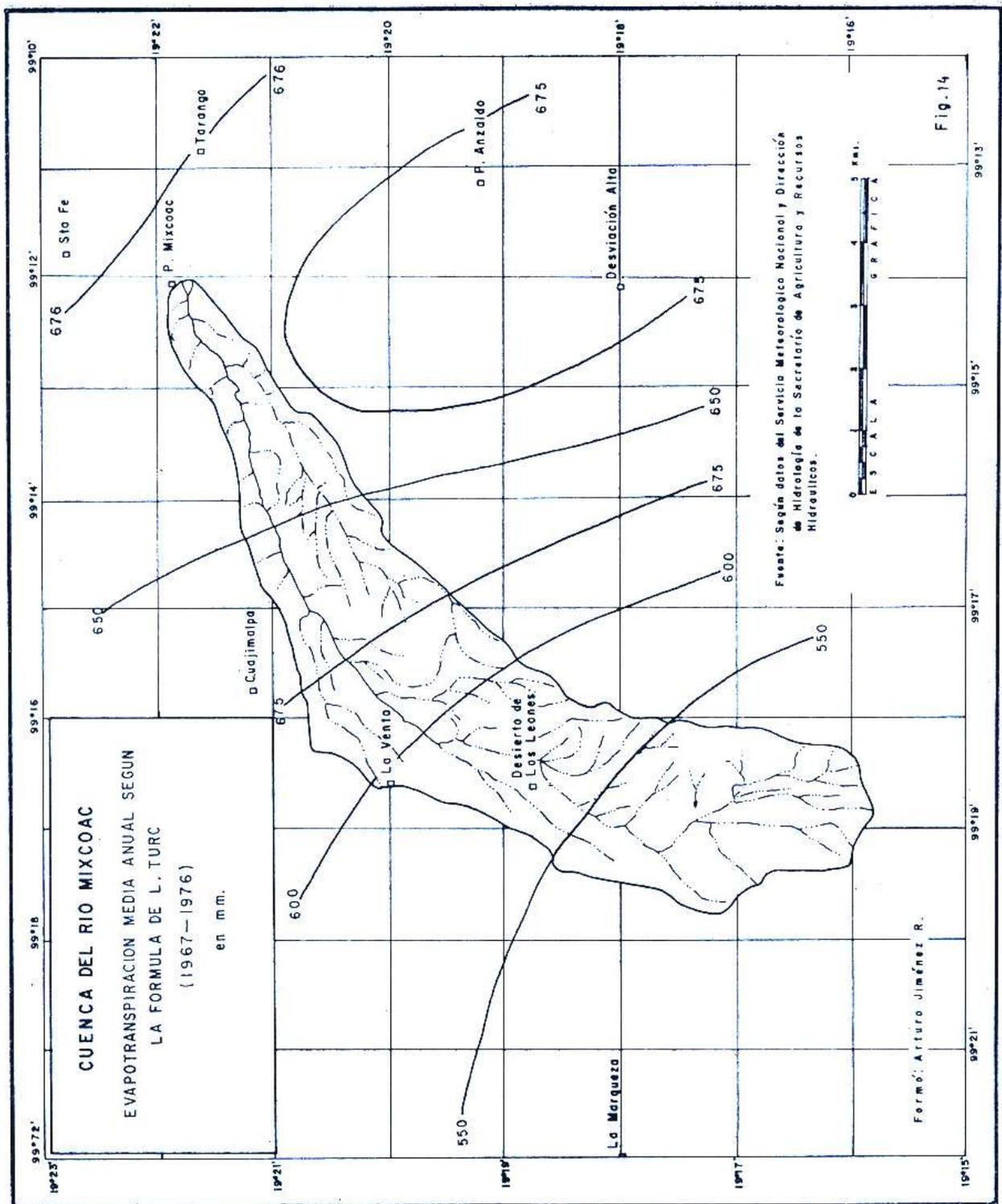


Fig. 12





más elevada, y conforme se gana altitud, la precipitación se incrementa, pero la temperatura se abate y con esto el poder evaporante de la atmósfera se reduce, disminuyendo de esta manera la pérdida de agua. Por otro lado, en el caso particular del lapso en que se determinó la humedad del suelo, lo anterior se presenta en forma parcial, ya que la precipitación sólo se incrementa hasta la mitad de la cuenca alta, pero debe considerarse que, a pesar de que la lluvia decrece hacia la cabecera, aquélla resulta suficiente para saturar la atmósfera, debido a su baja temperatura (Fig. 15).

La evapotranspiración real anual de los diez años es de 611.6 mm, lo cual es superior a la del lapso en cuestión, en 19 mm; es decir, fue de 592.1 mm, lo que pudo deberse a que la temperatura fue reducida en relación con el promedio del decenio mencionado.

Para conocer el ritmo anual de la evapotranspiración, fue necesario utilizar la segunda ecuación de L. Turc:⁷

$$E_{tp} = C (I_g + 50) \frac{t}{t + 15}$$

en la que:

E_{tp} = evapotranspiración potencial en mm.

I_g = radiación solar global para el mes considerado, en cal/cm²/día (se da en tablas).

t = temperatura media mensual del mes de que se trate, en °C.

C = coeficiente, que es de 0.4 para los meses de 30 y 31 días y de 0.37 exclusivamente para el de febrero.

La ecuación anterior fue dada para representar la evapotranspiración mensual, ya que la primera fórmula presenta el inconveniente de que, al no existir precipitación, el resultado es de cero, mientras que la arriba mencionada está en función de la temperatura cuando la humedad relativa es superior o igual al 50%.

⁷ *Idem.* pp. 244-245.

Debido a que en el área de trabajo no existe información sobre humedad relativa, se tomó como referencia la registrada en la estación Tacubaya que es la más próxima, considerando que la referida cuenca es más húmeda que la zona en que se ubica el observatorio del Servicio Meteorológico Nacional.

Al analizar la figura 8 y cotejarla con los otros elementos del clima que se incluyen en la misma, puede verse que la evapotranspiración es más similar al régimen térmico, lo que confirma que la temperatura resulta ser de más influencia en el comportamiento de aquélla.

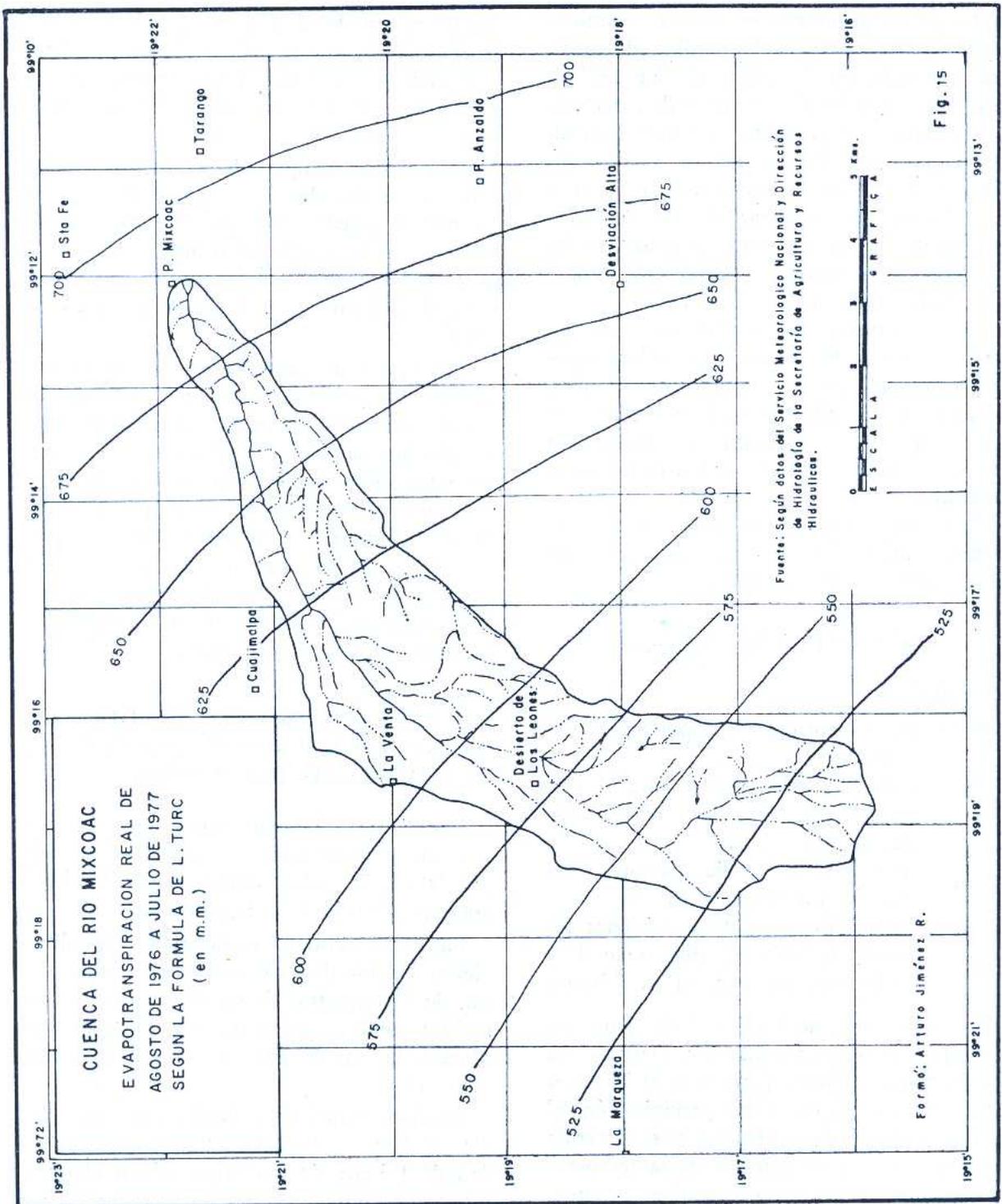
Es importante hacer notar que, en los meses de enero, febrero y marzo, así como los de noviembre y diciembre la evapotranspiración supera a la precipitación. Las lluvias en estos meses se reducen considerablemente, como en el de marzo en el que no hubo precipitación; pero esto no quiere decir que se carezca de relación con este elemento, sino que ésta también es importante, ya que la evapotranspiración se reduce porque disminuye la reserva de humedad.

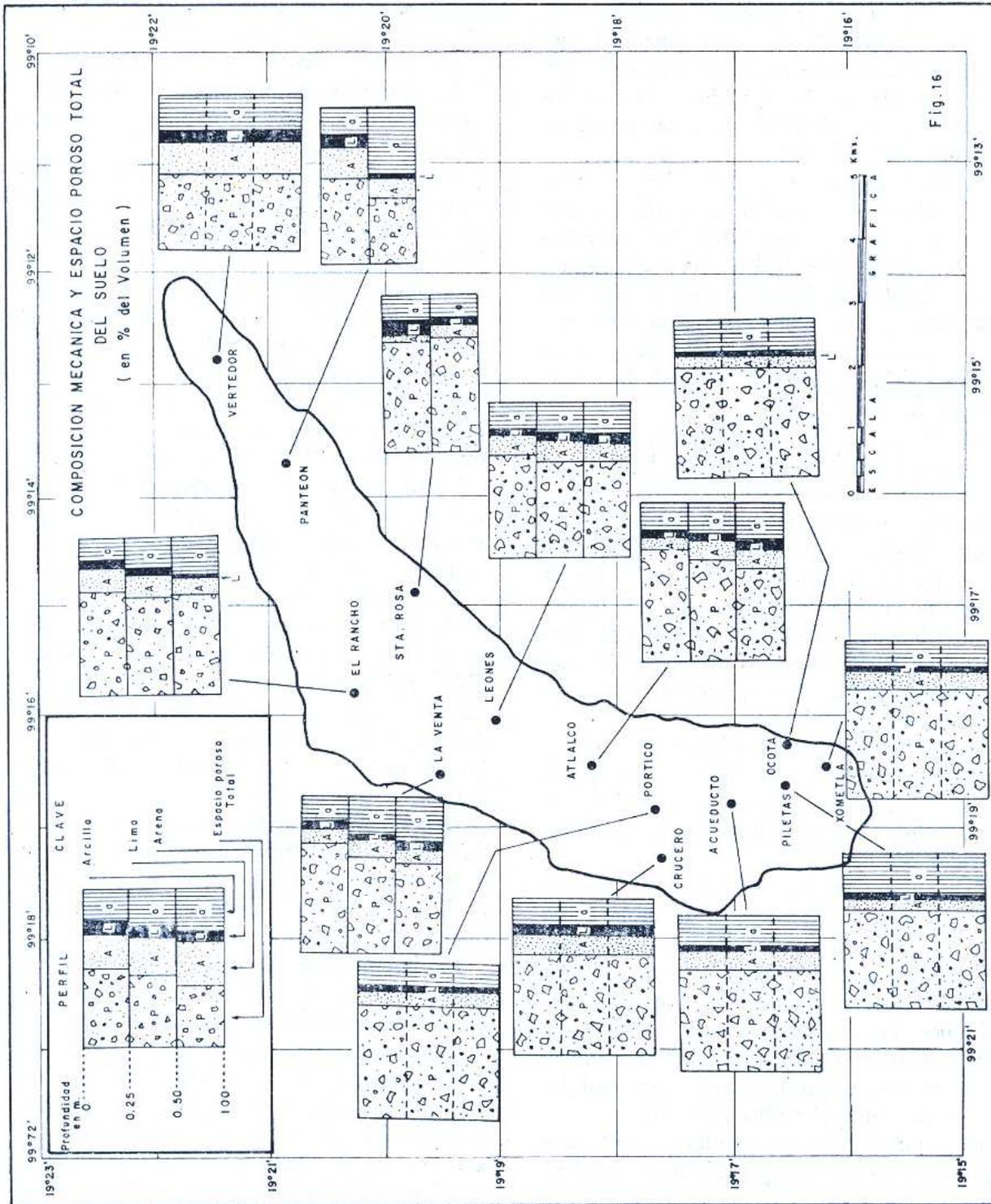
IV PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO RELACIONADAS CON LA HUMEDAD DEL MISMO

Las condiciones hidrológicas del suelo dependen en gran parte de características físicas del medio, tales como textura, densidad aparente, densidad real, porosidad, etc.

Las características mencionadas se obtuvieron de los diversos análisis de laboratorio, de las muestras de suelo que fueron obtenidas aunque al azar, convenientemente distribuidas en la cuenca del río Mixcoac (Fig. 16).

El citado muestreo se llevó a cabo por medio de barrenamientos hasta una profundidad de 1.5 m; sin embargo, existen algunos sitios en donde se obtuvieron a menor hondura debido a que las condiciones de dureza lo impidieron.





Es importante indicar que, el análisis de laboratorio se llevó a cabo con muestras alteradas, debido a lo limitado del instrumental; de no ser así, se obtendría una información más exacta de las condiciones del suelo; por otra parte, ante la escasez de recursos, se emplearon los métodos más sencillos y con mayor posibilidad para las condiciones naturales del medio.

Textura. Como ya es conocido, la textura se refiere al tamaño de las partículas que constituyen la fase sólida del medio. Dentro de las características físicas del suelo, aquélla es considerada como una de las más significativas por la relación tan estrecha que presenta con otros aspectos del mismo, tales como la infiltración, la porosidad, la retención de humedad, etc.

La determinación de la fracción del suelo de la cuenca del río Mixcoac se logró en el laboratorio, usando la metodología del hidrómetro, experimentada por Bouyucos.⁸

En términos generales, el análisis consiste en medir, mediante la altura del hidrómetro, la densidad del agua de una probeta de 1 000 ml a la que se le han agregado 50 gr de suelo disperso, primero mediante sustancias químicas y, posteriormente, con un agitador mecánico.

Las mencionadas mediciones para detectar la sedimentación continua de las partículas, se efectuaron dos veces: la primera a los 40 segundos y la última después de transcurridas dos horas.

Los valores encontrados en cada una de las muestras se presentan en la tabla 2, en la que se aprecia que los porcentajes de arena disminuyen con la profundidad, mientras que las cantidades de arcilla se han acumulado por procesos de lixiviación; por lo que concierne a los limos, generalmente también decrecen con la profundidad y sus cantidades no son muy elevadas (Fig. 16).

De acuerdo con los resultados texturales obtenidos, se les agrupó dándoles nombres

⁸ Bouyucos, G. P. *Hidrometer Method Improved for Making Particle size Analyses of Soil*. 1962. pp. 17-19.

que se determinaron mediante coordenadas triangulares en que se emplearon como parámetros los grupos de fracciones, en porcentajes, sobre el triángulo de texturas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos⁹ (Fig. 17).

La clase de suelo predominante en la cuenca es la arcilla, y sólo en el punto Panteón, a 25 cm se detectó un franco arcilloso.

Densidad aparente o peso específico aparente. La densidad aparente, como su nombre lo indica, es el peso del suelo en su conjunto, es decir, la masa de la fracción del suelo incluyendo su espacio poroso.

La metodología empleada para determinar este aspecto del suelo del área en estudio, consistió, a grandes rasgos, en obtener el peso de un volumen de suelo conocido, entre aquél, y se expresa en gramos sobre centímetro cúbico. El cálculo de esta condición del suelo resulta ser un parámetro importante para obtener el espacio poroso total, pero también puede relacionarse con otras características de interés, como la textura.

El análisis de los resultados que aparecen en la tabla 2, revelan que la densidad aparente del suelo se incrementa con la profundidad del perfil; por otra parte, si ésta se relaciona con la fracción del suelo, se observa que la variabilidad es muy similar a los porcentajes de arcilla acumulada en los horizontes subyacentes.

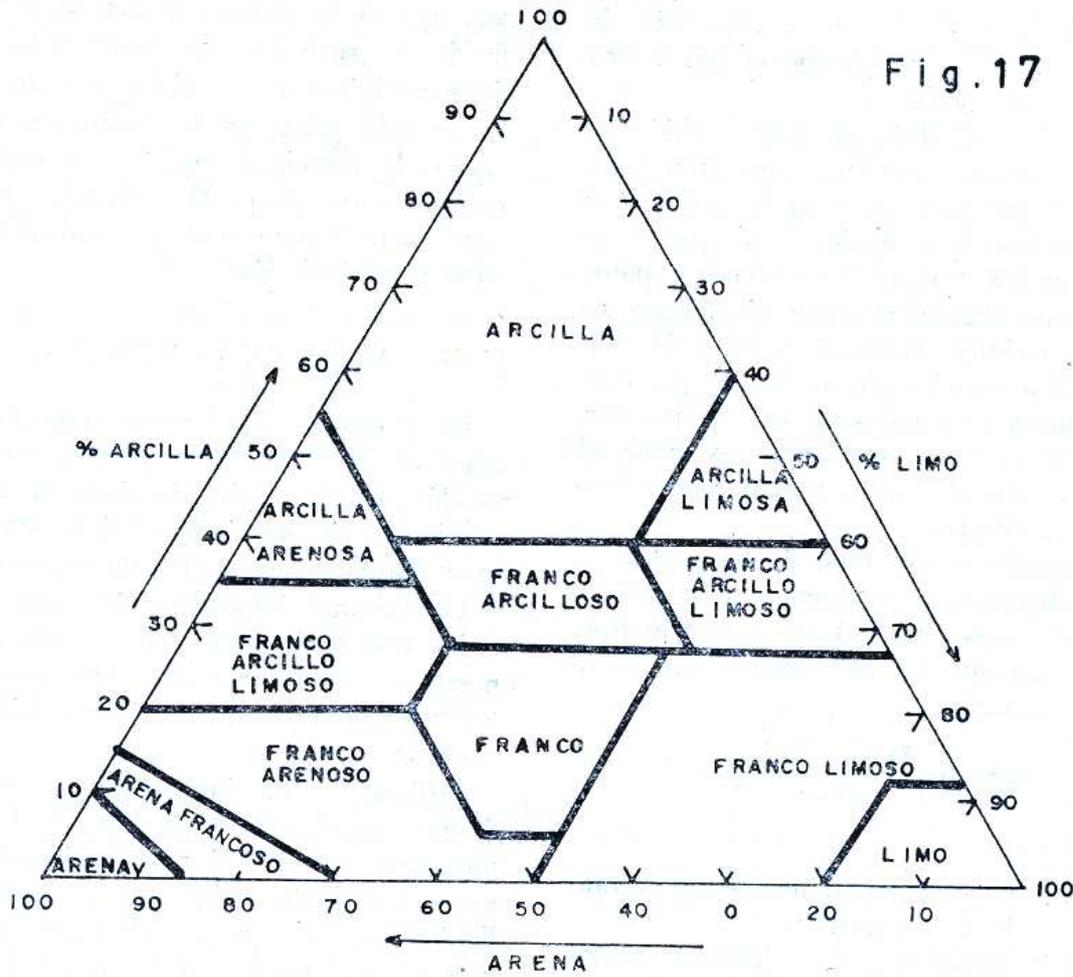
Densidad real o peso específico real. A diferencia de la densidad aparente del suelo, su peso específico real indica la masa de la fracción del suelo, esto es, las partículas que lo constituyen específicamente.

La importancia de esta característica estriba en ser otro elemento indispensable para la determinación de la porosidad neta.

De manera muy superficial, el método de laboratorio utilizado para esta determinación consiste en colocar en un matraz especial diez gramos de suelo seco; en seguida se agrega agua destilada y se agita para expulsar el aire, dejándolo reposar unos minutos;

⁹ Department of Agriculture. *Soil Survey Manual*. Handbook 18. Washington. 1951. pp. 205-223.

Fig. 17



Triángulo de texturas.

posteriormente se llena el recipiente del mismo líquido. A continuación se pesa el recipiente tres veces: primero con suelo y agua, posteriormente solamente con agua y por último, el matraz solamente. Una vez que se tienen los datos, se substituyen en la siguiente ecuación:

$$DR = \frac{\beta}{(\alpha - \theta) + \beta - (\mu - \theta)}$$

en la que:

DR = densidad real o peso específico real en gr/cm³.

μ = peso del matraz con suelo y agua, en gr.

θ = peso del matraz vacío, en gr.

α = peso del matraz aforado con agua, en gr.

β = peso del suelo seco, en gr.

Los resultados concentrados en la tabla 2 indican que, a pesar de que los suelos tienen un peso específico de sus partículas, ligeramente menor a 2.65 gr/cm³, que es la masa media del cuarzo, con la cual se acostumbra compararla, en la mayoría de los sitios de muestreo de la cuenca es marcadamente baja, lo que se debe, en parte, a un alto contenido de materia orgánica en descomposición, misma que fue comprobada directamente en el campo.

Por otra parte, debido a que la materia orgánica tiene una masa menor y a que la

zona de acumulación es la superficie del suelo, la densidad real aumenta con la profundidad del perfil.

Porosidad. El suelo sin haber sufrido alteración alguna, constituye un gran volumen del que parte es ocupado por la fase sólida, mientras la líquida y la gaseosa se alojan en los espacios intersticiales o poros.

La porosidad tiene gran significado en las características hidrológicas del suelo, porque dichos espacios son los lugares por donde circula o en donde se almacena gran parte del agua, pero como se verá y explicará más adelante, no todo el espacio poroso contribuye a este fin.

El espacio poroso total de los suelos correspondientes a esta cuenca se determinó con base en la densidad real y el peso específico aparente, como elementos de la siguiente fórmula:

$$EPT = \frac{DR - DA}{DR} 100$$

en donde:

EPT = espacio poroso total en porcentaje de volumen

DR = densidad real o densidad de las partículas en gr/cm^3

DA = densidad aparente o peso específico aparente en gr/cm^3

Respecto a los valores resultantes para estos suelos (tabla 2), se observa que en todos sobrepasan al cuarenta por ciento, lo cual es característico en estos tipos de suelos, por el alto contenido de fracciones finas que los hace tener una cantidad más considerable de poros que los que tienen mayor porcentaje de partículas gruesas, pero con el inconveniente de que los poros son de menores dimensiones (Fig. 16).

El volumen poroso neto presenta una variación en el perfil, incrementándose generalmente hacia la superficie, lo que se explica por el alto contenido de arcillas; a pesar de que en esta zona la cantidad de arenas es importante, también debe considerarse que el porcentaje de limos coadyuva en el

aumento de la porosidad, debido al tamaño de sus partículas, sin olvidar a los coloidales orgánicos que también participan.

Por otra parte, en los horizontes subyacentes, la porosidad total se conserva alta porque, como ya quedó explicado, en estas zonas se ha incrementado la cantidad de arcillas por inluviación.

V EL AGUA EN EL SUELO

La presencia y el comportamiento del agua en el suelo de la cuenca, como ya quedó asentado, están vinculados a una interrelación de las características atmosféricas y estructurales que afectan el terreno.

Un volumen importante del agua atmosférica que se introduce en el suelo experimenta en su interior diferentes movimientos y estados que lo caracterizan hidrológicamente.

Infiltración. La infiltración o recepción de agua en el suelo representa, en sí, el primer paso y quizá el más significativo del agua en el suelo, porque de la cantidad de líquido que penetre va a depender su comportamiento acorde con las propiedades físicas de aquél.

Para determinar la capacidad de infiltración que presenta el suelo de la cuenca del río Mixcoac, se utilizó el método del anillo infiltrométrico, directamente en el campo.

La mencionada metodología consiste en la utilización de un aparato formado por un recipiente de plástico, con un diámetro de 8.4 cm, al que se adaptó un tubo de vidrio graduado en centímetros y una llave para el control de la salida del agua. Por otro lado, se construyó un anillo de lámina, del mismo diámetro que el tanque descrito, 15 cm de altura y una marca a 1.5 cm, en uno de sus costados.

Parte del anillo se introduce en el suelo (aproximadamente 7 cm), sin invadir la marca de su costado ya que a esa altura se mantendrá constante el agua vertida del

TABLA 2
CARACTERISTICAS FISICAS DEL SUELO

Nº	Lugar	Prof. en m	Altitud en m	TEXTURA EN %			Tipo de Suelo	D A ³ gr./cm	D R ³ gr./cm	P. T. %
				Arena	Limo	Arcilla				
1	Vertedor	0 - 1	2 450	42.0	14.0	44.0	arcilla	1.06	2.3	53.9
2	Pantedn	0 - .25	2 570	43.0	18.0	39.0	Franco-arcilloso	1.09	2.4	54.6
		.25 - .50								
3	Sta. Rosa	0 - .25	2 750	26.0	15.0	59.0	arcilla	0.90	3.0	70.0
		.25 - .50								
4	Rancho	0 - .25	2 780	44.0	13.0	43.0	arcilla	0.78	2.3	66.1
		.25 - .50								
5	Venta	0 - .25	2 870	32.0	16.0	52.0	arcilla	0.69	2.3	70.0
		.25 - .50								
6	Leones	0 - .25	3 030	40.0	8.0	52.0	arcilla	0.64	1.9	66.3
		.25 - .50								
7	Atlalco	0 - .25	3 075	23.0	12.0	65.0	arcilla	0.64	2.2	70.9
		.25 - .50								
8	Crucero	0 - 1	3 220	33.0	7.0	60.0	arcilla	0.75	2.1	64.3
		.50 - 1								
9	Pórtico	0 - 1	3 225	32.0	9.0	59.0	arcilla	0.56	2.0	72.0
		T								
10	Acueducto	0 - 1	3 280	34.0	8.0	58.0	arcilla	0.66	1.9	65.3
11	Piletas	0 - 1	3 360	18.0	4.0	78.0	arcilla	0.80	2.2	63.6
12	Xometla	0 - 1	3 490	34.0	6.0	60.0	arcilla	0.78	2.5	68.8
13	Ocotlal	0 - 1	3 470	24.0	6.0	70.0	arcilla	0.63	2.0	68.5

T = Total del lugar D A = Densidad aparente D R = Densidad real P T = Porosidad total

tanque, el resto de los instrumentos se acomodan como se indica en la figura 18.

Después de haber hecho las instalaciones pertinentes, se abre la llave para dar paso al agua hacia el anillo, procurando no rebasar la marca mencionada, y se toman las lecturas cada dos minutos, hasta alcanzar una infiltración constante.

Posteriormente, para conocer la capacidad de infiltración, los datos recabados pasan a ser elementos de la siguiente ecuación:

$$C_i = \frac{h/t}{a} 60$$

en la que:

C_i = capacidad de infiltración en cm/h.

h = lectura de la altura del agua, en el tubo graduado, en cm.

t = tiempo en minutos

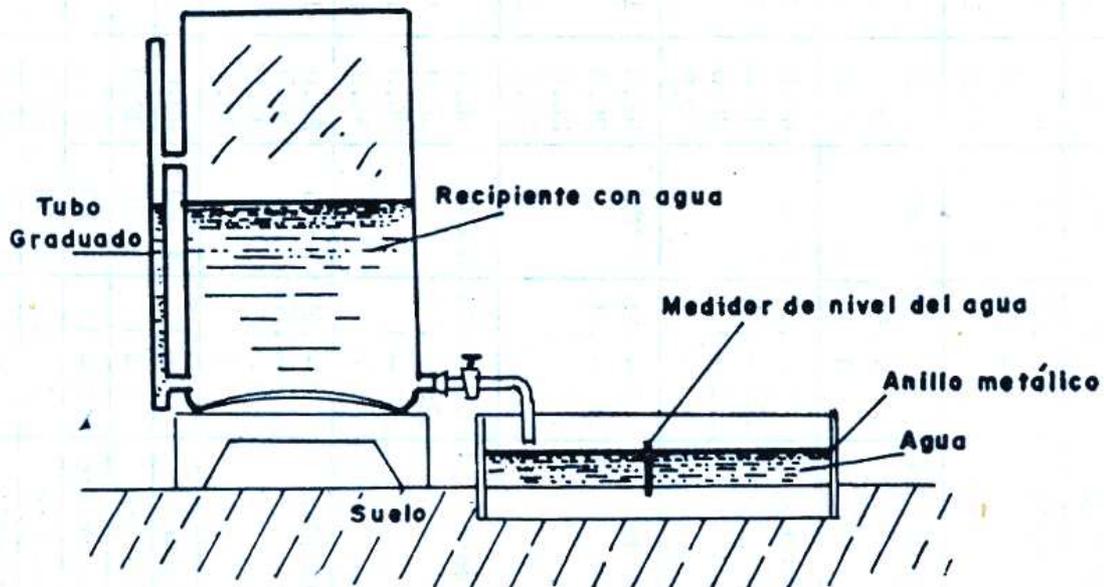
a = área del anillo en cm^2

De esta manera, la lámina de infiltración en cada uno de los lugares de muestreo varió de lenta a muy lenta, y solamente en uno (La Venta) la velocidad fue moderadamente lenta (tabla 3).

Las capacidades de infiltración anteriores son las que realmente corresponden a estos grupos texturales; sin embargo, debe decirse que en el momento de hacer dichas determinaciones el suelo contaba con cierta cantidad de agua como producto de la precipitación del día anterior, aun así, se observó fuerte infiltración inicial, misma que con el trascurrir del tiempo fue decreciendo, lo que indica que el suelo no estaba saturado, pero a medida que el agua penetraba, las grietas del suelo se fueron cerrando como consecuencia del hinchamiento de las partículas coloidales; además, debe recordarse que, en los horizontes inferiores existe mayor acumulación de arcillas en donde también se presenta este efecto, a lo que también debe agregarse lo reducido del tamaño de sus poros.

Otra de las observaciones hechas durante esta determinación fueron las irregularidades en el gasto motivadas por las bolsas de aire y de suelo seco, que modifican el avance del frente de humedad.

Fig. 18



INFILTROMETRO

Para corroborar la influencia que tiene la vegetación en esta característica del suelo, en los lugares de muestreo Panteón y Santa Rosa, que casi no contaban con plantas, la capacidad de infiltración resultó más baja, a pesar de que la pendiente del terreno no es tan pronunciada; pero el suelo se encontraba más compactado. Por otro lado, en las de Acueducto y Xomeatla existen pastizales; no sucede así en el de Piletas, porque su baja capacidad de infiltración se relaciona más bien con la cantidad de humedad en el momento de determinar dicho índice; es decir, aquélla fue alta.

Capacidad de retención. Dentro de las diversas propiedades del suelo como factor importante en el ciclo hidrológico, se halla la capacidad de retener parte del agua que recibe de la precipitación; dicha particularidad es una consecuencia de la estrecha relación existente entre las fases líquida y sólida.

La capacidad de retención del agua se refiere a la cantidad máxima de líquido que es almacenado por el suelo en condiciones naturales de drenaje.

Para conocer la capacidad de retención del suelo de la cuenca en cuestión, se empleó metodología de laboratorio la cual, a grandes rasgos, consiste en colocar en unos cilindros de material sintético, previamente pesados, una cantidad conocida de suelo al que se agrega agua, dejándola drenar libremente por 48 horas, procurando proteger de la evaporación cada una de las muestras. Después de transcurrido el mencionado lapso, se pesan nuevamente los cilindros con suelo mojado, y la capacidad de retención en relación con el peso húmedo se determina de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Cr = \frac{\mu - \alpha}{\sigma} (100)$$

en la cual:

Cr = capacidad de retención en %
 μ = peso del cilindro con suelo mojado, en gramos.

α = peso del cilindro con suelo seco, en gramos.

σ = peso del suelo mojado, en gramos.

Los valores determinados han sido concentrados en la tabla 3, en los que se aprecia que son bastante altos, como corresponde a estos suelos arcillosos.

Como es lógico, no en todas las muestras se observan los mismos resultados, ya que las condiciones texturales no son específicamente las mismas; es decir, varía el porcentaje de sus partículas aun perteneciendo al mismo grupo; además de las diferencias en la cantidad de material orgánico que pueda contener; al tamaño de los intersticios, etcétera.

Por otra parte, también se observa que la capacidad de retención decrece con la profundidad, con lo que se manifiesta la presencia de la materia orgánica en descomposición y coloidal, la cual se suma a la acción de las partículas finas de los horizontes superficiales.

VI REGIMEN HIDROLOGICO DEL SUELO

El comportamiento del agua en el suelo de la cuenca del río Mixcoac se presenta en el tiempo y en el perfil, de acuerdo con las condiciones físicas del medio, unidas a las peculiaridades ambientales tanto internas como externas del suelo.

Para observar el régimen del agua en el suelo in situ, se utilizó una técnica basada en la resistencia eléctrica; para esto se empleó un medidor de humedad, Beckman, modelo BN-2B, tipo Boyucos (Fig. 19) y 22 bloques de yeso cada uno de los cuales tiene dos electrodos entre los que se produce un puente de conductividad cuya resistencia varía según el contenido de agua que circula entre éstos, de acuerdo con la cantidad de líquido existente en el medio (Fig. 20).

Empleándose dicha metodología, cada semana se llevó a cabo el registro de humedad a profundidades de 0.25, 0.5 y 1.0 m

Para corroborar la influencia que tiene la vegetación en esta característica del suelo, en los lugares de muestreo Panteón y Santa Rosa, que casi no contaban con plantas, la capacidad de infiltración resultó más baja, a pesar de que la pendiente del terreno no es tan pronunciada; pero el suelo se encontraba más compactado. Por otro lado, en las de Acueducto y Xomeatla existen pastizales; no sucede así en el de Piletas, porque su baja capacidad de infiltración se relaciona más bien con la cantidad de humedad en el momento de determinar dicho índice; es decir, aquélla fue alta.

Capacidad de retención. Dentro de las diversas propiedades del suelo como factor importante en el ciclo hidrológico, se halla la capacidad de retener parte del agua que recibe de la precipitación; dicha particularidad es una consecuencia de la estrecha relación existente entre las fases líquida y sólida.

La capacidad de retención del agua se refiere a la cantidad máxima de líquido que es almacenado por el suelo en condiciones naturales de drenaje.

Para conocer la capacidad de retención del suelo de la cuenca en cuestión, se empleó metodología de laboratorio la cual, a grandes rasgos, consiste en colocar en unos cilindros de material sintético, previamente pesados, una cantidad conocida de suelo al que se agrega agua, dejándola drenar libremente por 48 horas, procurando proteger de la evaporación cada una de las muestras. Después de transcurrido el mencionado lapso, se pesan nuevamente los cilindros con suelo mojado, y la capacidad de retención en relación con el peso húmedo se determina de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Cr = \frac{\mu - \alpha}{\sigma} (100)$$

en la cual:

Cr = capacidad de retención en %
 μ = peso del cilindro con suelo mojado, en gramos.

α = peso del cilindro con suelo seco, en gramos.

σ = peso del suelo mojado, en gramos.

Los valores determinados han sido concentrados en la tabla 3, en los que se aprecia que son bastante altos, como corresponde a estos suelos arcillosos.

Como es lógico, no en todas las muestras se observan los mismos resultados, ya que las condiciones texturales no son específicamente las mismas; es decir, varía el porcentaje de sus partículas aun perteneciendo al mismo grupo; además de las diferencias en la cantidad de material orgánico que pueda contener; al tamaño de los intersticios, etcétera.

Por otra parte, también se observa que la capacidad de retención decrece con la profundidad, con lo que se manifiesta la presencia de la materia orgánica en descomposición y coloidal, la cual se suma a la acción de las partículas finas de los horizontes superficiales.

VI REGIMEN HIDROLOGICO DEL SUELO

El comportamiento del agua en el suelo de la cuenca del río Mixcoac se presenta en el tiempo y en el perfil, de acuerdo con las condiciones físicas del medio, unidas a las peculiaridades ambientales tanto internas como externas del suelo.

Para observar el régimen del agua en el suelo in situ, se utilizó una técnica basada en la resistencia eléctrica; para esto se empleó un medidor de humedad, Beckman, modelo BN-2B, tipo Boyoucos (Fig. 19) y 22 bloques de yeso cada uno de los cuales tiene dos electrodos entre los que se produce un puente de conductividad cuya resistencia varía según el contenido de agua que circula entre éstos, de acuerdo con la cantidad de líquido existente en el medio (Fig. 20).

Empleándose dicha metodología, cada semana se llevó a cabo el registro de humedad a profundidades de 0.25, 0.5 y 1.0 m

Tabla 3

Lugar	Profundidad en m	Capacidad de infiltración cm/h	infiltración magnitud	C.R. %	
1	Vertedor	0 - 1.0	0.06	muy lenta	49.2
2	Panteón	0 - .25	0.03	muy lenta	45.3
		.25 - .50			41.2
3	Sta. Rosa	0 - .25	0.07	muy lenta	39.8
		.25 - .50			38.9
		.50 - 1.0			
4	Rancho	0 - .25	0.41	lenta	44.6
		.25 - .50			42.6
		.50 - 1.0			41.7
5	Venta	0 - .25	1.00	moderada <u>mente</u>	45.7
		.25 - .50			39.2
		.50 - 1.0			lenta
6	Leones	0 - .25	0.40	lenta	46.1
		.25 - .50			43.4
		.50 - 1.0			41.3
7	Atlalco	0 - .25	0.23	lenta	46.3
		.25 - .50			45.3
		.50 - 1.0			43.4
8	Crucero	0 - 1.0	0.74	lenta	45.4
9	Pórtico	0 - 1.0	0.15	lenta	52.0
10	Acueducto	0 - 1.0	0.05	muy lenta	48.4
11	Piletas	0 - 1.0	0.05	muy lenta	41.6
12	Xometla	0 - 1.0	0.04	muy lenta	40.9
13	Ocotal	0 - 1.0	--	--	47.8

C.R. Capacidad de retención.

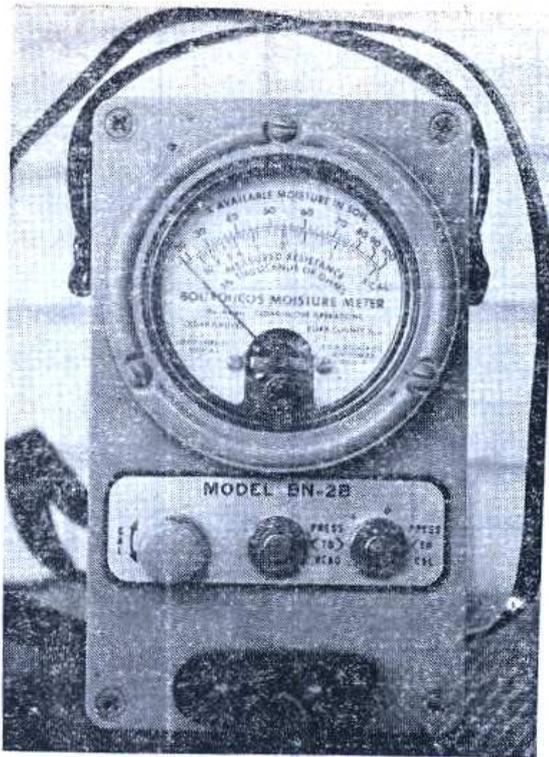
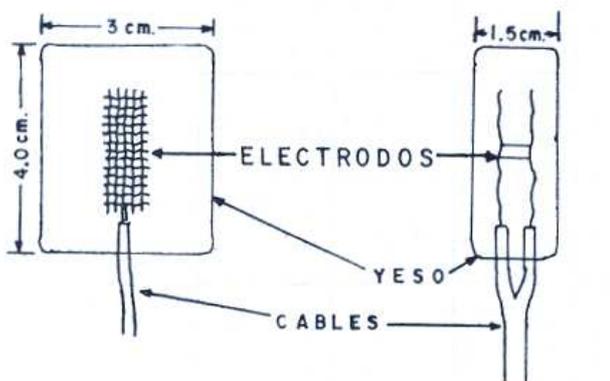


Fig. 19 MEDIDOR DE HUMEDAD



VISTA SUPERFICIAL Y DE PERFIL DE UN BLOQUE DE YESO.

Fig.20

en cada uno de los lugares, salvo en casos excepcionales en que por razones de dureza del suelo o por limitación del equipo no se hicieron las mediciones en todas las profundidades citadas.

Los bloques mencionados se colocaron mediante barrenamientos en ocho puntos distintos localizados dentro de la cuenca en

estudio, distribuidos de acuerdo con los lugares de muestreo del suelo (Fig. 21).

En la figura 21 puede apreciarse que en las gráficas hechas con base en los porcentajes medios mensuales (ver tabla 4) la mayor cantidad de humedad se concentra en los meses de agosto, septiembre y octubre, de los cuales el primero coincide con el más lluvioso del periodo; aun así, el hecho de que se prolongue por tres meses se debe principalmente a la capacidad de retención que ha permitido cierto almacenaje del agua, a que las precipitaciones registradas en ese lapso siguen siendo suficientes como para seguir alimentando el suelo y a que la evapotranspiración es reducida.

Respecto a la época de seca, que abarca los meses de marzo, abril y mayo, también se identifica el primer mes en que se registra menos precipitación y, por supuesto, la evapotranspiración en este periodo supera a la precipitación; es decir, son mayores las pérdidas de humedad que las ganancias. Por otra parte, debe aclararse que, en las gráficas de Santa Rosa, Panteón y Leones, las curvas están interrumpidas porque el medidor mencionado registra cantidades menores al 20%, lo cual ocurre en esta época del año y en esos lugares.

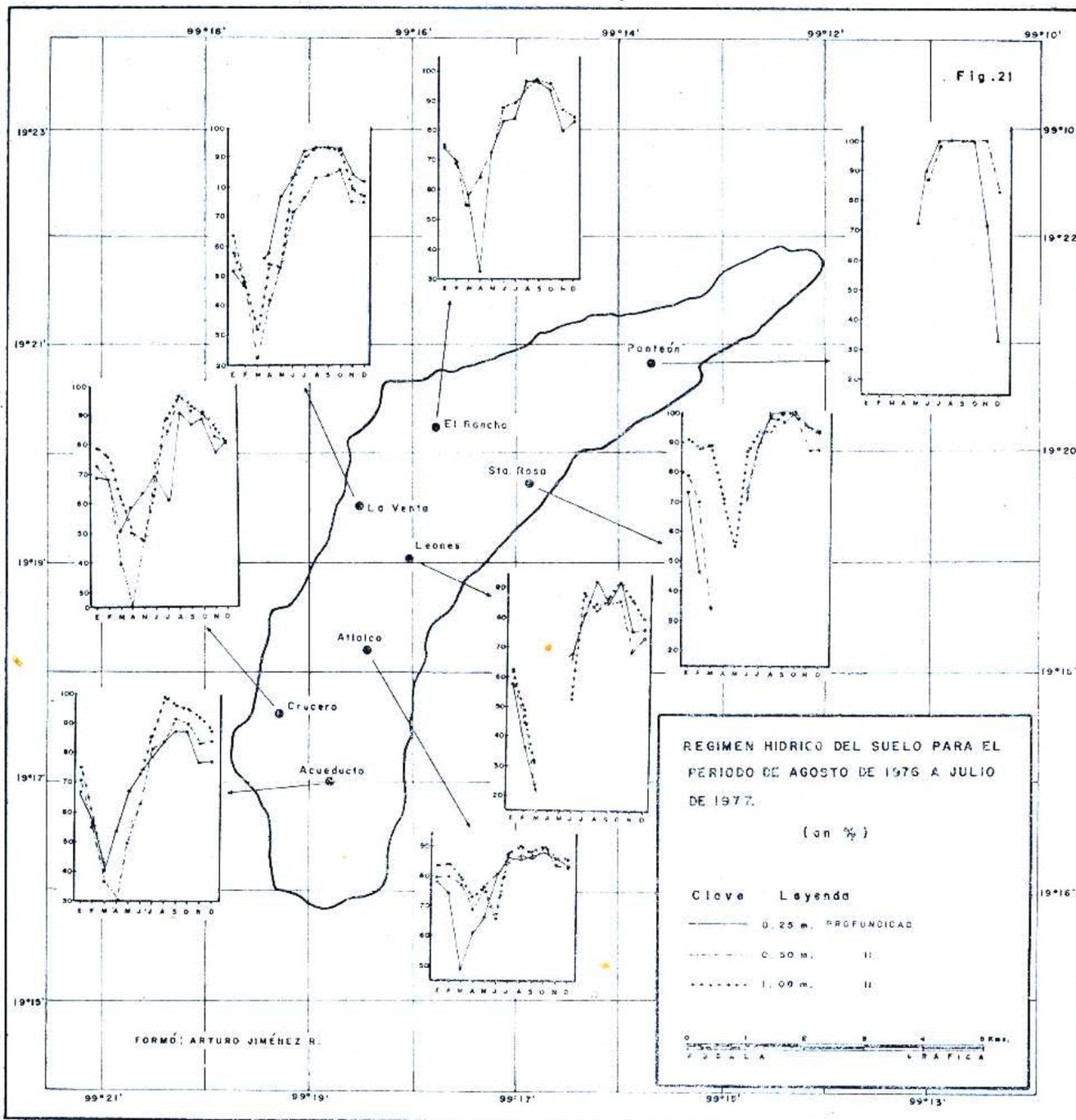
En lo referente a los meses de junio, julio, noviembre, diciembre, enero y febrero, los dos primeros se consideran como de incremento del agua en el suelo, debido a que las lluvias empiezan a generalizarse, mientras que en los cuatro últimos la humedad se abate como consecuencia de la disminución de las precipitaciones y el aumento en la evapotranspiración.

Hasta aquí se ha analizado en forma muy general el comportamiento hidrológico en relación con el tiempo de observación, pero también debe tomarse en cuenta la distribución que experimenta el agua en el perfil del suelo que, como ya se mencionó, sigue vinculado fuertemente a los elementos del clima y a las propiedades físicas del medio en que se encuentra.

TABLA 4
PORCENTAJE EN PROMEDIO DE HUMEDAD DEL SUELO

No.	Lugar	Profundi- dad en m	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
1	Panteón	0.25 0.50	-- --	-- --	-- --	-- --	73.2 --	99.1 97.2	100.0 97.0	100.0 100.0	100.0 100.0	100.0 100.0	72.0 100.0	32.2 83.7
2	Sta. Rosa	0.25 0.50 1.00	73.3 79.0 91.3	44.7 59.7 88.0	-- 33.5 89.0	-- -- 71.0	-- -- 56.0	-- 70.3 87.3	91.5 91.5 96.8	97.3 98.0 98.8	100.0 97.0 100.0	100.0 100.0 100.0	88.0 87.0 96.3	92.3 87.7 93.3
3	Rancho	0.25 0.50	73.6 74.5	67.0 69.3	57.8 54.5	32.5 53.5	72.5 73.0	83.3 88.3	84.0 89.9	96.5 75.8	97.2 98.4	95.1 97.3	79.5 87.0	63.0 84.0
4	La Venta	0.25 0.50 1.00	51.8 58.3 63.8	46.8 47.0 47.0	-- 21.6 31.5	57.6 42.0 54.0	76.5 55.5 53.0	82.8 71.7 83.0	92.0 75.8 90.3	93.0 83.5 98.5	94.0 84.0 98.0	94.0 86.0 92.0	84.8 75.2 78.8	81.7 75.0 77.3
5	Leones	0.25 0.50 1.00	58.0 57.8 62.5	37.0 44.7 48.7	20.3 21.5 30.5	-- -- --	-- -- --	68.0 67.3 53.3	80.5 80.8 88.0	92.3 84.5 83.0	86.5 85.0 85.9	92.0 85.9 92.0	75.8 68.3 86.0	76.0 73.0 80.0
6	Atlalco	0.25 0.50 1.00	78.0 80.3 83.5	74.0 80.0 83.7	49.3 77.3 79.0	61.8 68.8 73.0	76.5 76.8 76.5	80.3 81.0 66.3	86.8 85.5 88.3	85.5 87.1 90.6	87.0 86.5 88.5	88.0 90.0 90.0	86.0 84.0 86.0	83.7 83.0 85.7
7	Crucero	0.25 0.50 1.00	57.0 71.0 75.3	56.7 55.0 57.3	40.8 36.5 43.0	54.0 31.0 --	67.3 50.0 --	-- 63.3 73.3	79.0 81.5 21.3	84.3 84.0 99.0	87.5 91.5 96.0	87.0 90.0 95.0	77.3 63.0 92.3	77.3 84.0 87.3
8	Acueducto	0.25 0.50 1.00	69.8 73.5 78.5	68.0 69.7 76.0	51.3 39.5 62.5	59.0 25.5 50.0	64.3 48.3 48.8	70.3 74.3 62.7	60.7 84.5 87.5	90.8 96.8 96.5	87.0 91.5 92.5	89.0 91.0 90.0	76.5 83.0 84.5	80.7 80.0 60.3

Nota: Los datos faltantes indican que no fueron registrados por el medidor de humedad.



La época de lluvias, de acuerdo con el promedio anual, se inicia en el mes de marzo, pero durante el periodo de estudio en el de abril, lo que marca cierto retraso; aun así, ambos periodos abarcan el verano y principios de otoño, como resultado de los efectos ciclónicos y la invasión de los vientos alisios. En el periodo seco, las escasas precipitaciones son resultado de la intervención de masas de aire polar continental, siendo los meses más secos febrero, según el promedio anual, y marzo en el año de estudio, lo cual confirma el atraso mencionado.

La intensidad de las lluvias está estrechamente relacionada con la media anual del periodo considerado en este trabajo, ya que como ésta es la parte media superior, es donde las precipitaciones son de mayor intensidad.

La precipitación media registrada en el periodo de 1976-1977 fue de 1 481.4 mm, o sea 14% mayor que el promedio anual de 1 273.8 mm.

Respecto a la temperatura media de la cuenca, se presenta en forma inversa a como ocurre con la lluvia; o sea, desciende con la altitud, desde los 5.5° a 9.9°C se registra una temperatura media durante el periodo de trabajo, de 11.2°C en esta área; esto es, más baja que la media anual de 11.9°C.

La marcha térmica anual durante el periodo en estudio, y en general, es resultado del desplazamiento del ecuador térmico y de las condiciones locales.

La evaporación directa y la fisiológica enmarcadas en la evapotranspiración está íntimamente relacionada con la temperatura y con la precipitación. La precipitación constituye el elemento evaporante desde el suelo, mientras que la temperatura proporciona la energía que, en parte, produce y regula el agua del suelo.

El ritmo de la evapotranspiración potencial se acerca más al régimen térmico que al de la precipitación la cual es superada por la evapotranspiración en la época seca, a partir del mes de noviembre, y alcanza

su mayor altura en mayo, mientras que en el lapso húmedo las condiciones se invierten desde junio.

La evapotranspiración real media de la cuenca, en el periodo que comprende este trabajo, fue de 592.1 mm, menor en 19.5 mm al promedio anual de 611.6; esto podría deberse a que el primero resultó ser más frío que el último.

Las características hidrológicas del suelo de esta cuenca no solamente dependen de las condiciones climatológicas imperantes en un momento determinado, sino, también, de las propiedades físicas del mismo.

La fase sólida del suelo del área está representada por el grupo textural de las arcillas cuyo contenido se incrementa hacia los horizontes subyacentes, como resultado de la inluviación, mientras que los porcentajes de arena y limos decrecen.

Por otra parte, el alto contenido de materia orgánica en descomposición se manifiesta en la baja densidad aparente la cual es aproximadamente de 0.8 gr/cm³, notándose diferencias mayores de 0.8 en las zonas agropecuarias y menores en las forestales.

En lo concerniente al peso de las partículas, se puede decir que es alto, como corresponde a estos suelos arcillosos; lo que obviamente da lugar a elevada porosidad neta resultado del tamaño de las partículas y de la presencia del material coloidal orgánico.

Los aspectos antes tratados constituyen en sí algunas de las condiciones más significativas influyentes en las peculiaridades de humedad del suelo.

Es lógico que no toda el agua precipitada se introduce en el suelo, debido a que las condiciones del mismo no lo permiten a pesar de la alta porosidad; la capacidad de infiltración es reducida, pues predominan la lenta y la muy lenta; es decir, son menores a un centímetro por hora; sin embargo, existen lugares en los que la capacidad de infiltración alcanza un centímetro por hora, con un espacio poroso total semejante, lo que demuestra que no necesariamente este aspecto es indicador de alta permeabilidad,

pues debe considerarse el tamaño y la comunicación de los intersticios, de lo que se infiere que, dado que en los suelos de la cuenca predominan las partículas finas, obviamente los intersticios deberán ser pequeños.

Por otro lado, existen algunos factores que logran modificar las condiciones citadas, como el efecto posterior a las heladas cuando al fundirse el hielo quedan espacios suficientemente grandes que facilitan mayor penetración de agua en el suelo. Otro de estos aspectos es el efecto de las raíces de las plantas, cuando el agua se introduce en la zona de contacto con las partículas del medio. No puede dejar de mencionarse que la materia orgánica en proceso de descomposición absorbe grandes cantidades de agua y, como pudo comprobarse, las rocas fracturadas y con oquedades permiten una infiltración sumamente rápida, a tal grado que el método utilizado para determinar su capacidad no fue suficiente para conocerlo.

Retornando a la textura cabe decir que, si bien es cierto que es desfavorable a la permeabilidad, en lo que corresponde al almacenamiento sucede todo lo contrario, esto es, los suelos pesados como éstos tienen alta capacidad de retención, como se comprobó. Esta característica es importante porque pone a disposición de las plantas el agua del suelo, impidiendo su percolación; pero también deben tomarse en cuenta los frecuentes deslizamientos del terreno, durante la época de lluvias, que ocurren en la zona, sobre todo donde las pendientes son sumamente agudas, como en las vías de comunicación en las que existen cortes casi verticales.

La marcha anual de la humedad del suelo está plenamente identificada con el régimen climático; aun así, su variación mensual no resulta suficientemente paralela, lo cual se explica por el lento movimiento del agua y la retención de ésta en el interior del suelo.

Durante la época de lluvias en el periodo observado, el mes de agosto sobresale por

la altura del agua precipitada; lo mismo sucede con la humedad del suelo, sólo que en este medio ésta se prolonga por dos meses más, debido a que intervienen la capacidad de retención, la escasa evapotranspiración y las pocas precipitaciones que, sin embargo, son suficientemente eficaces para mantener altos los porcentajes de humedad.

Por lo que hace al periodo seco, puede admitirse cierto paralelismo con la precipitación, mientras que con la evapotranspiración sucede lo contrario, varía inversamente; así, se manifiestan las pérdidas de humedad desde el mes de noviembre hasta los meses de marzo, abril y mayo, que representan la época seca.

El movimiento del agua en el perfil también recibe la influencia del clima, pero la alternancia de porcentajes de humedad depende más de las propiedades físicas que de la profundidad en que se registre. Al principiar el periodo de lluvias, lógicamente, el frente húmedo empieza a manifestarse en los horizontes superficiales, y al sobrepasar la capacidad de retención de éstos avanza hacia los subyacentes, a medida que las lluvias se generalizan.

El porcentaje de humedad de estos suelos también se presenta en forma alternada o inversa, debido a la capacidad del perfil para retener el agua, a la eficacia de las lluvias, al lento desplazamiento del líquido en el interior del suelo y al efecto evapotranspirante; de esta manera se han observado porcentajes de 100 en estratos intermedios, mientras que en los superiores e inferiores, menores y viceversa.

Debe señalarse, además, que el movimiento vertical del agua del suelo, así como su flujo horizontal resultan muy significativos en esta cuenca, pues, como se recordará, su superficie es muy irregular y con fuertes pendientes en cuyas laderas el agua llega a aflorar en forma de manantiales; lo mismo sucede en algunos cortes que se han llevado a cabo en los caminos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bouyucos, G. J. *Hidrometer Method improved for Making Particle Size Analyses of Soil*. 1962.
- Chow, V. T. (Editor in Chief). *Handbook of Applied Hidrology*. A Compendium of Water Resources Tecnology. Mc Graw Hill Book Company. New York, 1964.
- Davis, S. N. y Wiest, R. *Hidrogeología*, Ed. Ariel, S. A. Barcelona, 1971.
- Demolon, A. *Principios de agronomía*. Tomo I, Ed. Omega, S. A., Barcelona, 1965.
- Department of Agriculture. *Soil Survey Manual*. Handbook 18. Washington, 1951.
- Drosdoff, M., Aubert, G., Coulter, J. K. y otros. *Suelos de las Regiones Tropicales Húmedas*, Ed. Marymar, S. A., Buenos Aires, 1975.
- Foth, H. D. y Turk, L. M. *Fundamentos de la Ciencia del Suelo*, Ed. Continental, S. A. México, 1975.
- Jáuregui, O. E. y Soto, M. C. "Algunas características de la Precipitación y Otros Elementos del Clima en el Estado de Michoacán". *Rev. Ingeniería Hidráulica en México* Núm. 1, Vol. XXIV, México, 1970.
- Juárez, B. E. y Rico, R. A. *Mecánica de Suelos*, Ed. Limusa-Wiley, S. A. México, 1975.
- Kramer, P. J. *Relaciones Hídricas de Suelos y Plantas*. Ed. Edutex, S. A. México, 1974.
- Lambe, T. W. y Whitman, R. V. *Mecánica de Suelos*. Ed. Limusa-Wiley, S. A. México, 1972.
- Llopis, Ll. N. *Fundamentos de Hidrogeología Cársica*. Ed. Blume, Madrid, 1970.
- Maderrey, L. E. *Balance Hidrológico de la Cuenca del Río Tizar durante el Periodo 1967-1968*, Tesis, México, 1971.
- Maderrey, L. E. "Características Físicas de la Cuenca del río Tizar". *Boletín del Instituto de Geografía*. Núm. 3, México, 1970.
- Mela, M. P. *Edafología*, Ed. Dossat, S. A. Madrid, 1954.
- Ortiz-Villanueva, B. *Edafología*, Ed. Patena, A. C. Chapingo, 1973.
- Renenieras, G. *Tratado de Hidrología Aplicada*, Ed. Técnicos Asociados, S. A., Barcelona, 1971.
- Russell, E. W. *Condiciones del Suelo y Crecimiento de las Plantas*, Ed. Aguilar, S. A., Madrid, 1968.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos, Comisión Hidrológica del Valle de México, *Hidrología de la Cuenca del Valle de México*, Tomo I, México, 1964.
- Stanescu, S. *Determinación práctica de las principales características morfométricas y fisiográficas de las cuencas hidrográficas y su aplicación en los cálculos hidrológicos*. Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología, Bogotá, 1970.
- Wisler, C. O. y Brater, E. F. *Hydrology*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1950.