

1959
Fes 3

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFÍA

ESTUDIO GEOGRÁFICO DEL AGUA DE ESCURRIMIENTO DE
LA CUENCA DEL RÍO HUICICILA, NAYARIT.



FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
ESTUDIOS SUPERIORES

TESIS QUE PRESENTA
ARTURO JIMENEZ ROMAN
PARA OBTENER EL GRADO
DE MAESTRO EN GEOGRAFÍA.

(Eval. Rec. Nat.)

MÉXICO, D. F.

1981

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

Página

PREFACIO

INTRODUCCION

PRIMERA PARTE

FACTORES FISICOS

CAPITULO I

CARACTERISTICAS FISICAS DEL TERRENO DE LA CUENCA

GENERALIDADES	1
1. Características de la cuenca	1
a) Area de la cuenca	1
b) Forma de la cuenca	2
c) Factor de forma	3
d) Pendiente media	4
e) Curva hipsométrica	5
f) Elevación o altura media	9
g) Coeficiente de masividad	12
h) Coeficiente orográfico	13
2. Constitución de la superficie drenada	14
a) Geología	14
b) Coeficiente de cubrimiento de bosque	19

CAPITULO II

CLIMATOLOGIA

GENERALIDADES	20
1. Temperatura	22
2. Precipitación	26
3. Evaporación	37
4. Tipo de clima	53

CAPITULO III

	Página
GENERALIDADES	55
1. Descripción	55
a) Río Huicicila	55
b) Arroyo El Asalto	56
c) Arroyo El Limón	56
d) Arroyo La Tinaja	57
2. Configuración del drenaje	57
3. Densidad de drenaje	61
4. Densidad hidrográfica	63
5. Relación de bifurcación	64
6. Perfil longitudinal	65
7. Pendiente media del colector general y sus principales afluentes	70

CAPITULO IV

REGIMEN HIDROLOGICO

GENERALIDADES	74
1. Estación de aforo	74
2. Comportamiento hidrológico	75
a) Caudales absolutos	75
b) Lámina de agua precipitada	79
c) Lámina de agua escurrida	79
d) Lámina de agua evapotranspirada	80
e) Lámina de agua infiltrada	82
f) Lámina de agua aportada por el subsuelo	86
g) Coeficiente mensual de caudales	88
3. Régimen anual de acarrees	90
a) Volumen de azolves	91
b) Carga específica	92
c) Degradación específica	94
4. Régimen interanual del periodo observado	96
a) Caudales específicos	97

	Página
b) Variabilidad interanual de caudales	101
c) Coeficiente de variación	102
d) Tendencia anual de caudales	102

CAPITULO V

BALANCE HIDROLOGICO MEDIO

GENERALIDADES	106
1. Volumen de agua precipitada	107
2. Volumen relativo de captación	107
3. Volumen de agua evapotranspirada	109
4. Lluvia neta	110
5. Volumen de agua escurrida	111
6. Volumen de agua infiltrada	113
7. Volumen de agua aportada por el subsuelo	114
8. Otros volúmenes	116
9. Balance hidrológico	117

SEGUNDA PARTE

FACTORES HUMANOS

Capítulo VI

P O B L A C I O N

GÉNERALIDADES	121
1. División política	121
2. Población	124
3. Uso del suelo	127
4. Aprovechamiento de los recursos hidrológicos	131

	Página
RESUMEN Y CONCLUSIONES	140
BIBLIOGRAFIA	145
MATERIAL CARTOGRAFICO	146
FUENTES DE INFORMACION	147

PREFACIO

El presente trabajo representa otro paso muy significativo en mi preparación geográfica, además de que su contenido trata de ir dando una faceta un tanto cuanto distinta a los estudios geográficos tradicionales hasta ahora vistos ya que, como se observará a lo largo del texto, cada uno de los aspectos tratados están generalmente respaldados por un valor matemático que cuantifica en cierta medida algunas de las características observadas.

La metodología empleada en esta tesis está basada en diversos estudios y experimentos realizados por varios autores, y que en este caso han sido aplicados al escurrimiento del río Huicicila, muchos de ellos con ciertas modificaciones además de algunos propios, con la finalidad de llegar a un conocimiento lo más completo posible desde el punto de vista geográfico.

La información meteorológica utilizada para este trabajo proviene del Servicio Meteorológico Nacional de la Secretaría de Agricultura y Ganadería y de la Dirección General de Hidrología y Meteorología de la Secretaría de Recursos Hidráulicos; los datos hidrométricos también fueron proporcionados por esta última Secretaría gubernamental.

El material cartográfico empleado se tomó de las distintas cartas publicadas por DETENAL, de la Secretaría de la Presidencia.

D. G. GENERAL

11

Esta tesis tuvo la asesoría de la Dra. Laura Elena Maderey R., investigadora del Instituto de Geografía, y fue revisada por la Dra. Raquel Guzmán, asesora de la División de Estudios Superiores de la Facultad de Filosofía y Letras.

Fungieron como sinodales en el examen profesional las siguientes personas:

INTRODUCCION

La presencia del escurrimiento del río Huicicila es un hecho geográfico indudable, y su razón de ser es una consecuencia de la interrelación de una serie de elementos y factores que dan, a su vez, ciertas peculiaridades al medio en que se presentan.

El estudio geográfico del escurrimiento del río Huicicila tiene como propósito analizar, hasta donde es permisible por la disponibilidad de información, los parámetros que lo constituyen o modifican, con la finalidad de conocer mejor sus condiciones para lograr un aprovechamiento apropiado del recurso agua.

Son muy diversos los aspectos geográficos abordados en este trabajo, ya que van desde las características físicas de la superficie drenada pasando por algunas condiciones medioambientales, ~~las climatológicas~~, sin dejar al margen las referentes a la red de drenaje, cuyas peculiaridades en su conjunto se manifiestan en el régimen hidrológico del río.

Por otra parte, la cuantificación de las ganancias y las pérdidas del agua son valoradas mediante un balance hidrológico del espacio drenado utilizando para éste los resultados obtenidos de la mayoría de los aspectos enunciados en el párrafo anterior; esta característica es muy importante porque permite conocer la disponibilidad del recurso.

No podía pasar desapercibido el aspecto humano indis

pensable en este tipo de estudios porque le da precisamente su carácter geográfico. En este trabajo se incluyen aspectos de la población referentes al uso del agua principalmente.

El trabajo es bastante extenso pero sin llegar a agotar el tema ya que de este mismo trabajo se pueden derivar muchos más, relacionados con este tópico, como estudios de planeación, edáficos, geomorfológicos, etc.

El hecho de que se haya seleccionado esta cuenca obedece principalmente a la existencia de información y al propósito que tiene la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos de intensificar el aprovechamiento de sus aguas.

El área de estudio es una cuenca que se localiza en el Estado de Nayarit, limitada al norte por el importante Sistema Lerma-Santiago, al sur comparte su divisoria con el río Chila o Viejo, al sureste con las cuencas cerradas de origen volcánico de los lagos de Tepetitlac y San Pedro, por la parte noreste la línea de parteaguas la separa del espacio drenado por el río Ixtapan y al oeste de pequeñas corrientes que desaguan en el Océano Pacífico (fig. 1).

El río Huicicila drena una parte del extremo poniente de la Sierra Volcánica Transversal, es decir, forma parte de la vertiente del Océano Pacífico.

SITUACION GEOGRAFICA EN LA REP. MEXICANA
DE LA CUENCA DEL RIO HUICICILA.



PRIMERA PARTE

FACTORES FISICOS

Capítulo I

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CUENCA

GENERALIDADES. 1. Características físicas de la cuenca. a) Área de la cuenca. b) Forma de la cuenca. c) Factor de forma. d) Pendiente media. e) Curva hipsométrica. f) Elevación o altura media de la cuenca. g) Coeficiente de masividad. h) Coeficiente orográfico. 2. Constitución del espacio drenado. a) Geología. b) Coeficiente de cubrimiento de bosque.

GENERALIDADES

Los factores fisiográficos son características del terreno que es conveniente abordar al tratar el régimen de un río, porque todo escurrimiento tiende a obedecer las condiciones que el mismo medio le impone para retener o facilitar el desalojamiento de sus aguas. Estas características pueden ser determinadas mediante cálculos matemáticos como índices, coeficientes y factores propios del área drenada y algunos de la red fluvial que, al ser aplicados, permitirán obtener, con algunas limitaciones, mayor información que conduzcan al mejor conocimiento de todo escurrimiento.

1. Características de la cuenca

a) Área de la cuenca. La superficie de una cuenca hidrográfica representa gran interés por estar en relación con el régimen de escurrimiento.

Conocer la magnitud de la superficie que drena una corriente en condiciones homogéneas, puede dar una idea de las fluctuaciones de los caudales, ya que generalmente éstos aumentan con el área mencionada; por otro lado, su extensión se relaciona con el tiempo en que esos mismos volúmenes de agua son desalojados de la unidad.

El área de la cuenca del río Huicicila es de 570.08 Km^2 , la cual se determinó por medio del planímetro; sin embargo, es importante señalar que, aunque no existe un límite preestablecido para considerarla dentro de un tamaño determinado, bien puede ^{CONSIDERARSE} tomarse como una cuenca pequeña.

b) Forma de la cuenca. Esta característica se puede determinar por el índice de compacidad "K", dado por Gravelius*, el cual se obtiene por la siguiente relación:

$$K = \frac{\text{Perímetro de la cuenca (P)}}{\text{Perímetro del círculo equivalente (A)}}$$

$$A = \pi r^2 \therefore r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$K = \frac{P}{2\pi r}$$

$$K = \frac{P}{2\pi \sqrt{\frac{A}{\pi}}} = \frac{P}{2 \sqrt{A}}$$

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

* Tomado de Laura E. Maderey. "Obtención de los elementos físicos que influyen en el régimen hidrológico de la cuenca del río Pabellón, afluente del río Aguascalientes". Rev. Recursos Hidráulicos. Vol. II, p. 31. México, 1973.

substituyendo:

P = perímetro de la cuenca = 178.0 Km.

A = área de la cuenca = 570.08 Km².

K = constante = 0.28.

El resultado obtenido, de 2.09, indica que la cuenca en cuestión es alargada, ya que a medida que este índice se aproxima a la unidad las posibilidades de semejanza con un círculo de igual superficie es cada vez menor. Esto lleva a la conclusión de que las posibilidades de que se produzcan avenidas son escasas ya que el agua que se precipite tardará más en llegar al punto de salida.

c) Factor de forma. Otra manera de determinar la forma de la cuenca es por medio de la fórmula siguiente*:

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

en la que

Ff = factor de forma

Am = anchura media en Km.

Ea = eje axial en Km.

La anchura media es la relación del área de la cuenca (A = 570.08 Km²) entre la longitud del eje axial (Ea = 52.0 Km), es decir

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

* Índice de compacidad de Gravelius. Tomado del artículo de Laura E. Maderrey, Características físicas de la cuenca del río Tizar. Boletín del Instituto de Geografía. Vol. III, p. 31, UNAM, México, 1970.

Al hacer la aplicación de las fórmulas citadas, el resultado para esta cuenca es, en anchura media, 14.924 Km, y de factor de forma 0.39.

El último de los cálculos anteriores representa el objetivo de este inciso y confirma que, efectivamente, se trata de una cuenca alargada, ya que el factor determinado se encuentra muy alejado de la unidad y, por ende, indica que las posibilidades de avenidas durante las tormentas con fuertes precipitaciones son reducidas, por la razón ya apuntada.

d) Pendiente media. El gasto de una corriente, así como su capacidad de erosión depende de la inclinación media de la superficie avenada, y a medida que la inclinación aumenta, el escurrimiento se efectúa con mayor rapidez y su poder erosivo se eleva; por tanto provocará avenidas acompañadas de grandes volúmenes de material sólido y su desplazamiento vertiginoso reducirá la infiltración del agua en el suelo. Otro de los efectos relacionados con esta peculiaridad es la determinación de las condiciones físicas, químicas y biológicas del agua.

La pendiente media de la cuenca del río Huicicila se determinó por el método de Horton*, en el que se emplea la fórmula siguiente:

$$P_m = \frac{(\sum L_c) (c)}{A}$$

cuyos parámetros son:

P_m = Pendiente media

* Tomado de Wisler, C. D. y Brater, E. F., Hydrology. p. 45-46. John Wiley and Sons, Inc. New York, 1959.

$\sum L_c$ = longitud total de las curvas de nivel comprendidas dentro de la divisoria topográfica = 1691.3 Km.

C = cota de las curvas de nivel medidas = 100 m. (fig. 2)

A = área de la cuenca = 570.08 Km².

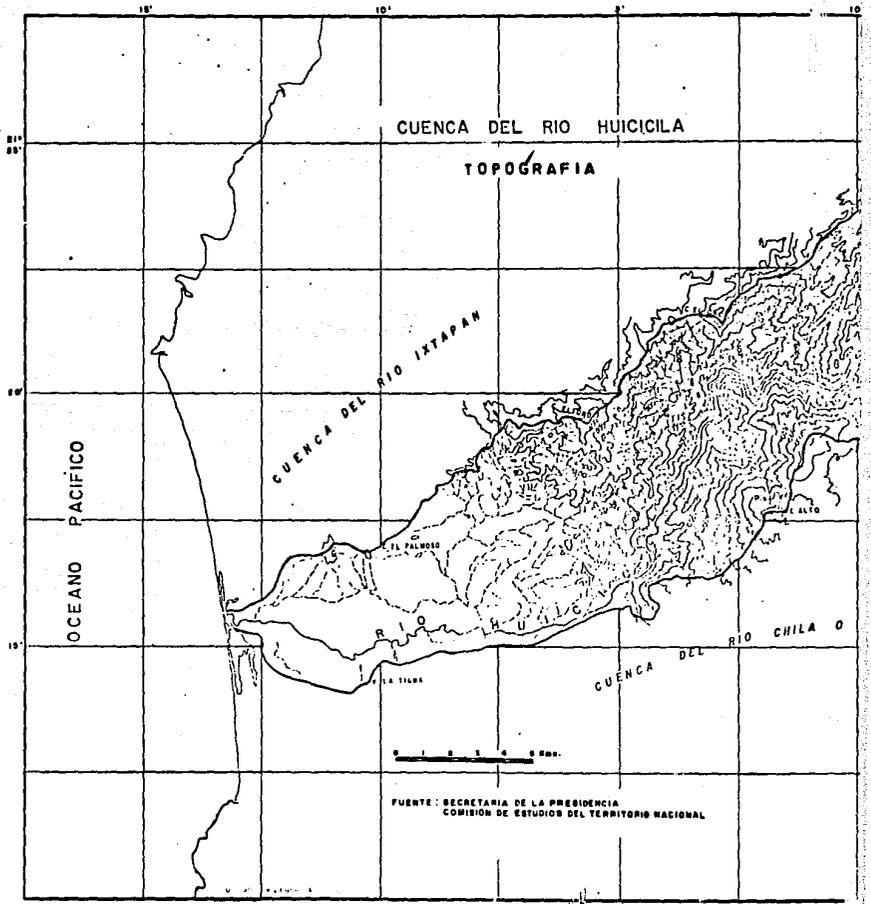
que fueron tomados del cuadro 1.

CUADRO 1
CALCULO DE LA PENDIENTE MEDIA

Curva de nivel	Longitud en Km	Curva de nivel	Longitud en Km
2 200	.1	1 100	165.3
2 100	.5	1 000	170.0
2 000	.6	900	187.5
1 900	1.0	800	114.0
1 800	2.5	700	73.5
1 700	27.3	600	55.0
1 600	62.0	500	43.5
1 500	116.5	400	46.7
1 400	136.3	300	61.0
1 300	160.0	200	57.0
1 200	150.0	100	61.0
		Total	1 691.3

De acuerdo con la aplicación de la fórmula anterior, la pendiente media que presenta la cuenca del río Huicicila es de 0.296, que representa el 29.6 %.

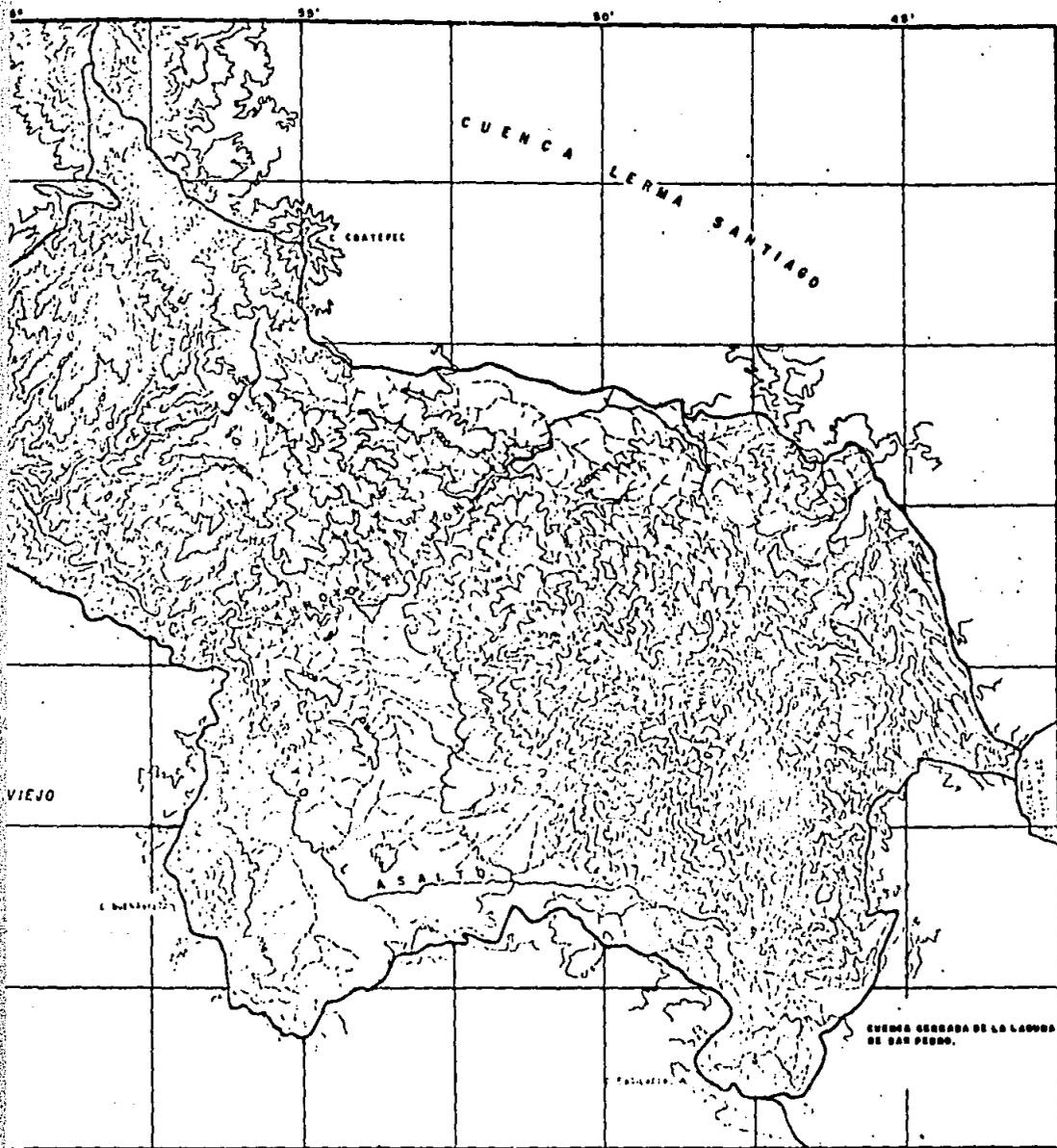
e) Curva hipsométrica. La línea que representa la distribución altitudinal de una cuenca hidrográfica es la curva hipsométrica



-->
Continua 1

LAS CURVAS DE
NIVEL CASI NO SE APRECIAN.

Fig.



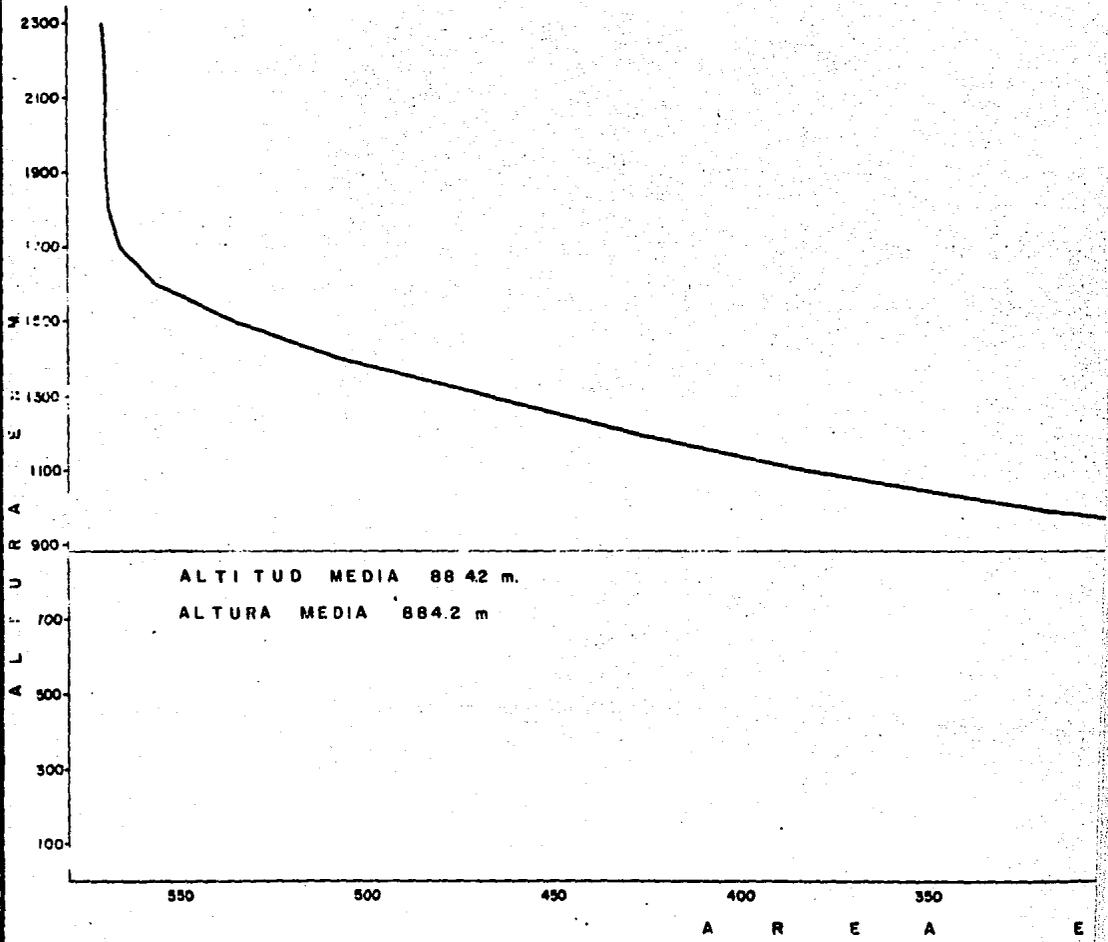
o hipsográfica y se traza en función de las curvas de nivel consideradas y las áreas comprendidas entre cada una de ellas.

Para el cálculo de la curva hipsométrica de la cuenca del río Huicicila se utilizaron los datos del cuadro 2, del cual se representa el kilometraje de las áreas en el eje de las abscisas y las alturas correspondientes a dichas áreas en eje de las ordenadas (fig. 3).

CUADRO 2
CURVA HIPSONOMETRICA DE LA CUENCA DEL RIO HUICICILA

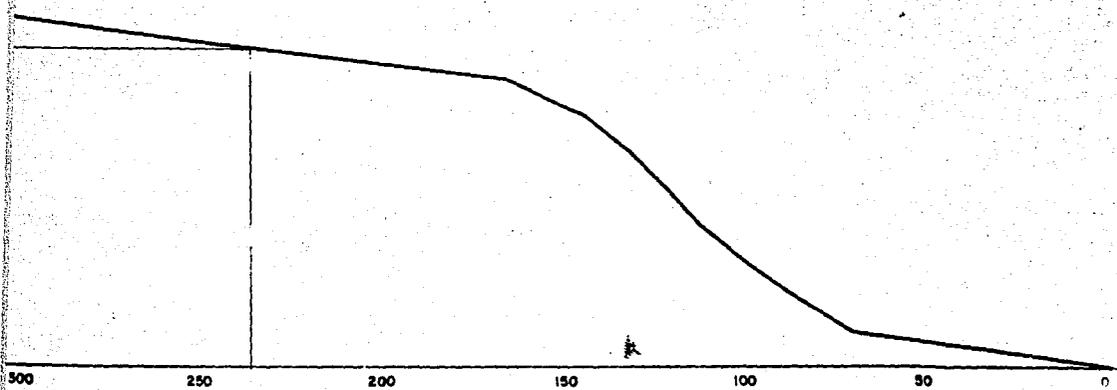
Intervalo entre las curvas de nivel	Area en Km ²	% del área	Area acumulada en Km ²	% del área acumulada
0 - 100	69.18	12.14	69.18	12.14
100 - 200	15.58	2.73	89.76	14.87
200 - 300	14.98	2.63	99.74	17.50
300 - 400	11.90	2.09	111.64	19.59
400 - 500	9.20	1.61	120.84	21.20
500 - 600	10.50	1.84	131.34	23.39
600 - 700	12.48	2.19	143.82	27.04
700 - 800	20.85	3.65	164.67	28.88
800 - 900	82.00	14.39	246.67	43.27
900 - 1000	74.10	13.00	320.77	56.27
1000 - 1100	63.25	11.09	384.02	67.36
1100 - 1200	43.43	7.63	427.45	74.98
1200 - 1300	39.55	6.94	467.00	81.92
1300 - 1400	40.98	7.19	507.98	89.11
1400 - 1500	26.83	4.70	534.81	93.81
1500 - 1600	21.55	3.78	556.36	97.59
1600 - 1700	9.80	1.72	566.16	99.31
1700 - 1800	3.00	0.52	569.16	99.83
1800 - 1900	0.53	0.09	569.69	99.92
1900 - 2000	0.20	0.03	569.89	99.95
2000 - 2100	0.08	0.02	569.97	99.97
2100 - 2200	0.08	0.02	570.05	99.99
2200 - 2300	0.03	0.01	570.08	100.00
	570.08	100.00		

Km



CURVA HIPSONOMETRICA DE LA CUENCA DEL

Fig. 3



RIO HUICICILA

Dibujo: Wilfrido Ayala

El análisis de la gráfica puede hacerse como si ésta fuese un corte transversal de la cuenca en estudio, y en ella se apreciará que desde los 70 m a los 165 m.s.n.m., el declive promedio que presenta es considerable; por otro lado, en lo referente a la cuenca media, decrece con la altura hasta los 1 400 m de altitud, a partir de la cual nuevamente se agudiza la pendiente hasta adquirir su mayor grado en la cabecera de la cuenca.

f) Elevación o altura media de la cuenca. Este dato morfométrico es muy importante porque participa en el comportamiento de los escurrimientos e influye en otras características tales como climatológicas, grado de erosión, etc., así como determina algunas peculiaridades del agua de los cauces, como sus condiciones físicas, químicas y biológicas.

Para el cálculo de la altura media (E_m) de la cuenca que aquí se trata, se utilizaron los siguientes parámetros:

E_m = Elevación media entre cada dos curvas de nivel con cota de 100 m.

s = Superficie entre cada dos isohipsas de cada 100 m de elevación.

A = Area de la cuenca

cuyos datos se presentan en el cuadro 3, y constituyen los elementos de la fórmula:*

$$E_m = \frac{(\sum e) (s)}{A}$$

Al aplicar la citada fórmula, la elevación media de la cuenca en estudio resulta de 884.2 m, y debido a que la cota mínima es el

* Stanescu Silviu, Determinación práctica de las principales características morfométricas y fisiográficas de las cuencas hidrográficas y su aplicación a los cálculos hidrológicos. Rev. SCMH, pp. 45-46. Bogotá, 1970.

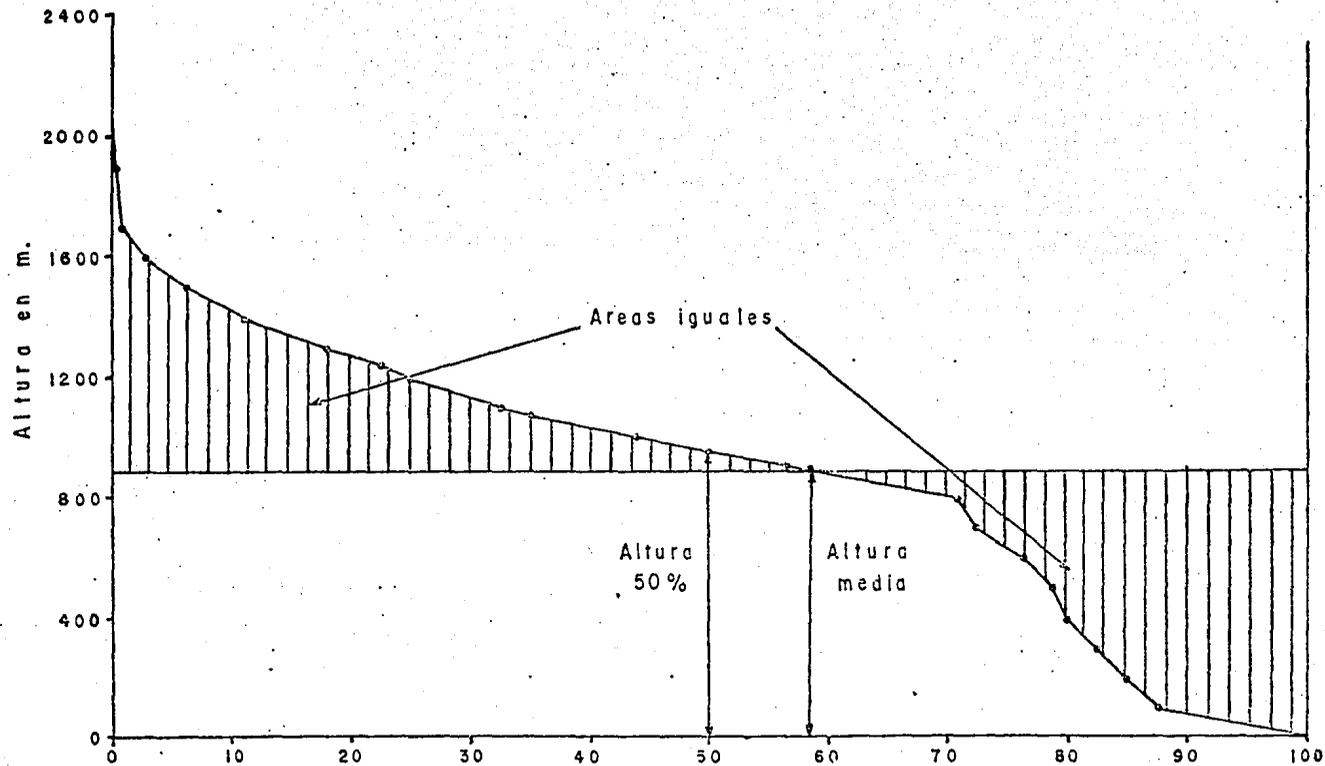
nivel del mar, esto es, cero metros, esta misma cantidad representa la altitud media del área (fig. 4).

CUADRO 3

CALCULO DE LA ALTURA MEDIA DE LA CUENCA DEL RIO HUICICILA

Intervalo entre las curvas de nivel	Altura media entre cada dos hisohipsas	Area en Km ² entre cada dos hisohipsas	Producto de la altura media y el área de cada dos hisohipsas
0 - 100	50	69.18	3.459
100 - 200	150	15.58	2.337
200 - 300	250	14.98	3.745
300 - 400	350	11.90	4.165
400 - 500	450	9.20	4.140
500 - 600	550	10.50	5.775
600 - 700	650	12.48	8.112
700 - 800	750	20.85	15.637
800 - 900	850	82.00	69.700
900 - 1 000	950	74.10	70.395
1 000 - 1 100	1 050	63.25	66.412
1 100 - 1 200	1 150	43.43	49.944
1 200 - 1 300	1 250	39.55	49.437
1 300 - 1 400	1 350	40.98	55.323
1 400 - 1 500	1 450	26.83	38.903
1 500 - 1 600	1 550	21.55	33.402
1 600 - 1 700	1 650	9.80	16.170
1 700 - 1 800	1 750	3.00	5.250
1 800 - 1 900	1 850	0.53	0.980
1 900 - 2 000	1 950	0.20	0.390
2 000 - 2 100	2 050	0.08	0.164
2 100 - 2 200	2 150	0.08	0.172
2 200 - 2 300	2 250	0.03	0.067
		570.08	504.079

Por otra parte, si se traza la curva hipsométrica considerando las áreas en porcentajes y las alturas en metros, se puede comprobar la exactitud de la altura media de la cuenca, ya que si se traza



ALTURA MEDIA Y ALTURA 50% DE LA CUENCA DEL RIO HUICICILA

Fig. 4

la línea que determina la altura media, las áreas comprendidas entre esta línea y la curva mencionada resultan iguales. Asimismo, esta misma gráfica da la oportunidad de obtener directamente la altura 50 % o mediana con la que se determinan las superficies de mayor y menor altitud que la mediana.

Por último, es importante señalar que de ninguna manera la elevación o altura media representa la distribución de la topografía de la cuenca, porque puede suceder que para otra área se obtenga el mismo resultado, pero la disposición del relieve sea diferente.

g) Coeficiente de masividad. Debido a que la altura media de la cuenca no es representativa de la distribución topográfica, el francés De Martone ideó el coeficiente de masividad,* que es una relación de la altura media de la cuenca entre el área de la misma, y en ella puede verse que dicho coeficiente es proporcional a la elevación media de la superficie drenada, el que aparentemente la identifica y la diferencia de las curvas con aproximadamente el mismo índice de altura media. Sin embargo, el coeficiente podrá ser el mismo en dos cuencas sin tomar en cuenta la erosión que tiene lugar en ellas.

Para determinar el coeficiente de masividad de la cuenca del río Huicicila, se aplicó la fórmula correspondiente.

$$C_m = \frac{E_m}{A}$$

en la que:

C_m = Coeficiente de masividad.

* "Coeficiente de masividad de De Martonne, modificado por Laura E. Maderrey, en: "Características físicas de la cuenca del río Tizar". Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Vol. III, p. 32. México, 1970.

Em = Elevación media en decámetros = 884.2 dm.

A = Area de la cuenca = 570.08 Km².

Si se coteja el resultado de 0.155 dm/Km² con la pendiente media (.296) no coinciden, por lo que puede decirse que no se identifican, seguramente debido a que las pendientes de las vertientes no son uniformes a lo largo del trayecto del colector general.

h) Coeficiente orográfico. El hecho de que el coeficiente de masividad no es un índice fidedigno del relieve en función de la erosión, hizo que el francés Fournier* combinara el índice de masividad y la altura media de la cuenca, para obtener lo que llamó coeficiente orográfico:

$$Co = (Cm) (Em) = \left(\frac{Am}{A}\right) \left(\frac{\sum Lc.C}{A}\right)$$

donde:

Am = Altura media en decámetros

A = Area de la cuenca en kilómetros cuadrados.

∑Lc = Longitud total de las curvas de nivel comprendidas dentro de la cuenca, en Km.

C = Cota de las curvas de nivel medidas.

El coeficiente orográfico de la cuenca del río que se considera en este trabajo es de 5.7, el cual se aproxima mucho al límite de 6.0 que determina lo acentuado del relieve, por lo que puede decirse que éste lo representa.

* Fournier, F., "Débit des cours d'eau. Essai d'estimation de la perte en terre subie par l'ensemble du globe terrestre". Bull. Assoc. Int. Hdr. Scientifique, Vol. 53, p. 19-22.

i) Histograma de frecuencias altimétricas. La distribución de las áreas en función de su altitud es lo que representa el histograma de frecuencias altimétricas.

En el trazo del mencionado histograma, considerando las características de la cuenca del río Huicicila, corresponden al eje de las "X" las áreas cuyas altitudes tienen un rango de 100 m, y al eje de las "Y" las curvas de nivel con dicho intervalo. Ambos parámetros se concentran en el cuadro 4, y se representan gráficamente en el histograma (fig. 5), en el que se puede apreciar que las superficies más amplias corresponden a la parte media de la cuenca, de los 800 a los 1 100 m.s.n.m., con excepción de los primeros 100 m de altitud que forman parte de la llanura costera del Océano Pacífico y que se hace notable por la amplitud de su área. Por lo que a las extensiones restantes se refiere, éstas no presentan grandes diferencias entre sí en lo concerniente a su área, más sí en su distribución altitudinal. En resumen, la amplitud extrema de las superficies se localiza entre los 800 y 900 m y los 2 200 y 2 300 m de altitud, correspondientes a las mayores y menores, respectivamente. Esta distribución morfológica del terreno cuantifica en cierta manera la distribución del mismo que se observa en la curva hipsométrica.

2. Constitución del espacio drenado.

a) Geología. Las características geológicas de una cuenca tienen importancia por la diversidad de grados de permeabilidad que presentan las rocas que la constituyen, y la modalidad que presenta todo escurrimiento cuando fluye sobre ella.

Las características geológicas de la cuenca en cuestión, fue

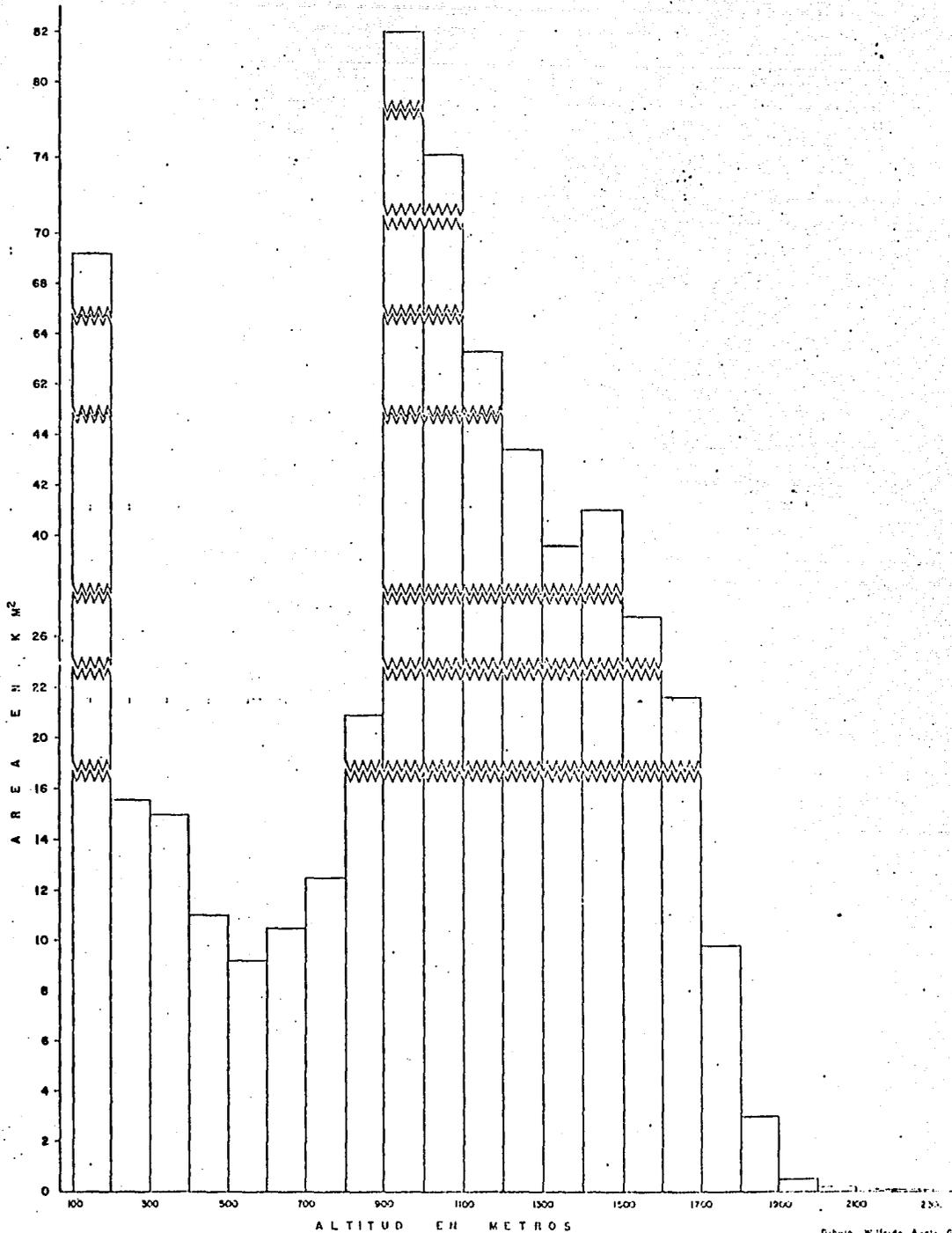
CUADRO 4

CALCULO DEL HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS ALTIMETRICAS
DE LA CUENCA DEL RIO HUICICILA

Intervalo entre las curvas de nivel	Area en Km ²	% del área
0 - 100	69.18	12.14
100 - 200	15.58	2.73
200 - 300	14.98	2.63
300 - 400	11.90	2.09
400 - 500	9.20	1.61
500 - 600	10.50	1.84
600 - 700	12.48	2.19
700 - 800	20.85	3.65
800 - 900	82.00	14.39
900 - 1 000	74.10	13.00
1 000 - 1 100	63.25	11.09
1 100 - 1 200	43.43	7.63
1 200 - 1 300	39.55	6.94
1 300 - 1 400	40.98	7.19
1 400 - 1 500	26.83	4.70
1 500 - 1 600	21.55	3.78
1 600 - 1 700	9.80	1.72
1 700 - 1 800	3.00	0.52
1 800 - 1 900	0.53	0.09
1 900 - 2 000	0.20	0.03
2 000 - 2 100	0.08	0.02
2 100 - 2 200	0.08	0.02
2 200 - 2 300	0.01	0.01

ron tomadas de dos cartas* en las que pudo apreciarse que en su totalidad pertenece a la era cenozoica de la que se distinguen el cenozoico medio volcánico (del oligoceno al plioceno inferior) y el cenozoico

* Secretaría de la Presidencia. CETENAL. Carta Geológica. Hojas Jalisco (F-13-D-31), Jalcootlán (F-13-D-39), Compostela (F-13-D-41) y Las Varas (F-13-D-49), México, D. F., 1971, y Comité de la Carta Geológica de México, Carta Geológica de la República Mexicana. México, D. F. 1960.



HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS ALTIMETRICAS DE LA CUENCA DEL RIO HUICICILA

Fig. 5

Dibujo: Wilfrido Arysto G

superior clástico y volcánico (del mioceno al reciente), con materiales como basalto, tobas y rocas extrusivas que proceden de diferentes formaciones volcánicas que limitan la región, tales como: el volcán La Tigra, y los cerros El Palmoso, Alto, La Cafecillosa, La Cumbre, Buenavista, El Oro y Coatepec.

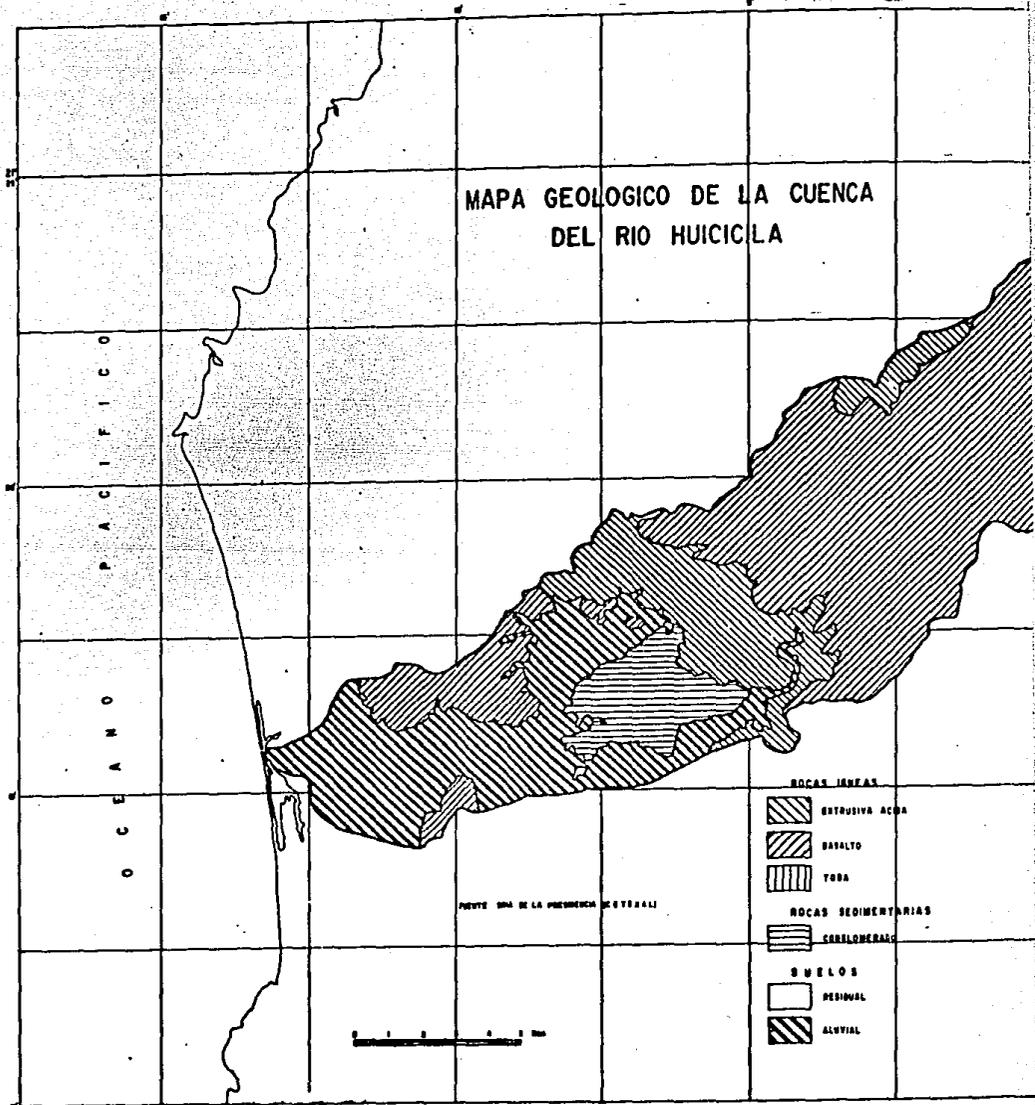
Otros materiales importantes correspondientes al plioceno y al reciente están representados por gravas, arenas, arcillas y conglomerados en depósitos aluviales.

Los índices o porcentajes correspondientes a cada uno de los materiales citados en el cubrimiento superficial de la referida cuenca se presentan en el cuadro 5, y su distribución en la figura 6.

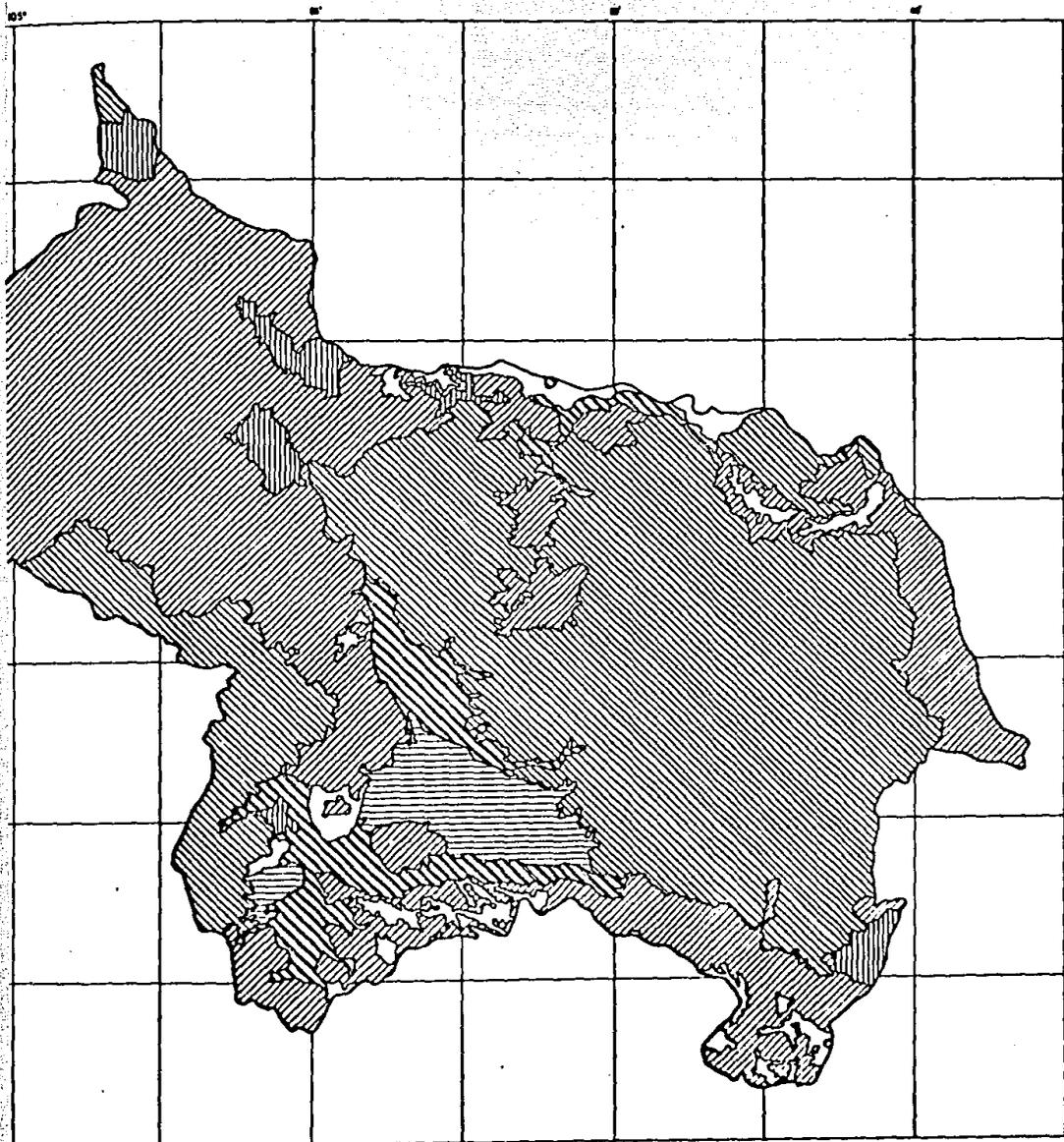
CUADRO 5

MATERIAL GEOLOGICO SUPERFICIAL DE LA CUENCA DEL RIO HUICICILA

Tipo	Parcial		Total	
	Km ²	%	Km ²	%
I ROCAS IGNEAS			478.83	84.0
a) Basalto	217.15	38.1		
b) Toba	11.80	2.1		
c) Extrusiva ácida	249.88	43.8		
II ROCAS SEDIMENTARIAS			12.70	2.2
a) Conglomerado	12.70	2.2		
III SUELOS			78.55	13.8
a) Aluvial	63.80	11.2		
b) Recidual	14.75	2.6		
Total	570.08	100.0	570.08	100.0



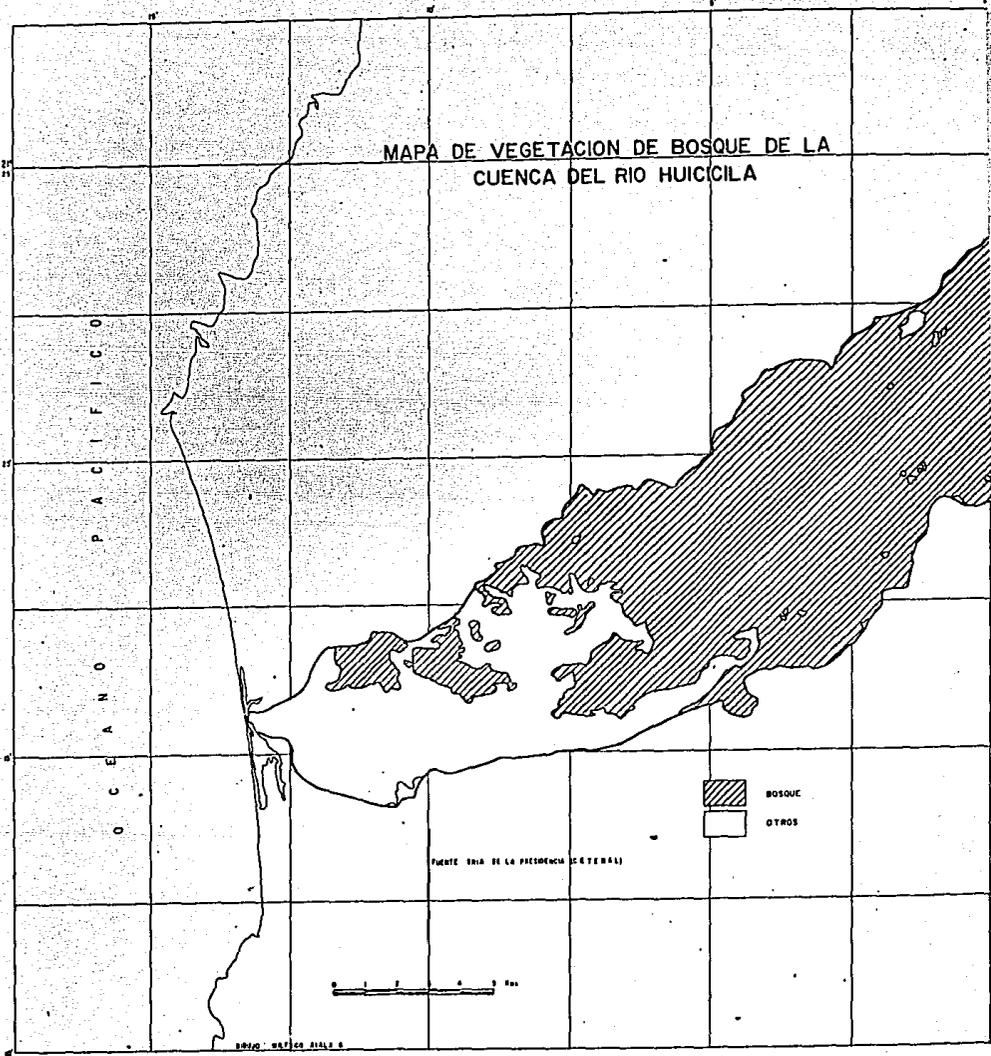
Fig



b) Coeficiente de cubrimiento de bosque. Las áreas boscosas juegan un papel importante en el comportamiento del escurrimiento de toda cuenca hidrográfica, especialmente en lo referente a la erosión del suelo, la infiltración, el transporte de materiales, la regulación de caudales, etc.

El coeficiente de la superficie boscosa de la cuenca del río Huicicila es de 66.5 % que equivale a 378.8 km² del área total.

Como se puede observar en la fig. 7, la mayor parte de la vegetación se localiza en las partes altas de la cuenca, donde las fuertes pendientes no permiten que esos terrenos sean abiertos a la agricultura, pero facilitan el incremento de humedad en el subsuelo del área drenada.



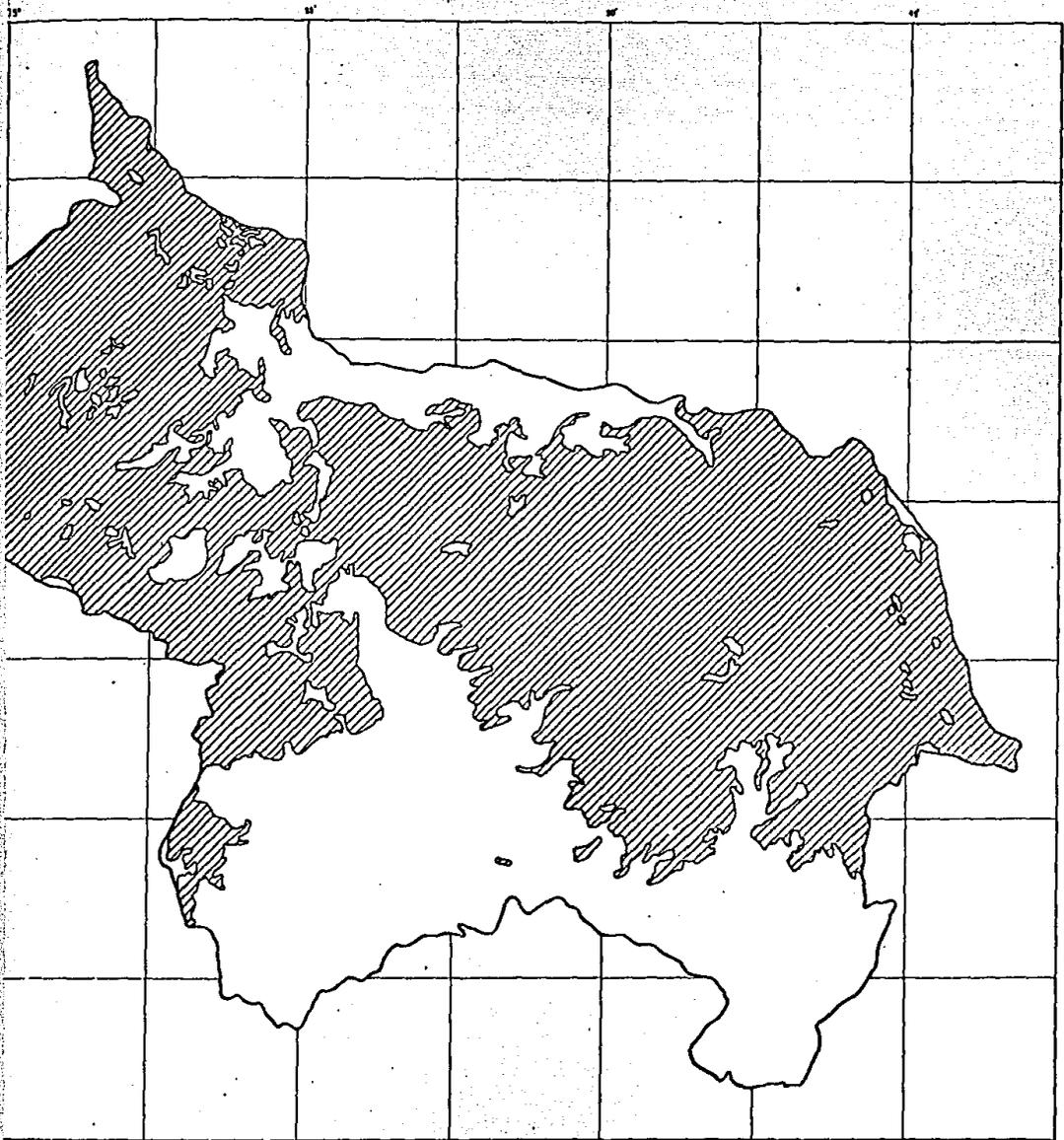


Fig. 7

CLIMATOLOGIA

GENERALIDADES. 1. Temperatura. 2. Precipitación. Intensidad de la lluvia. Lluvia máxima en 24 horas. Días con lluvia apreciable. 3. Evaporación. Evapotranspiración potencial. Evapotranspiración real. 4. Tipo de clima.

GENERALIDADES

La influencia de los elementos climáticos en el escurrimiento del río Huicicila son básicos para conocer en su mayor parte las causas que le obligan a tener el comportamiento medio actual, por esto se ha recurrido al análisis y cuantificación de los componentes más significativos como temperatura, precipitación y evaporación. De acuerdo a la información recabada en las seis estaciones meteorológicas existentes en la zona, equipadas con termómetros y pluviómetros y solamente dos con evaporímetro, por lo que fue necesario recurrir a fórmulas matemáticas para calcular el último elemento mencionado.

En relación a la localización de cada una de las estaciones meteorológicas, cuatro de ellas se ubican dentro de la cuenca del río en estudio, mientras que las dos restantes se encuentran próximas a su línea de parteaguas, mismas que sirven como puntos de apoyo para el trazo de las isolíneas correspondientes a cada uno de los parámetros del clima comprendidos en este trabajo (cuadro 6).

Antes de abordar todos y cada uno de los elementos del clima es preciso dejar establecida la metodología que se siguió para la determinación de los valores medios correspondientes a dichos elementos.

CUADRO 6

ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Nombre de la Estación	C o o r d e n a d a s		
	Latitud N.	Longitud W.	Altitud*
Compostela	21° 15'	104° 54'	874.0
Jalcocotlán	21° 31'	105° 11'	---
Jalisco	21° 27'	104° 56'	---
Miravalles	21° 17'	104° 53'	---
Paso de Arocha	21° 50'	105° 05'	30.0
Zacualpan	21° 15'	105° 10'	

* Determinada del mapa topográfico en m.

Para obtener la cuantificación de los parámetros del ciclo hidrológico se optó por el sistema de las isolíneas trazadas con base a los datos medios recabados en las estaciones meteorológicas y las determinadas matemáticamente, además, considerando la orografía del área de estudio y utilizando la siguiente ecuación:

$$E_m = \frac{\sum e_m \times a}{A}$$

en la que:

E_m - corresponde al valor medio del elemento a determinarse en sus respectivas unidades.

$\sum e_m$ - es el valor medio entre cada dos isolíneas. Se obtiene de la semisuma del valor de las dos isolíneas que limitan la zona.

a - representa a la superficie de la zona entre cada dos isolíneas limitantes; se da en Km^2 .

A - se asigna al área total en estudio en Km^2 .

Por otra parte, cabe aclarar que las condiciones medias a determinarse solo son representativas de una superficie drenada de 472.5 Km^2 , cuyos registros fueron obtenidos por la estación de aforo Paso de Arocha y, por ende, constituye el área de estudio.

1. Temperatura. La temperatura es un elemento del clima cuya participación en la fase hidrológica de un escurrimiento no es directa, sino su efecto se deja sentir a través de otros factores que sí actúan de manera importante en el ciclo del agua, como posteriormente se verá, de ahí la importancia para incluirla en este trabajo.

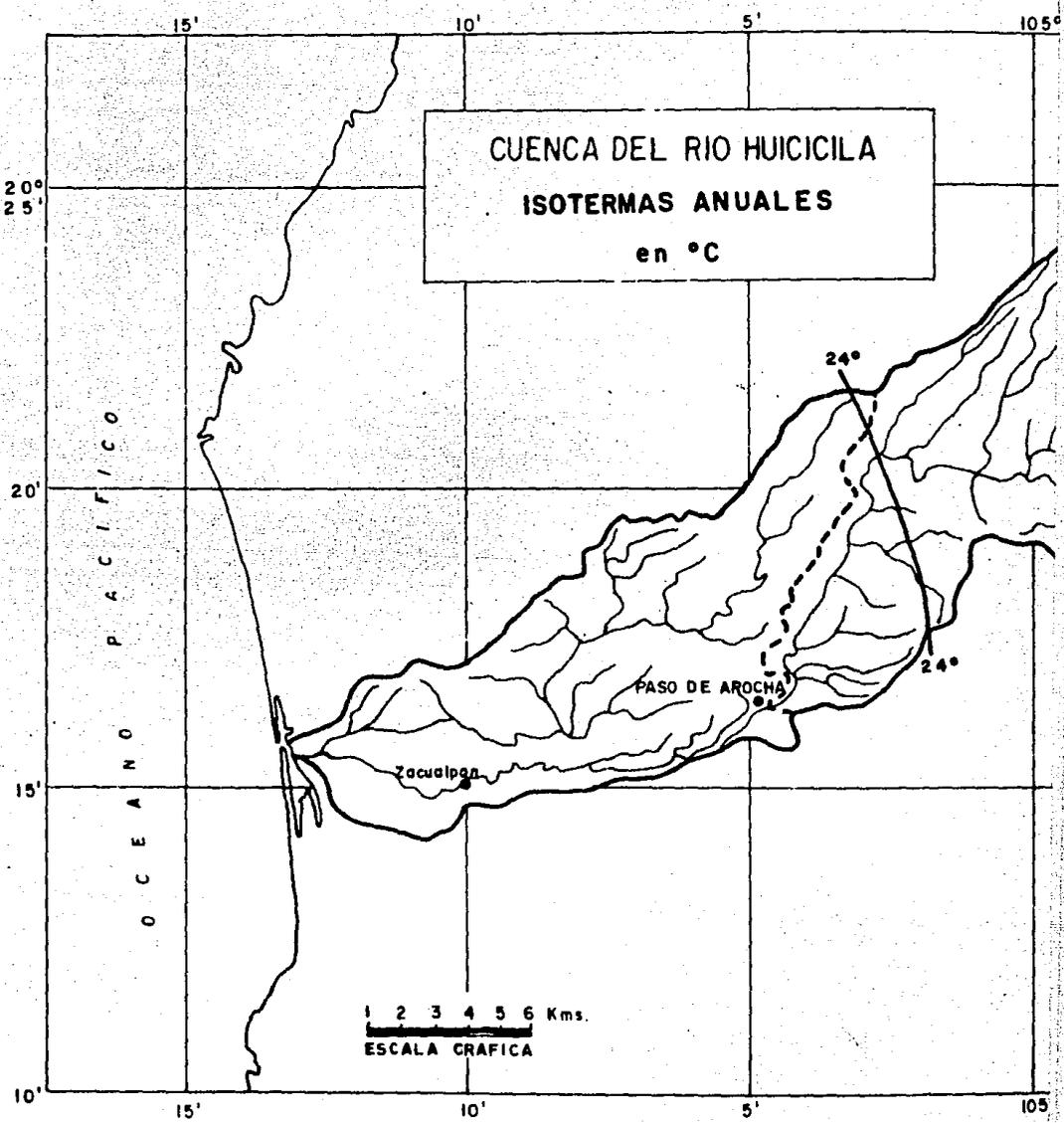
Las temperaturas altas que se registran en las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Huicicila, según el cuadro 7, se deben principalmente a su situación geográfica dentro de la zona intertropical.

La irregularidad térmica registrada en los diferentes puntos de la cuenca del río en cuestión está marcadamente influenciada por las características topográficas de su superficie, lo que se comprueba al ver que la temperatura decrece inversamente a la altitud del terreno, desde los 24.3°C de la estación meteorológica Zaqualpan localizada en las proximidades a la desembocadura hasta menos de 22°C en la cabecera, según se establece en el cuadro 8 y se corrobora en la figura 8.

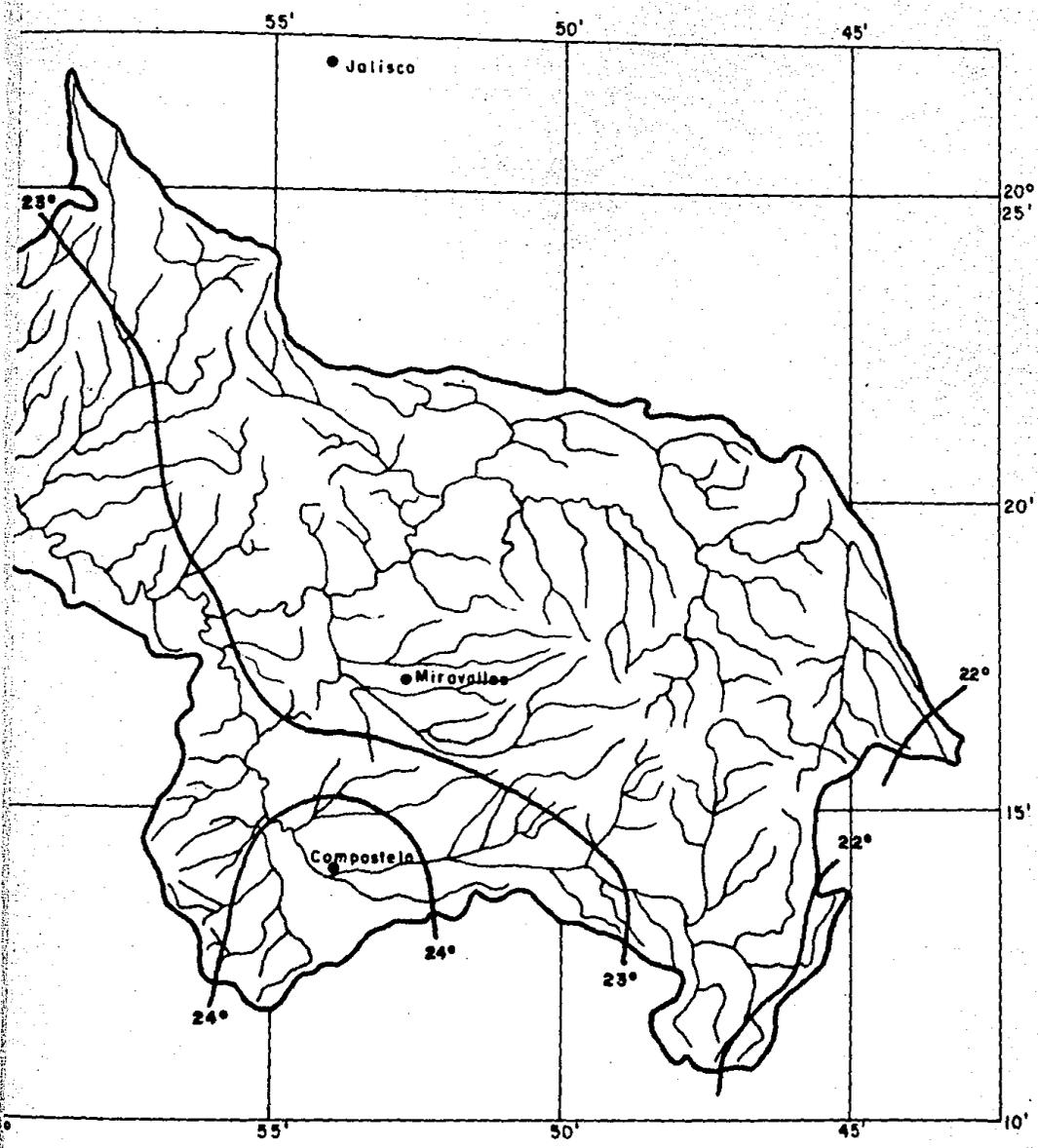
Para apreciar de manera general la marcha anual de la temperatura en el área de estudio cabe observar el cuadro 9 y la figura 9; en esta última el ascenso de la curva se inicia desde los 19.3°C del mes de diciembre (el mes más frío), aumentando paulatinamente a razón de 0.33°C en promedio mensual durante el invierno, es decir, hasta el mes de febrero. Las temperaturas relativamente ba-

CUADRO 7
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL*

Mes	Compostela	Jalcocotlan	Jalisco	Miravalles	P. de Arocha	Zacualpan
Enero	21.3	20.5	18.7	18.8	20.8	21.1
Febrero	21.5	20.1	22.3	19.4	21.0	19.8
Marzo	22.5	21.4	20.7	20.3	21.8	21.4
Abril	24.3	22.3	22.4	22.1	23.3	22.5
Mayo	26.6	24.2	23.8	23.7	25.5	25.3
Junio	27.5	25.4	24.4	24.3	27.2	27.0
Julio	27.3	25.7	23.5	24.5	27.0	27.1
Agosto	27.0	25.6	24.5	24.5	27.4	27.4
Septiembre	27.1	26.1	24.4	24.6	27.4	27.4
Octubre	26.6	26.2	23.1	23.7	26.7	27.3
Noviembre	22.5	24.2	20.7	21.4	24.7	25.1
Diciembre	20.6	22.2	19.9	19.2	22.6	22.6



Fig



CUADRO 8
TEMPERATURA MEDIA ANUAL

Estación	°C	Estación	°C
Compostela	24.5	Miravalles	22.2
Jalcocotlán	23.6	Paso de Arocha	24.6
Jalisco	22.3	Zacualpan	24.5

Las bajas de la estación invernal son el resultado de las periódicas invasiones de masas de aire polar procedentes del Canadá y cuya repercusión se manifiesta desde mediados del otoño, todo el invierno y la primera mitad de la primavera.

CUADRO 9
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DE LA CUENCA

Mes	°C	Mes	°C
Enero	19.5	Julio	25.2
Febrero	20.3	Agosto	25.2
Marzo	21.2	Septiembre	25.2
Abril	22.8	Octubre	24.4
Mayo	24.2	Noviembre	21.7
Junio	25.2	Diciembre	19.3

Durante la estación de primavera, el incremento mensual promedio de la temperatura es de 3.0°C, lo cual es bastante fuerte en relación al lapso anterior a pesar de que aún existen algunos efectos invernales; sin embargo, la presencia de masas de aire cálido que quedan finalmente definidas en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, cuya temperatura generalmente permanece estacionada en los 25.2°C durante el verano y principios del otoño.

A medida que transcurre el otoño la temperatura presenta un abatimiento de aproximadamente 1.2°C en promedio mensual hasta el mes de diciembre.

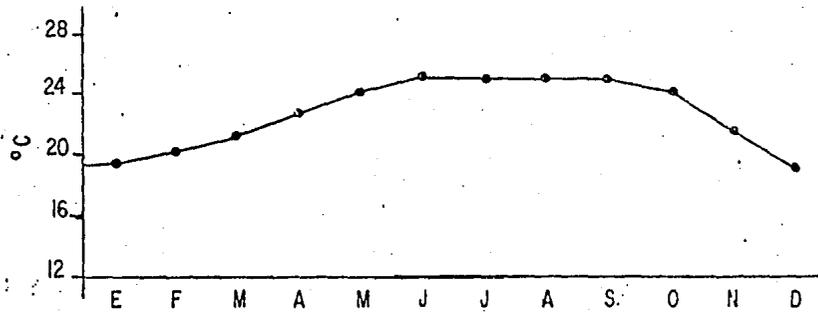


Fig. 9

La temperatura media de la cuenca del río Huicicila es aproximadamente de 23.3°C, calculada de acuerdo a la metodología enunciada al principio de este capítulo.

2. Precipitación. Uno de los elementos del clima de mayor significación para el balance hidrológico de cualquier cuenca está representado por la precipitación que de manera general representa la principal fuente de alimentación.

El régimen de la precipitación en la cuenca del río Huicicila obedece a distintas causas, algunas de las cuales se presentan en distintas épocas del año afectando sólo partes del área en estudio o, en ocasiones, cubriéndola en general como resultado principal de las características físicas de la superficie drenada que modifican su presencia, de ahí que en el cuadro 10 los datos promediados de este elemento del clima correspondiente a las estaciones meteorolo-

CUADRO 10
PRECIPITACION MEDIA MENSUAL*

Mes	Compostela	Jalcocotlan	Jalisco	Miravalles	P. de Arocha	Zacualpan
Enero	18.0	24.5	49.4	21.8	19.6	26.3
Febrero	17.5	11.4	1	14.1	12.0	19.0
Marzo	10.9	5.6	1.7	10.2	6.9	18.8
Abril	4.8	2.0	1.2	3.9	12.0	2.2
Mayo	0.3	0.2	13.1	4.8	21.1	2.1
Junio	148.5	175.1	210.6	207.5	221.6	124.6
Julio	269.6	380.5	312.3	331.1	397.0	306.3
Agosto	220.7	439.9	283.3	342.4	439.2	405.8
Septiembre	198.7	525.3	241.9	306.0	444.5	362.0
Octubre	57.6	116.5	80.9	85.1	152.0	76.2
Noviembre	6.9	25.7	17.3	5.4	13.7	16.5
Diciembre	43.9	37.2	3.9	28.7	28.3	28.8

* en mm.

lógicas presenten contrastes entre sí.

El análisis de los valores concentrados en el cuadro 11 y representados gráficamente en la figura 10 ponen a disposición la manera más sencilla de observar la distribución de la precipitación en el tiempo y en la cuenca en cuestión, destacando a primera vista la estación lluviosa en verano y principios del otoño, generada principalmente por la circulación general de la atmósfera a través de los vientos alisios que transportan la humedad que recogen en el Golfo de México y posteriormente la dejan caer durante este lapso en forma de precipitaciones; pero también participan en este periodo de lluvias otros fenómenos atmosféricos que se tratarán posteriormente.

CUADRO 11
PRECIPITACION MEDIA MENSUAL EN LA CUENCA

Mes	mm	Mes	mm
Enero	26.9	Julio	331.8
Febrero	15.5	Agosto	323.5
Marzo	8.0	Septiembre	285.1
Abril	3.2	Octubre	131.4
Mayo	7.2	Noviembre	14.0
Junio	19.4	Diciembre	30.2

El periodo de mayor precipitación se inicia generalmente a partir del mes de mayo (7.2 mm) al mes de junio (19.4 mm), lográndose la mayor altura durante el mes de septiembre (331.8 mm), el mes más lluvioso del año; por otro lado, la época de lluvias finaliza en el mes de noviembre (14.0 mm). Durante este periodo en el área de flujo de los vientos alisios se presentan las Ondas del Este, o

sean, lapsos alternos de precipitaciones con condiciones de buen tiempo; por otra parte, los ciclones tropicales son otro tipo de meteoros que durante esta época suelen originar fuertes chubascos cuando invaden o se aproximan a la región que aquí se trata.

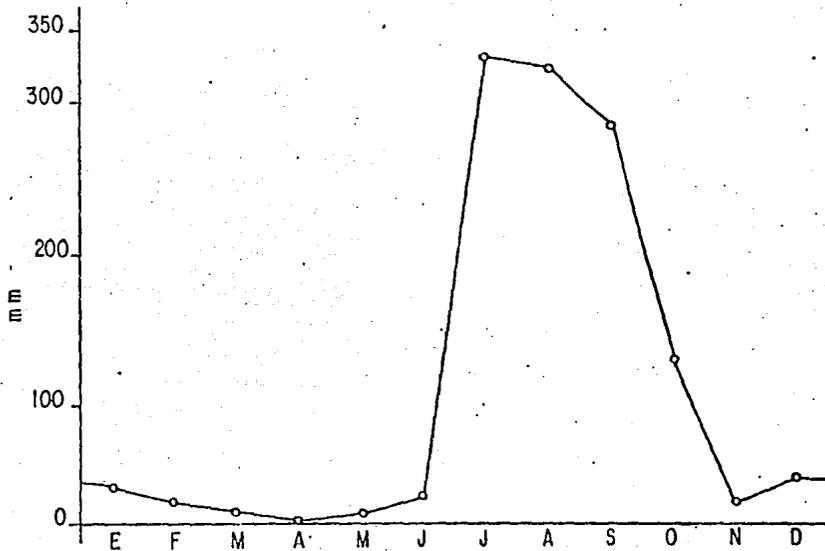


FIG. 10

No pueden dejar de mencionarse los aportes de los vientos cálidos y húmedos que soplan desde el océano Pacífico en el verano y que contribuyen al aumento de humedad aun en menor proporción a la que depositan los ciclones tropicales.

En el transcurso del año, la variación de la precipitación, específicamente del mes de noviembre (14.0 mm) al mes de febrero (15.5 mm), las alturas de la lluvia van decreciendo notoriamente por lo que se considera como un periodo de menor significación en relación con el resto del año. En esta época son las frecuentes invasiones de masas de aire del polo norte propias de la estación

las que generan lluvias de tipo frontal al chocar con volúmenes de aire de otras características.

Durante los meses de marzo (8.0 mm), abril (3.2 mm) y mayo (7.2 mm), el avance de la zona intertropical de convergencia marca el término de la época húmeda.

La lluvia derivada de estos fenómenos meteorológicos presenta una característica más, que consiste en la cantidad de agua precipitada en determinado tiempo recibiendo el nombre de intensidad de la precipitación; ésta se obtiene de la gráfica de los pluviógrafos, sin embargo cuando se carece de este aparato en las estaciones meteorológicas se utiliza la lluvia máxima en 24 horas como medida de dicha intensidad.

La lluvia máxima en 24 horas se refiere a la intensidad máxima correspondiente a un día, y en el caso de la cuenca del río Huicicila se presenta en una zona muy próxima a su desembocadura, es decir, desde la estación Paso de Arocha (240.1 mm/24 h), disminuye pendiente arriba hasta la estación Compostela (101.0 mm/24 h), para nuevamente incrementarse hacia la cabecera de la cuenca (cuadro 12 y figura 11). Cabe hacer notar que en la superficie drenada por el río Huicicila la cantidad de lluvia máxima en 24 horas fue de 240.1 mm que se registró en la estación Paso de Arocha el día 17 de septiembre de 1973, mientras que en las demás estaciones meteorológicas ocurrieron en diferentes días y años, pero en su mayoría durante los meses de junio y julio excepto en la estación Miravalles que ocurre en el de septiembre, con lo que se confirma una vez más la irregularidad espacial de este elemento, sin embargo en todos los casos coincide con la estación lluviosa. Por otra parte, al analizar el promedio máximo mensual del periodo observado, se aprecia que los

valores se reducen considerablemente, aún así, la estación Paso de Arocha conserva el más alto, esto es, 109.1 mm, mientras que en las restantes estaciones además del mencionado descenso, los meses de mayor ocurrencia en promedio cambian, con excepción de la estación Compostela que sigue siendo el mes de julio; sin embargo, todos los casos corresponden al periodo húmedo del verano.

Por lo antes expuesto se puede deducir que fueron las mismas condiciones atmosféricas de la estación lluviosa las que originan las intensidades máximas de la precipitación.

CUADRO 12
INTENSIDAD DE LA LLUVIA

Estación	1		2	
	fecha	mm	mes	mm
Compostela	5/Jul./71	101.0	Jul.	54.7
Jalcocotlán	8/Jul./69	157.3	Ago.	95.2
Jalisco	23/Jun./50	100.8	Jul.	66.8
Miravalles	12/Sep./65	135.0	Ago.	58.9
Paso de Arocha	17/Sep./73	240.1	Sep.	109.1
Zacualpan	7/Jun./62	207.5	Ago.	94.3

1 - Intensidad máxima de la lluvia en 24 horas durante el periodo observado.

2 - Intensidad promedio máximo

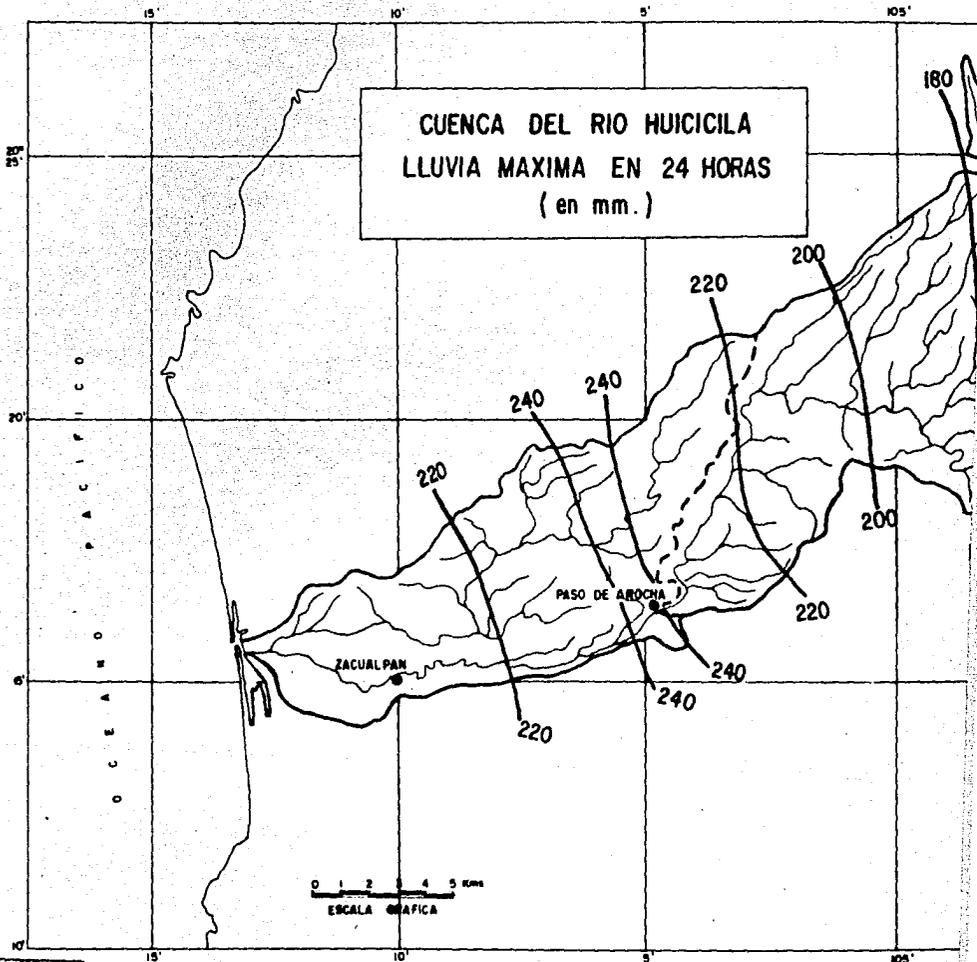
Otra manera de tener una idea sobre la intensidad máxima de la precipitación es estableciendo una relación de número de días con lluvia apreciable (cuadro 13) y la altura de la precipitación anual (cuadro 15).

Antes de abocarse a lo establecido en el párrafo anterior es conveniente conocer la distribución espacial de los días lluviosos en la cuenca del río Huicicila tomando en consideración el cuadro 13, mismo que da lugar a la figura 12, en la que se muestra que la cantidad de los días en cuestión aumentan pendiente arriba el 64.8 %, desde la estación Zacualpan (58.5) hasta la estación meteorológica Paso de Arocha (90.3) desde la cual se abate considerablemente hacia la parte media de la región, ya que así lo indican los registros de la estación Compostela (4.7) seguramente afectada por su localización ya que hacia la cabecera de la cuenca se eleva el número de días según lo indica la estación Miravalles.

CUADRO 13
PROMEDIO ANUAL DE DIAS CON LLUVIA APRECIABLE

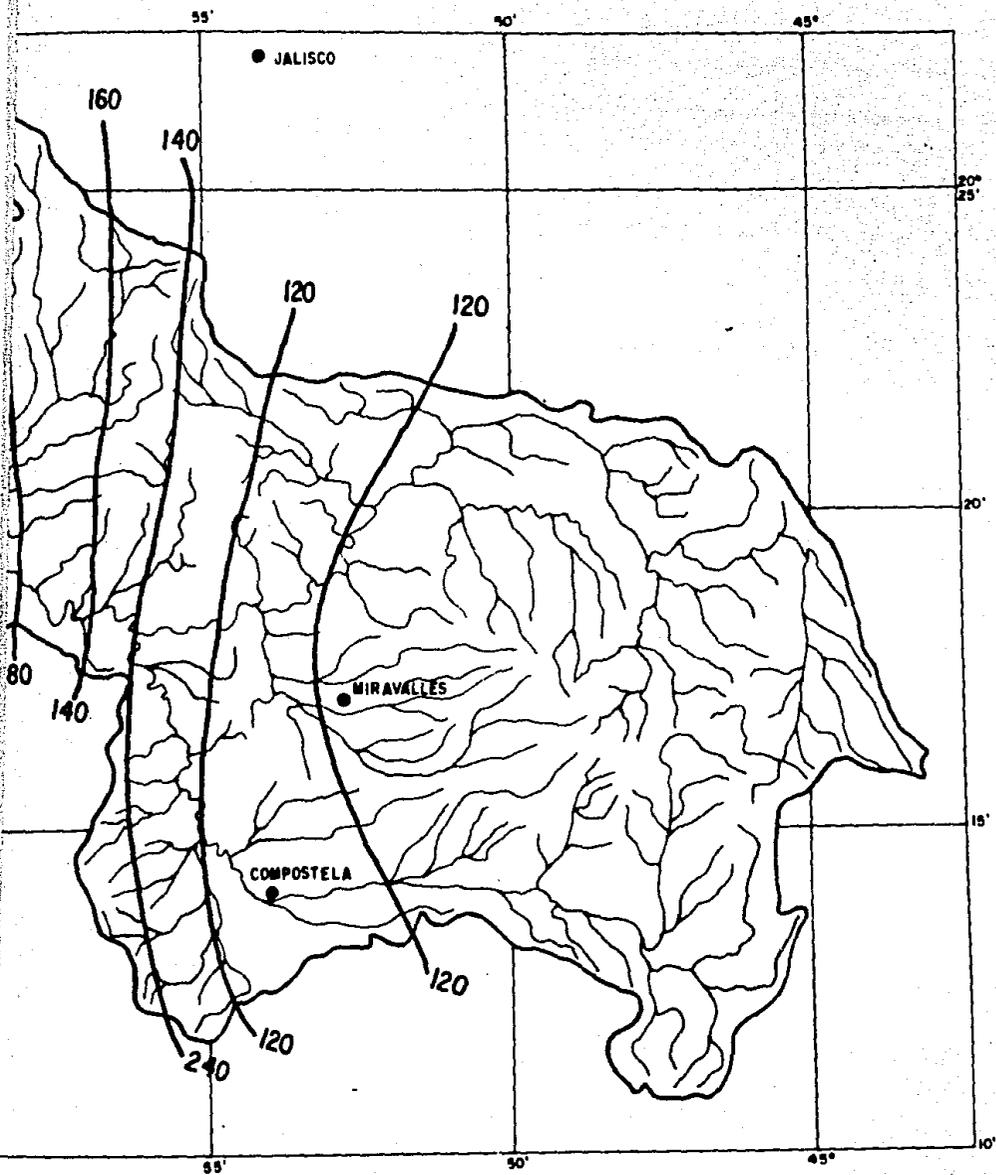
Estación	Días	Estación	Días
Compostela	4.7	Miravalles	92.2
Jalcocotlán	90.9	Paso de Arocha	90.3
Jalisco	14.7	Zacualpan	58.5

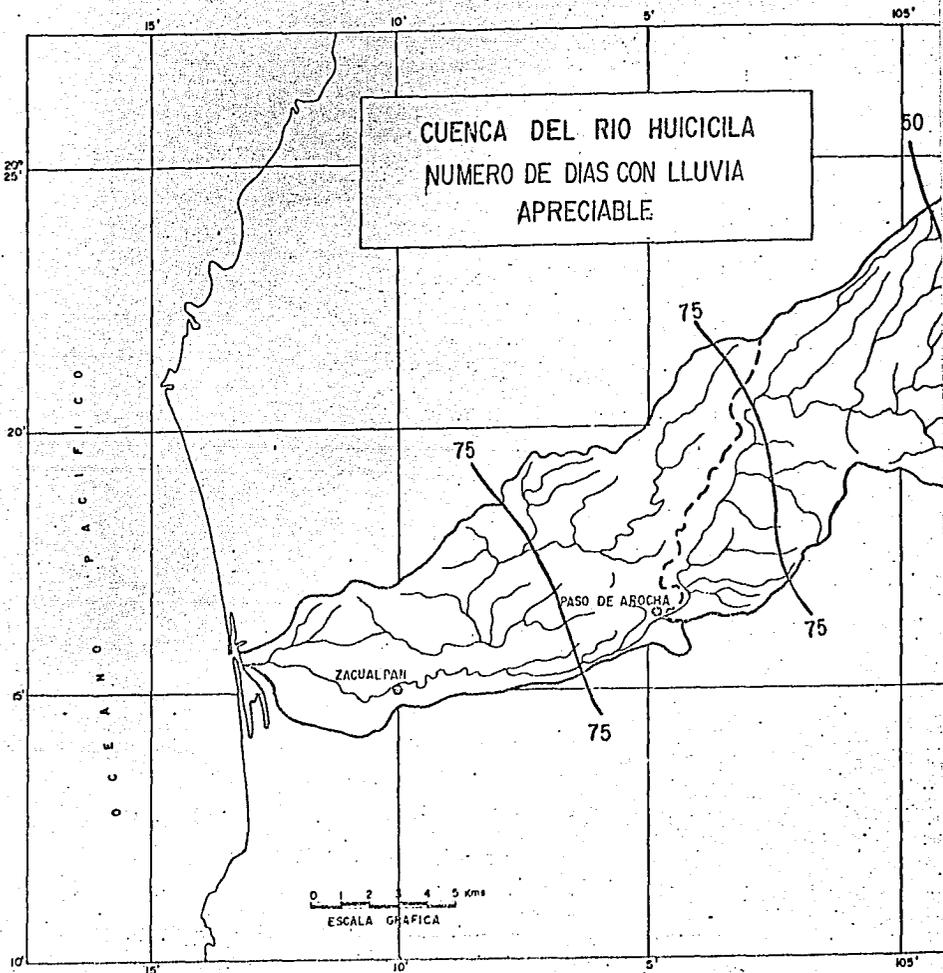
Después del análisis de la distribución de los días con lluvia apreciable en la cuenca en estudio, para conocer la intensidad de la misma, es preciso llevar a cabo la relación matemática antes citada, utilizando para ésta los datos de los cuadros 13 y 15. Los valores resultantes del cotejo anterior se concentran en el cuadro 14 y sirven de base para el trazo de las isolneas de figura 13, en el que se pueden apreciar algunos contrastes en cuanto a sus parámetros se refiere, sobre todo en lo que se refiere a los resultados de las estaciones meteorológicas de Paso de Arocha y



-->
Continua 1

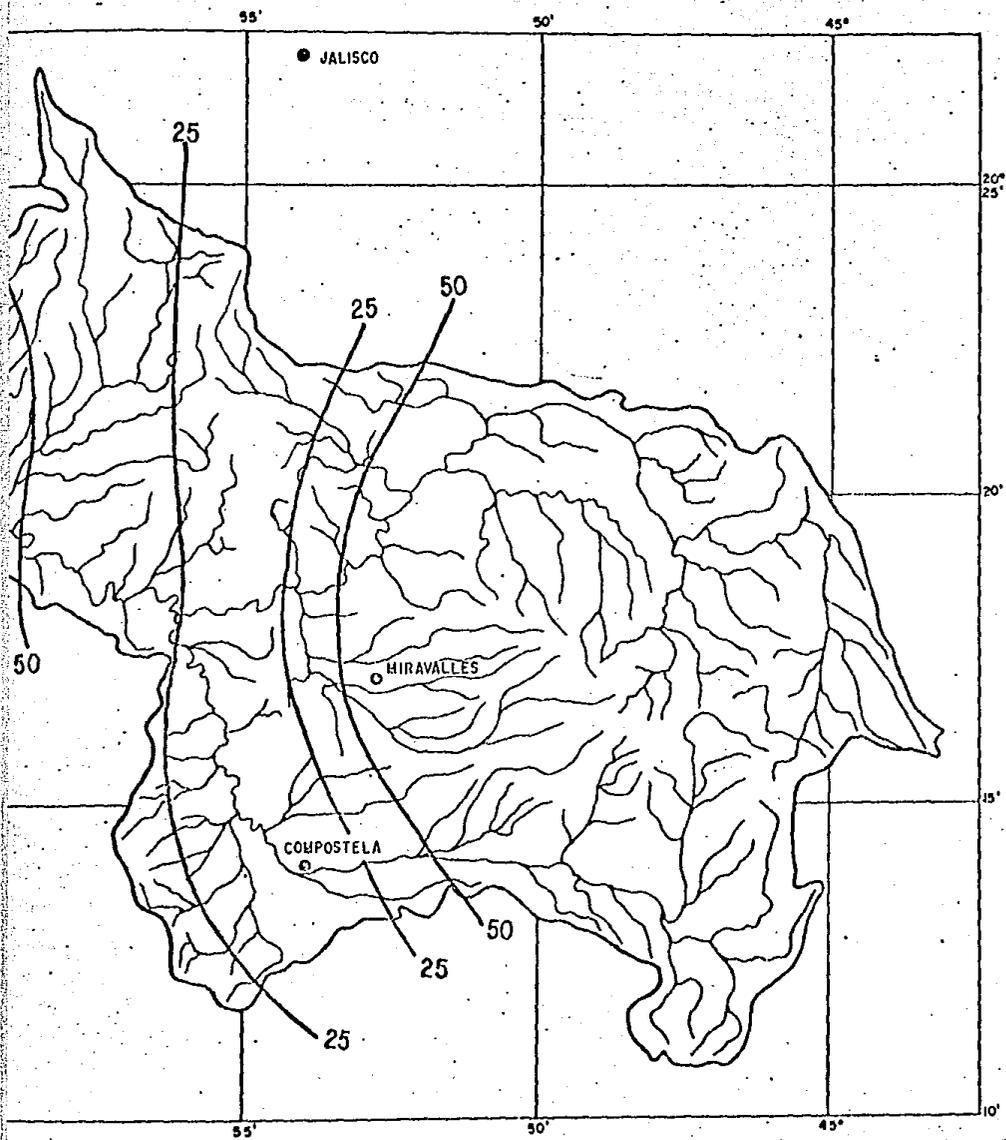
FIG. 11





-->
Continua 1

FIG. 1



Compostela. En el caso de la primera, si bien la altura de la lluvia anual es la mayor registrada en la cuenca, también es cierto que dicha cantidad se acumula considerando que ésta se presenta en número de días lluviosos de los más altos en el área de estudio, lo que repercute en una escasa intensidad media de la precipitación (19.6 mm/día); por lo contrario en el área que registra la estación Compostela el resultado es alto (212.2 mm/día) a pesar de que la precipitación anual es inferior, también la cantidad de días en que se distribuye la lluvia es sumamente reducida.

CUADRO 14

RELACION DEL NUMERO DE DIAS CON LLUVIA APRECIABLE Y PRECIPITACION ANUAL.

Estación	mm/día	Estación	mm/día
Compostela	212.2	Miravalles	14.8
Jalcocotlán	19.2	Paso de Arocha	19.6
Jalisco	92.6	Zacualpan	23.6

Por otra parte, si se compara esta relación con la altura máxima de la lluvia registrada en 24 horas considerando todo el periodo de información (cuadro 12 y figura 11), puede advertirse las grandes diferencias tanto en los valores resultantes como en la distribución espacial de los mismos; de ahí que la altura máxima de la precipitación en 24 horas sea la más representativa de la intensidad, de acuerdo a las formas aquí tratadas.

Con referencia a la distribución territorial de la precipitación media anual, ésta no es uniforme según se establece en el cuadro 15 y se comprueba en la figura 14, lo cual es una consecuencia

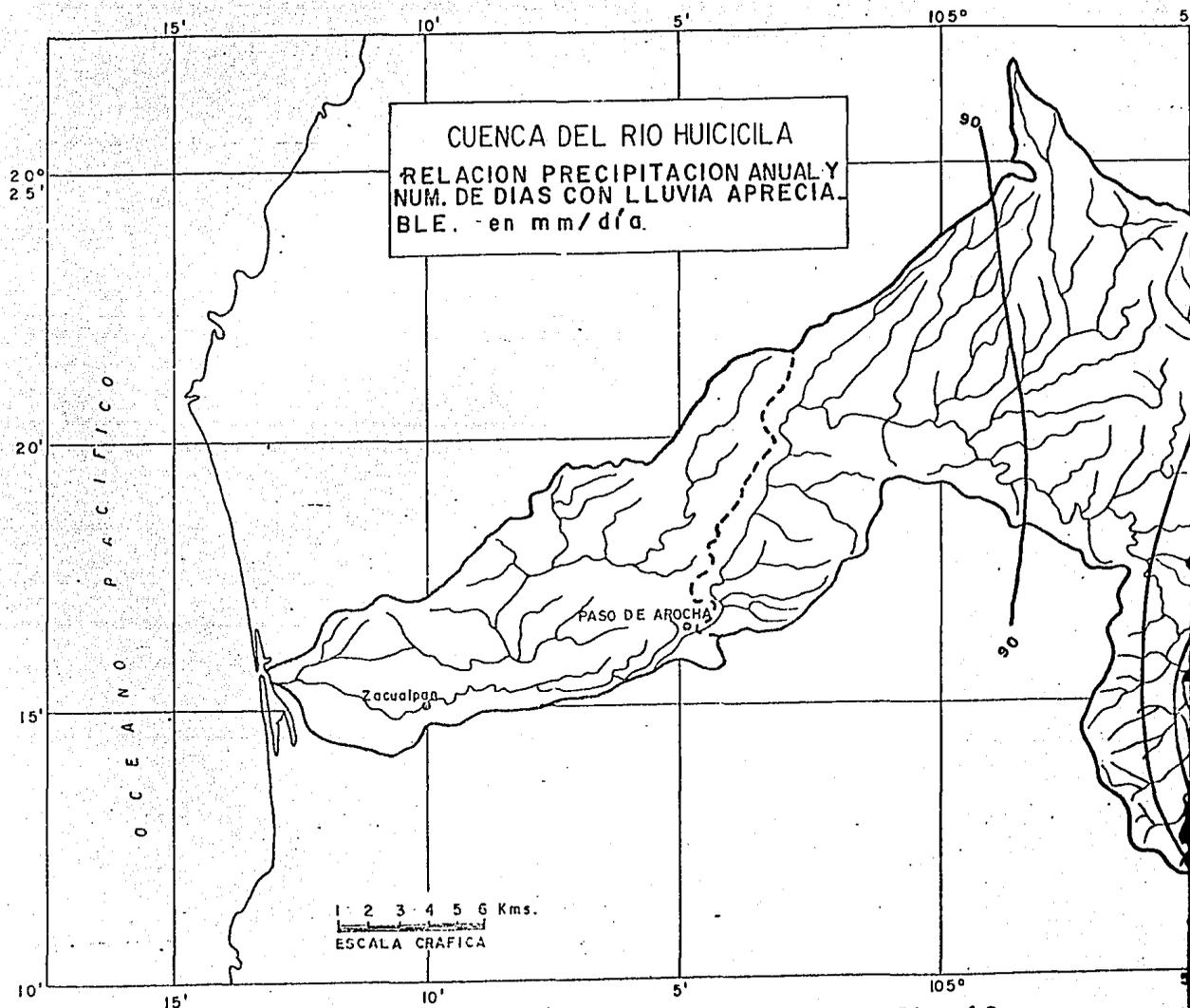
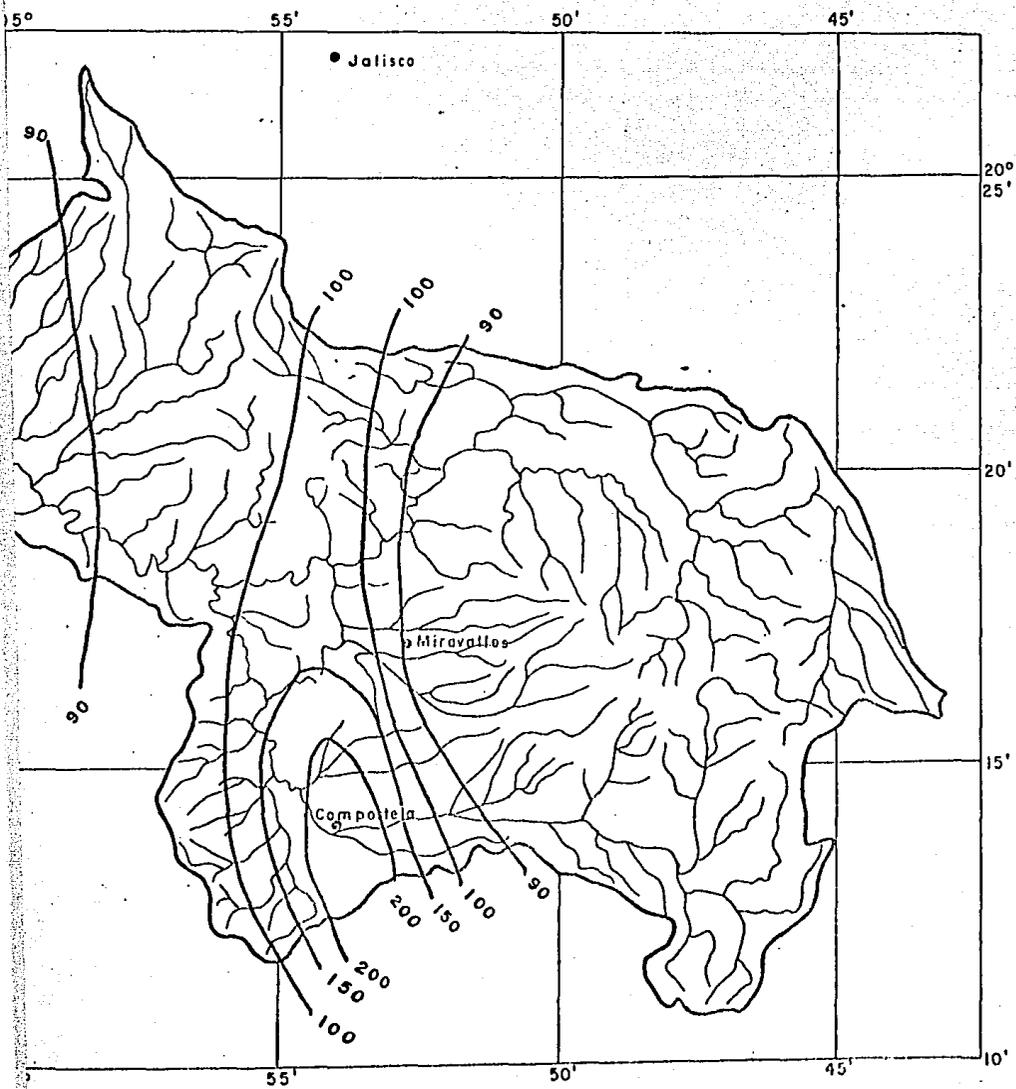


Fig. 13



cia de factores como el relieve que la modifica.

CUADRO 15
PRECIPITACION MEDIA ANUAL

Estación	mm	Estación	mm
Compostela	997.4	Miravalles	1361.0
Jalcocotlán	1743.9	Paso de Arocha	1768.3
Jalisco	1361.0	Zacualpan	1379.8

De manera general la lluvia se concentra en la zona donde se ubica la estación meteorológica Paso de Arocha, con 1768.3 mm, donde el aire húmedo alcanza su nivel de condensación, desde este lugar la altura de la lluvia decrece pendiente arriba hasta los 1361.0 mm en la estación Miravalles, pero a partir de ésta la precipitación disminuye aun más hacia el sur, donde la estación Compostela registra 997.4 mm de promedio anual, como consecuencia de su ubicación en una área intermontana a la que los vientos húmedos no logran penetrar con facilidad. Por otro lado, desde la estación Paso de Arocha hacia la costa del océano Pacífico la lluvia también se abate hasta los 1379.8 mm, según la altura registrada en la estación Zacualpan, localizada próxima a la desembocadura del río.

La precipitación media anual en la cuenca del río Huicicila es aproximadamente de 1344.0 mm, calculada de acuerdo a la metodología que se presenta al principio del presente capítulo.

3. Evaporación. Otra de las fases importantes del clima y del ciclo hidrológico está representado por la evaporación, cuya

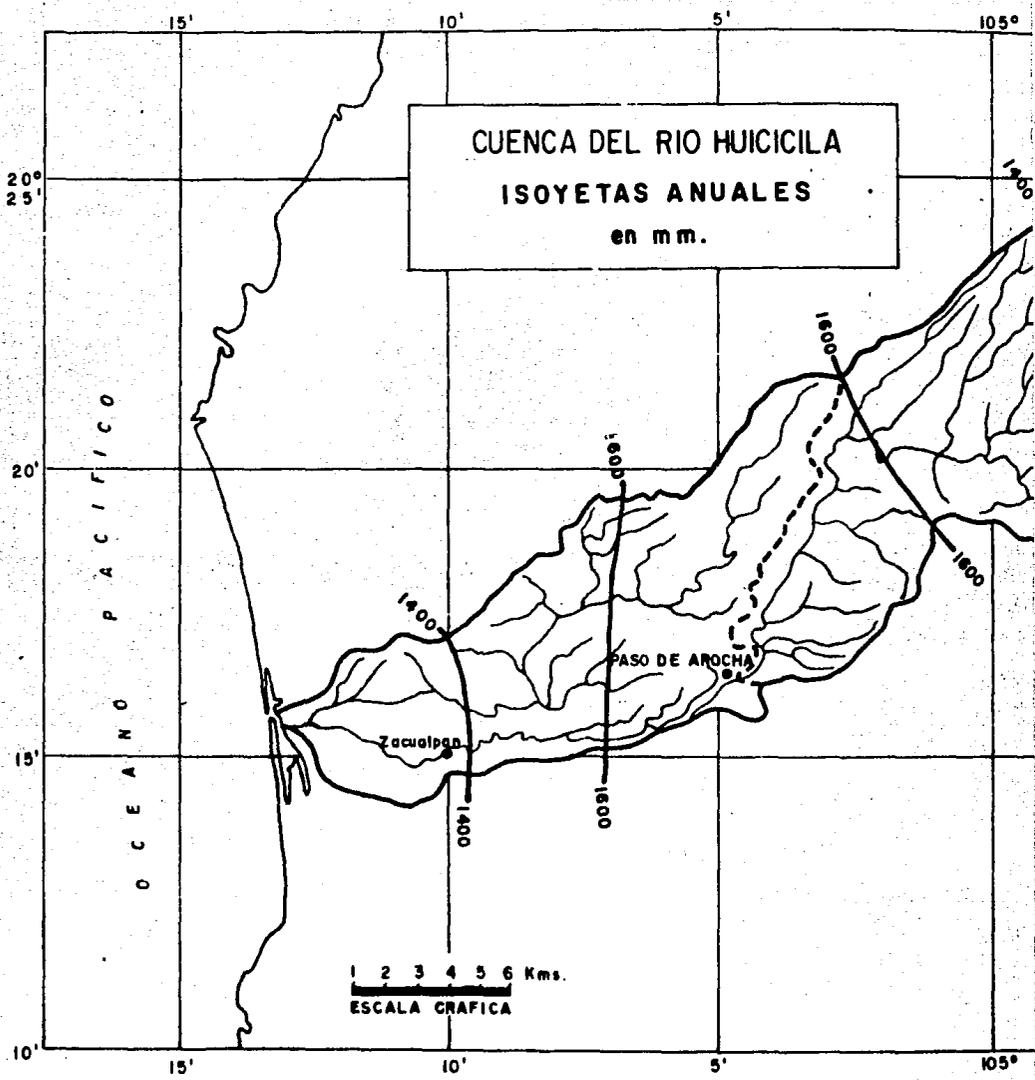
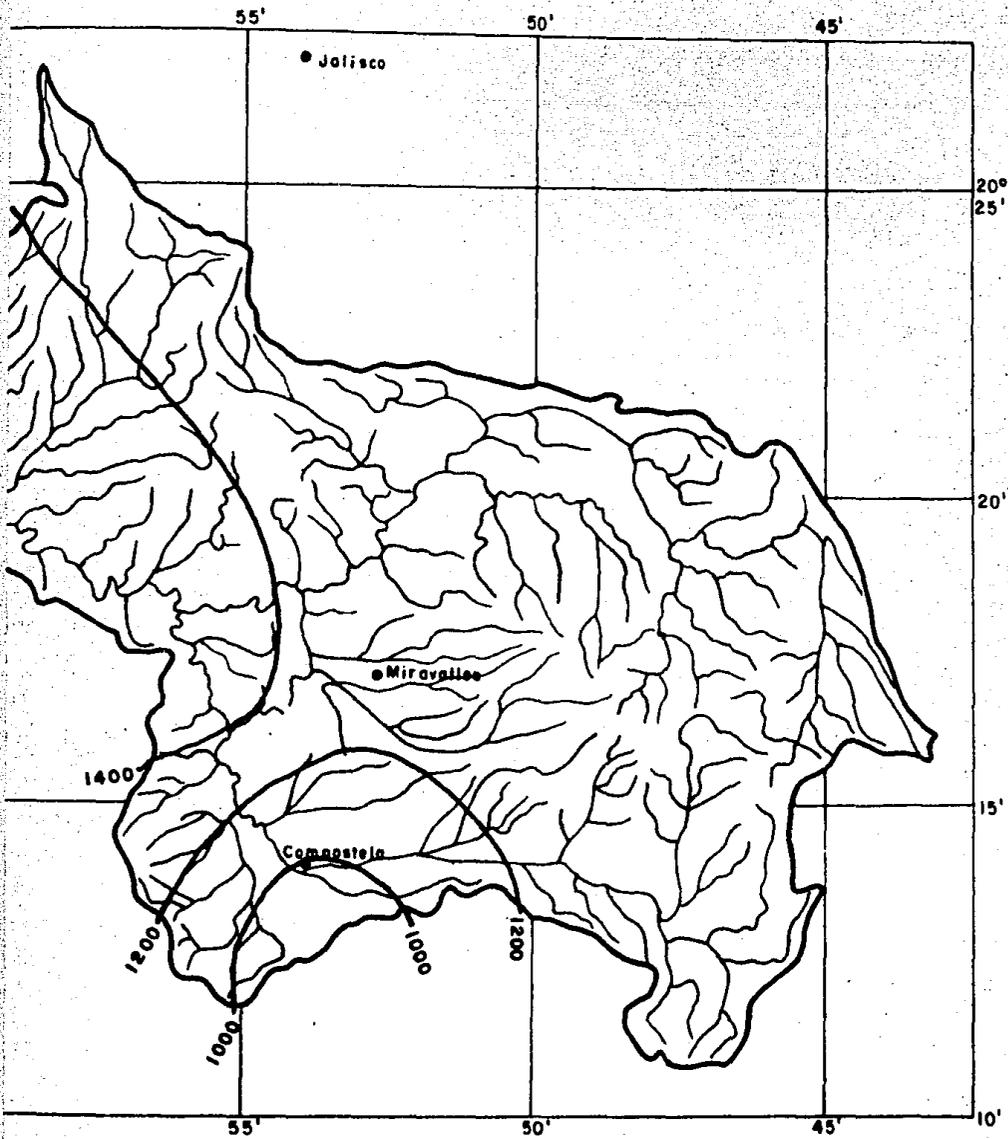


Fig.



repercusión en el balance de un río es decisiva ya que constituye la pérdida principal de agua en una cuenca, sin embargo, cabe considerar que dicha evaporación no se limita al decremento directo de los cuerpos de agua sino también de la que se encuentra en el suelo, o sea desde su superficie y su interior; ésta pérdida generalmente se lleva a cabo a través de la transpiración de las plantas. Tomando en consideración lo anterior, este elemento del clima se ha globalizado en la evapotranspiración o evaporación real.

Para la determinación de la evaporación real se utilizó la fórmula de Thornthwaite*, que es como sigue:

$$EVT' = 1.6 \left(10 \frac{t}{I} \right)^{1.514}$$

en la que:

EVT': evapotranspiración mensual en cm para un mes que teóricamente es de 30 días, con una insolación de 12 horas. Sin corregir por latitud.

t : temperatura media del mes en °C

I : índice anual de calor que se obtiene de la adición de los índices térmicos de cada mes (i), los cuales a su vez se determinan con la siguiente fórmula:

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

* : parámetro de la ecuación de EVT'; se obtiene de la ecuación:

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

* Secretaría de Recursos Hidráulicos. "Instructivo para la determinación del clima de acuerdo al segundo sistema de Thornthwaite". México, 1972, p. 11-12.

en que:

I = índice térmico anual, ya mencionado.

La corrección de la evapotranspiración se lleva a cabo debido a la variación en la iluminación a lo largo del año, por ende dichas fluctuaciones son de acuerdo a la latitud y se dan en tablas. La corrección referida se efectúa de la manera siguiente:

$$EVT = EVT' (F)$$

en donde:

EVT = Evaporación real o evapotranspiración corregida en cm.

EVT' = Evapotranspiración sin corregir, en cm.

F = Factor de corrección.

Después de aplicar el método señalado a cada una de las estaciones meteorológicas, los resultados en cada una de ellas se concentraron en el cuadro 16, en donde se puede observar que en la mayoría de los meses la evaporación supera por muy amplio margen a la precipitación, aún así, para tener una visión generalizada sobre este aspecto fue necesario recurrir a las condiciones medias mensuales de el área drenada, según lo muestra el cuadro 17, del mes de noviembre al mes de junio la altura de la evaporación sobre pasa a la lluvia, lo cual resulta ilógico ya que no existe agua suficiente para alcanzar los valores obtenidos, de ahí que Thornthwaite* la considere como evapotranspiración potencial, ya que de existir la cantidad de agua disponible los resultados para ese lap-

* Secretaría de Recursos Hidráulicos. Instructivo para la determinación del clima de acuerdo al segundo sistema de Thornthwaite. México, 1972, p. 16-17.

CUADRO 16
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MEDIA ANUAL*

<u>Estación</u> Mes	Compostela	Jalcocotlan	Jalisco	Miravalles	P. de Arocha	Zacualpan
Enero	51.0	50.8	46.2	47.4	47.8	49.9
Febrero	50.1	46.3	67.0	48.9	46.9	40.4
Marzo	64.7	62.0	64.2	62.2	59.2	56.9
Abril	80.9	70.1	79.0	77.4	72.0	66.2
Mayo	110.5	92.9	98.1	98.1	98.5	97.1
Junio	119.7	103.1	102.1	102.1	156.7	154.9
Julio	120.5	110.1	96.8	107.8	160.4	161.4
Agosto	112.9	105.1	103.1	104.0	158.6	158.6
Septiembre	104.8	105.5	94.3	96.6	145.8	145.8
Octubre	97.8	100.4	80.9	86.8	136.8	142.0
Noviembre	57.8	75.6	57.4	62.8	73.7	77.4
Diciembre	46.7	62.1	53.5	49.8	59.5	59.9

* en mm.

so serían efectivos, por ende sólo equivale a la capacidad de absorción de agua de la atmósfera cuya magnitud se incrementa desde 47.2 mm en el mes de febrero, en 13.9 mm como promedio aproximado en cada mes hasta alcanzar 130.7 mm, máxima altura, en el mes de julio, misma que se reduce en los meses de agosto, septiembre y octubre a razón de 7.4 mm mensuales; sin embargo esta frecuencia se acentúa ya que en los meses subsiguientes es de 15.4 mm hasta el mes de febrero.

CUADRO 17
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MEDIA DE LA CUENCA

Mes	mm	Mes	mm
Enero	48.9	Julio	130.7
Febrero	47.2	Agosto	126.0
Marzo	62.0	Septiembre	117.0
Abril	71.5	Octubre	108.6
Mayo	99.5	Noviembre	65.1
Junio	115.9	Diciembre	54.3

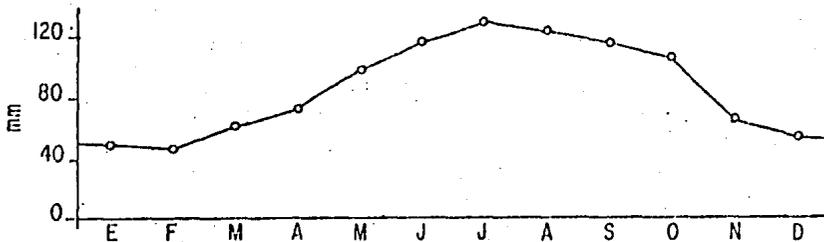


Fig. 15

Para tener una explicación más fehaciente del comportamiento de la evaporación potencial es necesario equipararla con otros aspectos del clima como la precipitación y la temperatura (fig. 16); así se puede constatar que la variación anual de la evaporación presenta un paralelismo semejante al de la temperatura, lo cual resulta obvio ya que, como se recordará, ésta constituye el parámetro base para su cálculo.

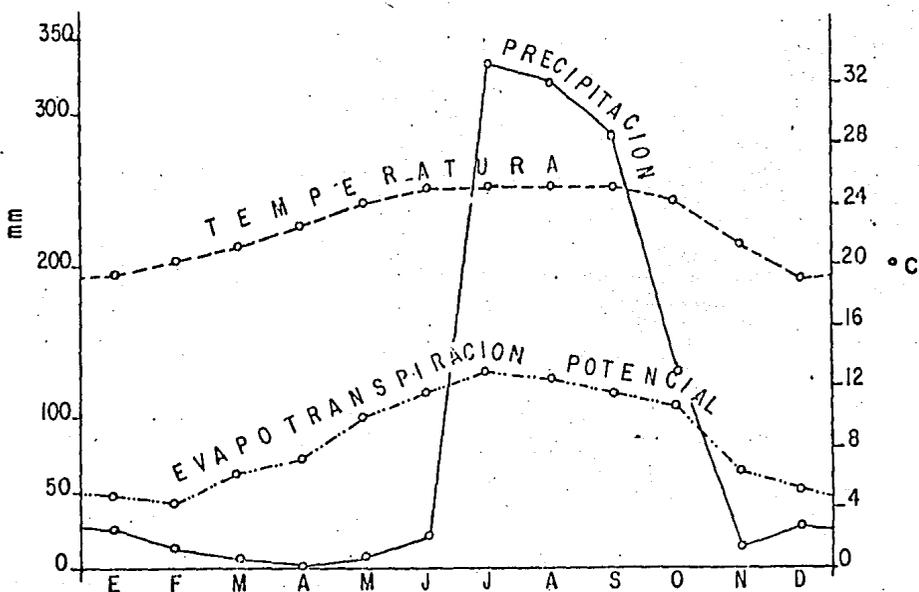


Fig. 16

Por otra parte, la evapotranspiración potencial se convierte en real durante los meses de julio, agosto, septiembre y octubre, esto es, durante el verano y principios del otoño, época en que está presente el periodo húmedo más significativo del año. De lo que se desprende que la evapotranspiración potencial, como antes se dijo, sólo representa el poder evaporante de la atmósfera que depende en su mayor parte de la temperatura del aire y de la

humedad que éste contiene, de ahí la similitud de sus regímenes.

La distribución espacial de la evapotranspiración potencial en la cuenca del río Huicicila aumenta pendiente arriba, esto es, de manera inversa a la temperatura, por la influencia de la masa oceánica que proporciona humedad al aire que fluye sobre ella, reduciéndose de esta manera su poder de absorción, sobre todo en la parte baja del espacio drenado. Por otro lado a medida que se gana altitud las temperaturas son más bajas pero el aire es más seco, por lo tanto éste está en disposición de adquirir más agua (cuadro 18 y fig. 17).

CUADRO 18
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MEDIA ANUAL

Estación	mm	Estación	mm
Compostela	1017.4	Miravalles	943.9
Jalcocotlán	984.0	Paso de Arocha	1215.9
Jalisco	942.6	Zacualpan	1210.5

Aplicando la metodología de las isolneas, la altura media de la evapotranspiración potencial de la cuenca en estudio es aproximadamente de 1027.8 mm.

En virtud de que la evapotranspiración potencial, como lo indica su nombre, no representa efectivamente el agua perdida por evaporación, pues como se pudo ver sus valores se disparan en relación con la precipitación, que es realmente el agua con que se cuenta. Thronthwaite* considera que para que dicho elemento sea real se

* Idem.

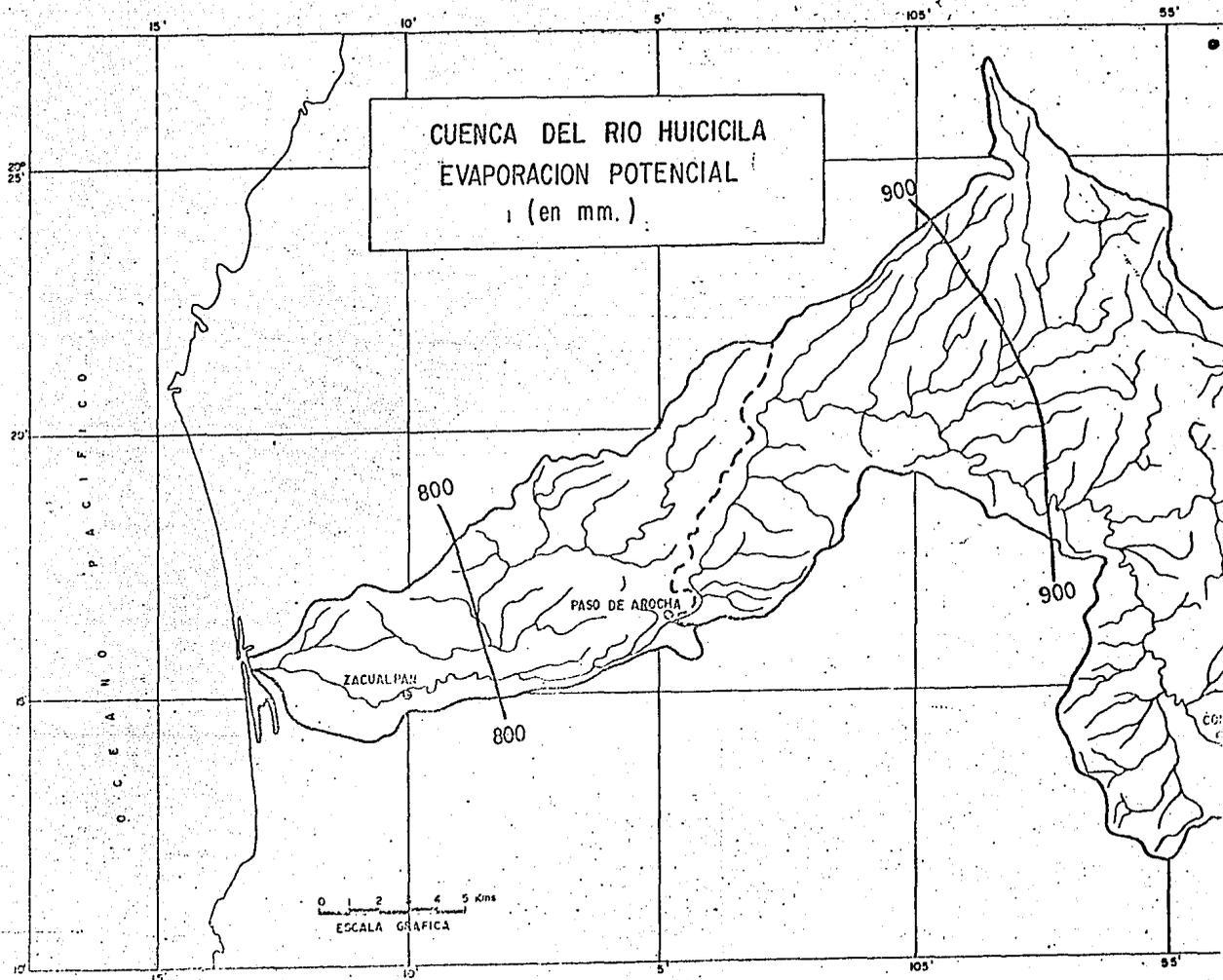


FIG. 17

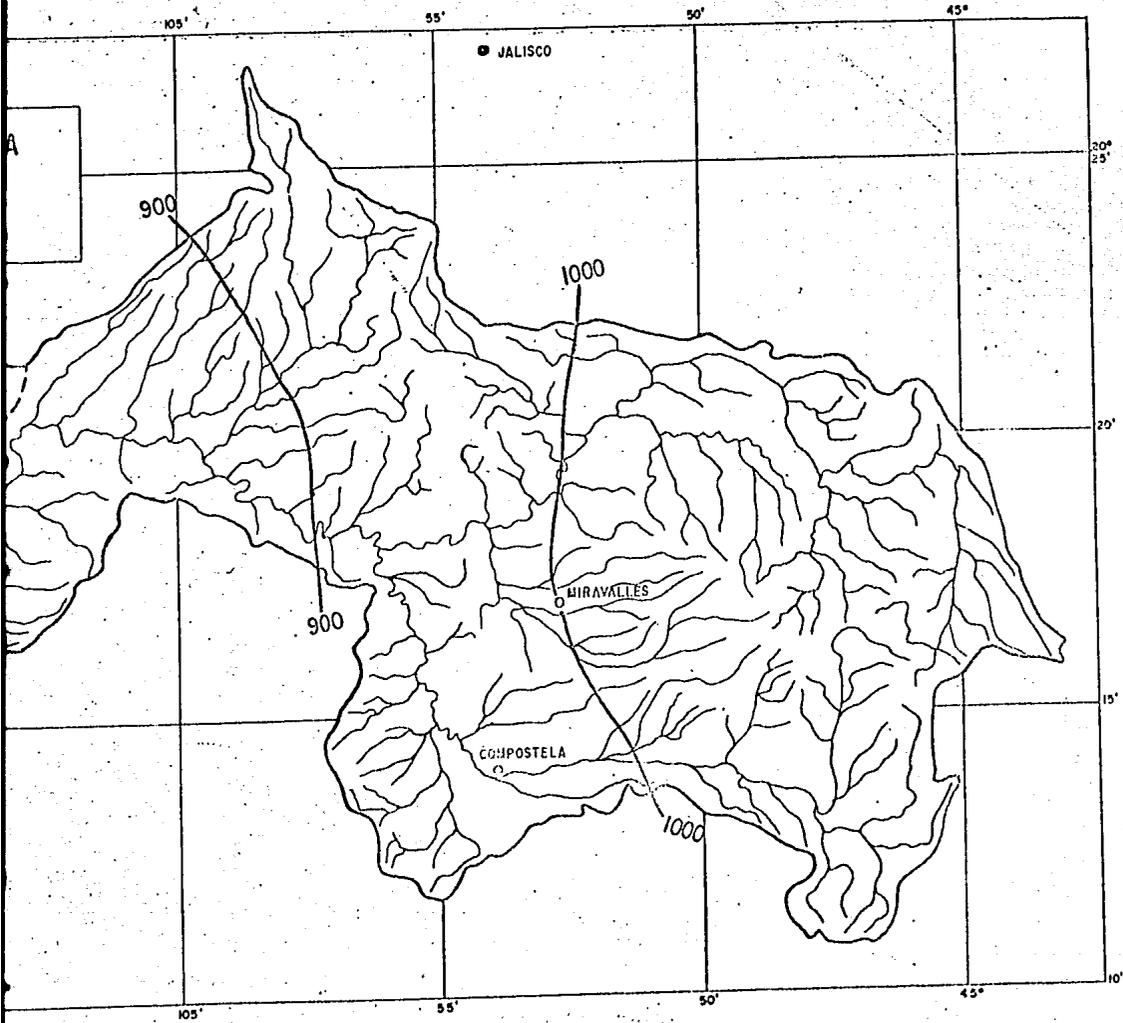


FIG. 17

deben tomar en cuenta no sólo los aportes pluviales sino además la humedad del subsuelo, sin embargo como gran parte de estos dos parámetros se incorporan al escurrimiento, entonces la evapotranspiración real se iguala a la altura de lo que llovió, aún sin menospreciar la importancia del agua subterránea, cuando la lluvia es menor que la evapotranspiración potencial.

En lo referente al comportamiento medio anual de la evapotranspiración real en la cuenca en estudio, se tomó en consideración los datos del cuadro 19, cuyo procesamiento da como resultado los valores del cuadro 20 mismos que son representados en la figura 18; como se puede apreciar, el cuadro 17 y, por ende, la figura 15 que representan a la evapotranspiración potencial, se modifican sustancialmente ya que la evaporación real del mes de abril al mes de junio aumenta a razón de 8.0 mm en promedio mensual, mismo que se ve incrementado en 110.7 mm desde este mes al de julio en el que se registra la mayor altura. El descenso de la curva a partir del mes de julio es de 10.2 mm en promedio cada mes hasta el mes de octubre y desde este último al de noviembre ocurre el abatimiento medio más importante, pues este es de 94.6 mm. En el mes de diciembre asciende un poco la evapotranspiración real, esto es, 16.2 mm. Por otra parte, el decremento general es de aproximadamente 16.8 mm en promedio mensual y se presenta en un lapso que va del mes de diciembre al mes de abril.

Para conocer las causas sobre tal comportamiento hay que pensar en la temperatura como generadora del poder evaporante de la atmósfera, que también está representado por la evapotranspiración potencial, y en la precipitación como proveedora del elemento a evaporarse (fig. 19). Al establecerse la relación gráfica, ella indica

CUADRO 19
EVAPOTRANSPIRACION REAL MEDIA MENSUAL*

<u>Estación</u> Mes	Compostela	Jalcocotlan	Jalisco	Miravalles	P. de Arocha	Zacualpan
Enero	18.0	24.5	46.2	21.8	19.6	26.3
Febrero	17.5	11.4	0.0	14.1	12.0	19.0
Marzo	10.9	5.6	1.7	10.2	6.9	18.8
Abril	4.8	2.0	1.2	3.9	12.0	2.2
Mayo	0.3	0.2	13.1	4.8	21.1	2.1
Junio	119.7	103.1	102.1	102.1	156.7	124.6
Julio	120.5	110.1	96.8	107.8	160.4	161.4
Agosto	112.9	105.1	103.1	104.6	158.6	158.6
Septiembre	104.8	101.5	94.3	96.6	145.8	145.8
Octubre	57.6	100.4	80.9	85.1	136.8	76.2
Noviembre	6.9	25.7	17.3	5.4	13.7	16.5
Diciembre	43.9	37.2	3.9	28.7	28.3	28.8

* en mm.

que el aumento de la evapotranspiración real del mes de abril (3.2 mm) al mes de junio (19.4 mm) resulta igual a la precipitación, ya que no existe agua disponible a pesar de la disponibilidad atmosférica para absorberla, lo cual es una consecuencia de las temperaturas elevadas en estos tres meses. Por otra parte, el aumento más significativo ocurre el mes de junio al mes de julio, con 111.3 mm más, manteniéndose alta en los meses siguientes con apenas una diferencia media de 22.1 mm entre los meses de julio a octubre. En esta época, la alta capacidad del aire para retener agua es satisfecha como resultado de fuertes y cuantiosas precipitaciones propias de la estación, por lo tanto, la evaporación potencial y la evaporación real igualan su marcha en este lapso. Por otro lado, el abatimiento más significativo de la evapotranspiración real tiene lugar entre los meses de octubre y noviembre, cuya diferencia, como ya se señaló, es de 94.6 mm, lo cual resulta lógico pues la temperatura presenta un marcado descenso y con ella la capacidad de la atmósfera para adquirir humedad; además, la estación de lluvias ha finalizado y las escasas precipitaciones no alcanzan a cubrir las necesidades del aire. Del mes de noviembre (14.0 mm) al mes de diciembre (30.2 mm) el inicio de las lluvias invernales produce un breve aumento de evaporación real a pesar de las relativamente bajas en la temperatura, pero capaz de imprimir al aire una alta eficiencia para contener agua, sin embargo, esta necesidad sólo es cubierta por la altura de la precipitación. El descenso de la evaporación real se efectúa más lentamente, es a partir del mes de diciembre al mes de abril (3.2 mm) en relación al aumento de calor, sobre todo desde el mes de enero, por ende, ese decremento paulatino de la evapotranspiración real es cubierto por las escasas precipitaciones.

CUADRO 20
EVAPOTRANSPIRACION REAL MEDIA MENSUAL DE LA CUENCA

Mes	mm	Mes	mm
Enero	26.9	Julio	130.7
Febrero	15.5	Agosto	126.0
Marzo	8.0	Septiembre	117.0
Abril	3.2	Octubre	108.6
Mayo	7.2	Noviembre	14.0
Junio	19.4	Diciembre	30.2

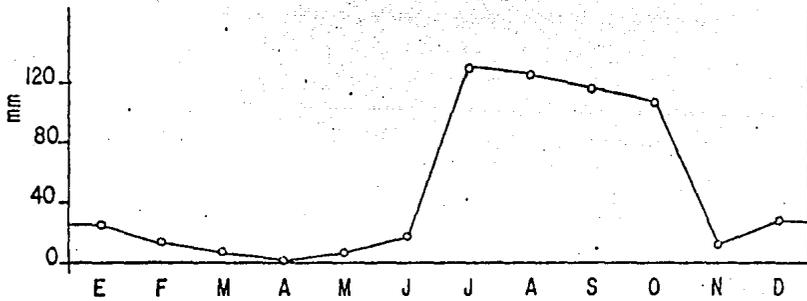


Fig. 18

La distribución territorial de la evapotranspiración real en la cuenca del río en estudio se presenta en relación inversa a la altitud general del terreno, sin embargo cerca de la costa la evaporación directa del Océano Pacífico no logra saturar el aire que lo cubre, ya que las elevadas temperaturas le dan una amplia capacidad a la atmósfera para que a ella se sumen los aportes pluviales de la zona que cubre la estación meteorológica Zacualpan (810.6), pero lo anterior se comprueba más claramente en la estación Paso de Arocha (871.9 mm), ya que es donde normalmente se concentran las lluvias. Desde la estación Paso de Arocha la evapora-

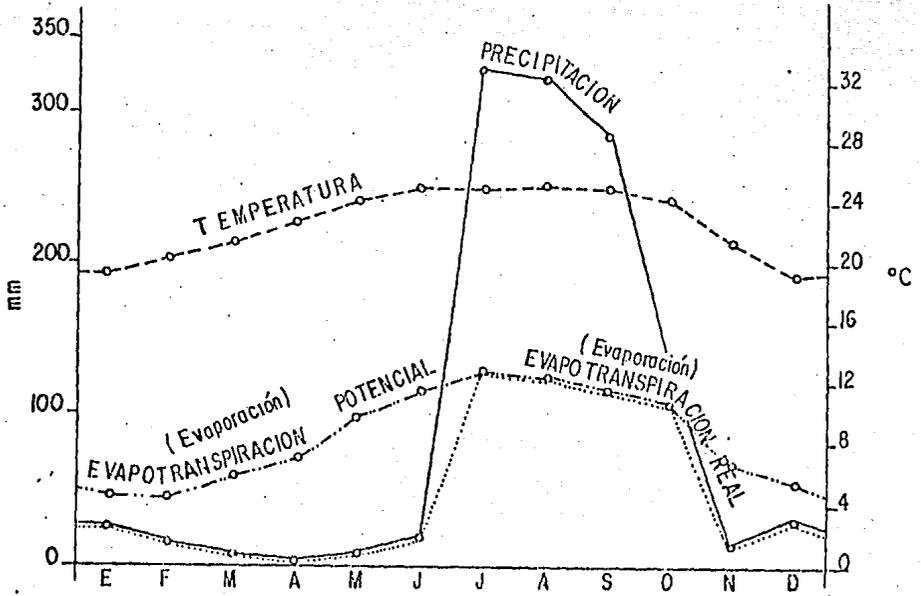


FIG. 19

ción real decrece a medida que se gana altitud; así lo demuestra el valor registrado en la estación meteorológica Jalisco (584.5 mm) porque el aire va perdiendo su capacidad para absorber agua, pues las temperaturas son menores, además de que existe menor disponibilidad de agua (cuadro 21 y figura 20).

CUADRO 21

EVAPOTRANSPIRACION MEDIA ANUAL

Estación	mm	Estación	mm
Compostela	639.9	Miravalles	584.5
Jalcocotlán	626.8	Paso de Arocha	871.9
Jalisco	560.6	Zacualpar	310.6

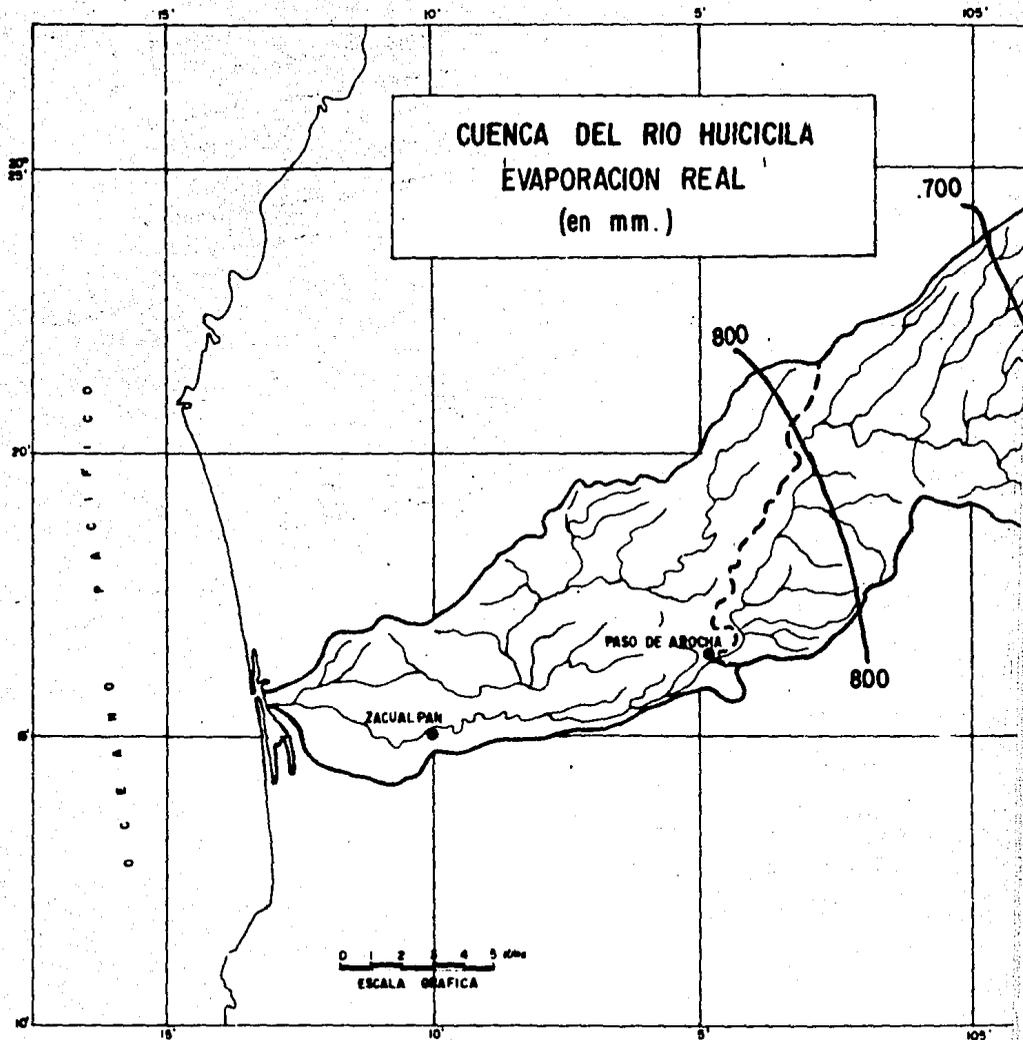
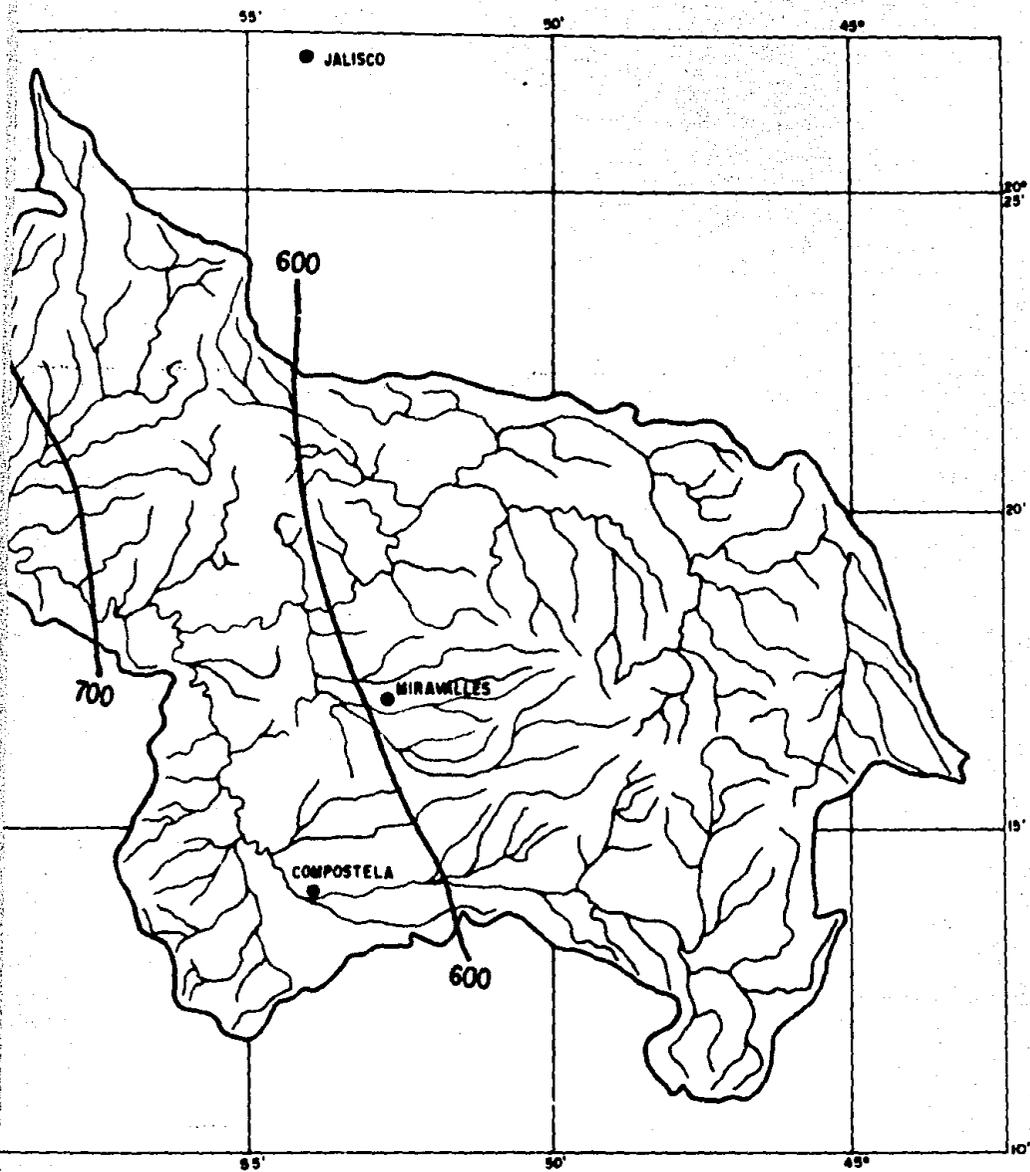


FIG.



La altura media anual de la evapotranspiración real de la cuenca del río Huicicila es de 641.4 mm.

Para corroborar la diferencia entre los dos tipos de evaporación basta con observar el cuadro 22 y la gráfica de la figura 21 cuya curva representa el déficit de agua en el aire en relación con la humedad que realmente contiene, dicho trazo se interrumpe en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre porque las precipitaciones cubren dicha deficiencia.

CUADRO 22
DEFICIT DE HUMEDAD EN EL AIRE

Mes	mm	Mes	mm
Enero	22.0	Julio	0.
Febrero	31.7	Agosto	0.
Marzo	54.0	Septiembre	0.
Abril	68.3	Octubre	0.
Mayo	92.3	Noviembre	51.1
Junio	96.5	Diciembre	24.1

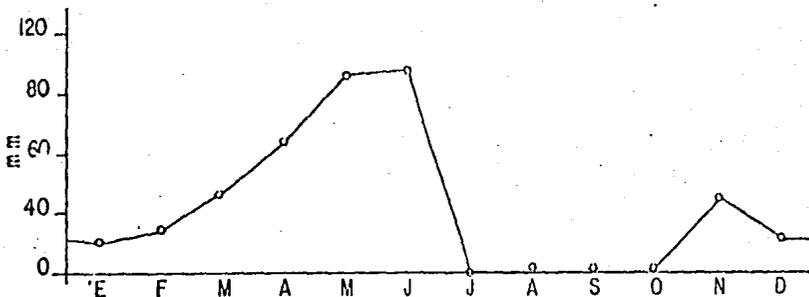


FIG. 21

4. Clima

Al hacerse la determinación y el análisis de los parámetros del clima correspondientes a cada una de las estaciones se llegó a su conocimiento.

El grupo climático que predomina en la región es cálido húmedo, con temperatura del mes más frío mayor de 18°C (A), con diversos grados de humedad, predominando las lluvias de verano (w); en otras palabras, el clima Aw₂ -cálido húmedo, el más húmedo de este grupo- predomina en la parte baja y en una faja en el centro de la cuenca. Este mismo grupo climático, pero de humedad intermedia (w₁), se interpone entre el primeramente tratado y el más seco de los cálidos húmedos (w₀), localizado al sureste.

Por otra parte, también se encuentra el clima (A)Cw₂ que corresponde al semicálido; es decir, el más cálido de los templados, con temperatura media anual mayor de 18°C, con estación lluviosa de verano, la de mayor grado de humedad de este subgrupo y con cociente de precipitación sobre temperatura superior a 55.0 mm °C. Esta zona climática se tomó de las cartas de climas de CETENAL, por las razones ya expuestas. (Fig. 22)

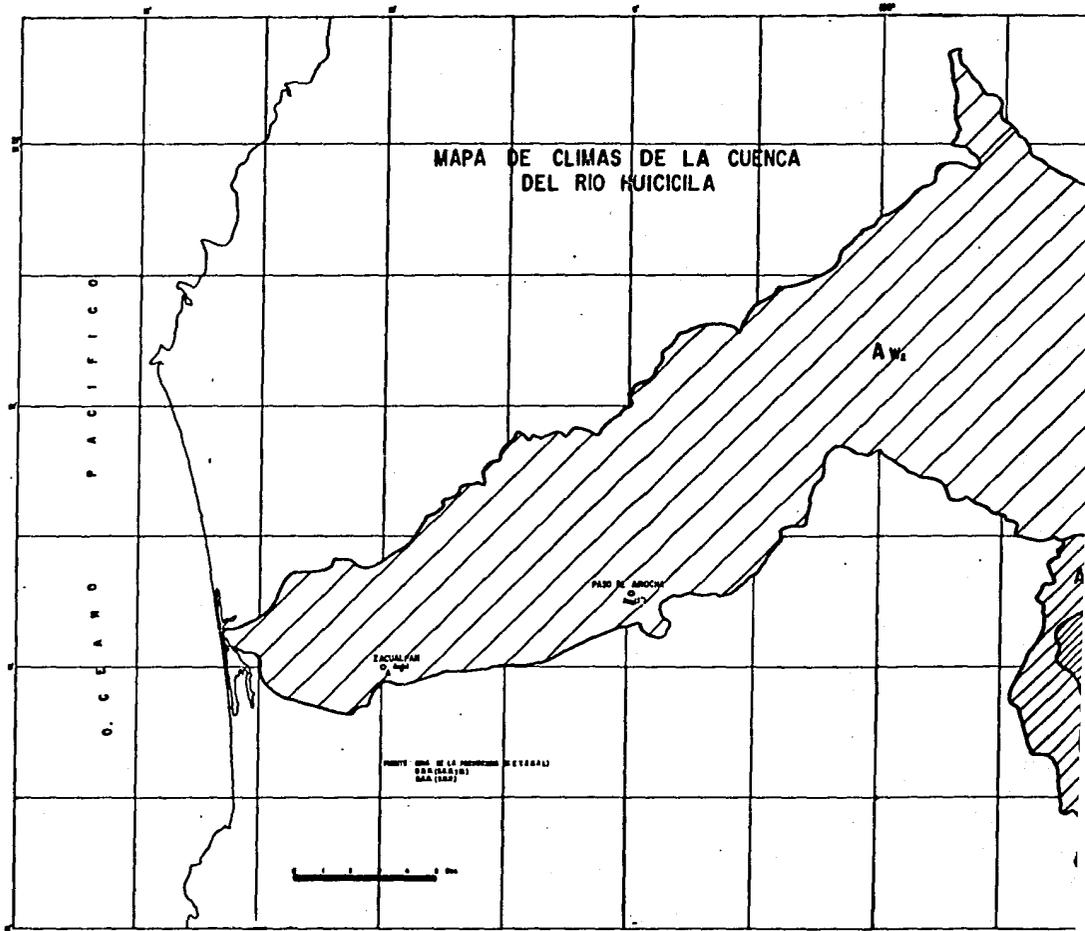


Fig. 22

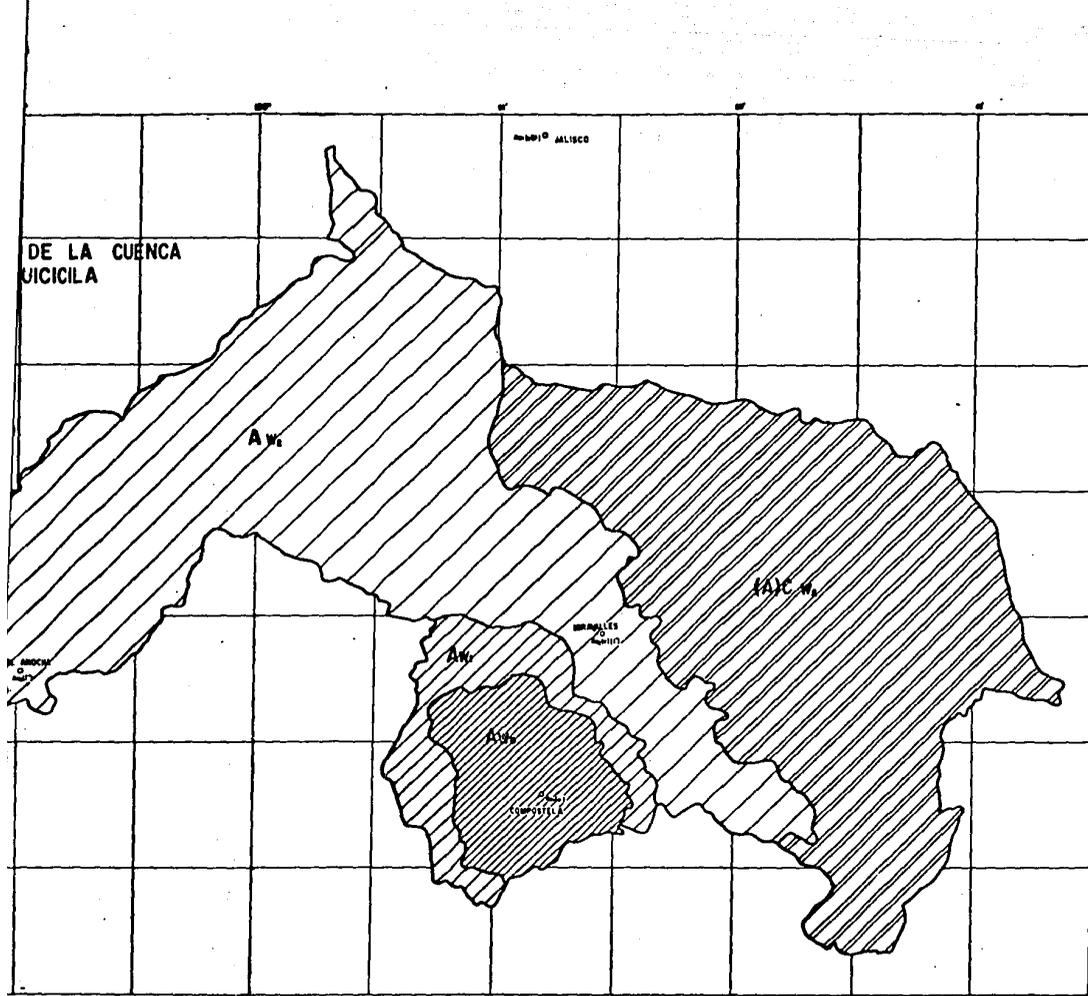


Fig. 22

Capítulo III

CARACTERISTICAS DE LA RED DE DRENAJE

GENERALIDADES. 1. Descripción. a) Río Huicicila. b) Arroyo El Asalto. c) Arroyo El Limón. d) Arroyo La Tinaja. 2. Configuración del drenaje. 3. Densidad de drenaje. 4. Densidad hidrográfica. 5. Relación de bifurcación. 6. Perfil longitudinal. 7. Pendiente media del colector general y sus principales afluentes.

GENERALIDADES

El conocimiento de la red de drenaje tiene importancia para este tipo de estudio porque sus condiciones no solamente son resultado de los factores hasta ahora tratados, esto es, producto del clima y la fisiografía, sino que, a su vez, participa en forma muy marcada en el régimen hidrológico de una corriente según las características que presenta su cauce.

1. Descripción.

a) Río Huicicila. Este escurrimiento nace a 1 800 m.s.n.m., a una distancia de 4 km al noroeste de la población de San Pedro Lagunillas, Nay. Su nombre en un principio es Arroyo Grande, y desde su origen fluye hacia el norte, hasta el sur de la Mesa de Llano Grande, en donde modifica su rumbo al poniente y, después de pasar próximo al poblado denominado La Esperanza, recibe el nombre de arroyo El Refilión que, con curso noreste-suroeste llega al lugar llamado La Curva; a partir de ese punto escurre hacia el suroeste, y en su trayectoria recibe los aportes del arroyo Chiquito, por su margen derecha, y del arroyo El Tajo por la izquierda; aguas abajo, por esta última orilla descarga en el colector general el más importante de sus

tributarios, el arroyo El Asalto. Después de la afluencia del arroyo El Asalto, el nuevo nombre del río principal es el de Arroyo Miravalles, que modifica su curso de desplazamiento hacia el noreste, describiendo en su recorrido una serie de sinuosidades al mismo tiempo que descargan en él varios arroyos, entre los más significativos: Los Cuetes, Limoncillos, Guamara, El Limón, El Capulín, La Jabalina y Las Peñas, por su margen derecha, y por la izquierda el arroyo Las Burras. Río abajo de la descarga del arroyo El Limón, el colector general se denomina Huicicila y se orienta de noreste a suroeste, pasando por las poblaciones de Parral y Zacualpan, y a escasa distancia de su desembocadura recibe al arroyo La Tinaja.

La distancia recorrida por el colector principal, desde su nacimiento hasta su desembocadura en una pequeña albufera, es de 649.4 km; posteriormente este cuerpo de agua se comunica al Océano Pacífico.

b) Arroyo El Asalto. Se origina a una altitud de 1 740.0 m., con el nombre de arroyo El Potrero; inicialmente escurre de norte a sur, hasta la afluencia del arroyo La Turbera, donde cambia su nombre por el de arroyo Compostela; aguas abajo se dirige al oeste, pasando por la ciudad de donde tomó su denominación, y posteriormente modifica su curso de sureste a noroeste y recibe por su margen derecha los aportes de los arroyos El Arrabán y Los Capulines, y por la izquierda la de Los Cafés; posteriormente el Arroyo Compostela recibe el nombre de El Asalto, para, finalmente, terminar en el río principal cuando ha recorrido 76.1 km.

c) Arroyo El Limón. Desciende desde Cerro Alto, a 2 240.0 m. s.n.m.; su nombre inicial es arroyo El Chorrillo, y después El Limón; su recorrido es de 88.3 km y su principal tributario es el

arroyo Las Juntas.

d) Arroyo La Tinaja. Empieza a fluir desde el cerro La Ca-fecillosa que tiene una altitud de 720.0 m; su desplazamiento es de noreste a suroeste, y aguas abajo del rancho Las Juntas el arroyo El Oro descarga sus demasfas en él. Posteriormente, al recorrer 31.6 km, desemboca en el río Huicicila. (Fig. 23)

En el cuadro 23 se consignan los nombres de los principa-les escurrimientos que conforman el drenaje de la cuenca del río Huicicila.

Los escurrimientos más frecuentes en la cuenca en estudio son intermitentes. Su longitud total es de 1 783.5 km, misma que representa el 93.466 % del drenaje total. Este tipo de corrientes está determinado por las condiciones climáticas, porque dependen exclusivamente de las lluvias que, como se mencionó en el inciso referen-te, son más frecuentes en la estación de verano y principios del otoño.

Las corrientes perennes representan el 6.534 %, con una longitud de 124.7 km; y su escurrimiento, al igual que los demás, también recibe influencia de las precipitaciones, pero el existente en el estiaje proviene de las reservas subterráneas que muchas veces afloran en forma de manantiales que descargan en sus cauces. (Fig. 24).

En general, la longitud total de la red de drenaje de la cuenca del río Huicicila es de 1 908.2 km y drena una superficie de 570.08 km².

2. Configuración del drenaje. Las modalidades de avena-miento o configuración del drenaje de una cuenca revelan las carac-

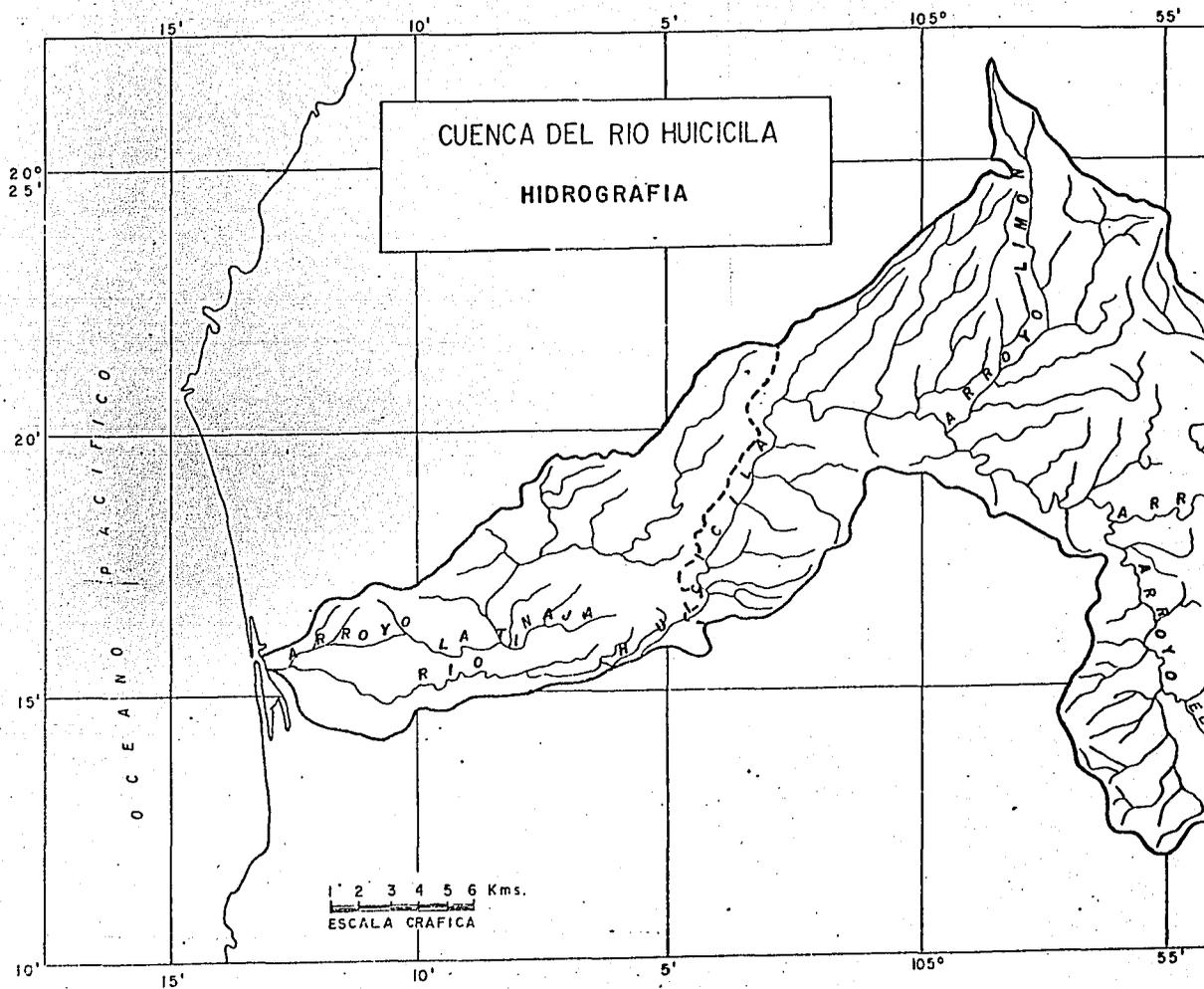


FIG. 23

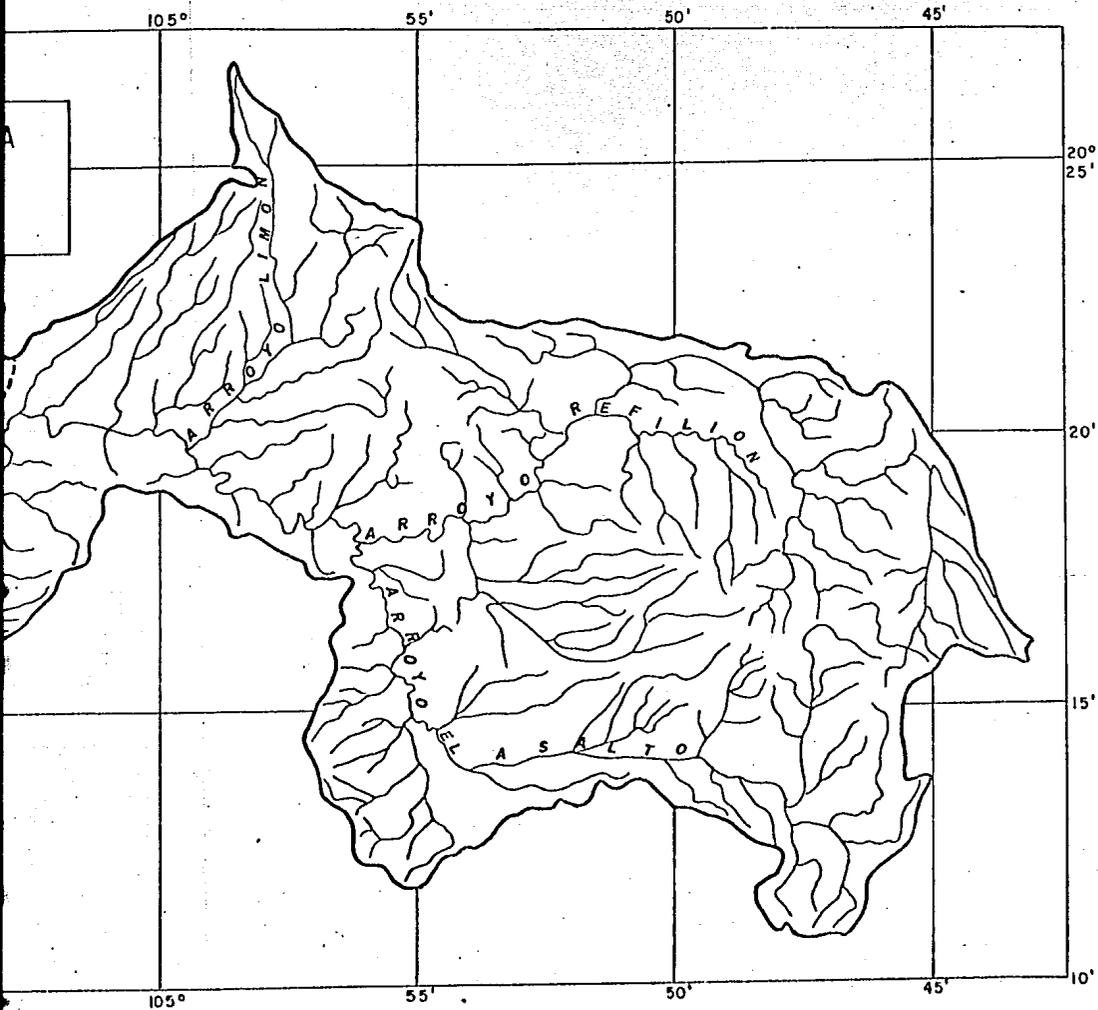


FIG. 23

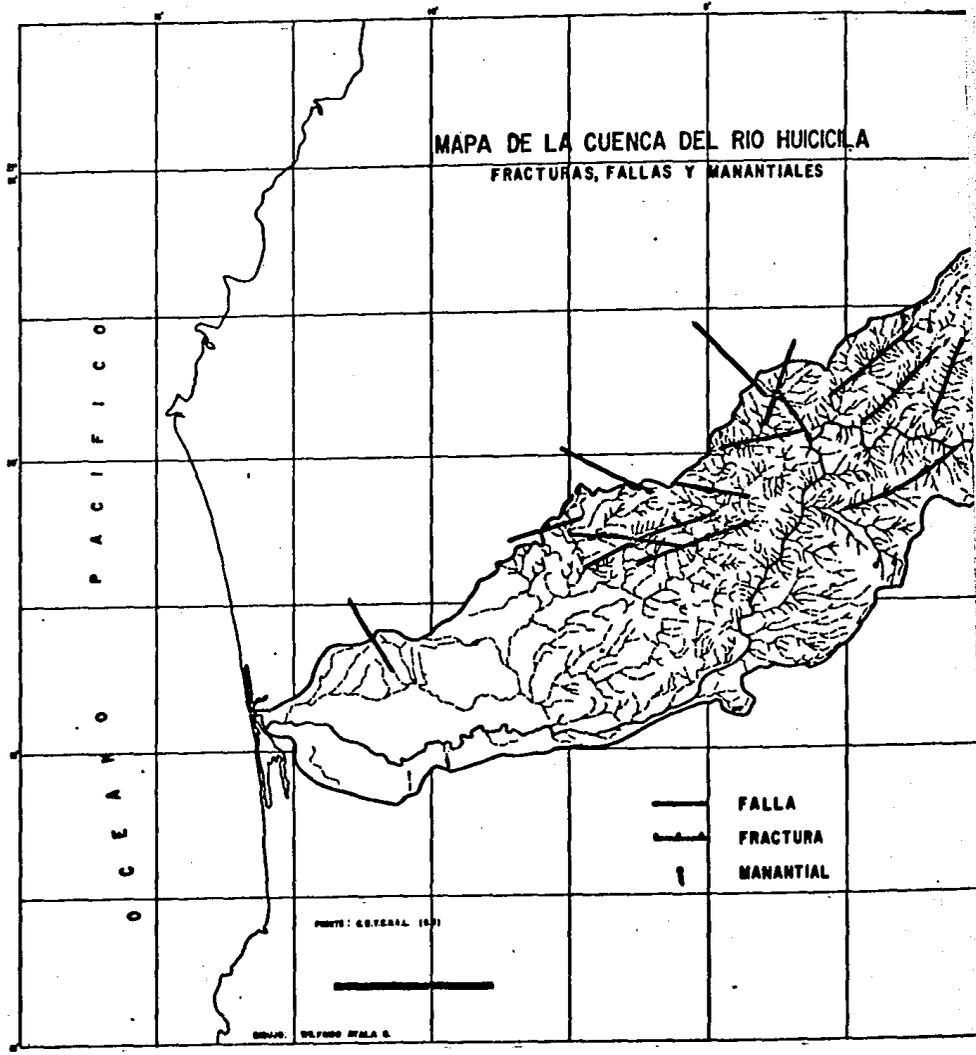
CUADRO 23

CORRIENTES PRINCIPALES QUE CONFORMAN EL DRENAJE DE LA CUENCA DEL RIO HUICICILA

COLECTOR GENERAL: Río Huicicila								
Afluentes	O.	M.a. +	Subafluentes	O.	M.a. +	Sub-subafluentes	O.	M.a. +
Majadas	4°	D						
El Atajo	3°	D						
Los Cuates	4°	D						
Limoncillos	3°	D						
Guamara	3°	D						
El Limón	5°	D	Cuanelillos	3°	D			
			Las Juntas	4°	D	El Salto	3°	D
			La Pitaya	3°	D			
			El Pozo	3°	D			
El Naranja	4°	D						
Los Fresnos	4°	D						
El Capulín	4°	D						
La Jabalina	3°	D						
Las Peñas	3°	D						
La Tinaja	5°	D	El Oro	5°	D			
La Víbora	5°	I						
Chiquito	5°	I	Realito	4°	D			
			Agua Hedionda	4°	D	Batillero	3°	D
						El Oso	3°	I
El Asalto	5°	I	El Arrayán	4°	D			
			Los Capulines	4°	D			
			Las Tinajas	4°	D			
			Tepeguaje	3°	I			
			La Taberna	4°	I	Maruchina	3°	D
						Colorado	3°	I
Los Cafés	2°	I						
Las Burras	4°	I						

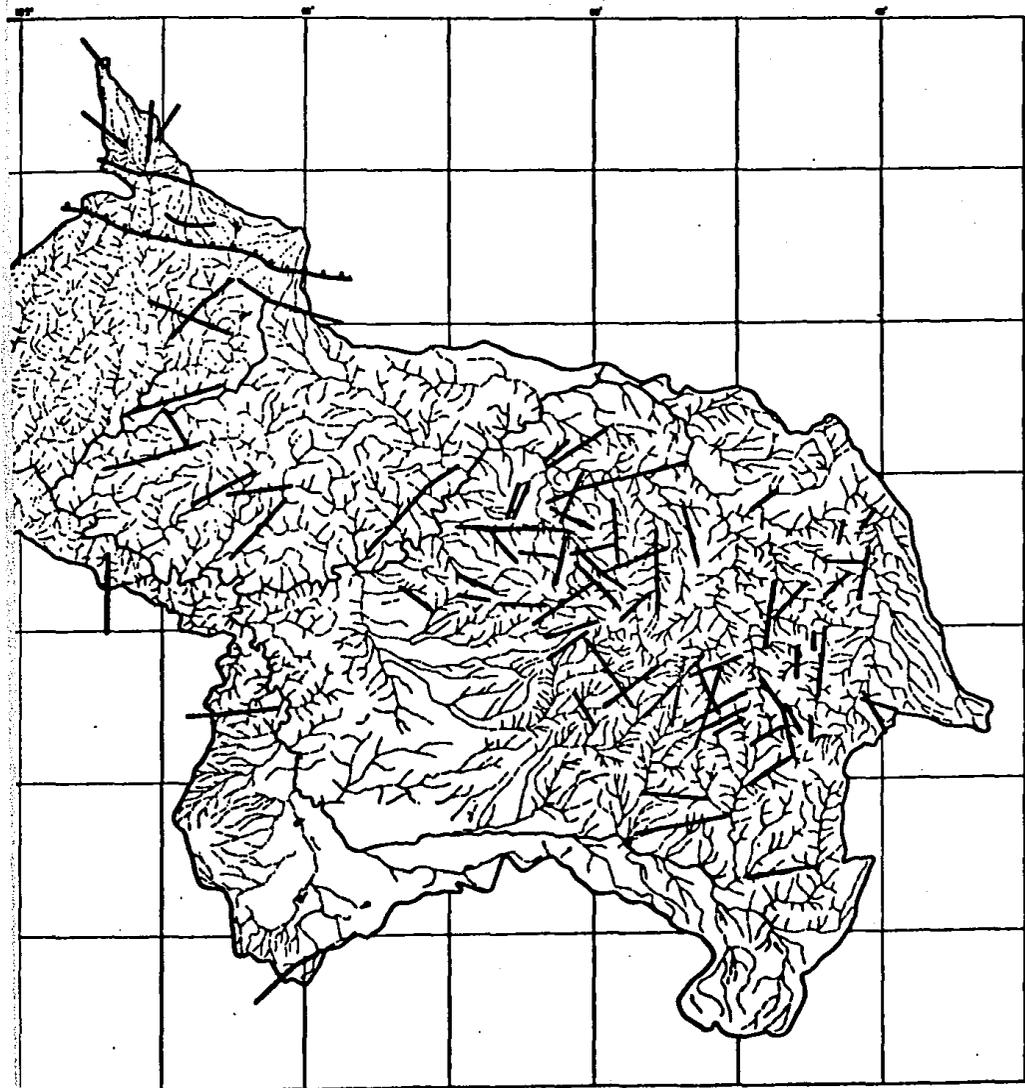
NOTA: Todas estas corrientes están consideradas como arroyos.

+ Margen de afluencia, D = Derecha, I = Izquierda y O = Orden.



-->
Continua 1

Fig.



terísticas del terreno que drenan.

La modalidad de avenamiento que predomina en la cuenca del río Huicicila es la dendrítica o arborescente, en la que los principales factores son la geología y la topografía; las ramificaciones que presenta el escurrimiento se unen a las de mayor jerarquía, formando ángulos agudos de abertura variable.

Por otra parte, debido a que la cuenca se localiza en una región de gran actividad tectónica, las líneas de drenaje se ajustan a las zonas de debilidad del terreno; es decir, los canales siguen el trazado de algunas de las fallas y fracturas de la superficie (fig. 25).

En la escasa superficie de la llanura costera, el río principal presenta una serie de serpenteados sobre el material de acarreo, que no son más que meandros de llanura aluvial.

3. Densidad de drenaje. La densidad de la red hidrográfica tiene importancia por la relación que presenta con la pendiente del terreno y cantidad de lluvias. Una alta densidad de drenaje significa mejor desalojamiento del agua, acompañado de fuertes corrientes.

Esta característica se determina aplicando la siguiente fórmula:

$$Dd = \frac{\sum Le}{A}$$

en la que:

Dd = Densidad de drenaje en km/km^2 .

$\sum Le$ = Longitud total de los escurrimientos en km .

A = Area de la cuenca en km^2 .

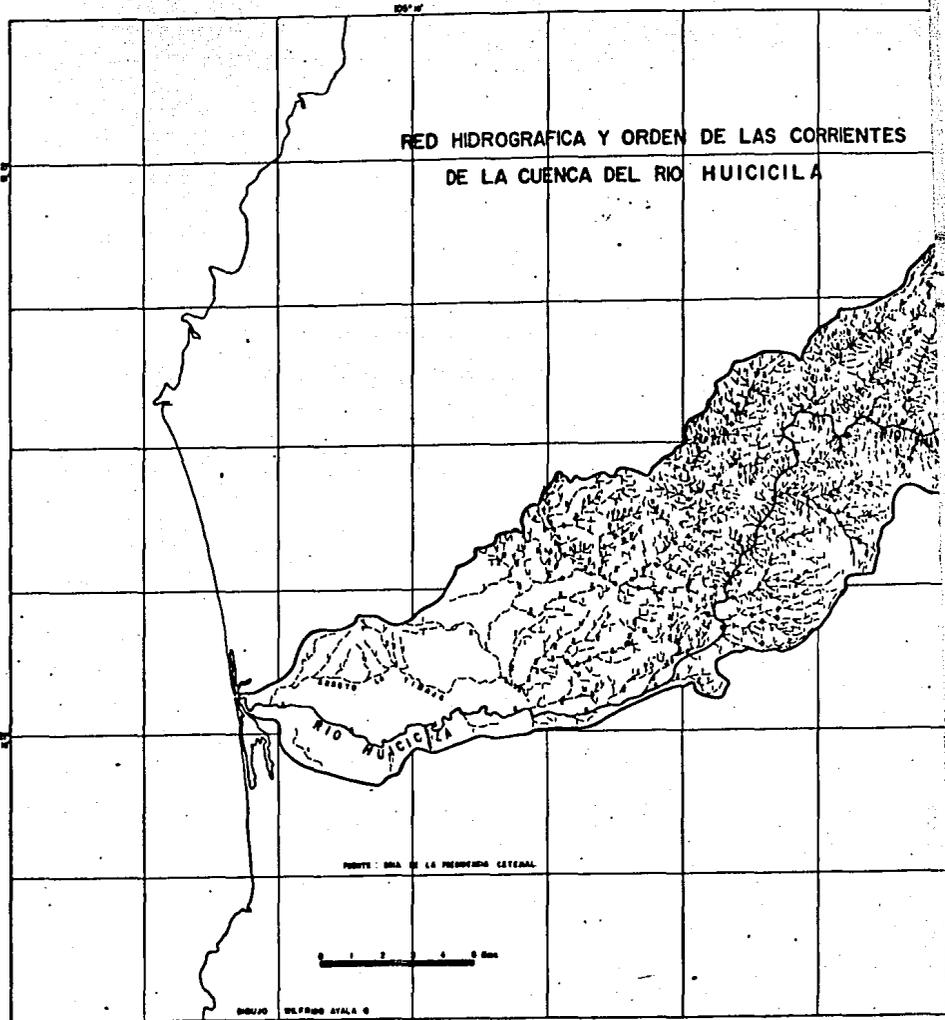
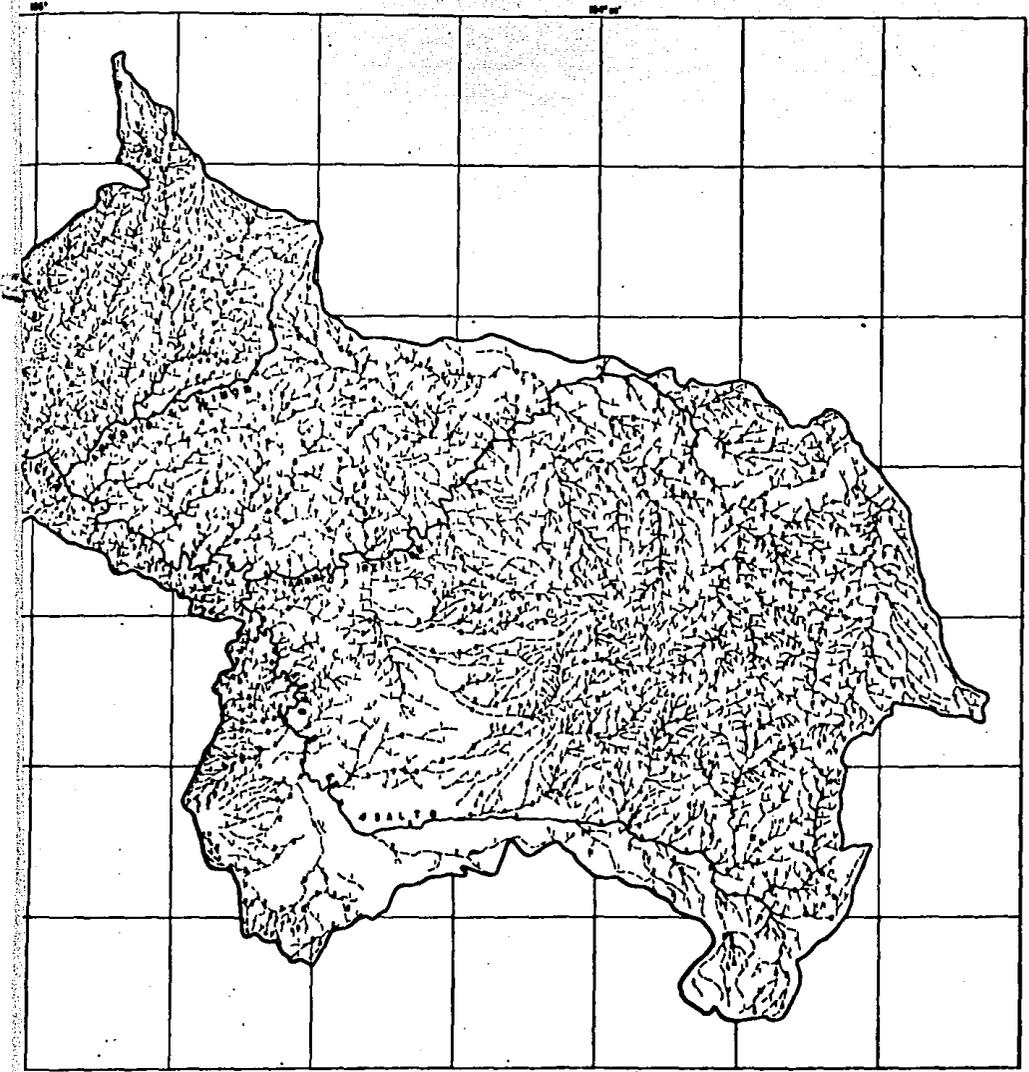


Fig.

-->
Continua 1



Para la cuenca del río Huicicila se obtuvo 3.347 km/km^2 ; como es de esperarse, este dato no es homogéneo para toda la cuenca, sino más bien medio, ya que si se observa la figura 23, las corrientes de mayor longitud corresponden al río principal y a determinados tributarios localizados en las partes de menor pendiente del terreno, a diferencia de las zonas más escarpadas, principalmente en la cabecera, en donde los canales son sumamente cortos y con escurrimiento mínimo indicado por su carácter intermitente, en contraste con los primeros que, además de recibir diversas descargas superficiales también son alimentados con los aportes del subsuelo, algunos de ellos en forma de manantiales.

4. Densidad hidrográfica. Esta característica que presenta la red fluvial se debe a la naturaleza litológica del área drenada, la pendiente del terreno y la climatología de la zona (principalmente la precipitación). Este aspecto permite conocer la eficiencia del desalojamiento del agua del suelo, aunque para ello debe tenerse en cuenta la distribución de los canales de escurrimiento dentro de la cuenca.

Para determinar la densidad de las corrientes de la cuenca en estudio, se contó cada uno de los escurrimientos intermitentes y perennes, dando un total de 2 797 y se aplicó la fórmula:

$$Dh = \frac{Nc}{A}$$

en la que:

Dh = Densidad hidrográfica.

Nc = Número de corrientes = 2 797.

A = Area de la cuenca = 570.08 km^2 .

Al llevar a cabo la relación del número de corrientes y la superficie de la cuenca del río Huicicila, se determinó una densidad hidrográfica de 4.907 corrientes por kilómetro cuadrado.

Al analizar la figura 23 puede observarse mayor número de canales en la parte alta de la cuenca debido a que en ella las pendientes son más bruscas, por lo que el índice determinado representa la distribución media.

Con respecto a la jerarquización y determinación del número de canales en la cuenca en cuestión, se utilizó una carta topográfica de escala 1:50 000 y, de acuerdo con ésta, se determinó, para el colector general, el 6° orden.

En la figura 24 puede verse la mencionada ordenación, misma que puede cotejarse con el cuadro 24 en el que se hace un resumen de los resultados obtenidos; también se incluye la longitud global de las corrientes del mismo orden.

Debido a que las pendientes del terreno que drena este río son muy fuertes, los escurrimientos formadores de la red son bastante cortos, sobre todo en la parte media y alta de la cuenca, como consta en la figura 2 .

5. Relación de bifurcación. La relación de bifurcación indica el grado de desarrollo de la red fluvial de una cuenca y se conoce mediante la siguiente fórmula:

$$Rb = \frac{Fc}{Fc + 1}$$

en donde:

* Maderey, L. E. "Características físicas de la cuenca del río Tizar". Boletín del Instituto de Geografía. Vol. III, p. 31. UNAM. México, 1970.

Rb = Relación de bifurcación.

Fc = Frecuencia de los canales de un orden considerado.

Fc + 1 = Frecuencia de los canales de orden inmediato superior al anterior.

Al aplicar la citada fórmula con base en los datos del cuadro 24, se determinó una relación de bifurcación para la cuenca del río Huicicila, de 4.66, lo cual indica que, de acuerdo con esta relación entre 3 y 5, es un valor alto.

CUADRO 24

CÁRACTERISTICAS DEL DRENAJE PARA EL CALCULO DE LA RELACION DE BIFURCACION

Orden	Frecuencia	Logaritmo frecuencia	Extensión total en Km	Extensión media en Km	Relación de bifurcación
1	2 193	3.341039	1 194.7	0.5447	4.2
2	483	2.683947	385.5	0.7981	5.3
3	92	1.963788	134.5	1.4619	4.4
4	22	1.342423	76.9	3.4954	3.4
5	6	0.778151	57.6	9.6000	6.0
6	1	0.000000	59.0	59.0000	-
	2 797		1 908.2	0.6822	

En la figura 26 la relación de bifurcación está representada por el antilogaritmo del número de canales y el orden de los mismos.

6. Perfil longitudinal. El perfil longitudinal de una corriente indica el grado de evolución que ha logrado dicho escurrimiento a lo largo de su curso; esto es, el avance alcanzado hacia el nivel de base; su representación gráfica se lleva a cabo teniendo como pará-

metros la longitud del curso y la altura del terreno (cuadros 25, 26, 27 y 28).

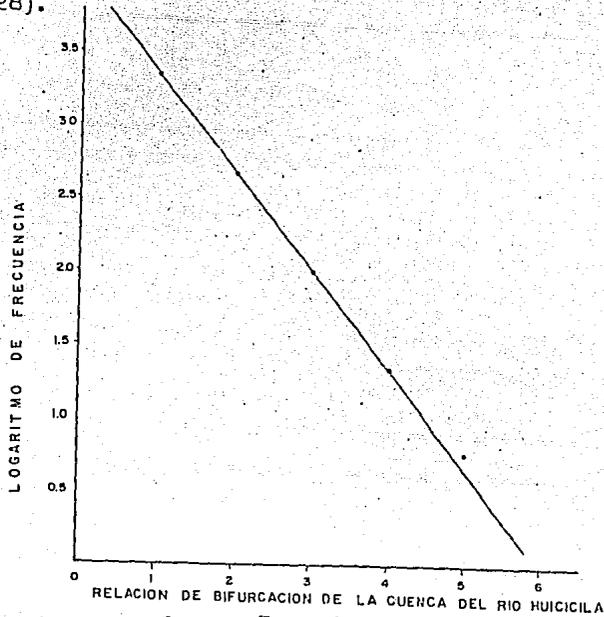


Fig. 26

CUADRO 25

CALCULO DEL PERFIL LONGITUDINAL DEL RIO HUICICILA

Altitud en m	Longitud en Km	Longitud acumulada en Km
1700 - 1800	0.1	0.1
1600 - 1700	0.5	0.6
1500 - 1600	1.5	2.1
1400 - 1500	4.0	6.1
1300 - 1400	6.5	12.6
1200 - 1300	12.2	24.8
1100 - 1200	14.2	39.0
1000 - 1100	17.8	56.8
900 - 1000	24.4	81.2
800 - 900	34.0	115.2
700 - 800	41.0	146.2
600 - 700	46.0	202.2
500 - 600	49.8	252.0
400 - 500	53.2	305.2

CUADRO 25 (continuación)

Altitud en m	Longitud en Km	Longitud acumulada en Km
300 - 400	56.0	361.2
200 - 300	59.8	421.0
100 - 200	65.6	486.6
0 - 100	163.3	649.9

CUADRO 26

CALCULO DEL PERFIL LONGITUDINAL DEL ARROYO LA TINAJA

Altitud en m	Longitud en Km	Longitud acumulada en Km
700 - 720	0.1	0.1
600 - 700	0.3	0.4
500 - 600	0.5	0.9
400 - 500	0.3	1.2
300 - 400	1.7	2.9
200 - 300	1.5	4.4
100 - 200	4.7	9.1
0 - 100	22.5	31.6

CUADRO 27

CALCULO DEL PERFIL LONGITUDINAL DEL ARROYO EL LIMON

Altitud en m	Longitud en Km	Longitud acumulada en Km
2200 - 2240	0.1	0.1
2100 - 2200	0.2	0.3
2000 - 2100	0.5	0.8
1900 - 2000	0.8	1.6
1800 - 1900	1.0	2.6
1700 - 1800	1.2	3.8
1600 - 1700	1.5	5.3

CUADRO 27 (continuación)

Altitud en m	Longitud en Km	Longitud acumulada en Km
1500 - 1600	1.9	7.2
1400 - 1500	2.2	9.4
1300 - 1400	3.0	12.4
1200 - 1300	4.1	16.5
1100 - 1200	5.7	22.2
1000 - 1100	6.8	29.0
900 - 1000	8.0	37.0
800 - 900	10.1	47.1
700 - 800	12.4	59.5
600 - 700	13.7	73.2
500 - 600	15.0	88.2
480 - 500	0.1	88.3

CUADRO 28

CALCULO DEL PERFIL LONGITUDINAL DEL ARROYO EL ASALTO

Altitud en m	Longitud en Km	Longitud acumulada en Km
1700 - 1740	0.05	0.05
1600 - 1700	0.1	0.15
1500 - 1600	0.4	0.55
1400 - 1500	1.7	2.25
1300 - 1400	2.3	4.55
1200 - 1300	4.1	8.65
1100 - 1200	5.5	14.15
1000 - 1100	7.9	22.05
900 - 1000	11.0	33.05
800 - 900	16.3	49.35
780 - 800	26.8	76.15

En las figuras 27 y 28 se presentan los perfiles longitudinales del río Huicicila y sus principales afluentes, a diferentes

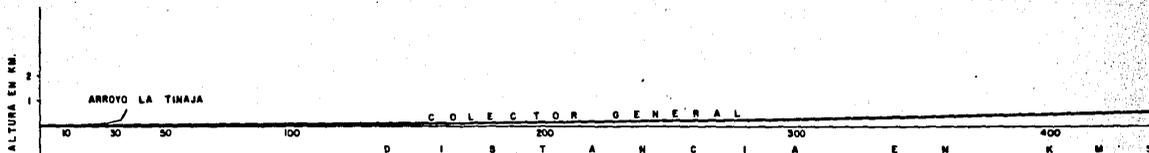
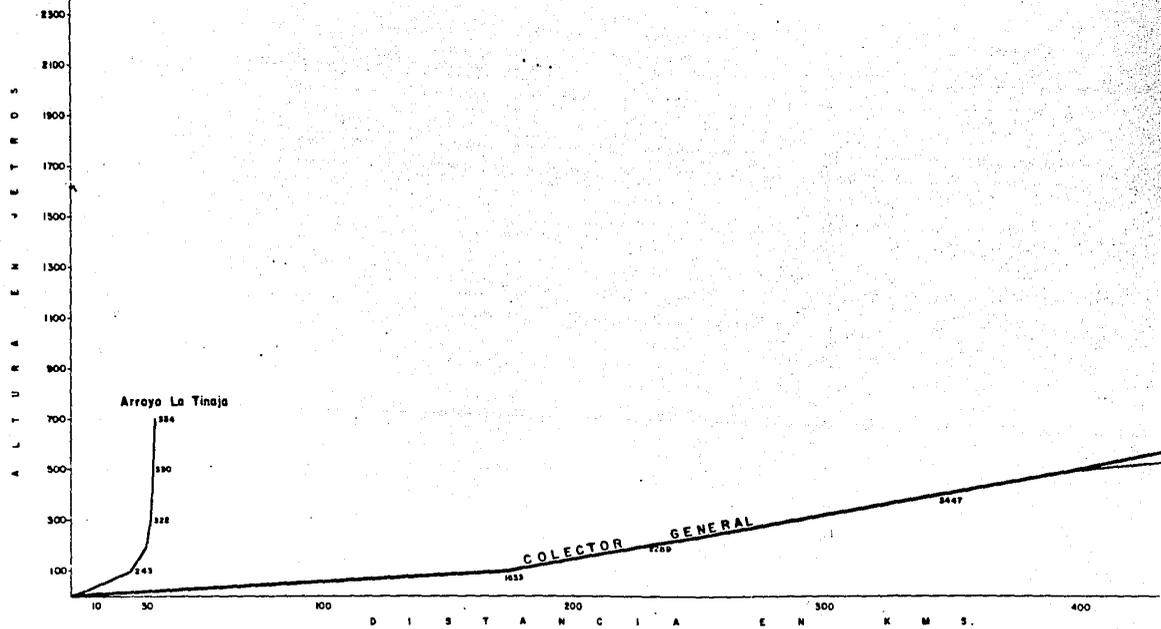


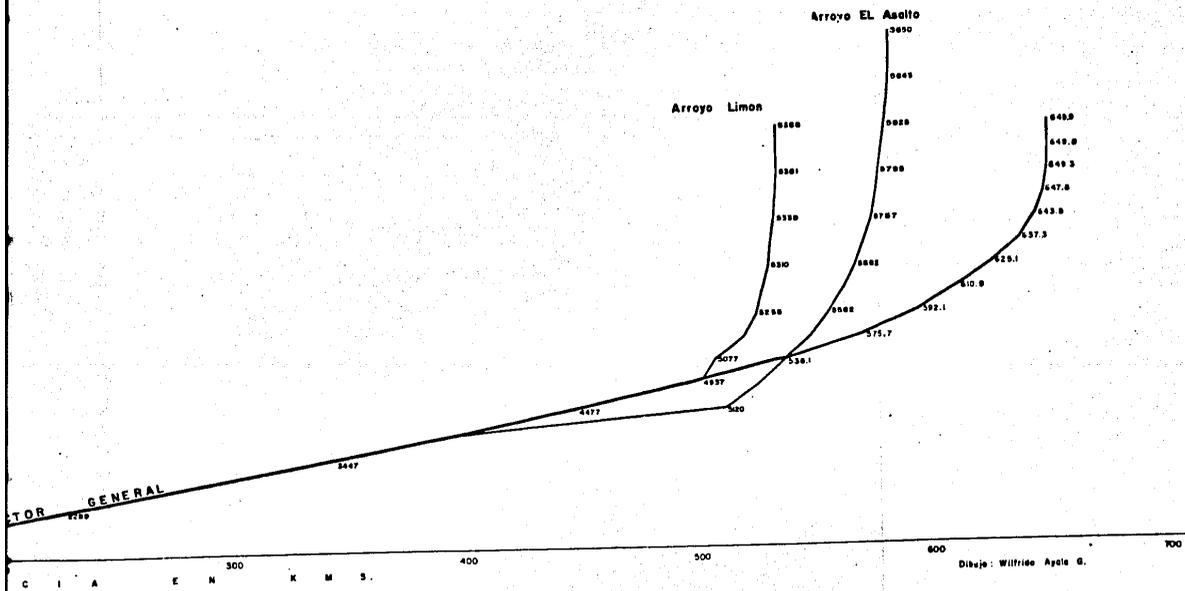
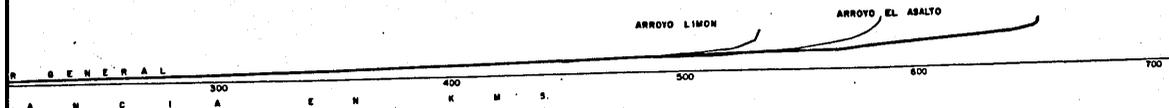
Fig. 27



PERFIL LONGITUDINAL DEL RIO HUICICILA

Fig. 28

-->
Continua 1



PROFIL LONGITUDINAL DEL RIO HUICICILA

escalas, y en ellas puede advertirse que las pendientes más fuertes corresponden a las cabeceras o lugares de nacimiento, mientras que en el resto de sus trayectorias se aprecian rupturas de pendiente de menor significación. Estas características dan una idea de la naturaleza tan desigual que presenta el terreno en cuanto a su grado de erosión y aluviamiento, y la capacidad y competencia de las corrientes fluviales.

La evolución alcanzada por estos cauces dista mucho del nivel de base o del equilibrio total, debido a las fuertes pendientes que conforman su perfil longitudinal.

7. Pendiente media del colector general y sus principales afluentes. La pendiente media de una corriente (P_{mc}) se determina por la relación existente entre la diferencia de la altura de su nacimiento y la altura de su desembocadura, o hasta la altura considerada, entre la longitud del cauce; así se tiene que:

$$P_{mc} = \frac{H_1 - H_2}{L}$$

substituyendo con los datos del río Huicicila:

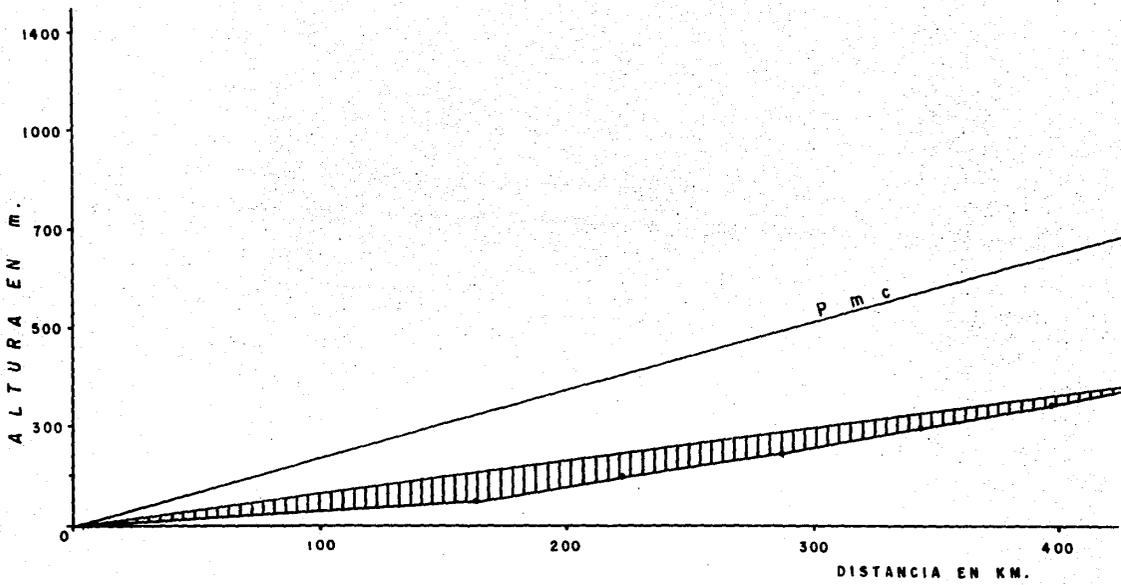
$$H_1 = 1\ 820\ \text{m.}$$

$$H_2 = 0\ \text{m.}$$

$$L = 649.4\ \text{Km.}$$

la pendiente media de la corriente principal es de 2.8 m/Km.

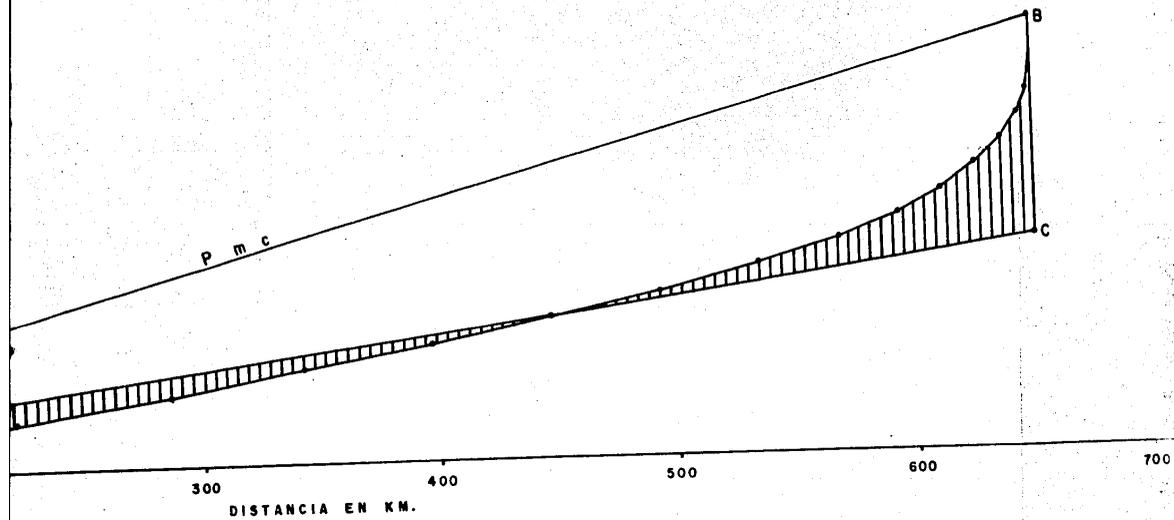
La representación de la pendiente referida para esta corriente aparece con la línea AB de la figura 29, en la que se han unido los puntos de mayor altura, pero para hacer más real la pen-



PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE DEL RÍO HUICIC

Fig. 29

-->
Continua 1



ENTE MEDIA DEL CAUCE DEL RÍO HUICICILA

Fig. 29

diente media se hizo el brazo de la línea AC, que divide el perfil longitudinal en dos partes con áreas iguales.

La pendiente media de los principales afluentes del río en estudio se presentan a continuación:

Arroyo El Limón (Fig. 30)

Parámetros:

$$H_1 = 2\,240 \text{ m.}$$

$$H_2 = 500 \text{ m.}$$

$$L = 88.1 \text{ Km.}$$

Resultado:

$$P_{mc} = 19.75 \text{ m/Km.}$$

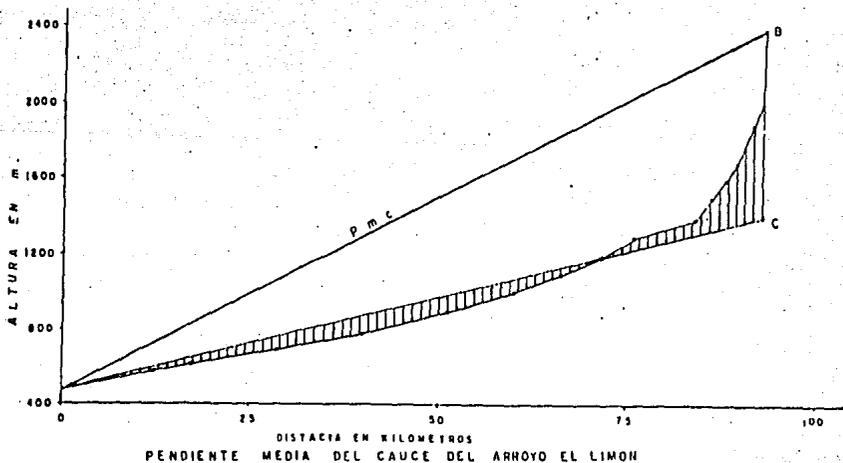


Fig. 30

Arroyo El Asalto (Fig. 31).

Parámetros:

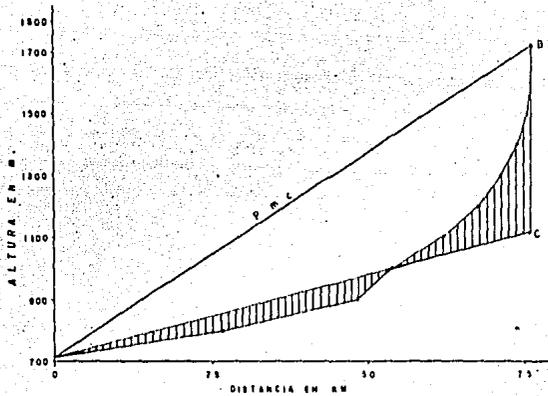
$$H_1 = 1\,740 \text{ m.}$$

$$H_2 = 720 \text{ m.}$$

$$L = 76.1 \text{ Km.}$$

Resultado:

$$P_{mc} = 19.40 \text{ m/Km.}$$



PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE DEL ARROYO EL ASALTO

Fig. 31

Arroyo La Tinaja (Fig. 32).

Parámetros:

$$H_1 = 720 \text{ m.}$$

$$H_2 = 0 \text{ m.}$$

$$L = 31.6 \text{ Km.}$$

Resultado:

$$P_{mc} = 22.78 \text{ m/Km.}$$

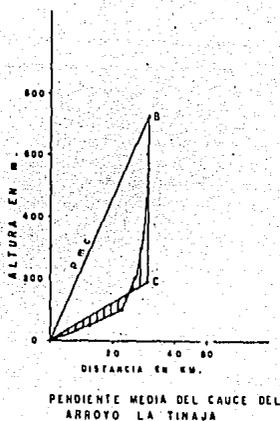


Fig. 32

Como se observará, las pendientes medias tanto del río principal como de sus tributarios son diferentes; esto no es más que una consecuencia de la topografía del terreno en donde se originan y fluyen, así como de la longitud de sus cauces, lo que indudablemente se manifiesta en los caudales de cada uno de ellos.

El río Huicicila presenta una pendiente suave en relación con sus tres afluentes más significativos, por lo que es de esperar se que en estos últimos los gastos sean mayores; sin embargo, al ser vertidos en el colector general necesariamente tendrán que moderarse debido a lo reducido de su pendiente.

Capítulo IV

REGIMEN HIDROLOGICO

GENERALIDADES. 1 Estación de aforo. 2. Comportamiento hidrológico: a) Caudales absolutos. b) Lámina de agua precipitada. c) Lámina de agua escurrida. d) Lámina de agua evapotranspirada. e) Lámina de agua infiltrada. f) Lámina de agua aportada por el subsuelo. g) Coeficiente mensual de caudales. 3. Régimen anual de acarrees: a) Volumen de azolves. b) Carga específica. c) Degradación específica. 4. Régimen interanual del periodo observado: a) Caudales específicos. b) Variabilidad interanual de caudales. c) Coeficiente de variación.

GENERALIDADES

El comportamiento hidrológico del escurrimiento de un río obedece a la acción combinada de una serie de elementos y factores que indudablemente repercuten de una manera más o menos marcada en las variaciones de su flujo, mismas que son observadas en las estaciones de aforo.

En este capítulo se pretende hacer un análisis de este aspecto tan importante del escurrimiento del río Huicicila con base a las características del espacio drenado y la información de la estación hidrométrica seleccionada.

1. Estación de aforo. El comportamiento de los caudales de un escurrimiento puede medirse con bastante precisión por tiempo indefinido a través de las estaciones de aforo que se instalan en la sección del río del cual se desea tener información sobre su flujo, la cual es

utilizada para calcular las obras hidráulicas, ya sea para el control de avenidas o para obtener un aprovechamiento adecuado del recurso agua.

La estación hidrométrica Paso de Arocha tiene por coordenadas el paralelo 21° 17' norte y el meridiano 105° 17' oeste; la altitud del cero de la escala es aproximadamente de 80 m según el mapa de curvas de nivel correspondientes al sitio en que se localiza.

La superficie drenada hasta la sección donde se ubica la estación de aforo es de 472.5 Km²; su instalación tiene por objeto estudiar el comportamiento de las aguas del río Huicicila a fin de ser aprovechadas en el riego del valle de Zacualpan* (Fig. 33).

La estación en cuestión está equipada con limnógrafo, escala y molinete, mismos que entraron en operación el 1° de abril de 1949.

2. Comportamiento hidrológico. Con el objeto de explicar las características que definen el comportamiento del escurrimiento del río en estudio se han obtenido diversos índices propios de su régimen.

a) Caudales absolutos. La manera más sencilla de analizar el régimen fluvial de la corriente del río Huicicila es, quizá, a través de los caudales absolutos medios mensuales o sus correspondientes volúmenes (cuadro 29); sin embargo, estos últimos más bien se utilizan en la cuantificación de los recursos hidrológicos, por

* Secretaría de Recursos Hidráulicos. Boletín Hidrológico No. 41. p. 11-030.1.01. México 1971.

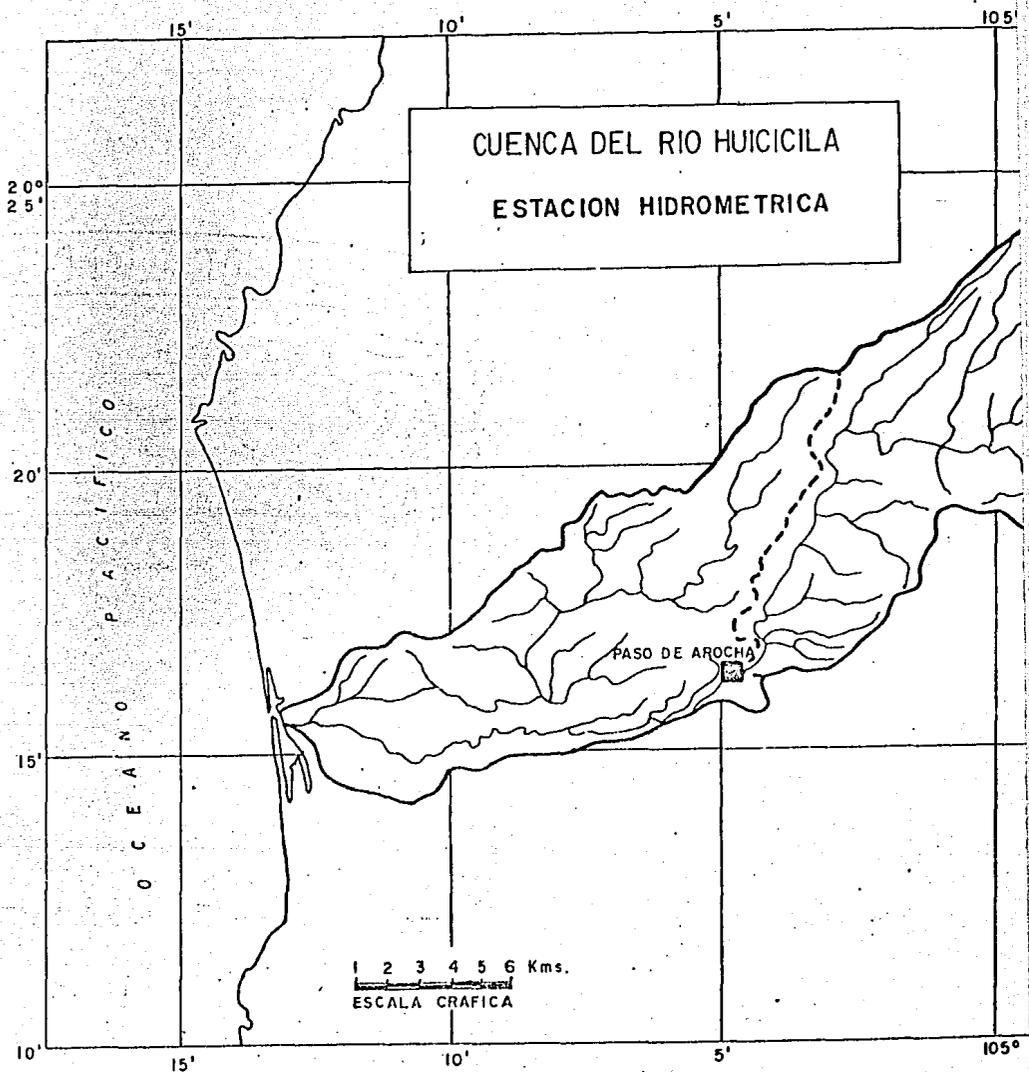
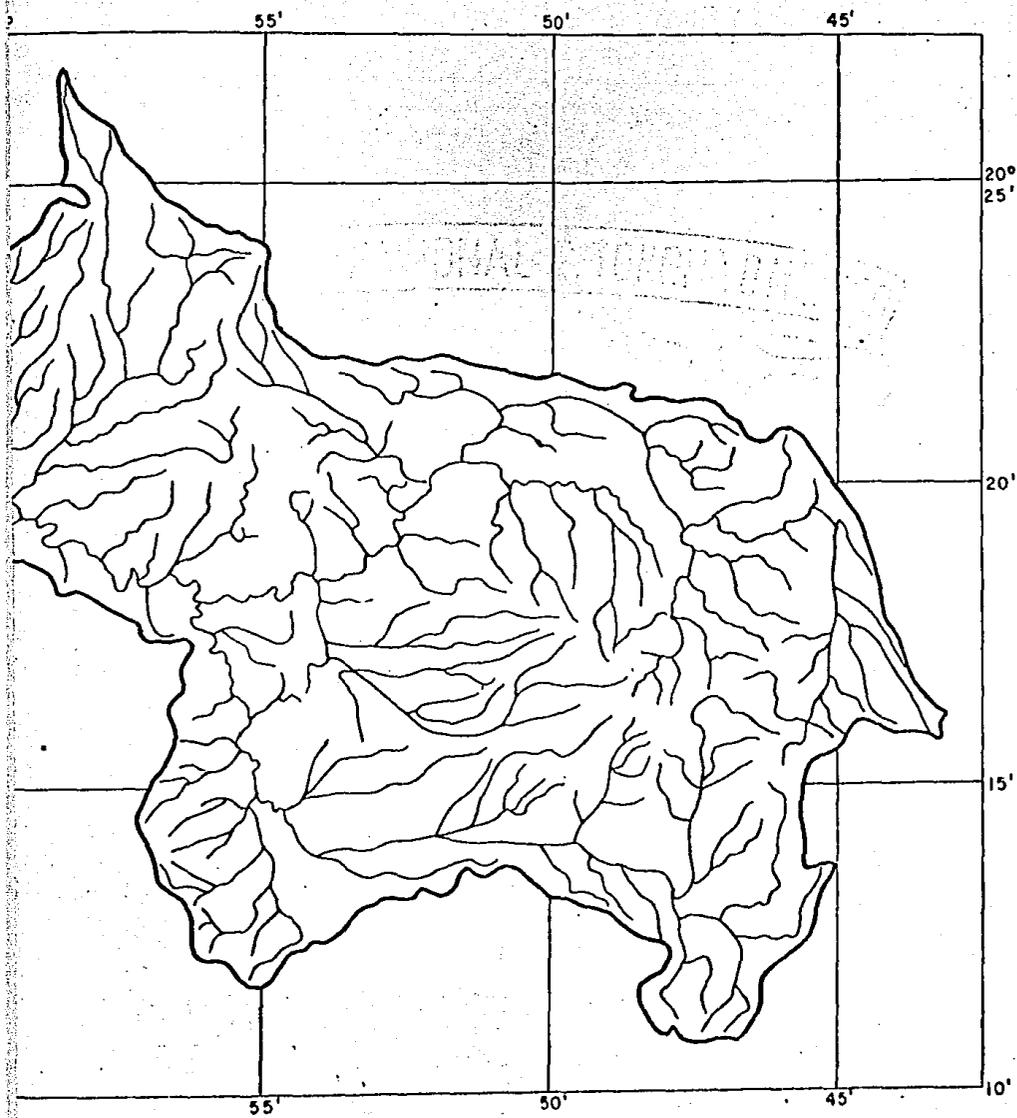


Fig.

-->
Continua 1



lo que serán tratados con mayor amplitud en el siguiente capítulo.

CUADRO 29
ESCURRIMIENTO*

Mes	Caudal m^3/s	Volumen $\times 10^3 \text{ m}^3$	Mes	Caudal m^3/s	Volumen $\times 10^3 \text{ m}^3$
Enero	1.796	3 805	Julio	10.900	29 797
Febrero	1.043	2 674	Agosto	15.552	42 333
Marzo	0.876	2 347	Septiembre	21.587	57 230
Abril	0.755	1 941	Octubre	10.853	29 393
Mayo	0.575	1 561	Noviembre	3.085	7 969
Junio	2.070	5 400	Diciembre	2.192	5 868

* Según información de la SARH.

Los datos mencionados en el cuadro 29 constituyen los puntos de la curva de la figura 34; en ella se observan importantes irregularidades en el escurrimiento del río en estudio, esto es, el incremento de gastos se inicia a partir del mes de mayo ($0.575 \text{ m}^3/\text{s}$) a razón de $12.527 \text{ m}^3/\text{s}$ que representa el 24 % desde el mes en que se inicia dicho incremento hasta el mes de septiembre ($21.587 \text{ m}^3/\text{s}$) que es el mes más importante por su elevado registro; desde este mes comienza un abatimiento del gasto, el cual alcanza $6.969 \text{ m}^3/\text{s}$, o sea, el 50.0 % del mes del abatimiento hasta el mes de noviembre ($3.085 \text{ m}^3/\text{s}$); por otra parte, desde este último mes ese porcentaje se ve reducido al 16.7 % mensual hasta llegar a un valor mínimo en el mes de mayo.

El caudal medio anual del escurrimiento del río Huicicila es de $5.940 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual no se puede considerar grande, posiblemente

te por la escasa pendiente del colector general (2.8 m/Km), a pesar de que no ocurre lo mismo con los cauces de los afluentes más importantes (arroyos El Limón con 19.75 m/Km, El Asalto con 19.4 m/Km y La Tinaja con 22.78 m/Km) lo cual deja entrever que los gastos de estas corrientes se ven frenados al llegar al río principal; por otra parte, esta característica reduce también la influencia del tamaño de la cuenca que, como quedó establecido en páginas anteriores, se considera pequeña.

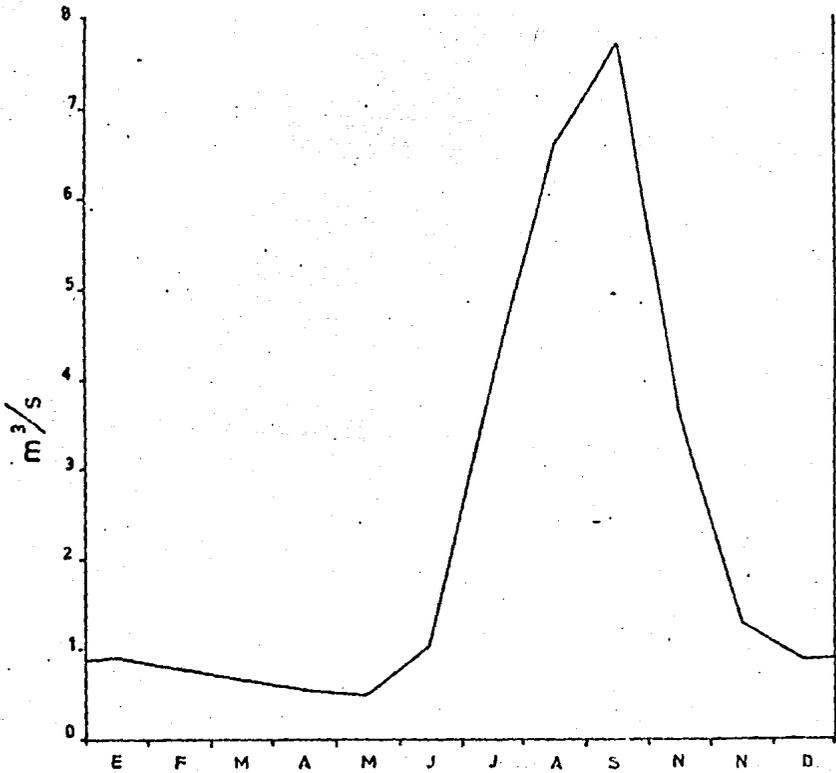


Fig. 34

Para encontrar los motivos que generan ese comportamiento a lo largo del año es pertinente -como quedó asentado- recurrir a las características vistas en los capítulos anteriores, dando prioridad a las que sobresalen por su marcada variabilidad y que puedan afectar directamente al escurrimiento del río Huicicila. Para llegar a este objetivo basta, en primer lugar, observar los restantes aspectos para darse cuenta que son las características climatológicas las que presentan mayores fluctuaciones, por lo que son precisamente la precipitación y la evapotranspiración real, además de la infiltración, las que tienen mayor ingerencia.

Una de las maneras de ir determinando las causas de este comportamiento es por medio de la comparación de las curvas de las gráficas entre sí, conformando de manera consecutiva la explicación buscada.

El significado del clima en el régimen hidrológico del río referido se manifiesta a través de su comportamiento fluvial; esa influencia se comprueba comparando la lámina de agua precipitada con la lámina de agua escurrida.

b) Lámina de agua precipitada. La lámina media mensual de agua llovida se obtiene con la misma metodología utilizada para determinar la precipitación media de la cuenca, de ahí que los datos del cuadro 11 constituyan las láminas precipitadas medias mensuales.

La lámina de agua precipitada media anual del área en estudio es de 1344.8 mm.

c) Lámina de agua escurrida. La lámina de escurrimiento se define como la relación de los volúmenes escurridos en una área

determinada, por lo tanto la lámina de agua escurrida consiste en llevar los volúmenes de agua escurrida a altura en mm, considerando para esto el área correspondiente a la estación hidrométrica Paso de Arocha y mediante la siguiente ecuación:

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

en la que:

h = Altura de la lámina de agua escurrida en mm.

V = Volumen de agua escurrida en m³.

A = Área del espacio drenado en Km².

Los resultados obtenidos, que se concentran en el cuadro 30 y con los de la lámina de agua precipitada del cuadro 11, constituyen los valores que conforman las curvas de la figura 35 en la que se advierte que al igual que los valores de precipitación, los mayores escurrimientos también son propios de la estación de verano, lo cual pone de manifiesto que la precipitación es la principal fuente de alimentación del cauce de este río. Sin embargo, el hecho de que las curvas correspondientes a la precipitación y al escurrimiento no presenten un paralelismo más marcado se debe a la existencia de otros aspectos que intervienen poderosamente en el ciclo hidrológico de esta cuenca, como la evapotranspiración y la infiltración.

La lámina de agua escurrida en la cuenca del río Huicicila es de 402.8 mm.

d) Lámina de agua evapotranspirada. La evapotranspiración real es otra fase del ciclo hidrológico cuya presencia participa significativamente en el régimen de escurrimiento del río en cuestión porque gran parte del agua precipitada retorna a la atmósfera; para

corroborar la manera en que afecta al flujo del río Huicicila es importante obtener la lámina de agua que se pierde por este fenómeno, misma que se tiene de hecho en el cuadro 20 donde se dan las láminas de evapotranspiración real media mensual. Así la lámina de evapotranspiración media anual es de 641.4 mm.

CUADRO 30
LAMINA DE AGUA ESCURRIDA

Mes	mm	Mes	mm
Enero	8.052	Julio	63.062
Febrero	5.659	Agosto	89.594
Marzo	4.967	Septiembre	121.122
Abril	4.108	Octubre	62.207
Mayo	3.304	Noviembre	16.856
Junio	3.304	Diciembre	12.419

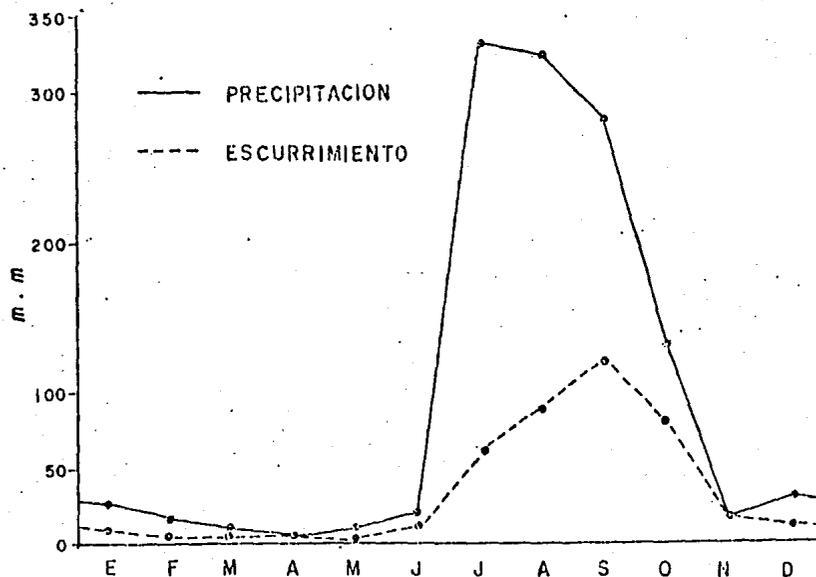


Fig. 35

En la figura 36 se incluyen las gráficas de la evapotranspiración real, precipitación y el escurrimiento medio mensual, ella permite verificar con mayor exactitud los periodos húmedo y de estiaje.

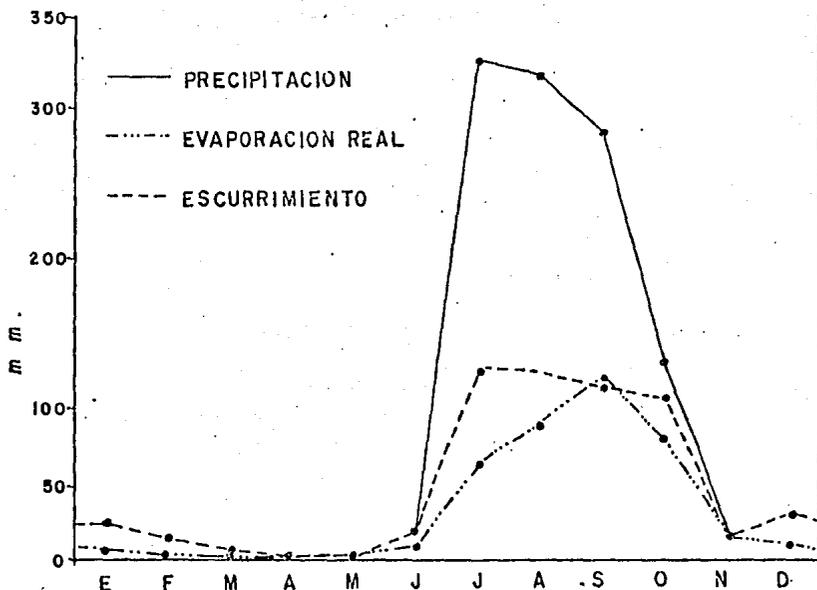


Fig. 36

En el capítulo concerniente a los aspectos climáticos se afirmó que la precipitación que se presenta en la época seca la absorbe la atmósfera, sin embargo el cauce del río Huicicila presenta un escaso pero continuo fluido durante este lapso, lo cual se atribuye a los aportes subterráneos.

Para conocer cómo y cuándo el subsuelo cede el agua al cauce del río en estudio es necesario conocer primero de dónde proviene dicho líquido y cómo llega a almacenarse en el interior de la tierra.

e) Lámina de agua infiltrada. Una manera de resolver las

interrogantes planteadas en el párrafo anterior consiste en determinar la lámina de agua infiltrada, para esto se recurre a la siguiente fórmula:

$$I = P - (E_{vtr} + Q)$$

en que:

- I - Lámina de agua infiltrada, en mm.
- P - Lámina de agua precipitada, en mm.
- E_{vtr} - Lámina de evapotranspiración real, en mm.
- Q - Lámina de agua escurrida, en mm.

Las láminas mensuales de agua infiltrada resultantes se reúnen en el cuadro 31 y se grafican en la figura 37 junto con las láminas de agua precipitada, escurrida y evapotranspirada. En dicha figura se puede ver que la recarga ocurre en los meses de julio, agosto y septiembre, es decir en la época de mayor pluviosidad.

CUADRO 31
R E C A R G A

Mes	mm	Mes	mm
Enero	0	Julio	138.038
Febrero	0	Agosto	107.906
Marzo	0	Septiembre	46.00
Abril	0	Octubre	0
Mayo	0	Noviembre	0
Junio	0	Diciembre	0

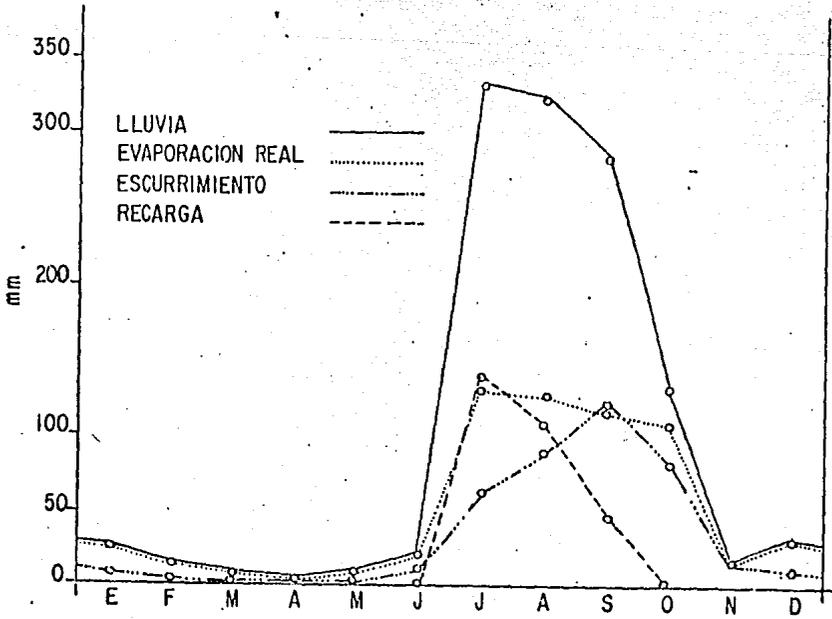


Fig. 37

En esta fase del ciclo del agua también participan otros aspectos, ya que este fenómeno se lleva a cabo directamente en la superficie del suelo, de manera muy variable, dependiendo de las características físicas del material geológico que cubre el espacio drenado (cuadro 32 y figura 38).

CUADRO 32

INDICES DE INFILTRACION*

Material	$\frac{2}{K_m}$	Indice de infiltración
Basalto agrietado	217.15	0.7
Toba	11.80	0.1
Roca extrusiva ácida	249.88	0.04
Conglomerado	12.70	-
Material aluvial	63.80	0.01
Suelo residual	14.75	0.01
	<u>570.08</u>	

* Fuente: Hall, W. R. Hidrogeología, Ed. CEISA, Madrid, 1974, pág. 197.

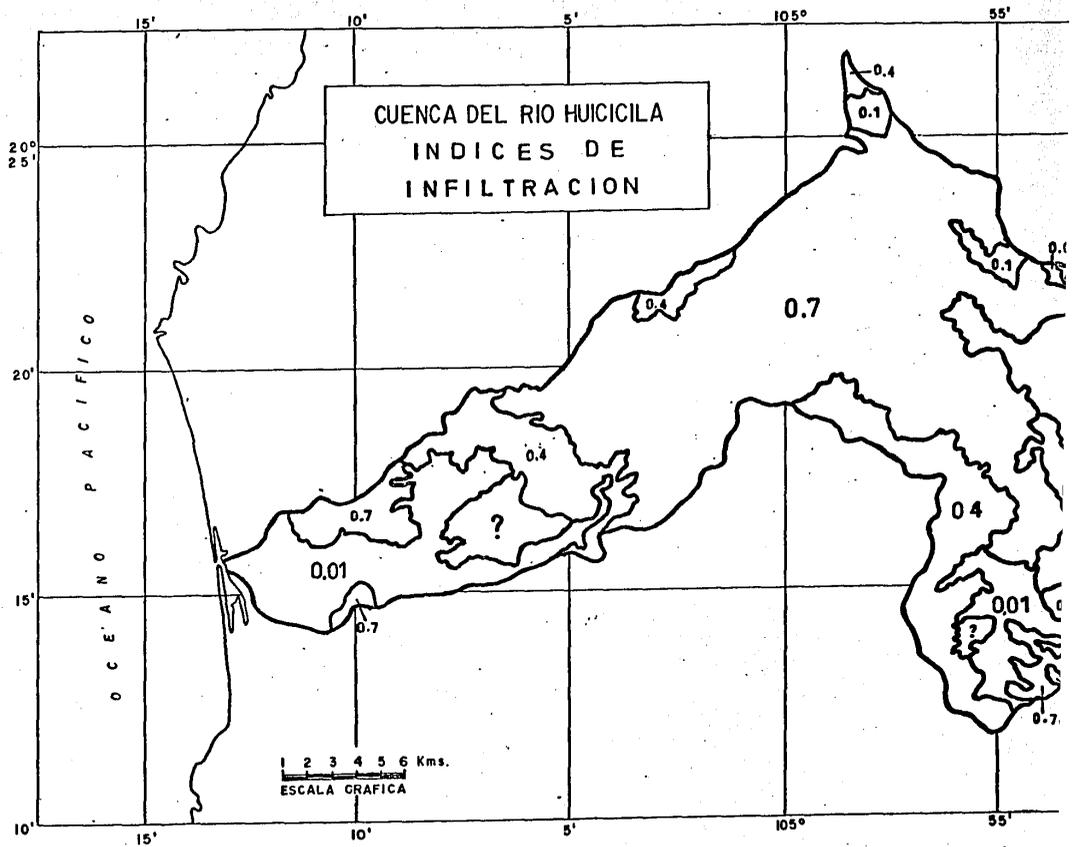


Fig. 38

-->
Continua 1

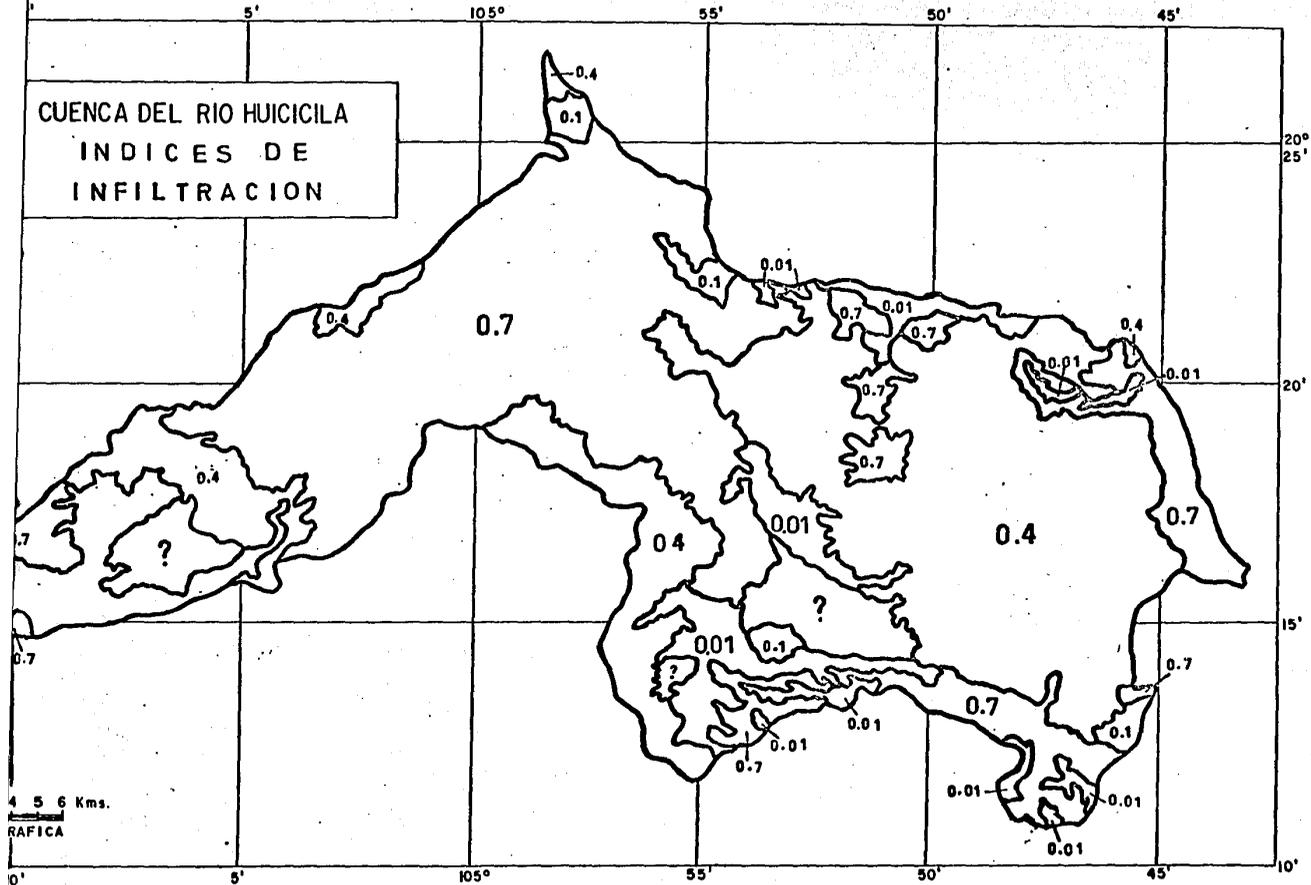


Fig. 38

En consecuencia, basándose en la información del cuadro anterior, se hizo el intento por calcular el índice medio de infiltración de la cuenca, independientemente de que falta el dato referente al conglomerado y de la intervención de otros factores dicho índice es 0.29 aproximadamente.

También deben incluirse otras características muy significativas como la presencia de vegetación, especialmente la arbórea, cuyas raíces abren los conductos en el suelo para que el agua se infiltre, esto ocurre sobre todo en las partes media y alta de la cuenca, según se observa en la fig. 7, esto representa 72.8 % del área de estudio de acuerdo al coeficiente de cubrimiento de bosque.

Además de lo hasta aquí estipulado, participan favorablemente las diversas fracturas del terreno, por cuyas aberturas penetra el agua hasta el subsuelo (fig. 25).

Infortunadamente, así como existen aspectos que incrementan la infiltración, existen otros que van en contra de este proceso como la pendiente media del área avenida, aunque en el caso del río Huicicila su elevada pendiente media (29.6 %) se ve compensada por las características positivas tratadas en los párrafos anteriores.

La lámina de agua infiltrada en la cuenca de estudio alcanza 291.944 mm.

f) Lámina de agua aportada por el subsuelo. Después de haber abordado el proceso contrario a los aportes del subsuelo, cabe ahora explicar como éste cede el agua durante la estación seca, para esto se recurre a los valores del cuadro 33 que sirven de parámetros a la gráfica de la figura 39, en la que se deja entrever que los aportes iniciales en el mes de octubre después de la época de lluvia son

muy altos (39.407 mm), esto se atribuye a la escasa capacidad de retención del agua por el suelo además de que, posiblemente, exista una relación con las lluvias de ese mes, contradiciendo en cierta manera lo establecido al tratar la evapotranspiración. Desde el mes

CUADRO 33
DESCARGA

Mes	mm	Mes	mm
Enero	8.052	Julio	0
Febrero	5.659	Agosto	0
Marzo	4.967	Septiembre	0
Abril	4.108	Octubre	39.407
Mayo	3.304	Noviembre	16.856
Junio	11.429	Diciembre	12.419

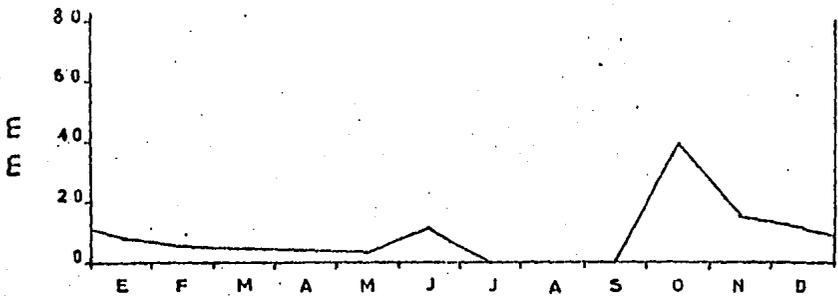


Fig. 39

de octubre la alimentación subterránea decrece paulatinamente hasta el mes de mayo en que ocurren los menores aportes (3.304 mm), sin embargo, durante el mes de junio sufren un pequeño incremento (11.429 mm) porque, aun cuando la evapotranspiración todavía es alta, la estación lluviosa comienza, por lo que es posible que esta última se manifieste en el escurrimiento.

La lámina media de agua cedida por la recarga al cauce del río Huicicila es de 66.794 mm anualmente.

Por otro lado, no toda el agua infiltrada retorna a la superficie, es decir no se agotan por completo las reservas del subsuelo sino que quedan importantes cantidades almacenadas, además de que la que se pierde por el flujo subterráneo hacia las cuencas aledañas y la que llega al océano de esta manera; esta lámina se ha calculado globalmente en 185.743 mm.

En concreto, el régimen hidrológico del río Huicicila está afectado por diversos elementos y factores, de los que sobresalen los aspectos climáticos.

La principal fuente de alimentación la constituye la precipitación, misma que se manifiesta con un cierto retraso con respecto al escurrimiento, dado que intervienen otras fases del ciclo hidrológico como la evapotranspiración que constituye, por tanto, una pérdida para el escurrimiento; no del todo resulta así con la infiltración, la cual alimenta el cauce en el periodo de estiaje, quedando siempre algo de agua almacenada en el subsuelo pero quizá dos partes muy importantes se pierden del todo, la que pasa a otras cuencas vecinas y la que se incorpora por la vía subterránea al mar.

g) Coeficiente mensual de caudales. Las variaciones que experimentan los caudales medios mensuales en el transcurso de un año -independientemente de los gastos absolutos- también se determinan mediante el coeficiente mensual de caudales; éste se obtiene por

la relación aritmética de los gastos absolutos medios mensuales entre el módulo interanual, esto es:

$$X_n = \frac{Q_n}{M}$$

en la que:

X = Coeficiente mensual de caudales.

n = Mes considerado

Q = Caudal absoluto medio mensual de acuerdo al mes requerido, en m³/s

M = Módulo o promedio anual de los gastos brutos; en m³/s.

Los valores del cuadro 34 son el resultado de la aplicación de la ecuación anterior que, comparados con los gastos o caudales absolutos medios mensuales en las curvas de la figura 40, como es obvio, se identifican en su comportamiento ya que se observa un lógico paralelismo debido a que los coeficientes obtenidos dependen de los valores de los caudales medios.

CUADRO 34

COEFICIENTE DE CAUDALES MEDIOS

Mes	Coeficiente	Mes	Coeficiente
Enero	0.3023	Julio	1.8350
Febrero	0.1754	Agosto	2.6181
Marzo	0.1474	Septiembre	3.6341
Abril	0.1271	Octubre	1.8271
Mayo	0.0968	Noviembre	0.5193
Junio	0.3484	Diciembre	0.3690

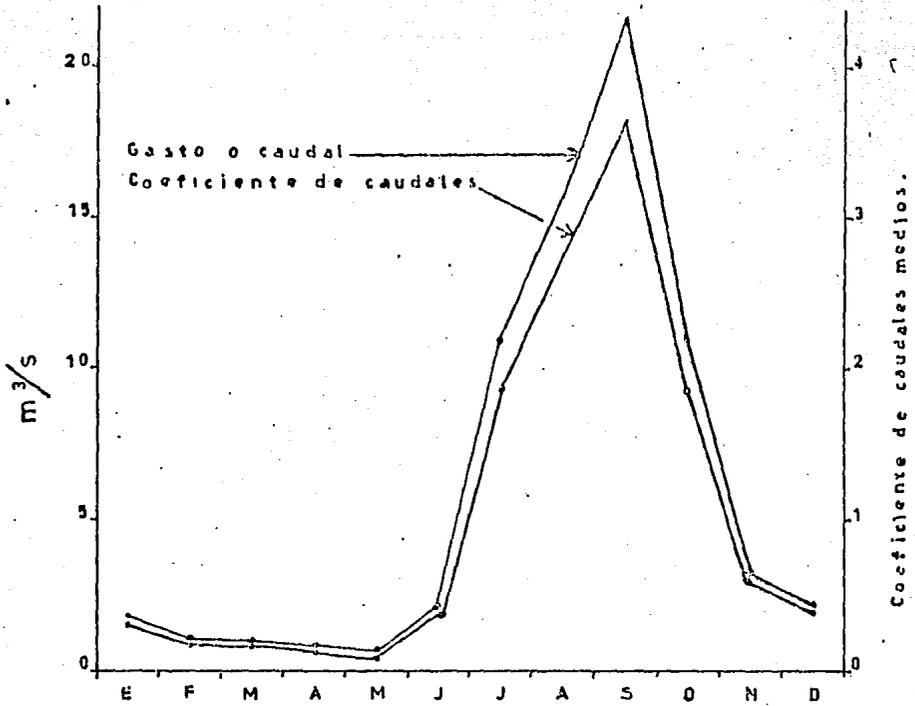


Fig. 40

3. Régimen anual de acarrees. La erosión fluvial es un proceso que, como su nombre lo indica, se refiere a la acción de un escurrimiento sobre la superficie drenada de la cual obtienen materiales que son transportados por el agua y depositados casi siempre en lugares alejados del sitio del que se originaron. Estos materiales constituyen la carga o acarreo del río, que se puede considerar como el volumen de azolve del mismo.

El poder erosivo de una corriente depende de su velocidad, en la que están implícitos el volumen de agua y el caudal del escurrimiento en relación muy estrecha con otros factores físicos propios de

la superficie avenada entre los que destaca la pendiente.

a) Volumen de Azolve. Para ilustrar el efecto ocasionado por las corrientes que conforman la red hidrográfica de la cuenca del río Huicicila, en la figura 41, en la que curva e histograma fueron formados con los datos de los cuadros 29 y 35, se aprecia que en la medida que se incrementan los gastos y, en consecuencia, los volúmenes, el poder erosivo se eleva, lo que se deduce del aumento de la carga del río, según lo registra la estación hidrométrica Paso de Arocha precisamente en los meses de junio a octubre, época en que las precipitaciones alcanzan grandes proporciones. Esto resulta ló-

CUADRO 35
VOLUMEN DE AZOLVE

Mes	$\times 10^3 \text{ m}^3$	Mes	$\times 10^3 \text{ m}^3$
Enero	0.015	Julio	15.821
Febrero	0	Agosto	36.859
Marzo	0.042	Septiembre	101.468
Abril	0	Octubre	15.467
Mayo	0	Noviembre	0.031
Junio	1.563	Diciembre	0.142

gico porque cuando las lluvias son abundantes éstas también contribuyen al desprendimiento de las partículas del suelo que posteriormente se incorporan al agua que escurre hasta alcanzar el colector general donde son medidas.

El volumen de azolve medio anual arrastrado por el río de

estudio es de 171 428.0 m³.

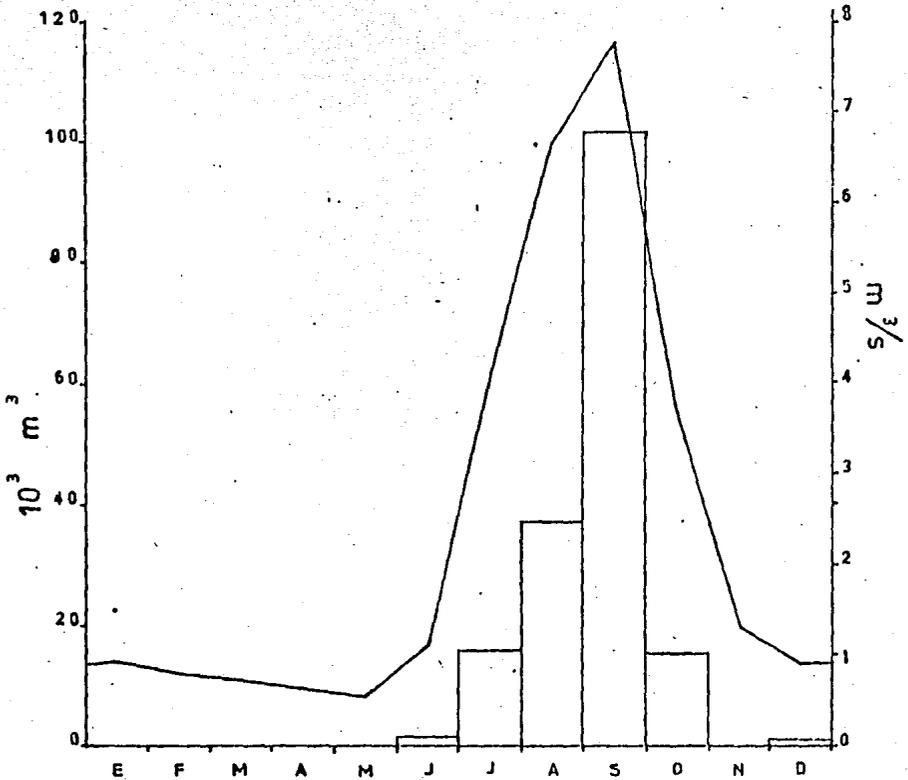


Fig. 41

b) Carga específica. El poder erosivo del agua se puede determinar a través de la carga específica, cuya fórmula es la siguiente:

$$C_e = \frac{V_c}{V_a}$$

en la que:

C_e = Carga específica.

V_c = Volumen de carga o azolve en m³.

V_a = Volumen de agua en m³.

Las cantidades de azolve resultantes para cada metro cúbico de agua correspondientes a cada mes se reúnen en el cuadro 36 y su comportamiento anual está representado en la curva de la figura 42, mismo que viene a confirmar lo establecido en el primer inciso de este tema, esto es, presenta una estrecha relación con los volúmenes de agua escurrida, los que al mismo tiempo se identifican con la estación lluviosa puesto que el poder erosivo se incrementa a medida en que también lo hace el escurrimiento.

CUADRO 36
CARGA ESPECIFICA MEDIA

Mes	Carga Específica	Mes	Carga Específica
Enero	0.000004	Julio	0.000531
Febrero	0.	Agosto	0.000871
Marzo	0.000018	Septiembre	0.001773
Abril	0	Octubre	0.000526
Mayo	0.	Noviembre	0.000004
Junio	0.000289	Diciembre	0.000024

La determinación de la carga específica también es importante desde el punto de vista ecológico, pues en ocasiones este aspecto es significativo de acuerdo a su magnitud ya que se considera como un contaminante; en este caso, no solamente porque reduce la propiedad de potabilidad del agua para los habitantes de la cuenca que la utilizan sino también para el medio acuático porque su presencia abate la visibilidad en el agua, lo cual redundando en la dificultad que se presenta para los peces en búsqueda de su alimenta-

ción, por lo tanto se puede decir que el río se encuentra más contaminado en el lapso de junio a octubre cuando debería ser todo lo contrario ya que a pesar de que el soluto es elevado pero el poder erosivo del solvente también se incrementa.

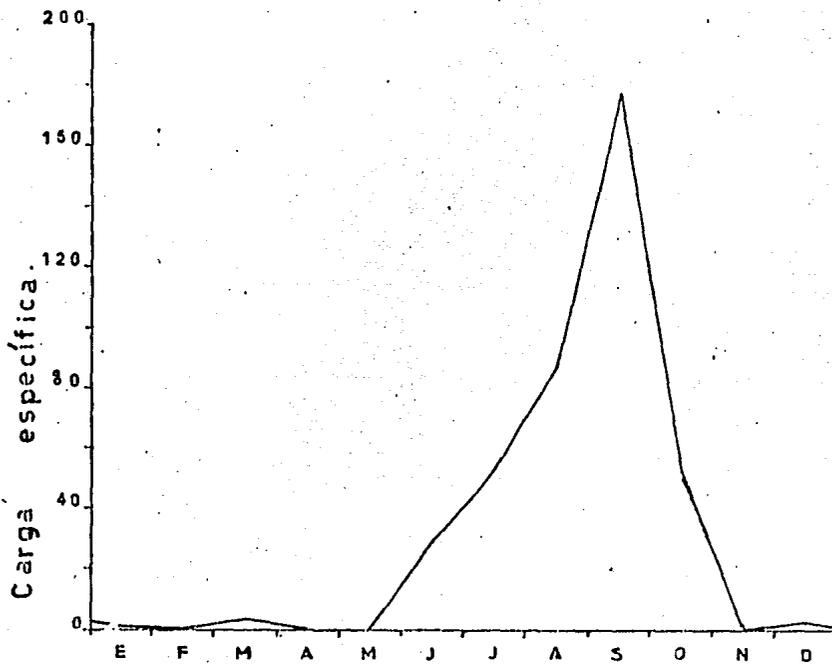


Fig. 42

c) Degradación específica. El trabajo de las corrientes origina un desgaste o remoción de partículas como parte del proceso erosivo; ese desgaste referido al área drenada es lo que se denomina degradación específica.

Haciendo caso omiso de la distribución de los materiales y su grado de resistencia a la erosión fluvial así como otros factores en la superficie de la cuenca de un río, se puede cuantificar con mucha aproximación la cantidad de material resultante correspondiente a cada kilómetro cuadrado del área considerada. Esta cuanti

ficación se lleva a cabo mediante la fórmula siguiente:

$$De = \frac{Vc}{A}$$

en la cual

De = Degradación específica en m^3/Km^2

Vc = Volumen de carga en m^3

A = Area considerada en Km^2 .

La degradación específica mensual que aparece en el cuadro 37 es el resultado de la aplicación de la metodología anterior y sus valores conforman la curva de la figura 43, en la que se reitera la confirmación sobre el poder erosivo del agua en relación con el aumento del volumen de escurrimiento, es decir, son mayores durante la época de mayor afluencia, sobresaliendo del lapso de julio a octubre el mes de septiembre por su enorme volumen ($214.8 m^3/Km^2$).

CUADRO 37
DEGRADACION ESPECIFICA

Mes	m^3/Km^2	Mes	m^3/Km^2
Enero	0.0318	Julio	33.4835
Febrero	0	Agosto	78.0085
Marzo	0.0888	Septiembre	214.7894
Abril	0	Octubre	32.7344
Mayo	0	Noviembre	0.0656
Junio	0	Diciembre	0.3005

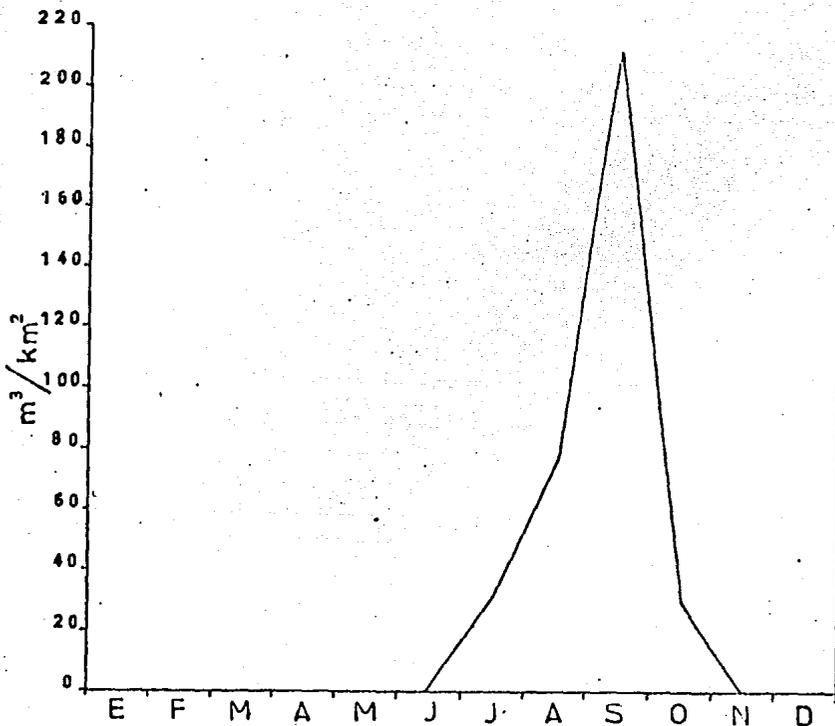


Fig. 43

Las grandes cantidades de material arrancado a la superficie de la cuenca del río Huicicila ponen en evidencia la efectividad del escaso estrato rasante que la cubre y sobresale el resultado de la pendiente del terreno drenado sobre todo en la cabecera, donde ésta impide la infiltración y la acción de la vegetación para reducir el efecto de la escorrentía.

4. Régimen interanual del periodo observado. Hasta aquí se ha venido hablando de las fluctuaciones que presenta el caudal medio a lo largo del año, sin embargo debe considerarse que un año difiere del otro, de ahí la importancia de analizar brevemente el comporta-

miento interanual del periodo observado.

a) Caudales específicos. La variabilidad de las características del escurrimiento motiva la presencia de años húmedos y años secos, éstos pueden ser distinguidos tomando como referencia el año promedio. Los gastos medios más grandes se presentaron en 1953, 1955 y 1971 con 11.749, 10.586 y 9.116 m³/s y los caudales más reducidos en 1957, 1972 y 1960 con 1.688, 2.919 y 3.124 m³/s respectivamente (cuadro 38); para apreciar mejor esto y poder distinguir esas diferencias en los 25 años de periodo de observación y al mismo tiempo distinguir los años húmedos de los secos se determinaron los caudales específicos, los cuales se clasificaron de mayor a menor y se graficaron posteriormente.

CUADRO 38
CAUDALES MEDIOS ANUALES*

Núm.	Año	m ³ /s	Núm.	Año	m ³ /s
1	1949	3.740	14	1962	5.505
2	1950	6.318	15	1963	3.265
3	1951	5.113	16	1964	4.722
4	1952	8.018	17	1965	6.699
5	1953	11.749	18	1966	7.180
6	1954	4.598	19	1967	7.012
7	1955	10.586	20	1968	3.587
8	1956	5.188	21	1969	4.988
9	1957	1.688	22	1970	4.480
10	1958	8.276	23	1971	9.116
11	1959	7.259	24	1972	2.919
12	1960	3.124	25	1973	6.727
13	1961	6.635			

* Según información de la SARH.

Para determinar los caudales específicos mensuales del río Huicicila se procedió con la siguiente fórmula:

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

en la cual:

q = Caudal específico en l/s/Km²

Q = Caudal medio mensual en m³/s

A = Area de la sección considerada en Km²

K = Constante para transformar m³ a litros (1000).

De los resultados obtenidos al aplicar la fórmula anterior se han seleccionado los valores correspondientes a los tres años cuyo promedio anual es el más alto y los tres años que presentan el promedio más reducido, esto es, en el primer caso 1953 (24.262 l/s/Km²), 1955 (22.318 l/s/Km²) y 1971 (19.250 l/s/Km²); en el último 1957 (3.558 l/s/Km²), 1972 (6.165 l/s/Km²) y 1960 (6.343 l/s/Km²). Los resultados mensuales de dichos años además de el año medio se concentran en el cuadro 39, cuya parte superior presenta un ordenamiento en base a la sucesión mensual, mientras que en la inferior los caudales específicos están clasificados de forma decreciente; estos últimos constituyen los parámetros de las curvas de la figura 44.

Las curvas de la figura mencionada normalmente se trazan con todos los meses de los años del periodo observado, sin embargo se hizo la anterior selección para evitar una confusión con las distintas líneas ya que en este caso incluiría 26 -una por cada año- y una más por el promedio general.

CAUDALES ESPECIFICOS*

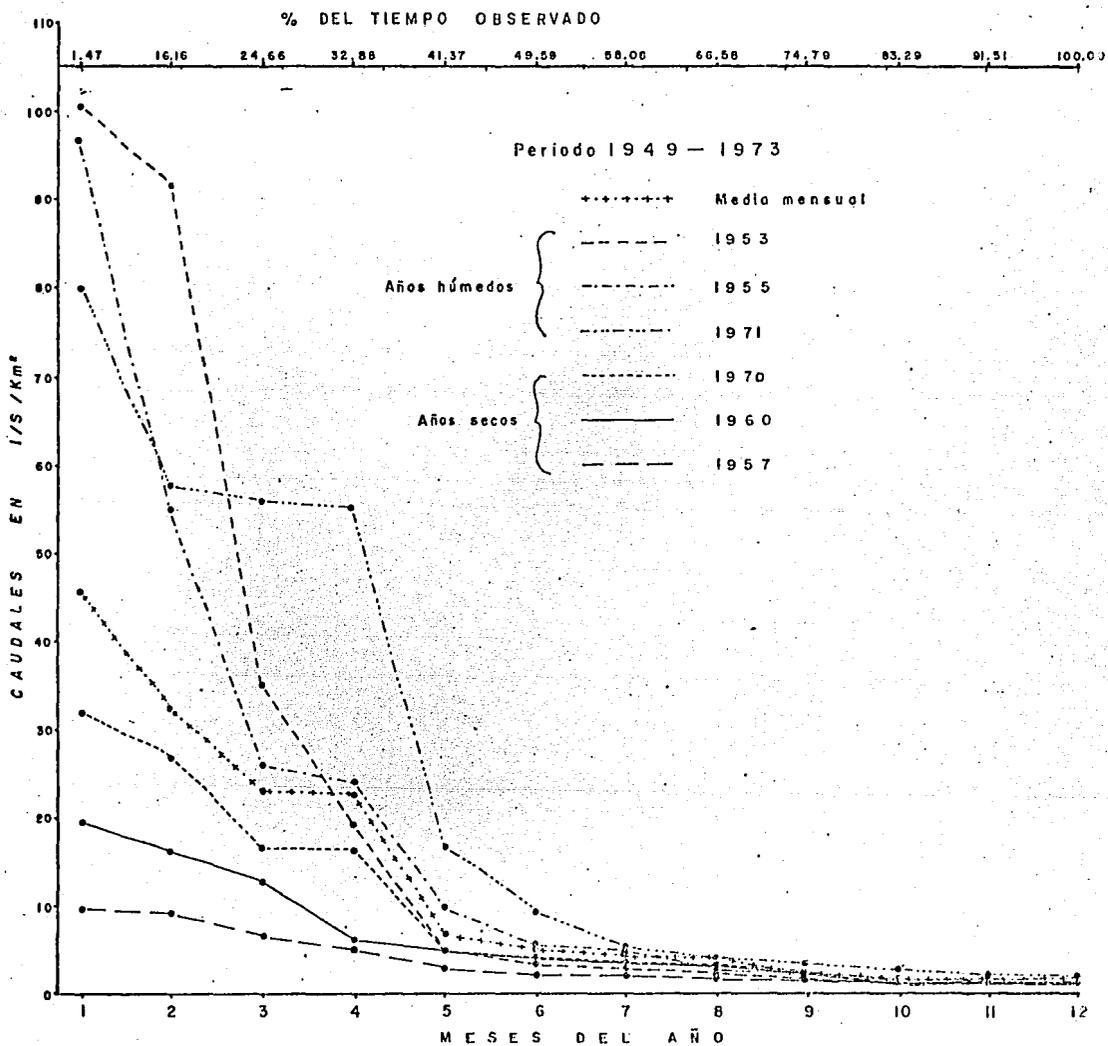
Mes	Años húmedos			Año medio	Años secos		
	1953	1955	1971		1957	1960	1972
Ene	5.092	2.758	2.542	3.801	2.044	4.085	4.347
Feb	3.215	2.364	1.915	2.207	1.564	2.889	2.641
Mar	2.275	1.670	1.556	1.854	1.302	2.348	1.903
Abr	2.286	1.230	1.308	1.598	1.128	1.945	1.513
May	2.417	1.196	1.200	1.217	1.020	1.543	1.211
Jun	4.165	1.365	4.715	4.381	1.126	1.746	1.128
Jul	80.599	34.447	23.797	23.069	6.483	13.096	8.281
Ago	55.769	101.276	26.050	32.914	8.665	16.377	12.379
Sep	58.083	91.877	97.505	45.687	9.611	19.894	26.936
Oct	55.446	19.293	55.037	22.969	4.974	6.277	6.919
Nov	9.325	6.713	9.729	6.529	2.743	3.788	3.683
Dic	16.787	3.630	5.640	4.639	2.032	5.130	3.037

CAUDALES ESPECIFICOS CLASIFICADOS**

Ord.	Años húmedos			Año medio	Años secos		
	1953	1955	1971		1957	1960	1972
1	80.599	101.276	97.505	45.687	9.611	19.894	26.936
2	58.083	91.877	55.037	32.914	8.665	16.377	12.379
3	55.769	34.447	26.050	23.069	6.483	13.096	8.281
4	16.446	19.293	23.797	22.969	4.974	6.277	6.919
5	16.787	6.713	9.729	6.529	2.743	5.130	4.347
6	9.325	3.630	5.640	4.639	2.044	4.085	3.683
7	5.092	2.758	4.715	4.381	2.032	3.788	3.037
8	4.165	2.364	2.542	3.801	1.564	2.889	2.641
9	3.215	1.670	1.915	2.207	1.302	2.348	1.903
10	2.417	1.365	1.556	1.854	1.128	1.945	1.513
11	2.286	1.230	1.308	1.598	1.126	1.746	1.211
12	2.275	1.196	1.200	1.217	1.020	1.543	1.128

* en l/s/km²

** Ordenadas en forma descendente.



CURVA DE CAUDALES ESPECIFICOS MEDIOS MENSUALES DE LA ESTACION PASO DE AROCHA.

Fig. 44

Al analizar la figura 37 se advierte que la curva del año medio divide a los años de mayor gasto medio anual de los de menor gasto medio anual, lo cual indica que las tres curvas que se presentan en la parte superior corresponden a años húmedos, mientras que las tres curvas inferiores pertenecen a años secos.

b) Variabilidad interanual de caudales. Anualmente los caudales también presentan fluctuaciones de un año a otro como se aprecia en el cuadro 38, de los que sobresalen 1953, con $11.749 \text{ m}^3/\text{s}$ como el más alto y 1957 con $1.688 \text{ m}^3/\text{s}$ como el de más reducido gasto medio anual (cuadro 38).

Con la finalidad de obtener una visión más clara de este aspecto, con la información del cuadro 38 se elaboró la figura 38 en la que se aprecia que 11 años sobrepasan a la línea que representa el valor medio, por lo contrario 14 años son inferiores a este último, sin embargo no todos se separan en la misma magnitud del valor medio.

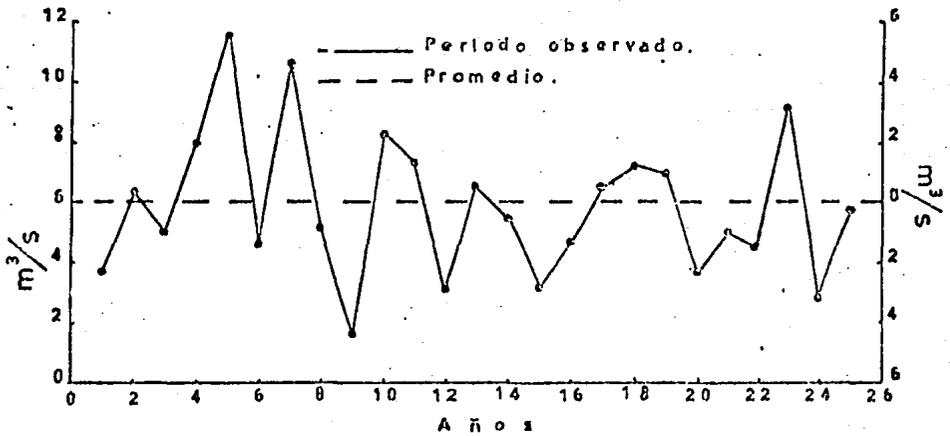


Fig.45

c) Coeficiente de variación. Con el objeto de encontrar un valor que cuantifique la fluctuación respecto al valor medio se determina el coeficiente de variación, para llegar a esto se obtiene primeramente la desviación estandar de los datos del cuadro 38 considerando la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{q^2}{n} - \left(\frac{q}{n}\right)^2}$$

en la que:

σ = Desviación estandar

q = Caudal o gasto medio anual en m³/s

n = Número de años

como segundo paso se determina el coeficiente de variación con la fórmula

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

donde:

CV = Coeficiente de variación en %

q = Caudal o gasto medio anual en m³/s

σ = Desviación estandar.

De esta manera, el resultado obtenido, 40.93 %, indica la fuerte fluctuación de caudales que se presenta en el río Huicicila con respecto al módulo anual, esto quizá sea una consecuencia debida principalmente a la variabilidad anual de la lluvia, que es la fuente de alimentación.

d) Tendencia de Caudales. La tendencia de los gastos medios anuales tiene gran significado porque muestra la forma ge-

neral con que se presentarán en el futuro dichos caudales.

Para conocer la tendencia de los gastos medios anuales del río Huicicila se aplicó el método de la regresión lineal:

$$y = an + \sum xb \text{ ----- } 1$$

$$xy = ax + \sum x^2 b \text{ ----- } 2$$

de la que se obtiene ecuación 3:

$$y = a + bx \text{ ----- } 3$$

en la que

y = Frecuencia

x = Años de observación

a = 2.094 obtenida de la fórmula 2

b = 0.283 obtenida de la fórmula 1

Los parámetros para la fórmula 3 se obtienen del cuadro 39, y los resultados se muestran en el cuadro 40, mismos que constituyen los puntos en que se basa la gráfica de la figura 39, el ángulo que presenta la línea de dicha gráfica indica una tendencia positiva, esto es, los caudales medios anuales se irán incrementando con el tiempo.

CUADRO 40

x	y	xy	x ²
0	3.740	0	0
1	6.318	12.636	1
2	5.113	15.339	4
3	8.018	32.072	9
4	11.749	58.745	16

CUADRO 40 (Cont. cuadro)

x	y	xy	x^2
5	4.598	27.588	25
6	10.586	74.102	36
7	5.188	41.504	49
8	1.688	15.192	64
9	8.276	82.760	81
10	7.259	79.849	100
11	3.124	37.488	121
12	6.635	86.255	144
13	5.505	77.070	169
14	3.265	48.975	196
15	4.722	75.552	225
16	6.699	113.883	256
17	7.180	129.240	289
18	7.012	133.228	324
19	3.587	71.740	361
20	4.988	104.748	400
21	4.480	98.560	441
22	9.116	419.336	484
23	2.919	70.056	529
24	6.727	161.448	576
325	148.492	2 067.366	4 900

n = 25

CUADRO 41

x	y
0	2.094
5	3.509
10	4.924
15	6.339
20	7.754
30	10.584
40	13.414
50	16.244

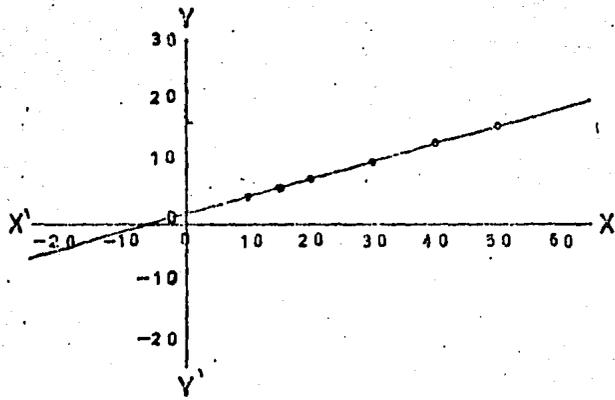


Fig. 46

BALANCE HIDROLOGICO MEDIO

GENERALIDADES. 1. Volumen de agua precipitada. 2 Volúmenes relativos de captación. 3. Volumen de agua evapotranspirada. 4. Lluvia neta. 5. Volumen de agua escurrida. 6. Volumen de agua infiltrada. 7. Volumen de agua aportada por el subsuelo. 8. Otros volúmenes. 9. Balance hidrológico.

GENERALIDADES

El balance hidrológico de la cuenca de un río consiste en cuantificar las ganancias y pérdidas del agua que ocurre en el espacio drenado.

Existen diversas maneras de expresar dicha cuantificación pero quizá la más representativa es a través de los diversos volúmenes -en m^3 - que registra cada una de las fases del ciclo del agua en la superficie avenida.

Tomando en consideración lo expresado en el párrafo anterior, es pertinente transformar cada uno de los parámetros observados como las láminas de agua a volúmenes; para esto se utiliza la siguiente ecuación:

$$V = h A$$

donde:

V = Volumen en m^3

h = Altura de la lámina de agua a convertirse en m

A = Area considerada por la estación Paso de Arocha,
en m^2

1. Volumen de agua precipitada. En el cuadro 41 y en la figura 47 se muestran los resultados obtenidos y su comportamiento, respectivamente.

CUADRO 42
VOLUMENES MEDIOS DE AGUA PRECIPITADA

Mes	m^3	Mes	m^3
Enero	12710250	Julio	156775500
Febrero	7323750	Agosto	152853750
Marzo	3780000	Septiembre	134709750
Abril	1512000	Octubre	62086500
Mayo	3402000	Noviembre	6615000
Junio	9166500	Diciembre	14269500

El mes de mayores volúmenes precipitados es el mes de julio con $156\,775\,500.0\ m^3$ que es -como ya se vió- el que define la estación lluviosa y el mes de más bajo registro correspondió a abril con apenas $15\,120\,000.0\ m^3$ es, por ende, el que representa la sequía.

Considerando que no existe otra fuente de alimentación para la cuenca del río Huicicila, el volumen de precipitación me dia anual en este caso alcanza $565\,204\,500.0\ m^3$.

2. Volumen relativo de captación. Haciendo caso omiso de la distribución espacial de la precipitación, puede decirse que cada kilómetro cuadrado captó mensualmente una cantidad variable de agua, como lo indica el cuadro 43 y se aprecia en la figura 48,

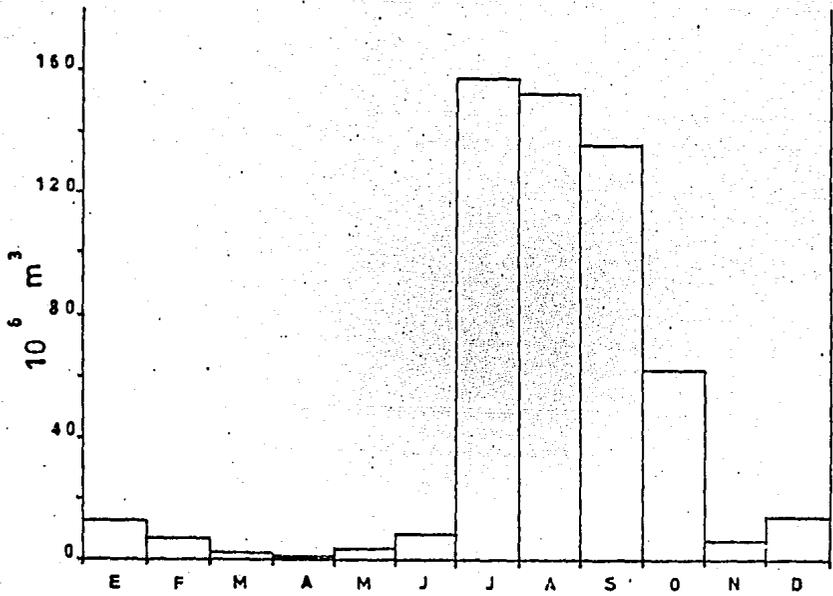


Fig. 47

como consecuencia de la variabilidad de la lluvia en el tiempo; considerándose un volumen anual de $1\,226\,200 \text{ m}^3/\text{Km}^2$.

CUADRO 43

CAPTACION DE PRECIPITACION

Mes	m^3/Km^2	Mes	m^3/Km^2
Enero	26 900	Julio	331 800
Febrero	15 500	Agosto	323 500
Marzo	8 000	Septiembre	285 100
Abril	3 200	Octubre	131 400
Mayo	7 200	Noviembre	14 000
Junio	19 400	Diciembre	30 200

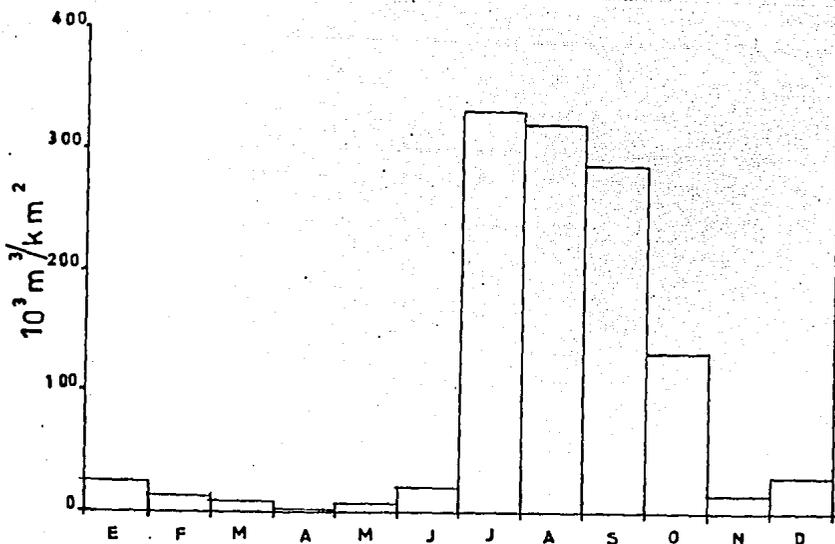


Fig. 48

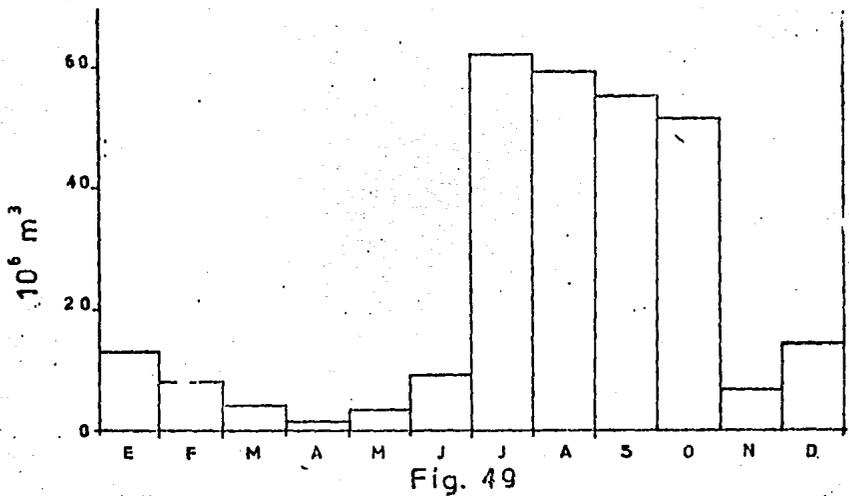
3. Volumen de agua evapotranspirada. Los datos del cuadro 44 ponen a disposición junto con la figura 49, los volúmenes de evapotranspiración obtenidos al aplicar la fórmula mencionada al inicio del presente capítulo.

CUADRO 44

VOLUMENES MEDIOS DE AGUA EVAPOTRÁNSPIRADA

Mes	3 m	Mes	3 m
Enero	12710250	Julio	61755750
Febrero	7323750	Agosto	59535000
Marzo	3780000	Septiembre	55282500
Abril	1512000	Octubre	51313500
Mayo	3402000	Noviembre	5615000
Junio	9166500	Diciembre	14269500

El volumen medio anual de agua evapotranspirado en la cuenca del río Huicicila es de 286 665 750.0 m³.



4. Lluvia neta. Al establecer una comparación entre las figuras 40 y 42 puede comprobarse que grandes volúmenes se pierden, especialmente en los lapsos de enero a junio y de noviembre a diciembre en los que prácticamente toda el agua precipitada se evapora mientras que en el periodo de julio a octubre las abundantes lluvias cubren las necesidades atmosféricas, por otra parte, en el invierno -sobre todo en diciembre y enero- las cantidades se ven incrementadas debido a las lluvias de esta estación ya que desde el punto de vista térmico no existe mucha diferencia con el resto del año. Así se puede afirmar concretamente que el único periodo efectivo de lluvias o lluvia neta es de julio a octubre, es decir, durante el verano y principios del otoño, la cual alcanza 278 538 750.0 m³ al año. (cuadro 45 y figura 50)

CUADRO 45
VOLUMENES DE LLUVIA NETA

Mes	m ³	Mes	m ³
Enero	0	Julio	95019750
Febrero	0	Agosto	93318750
Marzo	0	Septiembre	79427250
Abril	0	Octubre	10773000
Mayo	0	Noviembre	0
Junio	0	Diciembre	0

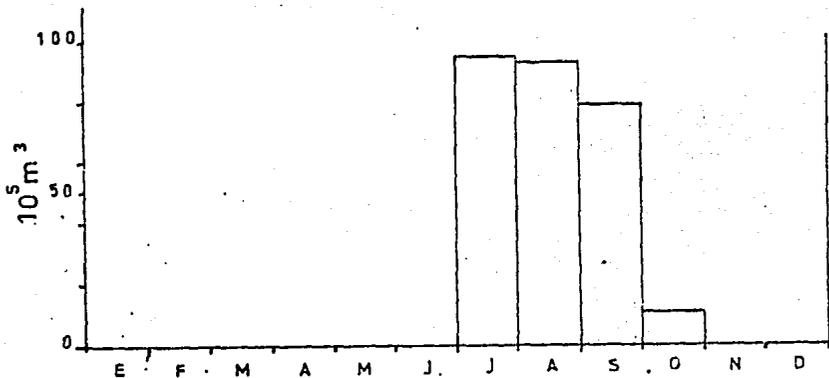


Fig. 50

De lo anterior se desprende que los volúmenes escurridos -con excepción del periodo de julio a octubre- quedan incluidos dentro de los 286 665 750.0 m³ del volumen medio anual evapó transpirado, sin embargo existe una fase más del ciclo del agua muy sobresaliente en el balance hidrológico del río Huicicila como es la infiltración.

5. Volumen de agua escurrida. Para verificar cuánto hay de cierto en el párrafo anterior, las láminas de agua escurrida se han

convertido a volúmenes que son mostrados en el cuadro 46, con los que se trazó el histograma correspondiente en la figura 51, que se pueden comparar con los de las figuras 47 y 49.

CUADRO 46
VOLUMENES DE AGUA ESCURRIDA

Mes	m ³	Mes	m ³
Enero	3805000	Julio	29797000
Febrero	2674000	Agosto	42333000
Marzo	2347000	Septiembre	57230000
Abril	1941000	Octubre	29393000
Mayo	1561000	Noviembre	7969000
Junio	5400000	Diciembre	5868000

Al iniciar el análisis de los tres histogramas en cuestión lo primero que sobresale es el escurrimiento del periodo de sequía, el cual no recibe influencia de las escasas precipitaciones de este lapso porque éstas se evapotranspiran; en segundo lugar se destaca la reacción de los volúmenes escurridos con relación a los volúmenes precipitados en la estación lluviosa. En el primero de los casos es el aporte del subsuelo el que sostiene el escaso escurrimiento, mientras que en el segundo la precipitación es quien alimenta directamente el cauce del río Huicicila, al mismo tiempo que se lleva a cabo la recarga.

El volumen medio anual escurrido por el cauce del río Huicicila es de 190 318 000.0 m³.

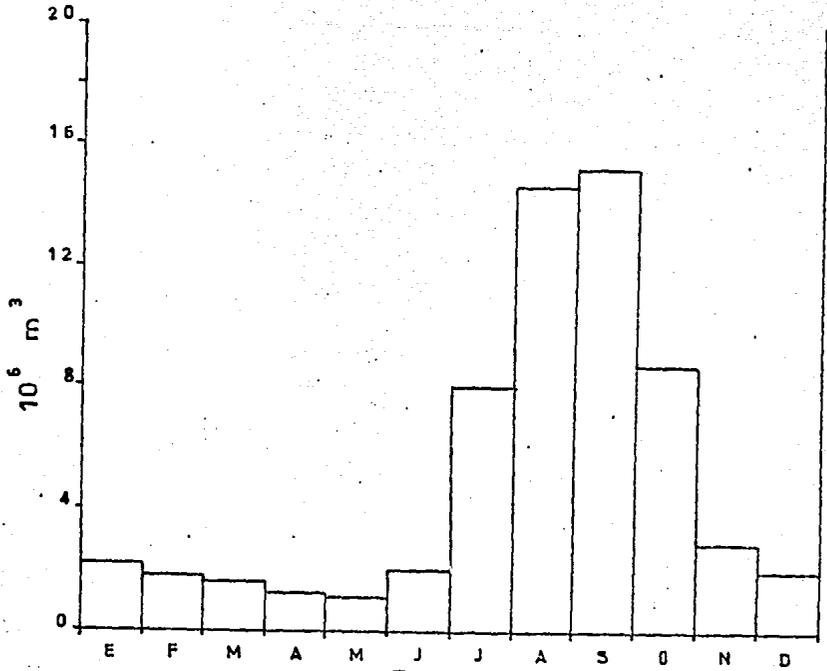


Fig. 51

6. Volumen de agua infiltrada. La infiltración es un fenómeno previo a la recarga y descarga del subsuelo, que depende de las características físicas de la superficie drenada como su naturaleza geológica, la presencia de fracturas, el cubrimiento de bosque y la pendiente general principalmente.

Los volúmenes correspondientes a la infiltración son los de la recarga del subsuelo (cuadro 47), estos valores no representan del todo una pérdida como se definió a la evapotranspiración real ya que a la primera sigue una reacción que constituye la descarga o afloramiento.

Al hacer uso de los valores del cuadro mencionado para

CUADRO 47
VOLUMENES INFILTRADOS

Mes	m^3	Mes	m^3
Enero	0	Julio	65222750
Febrero	0	Agosto	50985750
Marzo	0	Septiembre	22197250
Abril	0	Octubre	10773000
Mayo	0	Noviembre	0
Junio	0	Diciembre	0

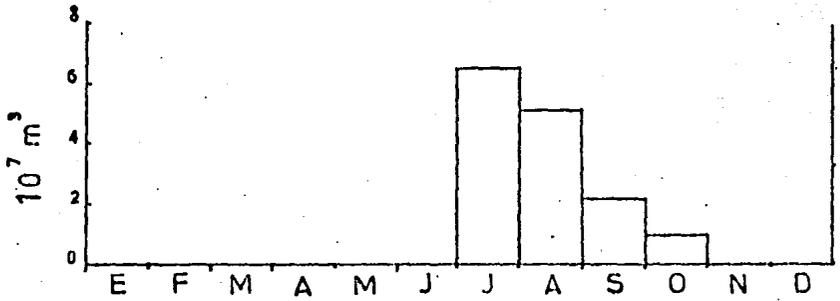


Fig. 52

el trazo del histograma de la figura 52, se puede apreciar que, en efecto, la infiltración se inicia prácticamente al unísono de la temporada de lluvia ya que como quedó establecido se tienen que satisfacer primero las necesidades del suelo. El volumen de recarga del subsuelo de la cuenca en cuestión es de 88 220 750.0 m^3 en promedio anual.

7. Volumen de agua aportada por el subsuelo. Si se hace nuevamente alusión al hecho de que la precipitación de todo el año se evapotranspira con excepción a los meses de julio, agosto, sep-

tiembre y parte de octubre, el agua que escurre por el cauce del río Huicicila en la época de estiaje lógicamente tiene que provenir de la almacenada en el subsuelo, la cual se incorpora por medio de los afloramientos. Los volúmenes de agua subterránea que llegan a la superficie están representados en el cuadro 48, cuyos valores al conformar la curva de la figura 53 comprueban lo establecido anteriormente.

CUADRO 48
APORTES SUBTERRANEOS

Mes	3 m	Mes	3 m
Enero	3805000	Julio	0
Febrero	2674000	Agosto	0
Marzo	2347000	Septiembre	0
Abril	1941000	Octubre	10773000
Mayo	1561000	Noviembre	7869000
Junio	5400000	Diciembre	5868000

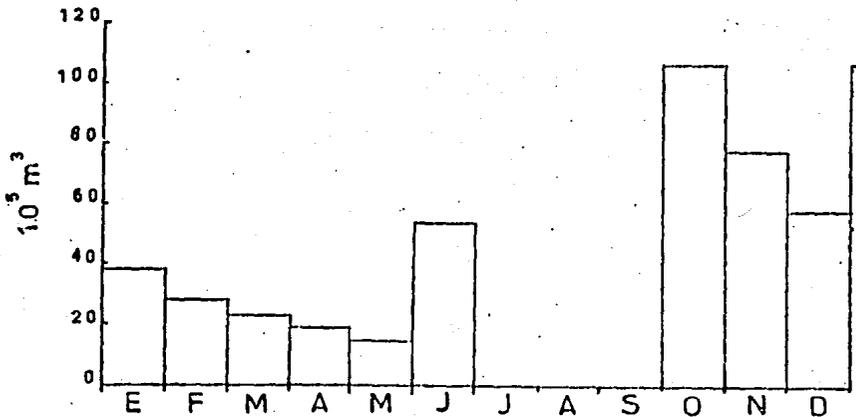


Fig. 53

Cabe aclarar que a partir del mes de septiembre los volúmenes provenientes del subsuelo son muy altos, lo cual es consecuencia de la facilidad que tiene el suelo para ceder el agua; por otra parte, con el transcurrir del tiempo las reservas subterráneas se agotan progresivamente, lo cual repercute en el volumen escurrido.

La descarga media anual del subsuelo durante el periodo de estiaje es de $50\ 185\ 000.0\ m^3$.

Despierta curiosidad el breve aumento del volumen escurrido en el mes de junio, atribuido a las lluvias previas de la temporada que empiezan a manifestarse en el fluido del río, sin que se pueda distinguir claramente en qué medida contribuye la precipitación debido a que la evapotranspiración es superior a esta última, además de que el poder evaporante de la atmósfera es muy elevado.

8. Otros volúmenes de agua. Al cotejar el volumen anual de agua infiltrada ($88\ 220\ 750\ m^3$) con el volumen aportado por el subsuelo en ese mismo lapso ($50\ 185\ 000\ m^3$) sobresale una diferencia de $38\ 035\ 750\ m^3$ en que se incluyen los volúmenes que se fugan subterráneamente hacia las cuencas vecinas o los que son descargados por esta vía al mar; en ambos casos se consideran una pérdida; sin embargo el agua que a pesar de todo lo expresado quedó almacenada no puede considerarse como tal ya que depende de la sequía que se manifieste en el espacio drenado para que las reservas del subsuelo aporten más o menos de su contenido (fig. 54).

No se incluyen en este aspecto los usos del agua porque

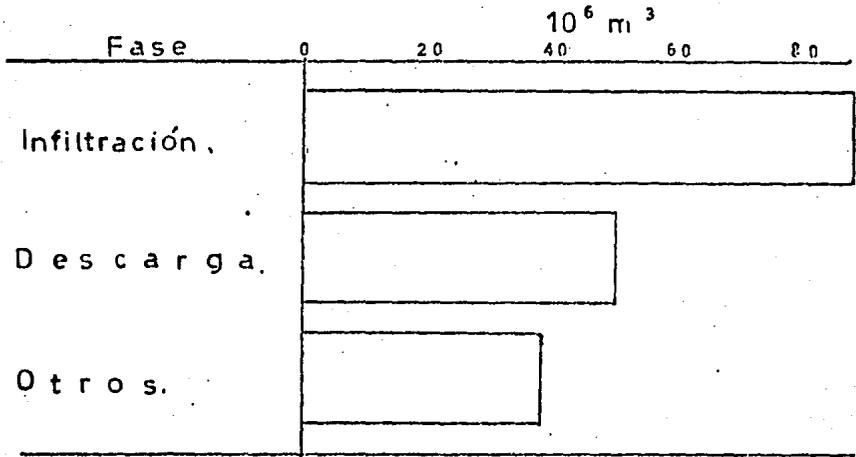


Fig. 54

cualesquiera que estos fueran, el ciclo natural se completa, esto es, si el vital líquido se emplea para riego, aseo personal, preparación de alimentos, etc., terminan por retornar a la atmósfera cuando se evapora; se incorporan al río -si éste recibe los efluentes sanitarios o de drenaje- o se infiltran en el suelo.

9. Balace hidrológico. El balance hidrológico implica un resumen de los volúmenes ganados y perdidos que se representan a través de las distintas etapas del ciclo del agua en la cuenca de un río, es decir, de cada uno de los aspectos comprendidos en los incisos que anteceden.

En la figura 55 se presenta el histograma del balance medio mensual a lo largo del año; de él sobresalen los meses

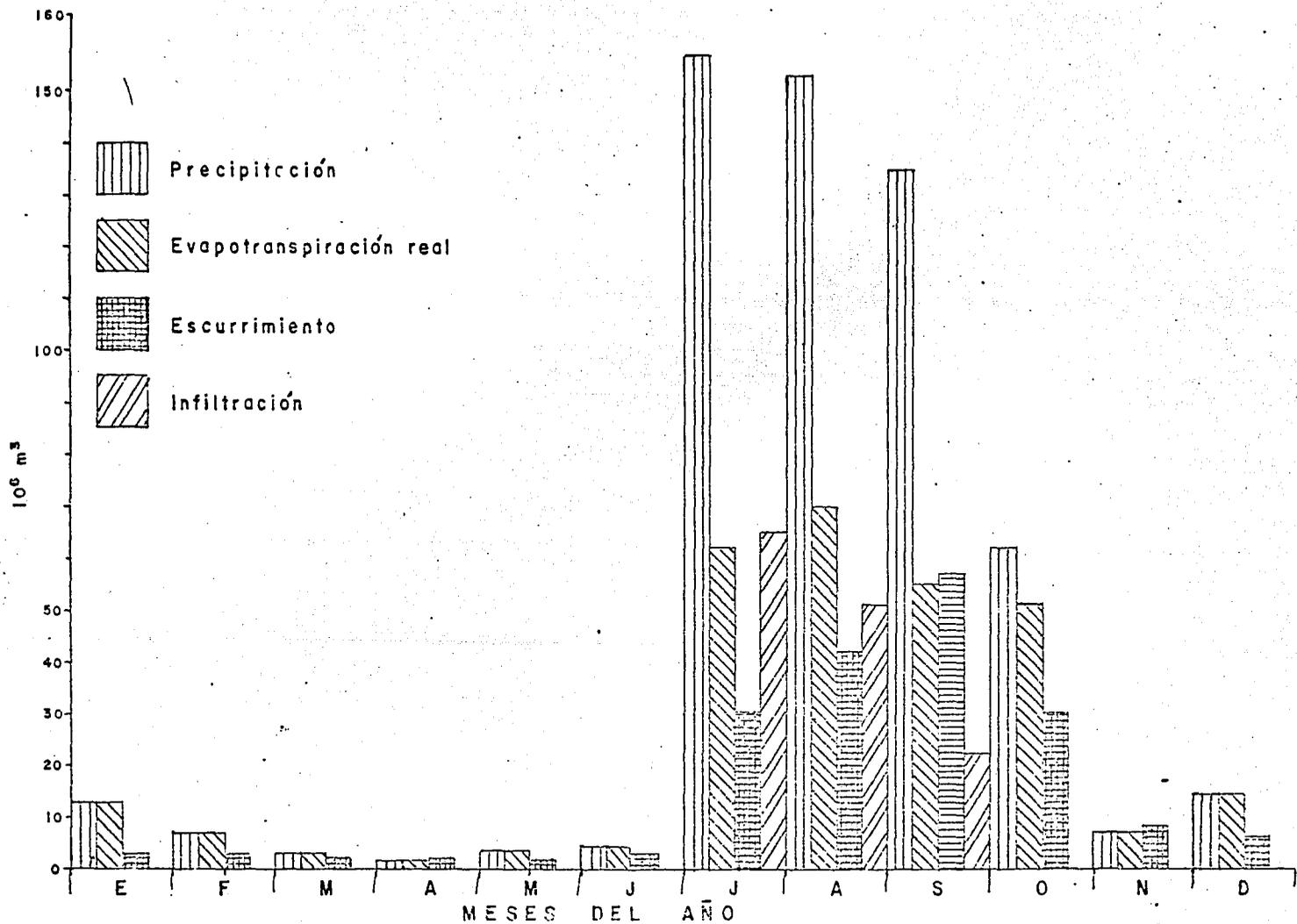


FIG. 35

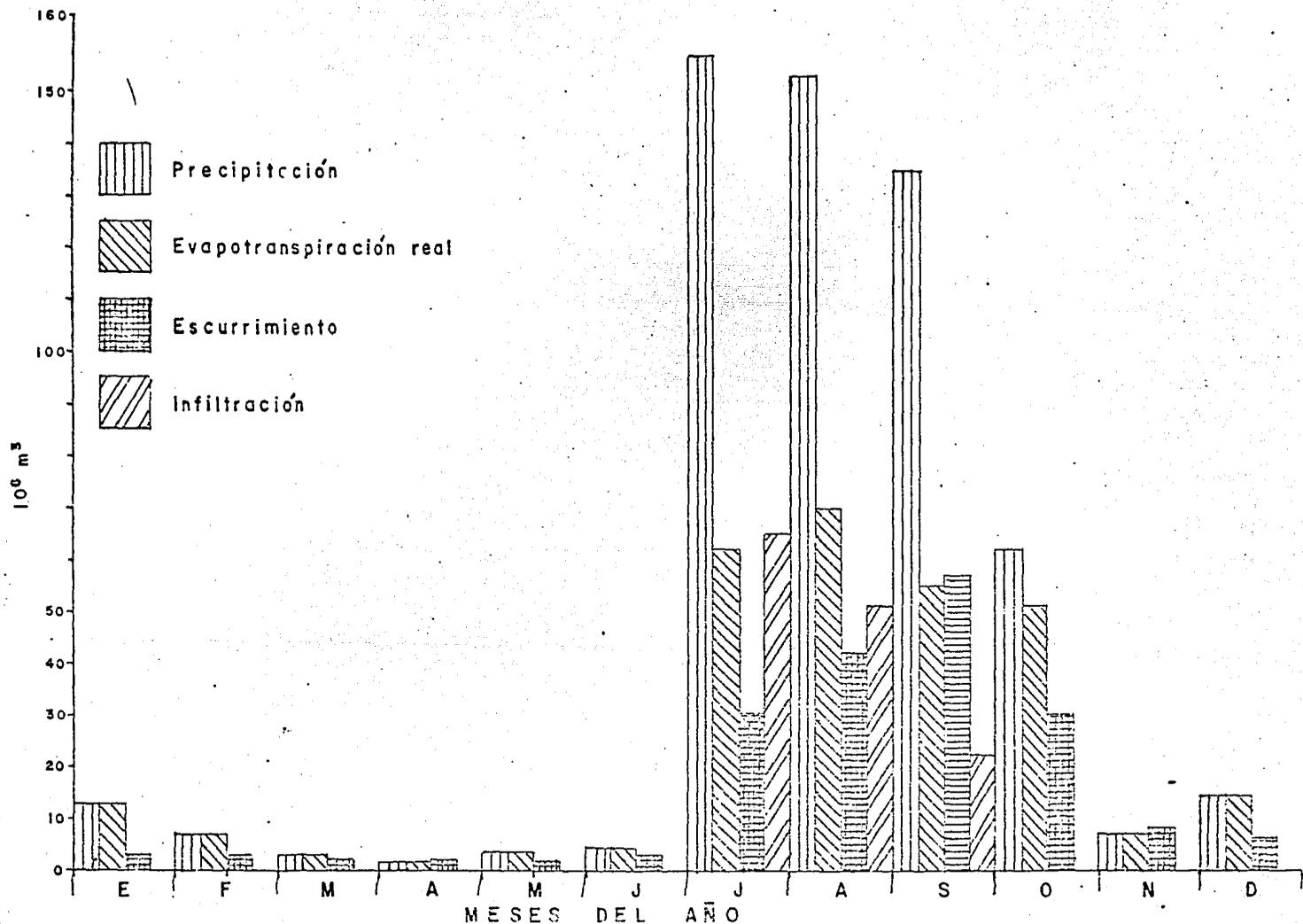


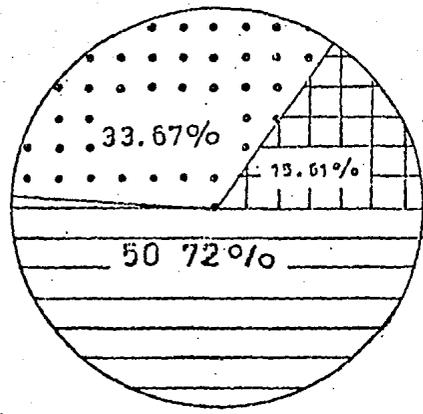
Fig. 55

julio, agosto, septiembre y octubre por su actividad en todas sus fases, con lo que se comprueba la dependencia que tienen de la precipitación los demás eslabones del ciclo; también merece atención el lapso de noviembre a junio por el retorno a la atmósfera de los volúmenes precipitados, por su parte en el mes de noviembre el escurrimiento sobresale de las demás componentes debido a que éste recibe fuertes aportes subterráneos.

Considerando lo anterior el balance hidrológico medio anual se presenta de la manera siguiente: del volumen total precipitado el 50.72 % se pierde por evapotranspiración, por lo que se dice que esta fase del ciclo es de las más importantes después de la precipitación; por otra parte, el 33.67 % logra escurrir por el cauce del río Huicicila y finalmente casi el 15.61 % se infiltra (cuadro 49 y figura 56). Cabe recordar que del total infiltrado el 56.89 % retorna al escurrimiento superficial en el estiaje y del 43.11 % restante una parte queda en la reserva y otra se pierde definitivamente sin que se pueda cuantificar cada una de ellas.

CUADRO 49
BALANCE HIDROLOGICO

Fase	3 m
Precipitación	565 204 500
Evapotranspiración real	286 665 750
Escurrimiento	190 318 000
Infiltración	88 220 750



CLAVE
○ Precipitación.
□ Evaporación.
■ Escurrimiento.
● Infiltración.

Fig. 56

SEGUNDA PARTE
FACTORES HUMANOS

Capítulo VI

POBLACION

GENERALIDADES. 1. División política. 2. Población. 3. Uso del suelo. 4. Aprovechamiento de los recursos hidrológicos.

GENERALIDADES

Como todo estudio geográfico, éste no podía excluir el aspecto humano porque es precisamente el que lo coloca dentro del ámbito de la geografía.

Los factores humanos incluidos en este estudio no son profusos ya que solo se trata de conocer el aprovechamiento de los recursos hidrológicos así como de ver su influencia tanto en el espacio drenado como en el escurrimiento mismo del río Huicicila.

Por otra parte, considerando las modificaciones que presenta el medio -cuenca del río Huicicila- como una repercusión de algunas de las actividades humanas desarrolladas en la superficie drenada, se han incluido además, en este capítulo, algunos aspectos del uso actual del suelo y del agua.

1. División política. La cuenca del río Huicicila se ubica desde el punto de vista político dentro de la entidad nayarita, como ya quedó asentado, sin embargo para apreciar más de cerca las ca-

racterísticas de la población de la cuenca, se ha recurrido a la división municipal.

El área de la cuenca del río Huicicila forma parte de varios municipios cuyas superficies se presentan en el cuadro 49.

CUADRO 49
MUNICIPIOS QUE ABARCA LA CUENCA DEL RIO HUICICILA

Municipio	Km ²
Compostela	275.65
Jalisco	147.20
San Pedro Lagunillas	137.62
Santa María del Oro	9.61

Como se observa en el cuadro anterior, el municipio de Compostela cubre la mayor parte de la cuenca, el 48.36 % de la superficie total, en contraste con Santa María del Oro que apenas si alcanza el 1.68 %. A los municipios de Jalisco y San Pedro Lagunillas corresponden el 25.82 % y 24.14 % respectivamente (figs. 57 y 58).

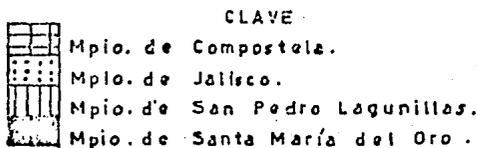
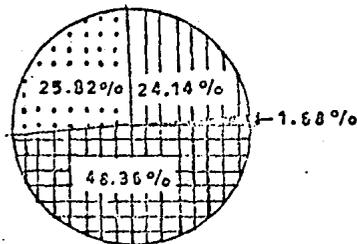
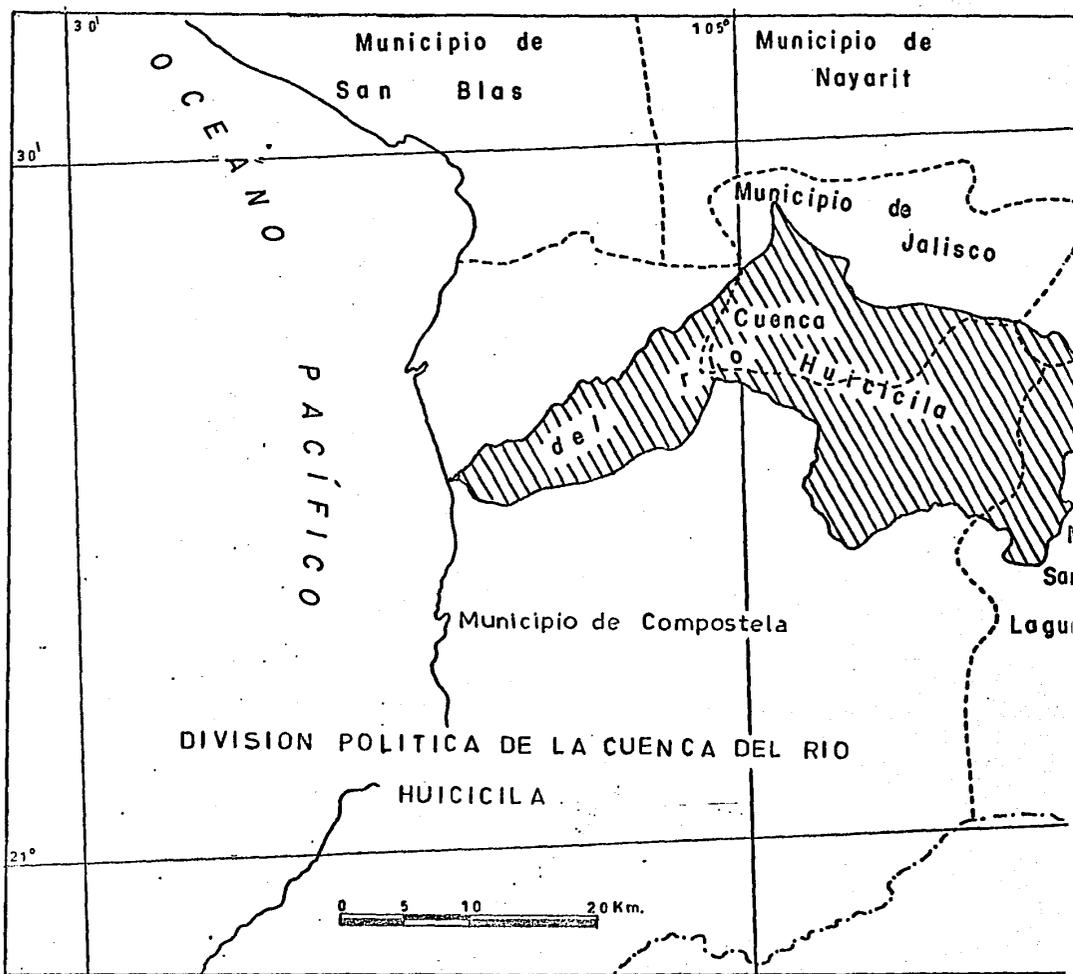


Fig. 57



-->
Continua 1

Fig. 58

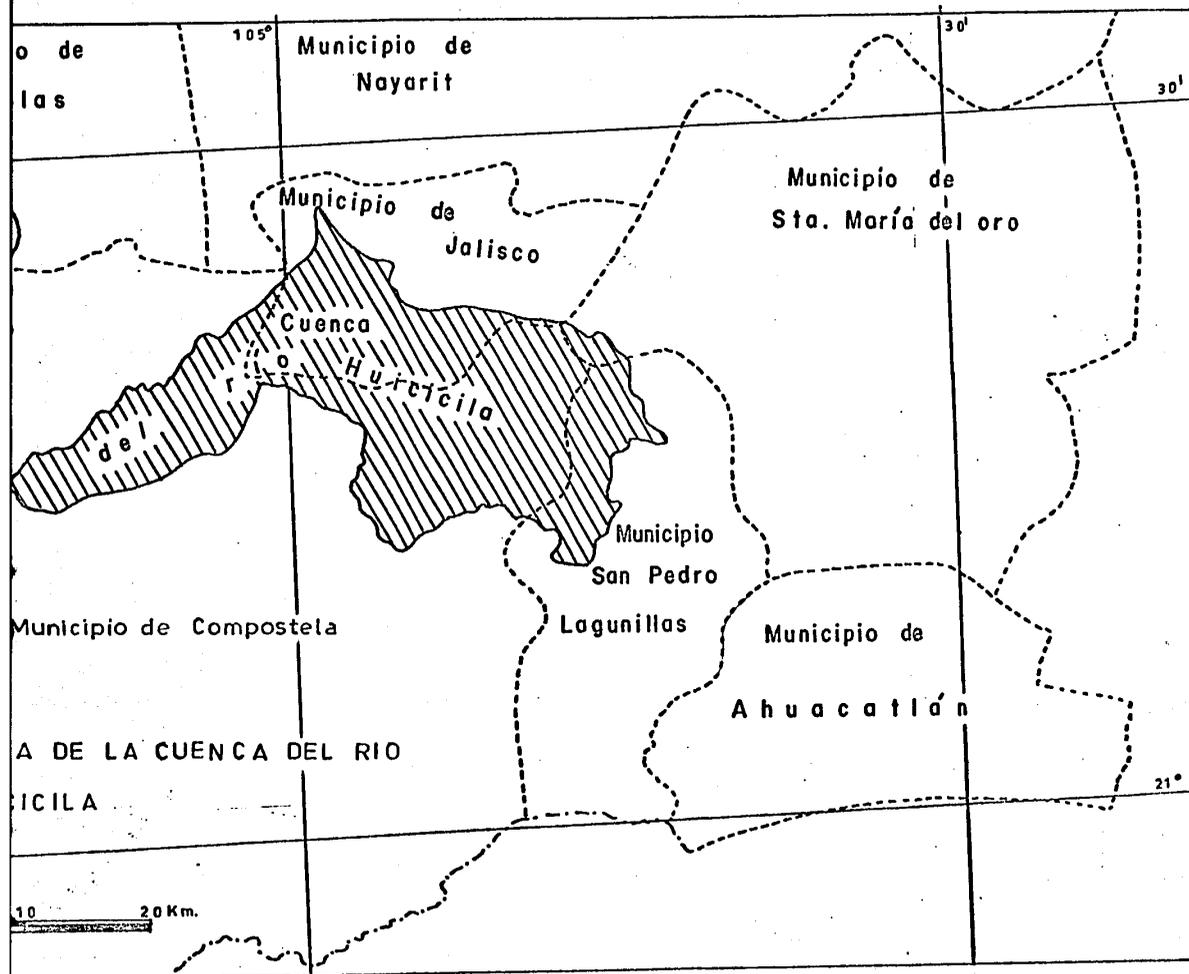


Fig. 58

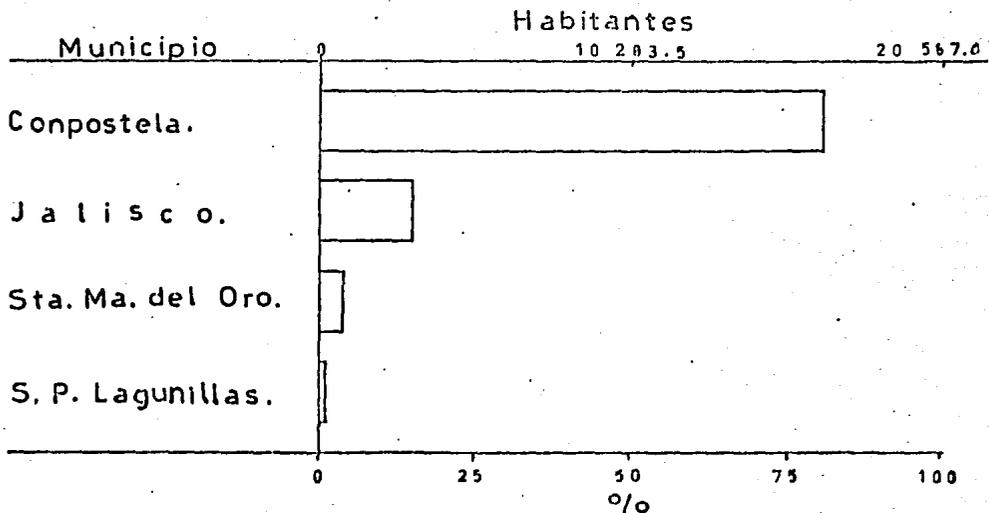
2. Población. La cuenca del río Huicicila tiene una población total de 20 567 habitantes de acuerdo al Censo (Nacional de Población y Vivienda de 1970. En relación a las cuatro fracciones municipales, corresponde el 80.6 % de los habitantes al municipio de Compostela, el 14.9 % al municipio de Jalisco y el 3.4 % y el 1.1 % respectivamente a los municipios de Santa María del Oro y San Pedro Lagunillas (cuadro 50 y fig. 59).

CUADRO 50

POBLACION DE LA CUENCA DEL RIO HUICICILA

Municipio	Habitantes*
Compostela	16 567
Jalisco	3 046
Santa María del Oro	700
San Pedro Lagunillas	222

* Censo Nacional de Población y Vivienda. 1970.



FUENTE: Censo Nat. de Pob. y Viv. 1970

Fig. 59

Tomando en consideración el número total de habitantes y la superficie del espacio avenado por el sistema fluvial del río Huicicila la población relativa o densidad de población es de 36.08 personas por kilómetro cuadrado.

La población en la cuenca en estudio habita en 3 445 viviendas, con un promedio de 6 personas en cada una de ellas; esas viviendas, a su vez, se ubican en 43 localidades diseminadas irregularmente en el área en cuestión.

En el mapa de la figura 60 puede observarse la distribución de los 43 asentamientos humanos en cuestión, la mayoría de ellos se localiza en las partes baja y alta de la cuenca, mientras que en la porción media y en la cabecera, la naturaleza del terreno impide el establecimiento de grandes y numerosos grupos de personas.

CUADRO 51
DISTRIBUCION DE LA POBLACION

Núm	Localidad	Municipio	Habitantes	Viviendas
1	Astras Las	Compostela	81	3
2	Buenavista	Compostela	14	5
3	Burras Las	Compostela	42	3
4	Canoas Las	Compostela	45	7
5	Capulines Los	Compostela	5	2
6	Carrizal El	Jalisco	150	20
7	Carrizal El	Compostela	5	1
8	Cerritos Los	Compostela	3	1
9	Cofradía La	Compostela	350	49
10	Compostela	Compostela	9 572	1 806

CUADRO 51 (continuación)
DISTRIBUCION DE LA POBLACION

Núm	Localidad	Municipio	Habitantes	Viviendas
11	Cuestecomalillo	Compostela	388	59
12	Curva La	Jalisco	460	97
13	Charros Los	Compostela	2	1
14	Chiles Los	San Pedro Lag.	2	1
15	Estación Compostela	Compostela	80	11
16	Escondida La	Compostela	11	3
17	Ermitaño El	Sta. Ma. del Oro	700	40
18	Guamara	Compostela	8	3
19	Gloria La	Compostela	5	1
20	Huicicila	Compostela	13	4
21	Italiano El	Jalisco	10	1
22	Juntas Las	Compostela	16	4
23	Lajas Las	Jalisco	7	1
24	López Mateos Adolfo	Jalisco	200	21
25	Limbo El	Compostela	6	3
26	Manantial El	Jalisco	860	142
27	Matadero El	Compostela	8	3
28	Milpillas Bajas	San Pedro Lag.	220	34
29	Miravalles	Compostela	600	83
30	Paranal	Compostela	435	57
31	Quebrada La	Compostela	7	2
32	Realito El	Compostela	2	1
33	Refilión El	Compostela	200	5
34	Refugio El	Compostela	5	1
35	San Antonio	Compostela	2	1
36	San José Costilla	Jalisco	150	31

CUADRO 51 (continuación)
DISTRIBUCION DE LA POBLACION

Núm.	Localidad	Municipio	Habitantes	Viviendas
37	Sidra La	Compostela	4	2
38	Tacote El	Jalisco	50	6
39	Taray El	Jalisco	3	1
40	Tepiqueño	Compostela	300	34
41	Víboras Las	Compostela	23	3
42	Zacualpan	Compostela	4 551	762
43	Zapata Emiliano	Jalisco	806	120

3. Uso actual del suelo. Como su nombre lo indica, el uso actual del suelo se refiere al aprovechamiento que hoy en día el hombre da a la superficie del medio en que habita de acuerdo a algunas actividades que ha venido desarrollando; de ellas sobre salen principalmente las agropecuarias.

Del mapa de la figura 61 se obtuvieron, mediante el empleo del planímetro, las áreas que los habitantes de la cuenca han destinado para sus distintas ocupaciones (cuadro 52).

Para visualizar más claramente los valores del cuadro siguiente, se construyó en base a ellos el histograma de la figura 62, donde puede apreciarse que el 72.6 % del área total de la cuenca está cubierta de bosque de encinos y selva mediana caducifolia que están destinados al uso forestal. Si se cotejan las superficies boscosas del mapa de la figura 61 y el mapa topográfico (fig. 2) se advierte que el bosque de encinos cubre las partes más altas y de mayor pendiente, donde las condicio-

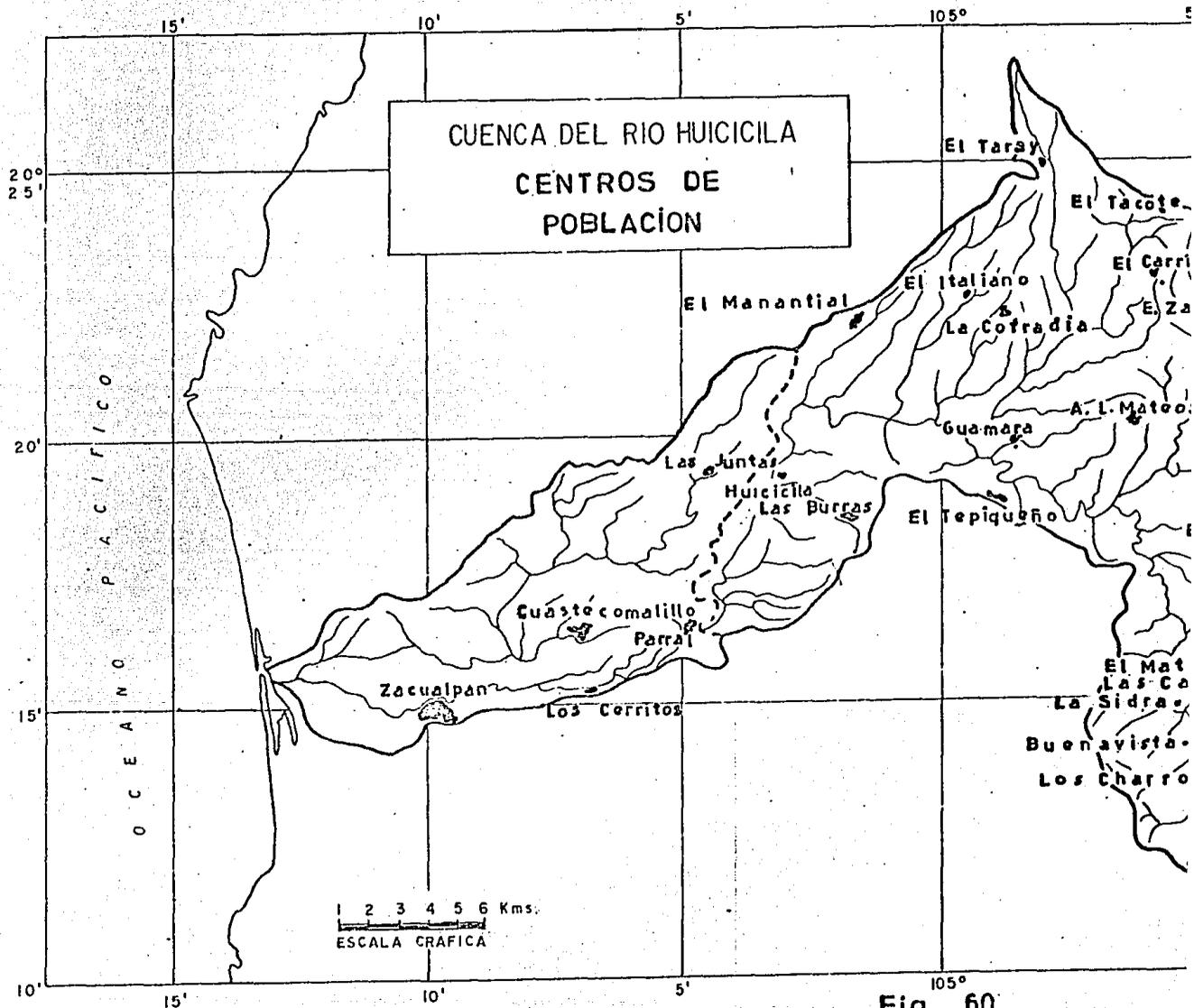


Fig. 60

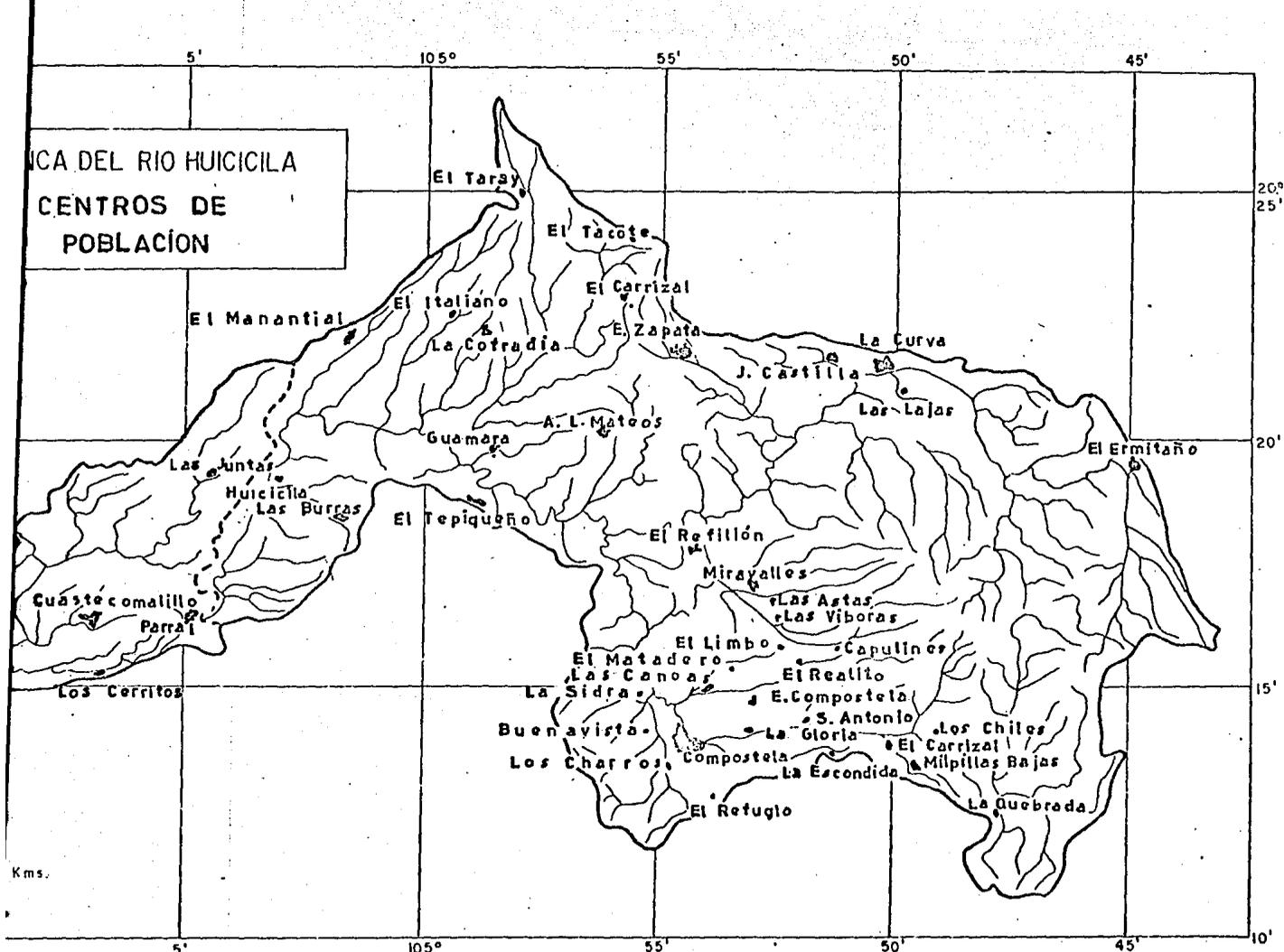


Fig. 60

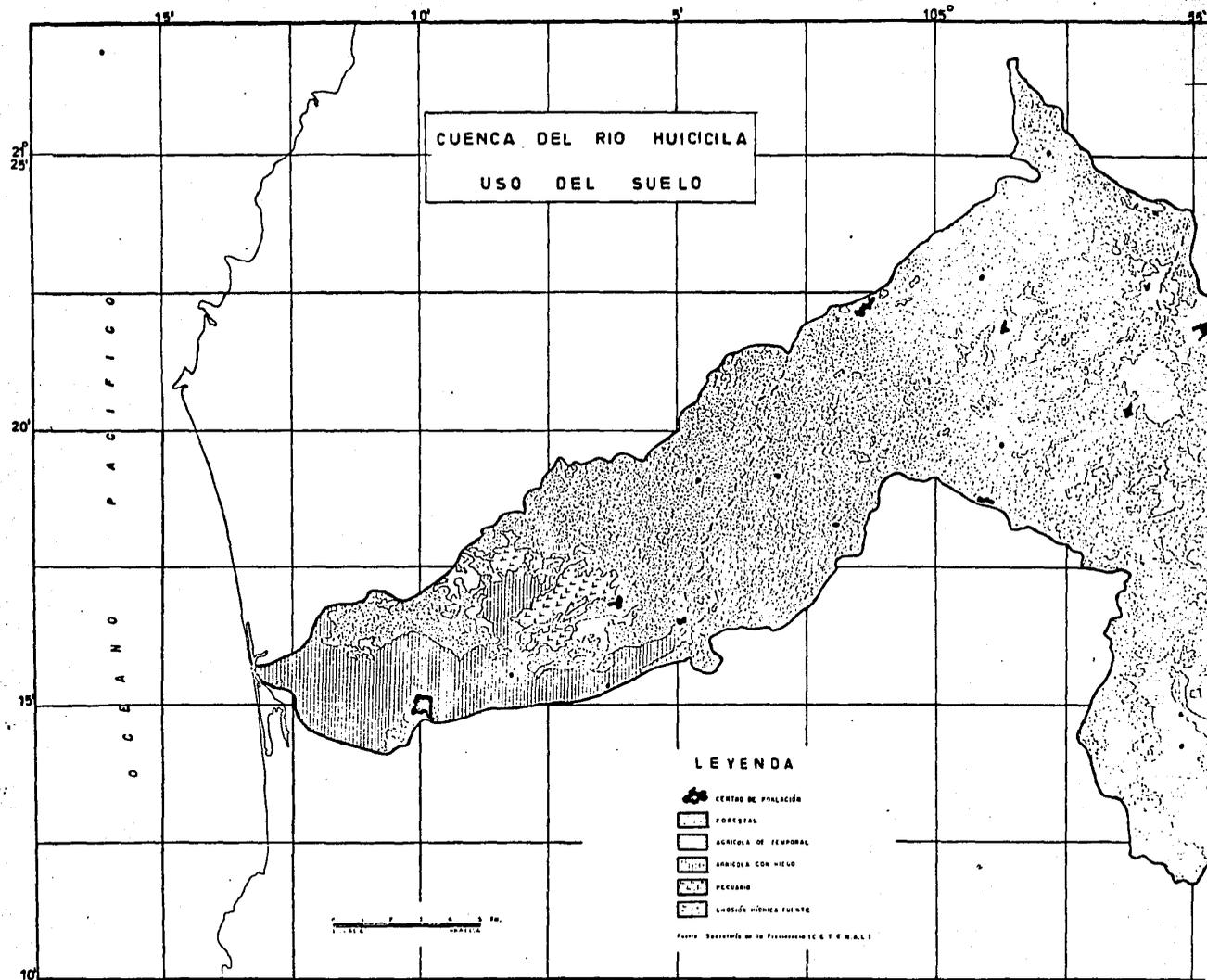


Fig. 61

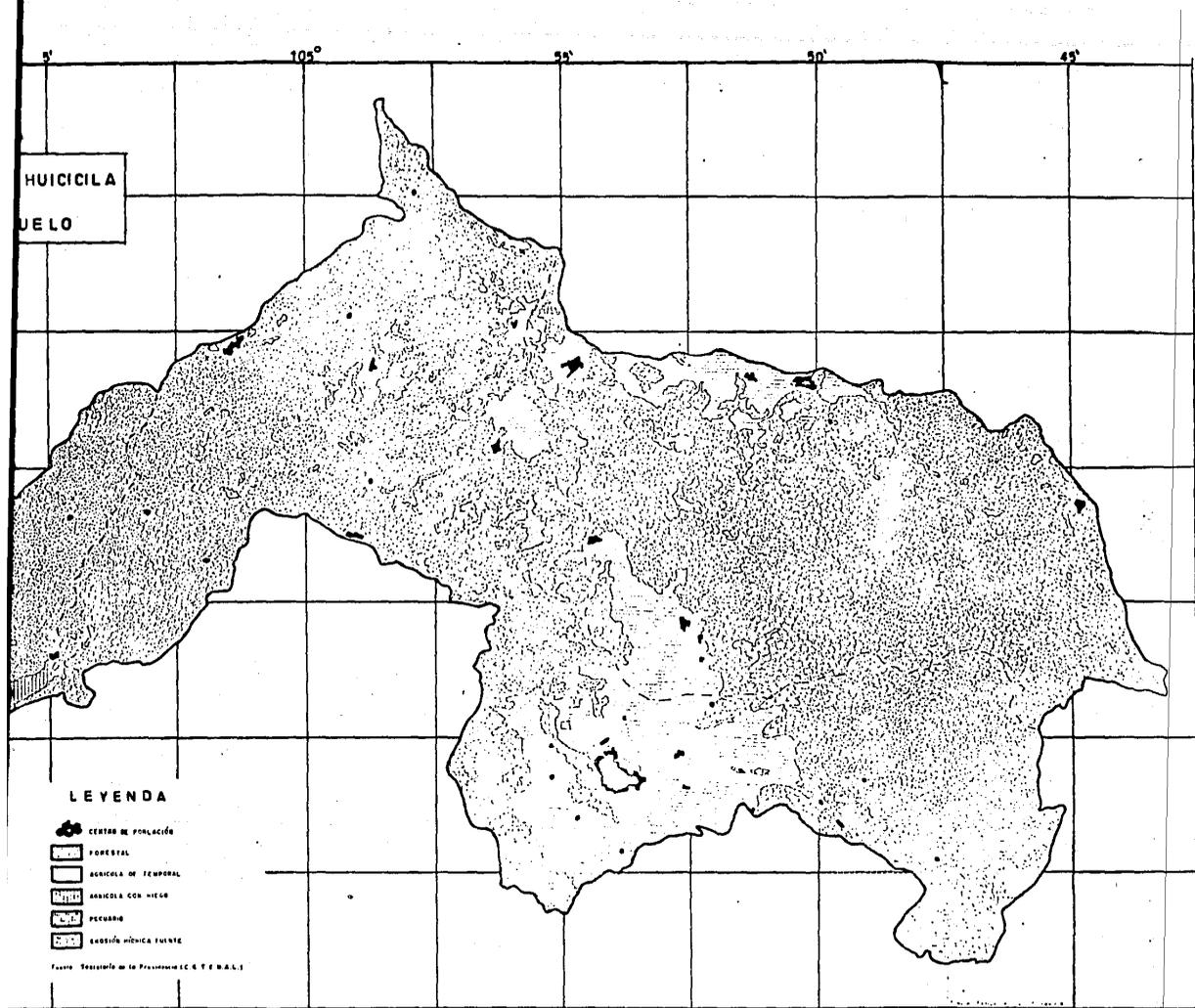


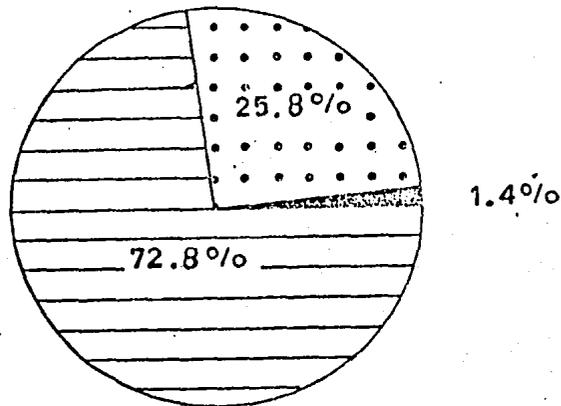
Fig. 61

nes climatológicas lo permiten (fig. 22). Por otra parte, el área donde se estableció la selva es precisamente la parte media de la cuenca.

CUADRO 52

USO ACTUAL DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RIO HUICICILA

Tipo de uso	Superficie en Km ²	
	Parcial	Total
Forestal	-	415.08
Agropecuuario	-	147.10
Agricultura	132.7	-
Ganadería	14.4	-
Asentamientos humanos	-	7.90



USO ACTUAL DEL SUELO



Forestal.
Agropecuario.
Centros de población.

Fig. 62

Con respecto al uso agropecuario del suelo, éste alcanza el 25.8 %, cabe decir que de las 1 327 has (23.3 % del total de la cuenca) están destinadas a la agricultura 790 has con riego y las restantes 537 has de temporal. La agricultura en la cuenca de estudio se localiza en las parte sur y poniente y corresponde lógicamente a la superficie de menor pendiente. Las áreas ganaderas son de poca importancia ya que llegan a ser sólo del 2.5 % del total de la cuenca, esto es, 144.has, las cuales están cubiertas por pastos inducidos.

Por último, los 43 centros de población diseminados en toda la cuenca en conjunto cubren sólo el 1.4 % de la superficie de estudio, esto es, 7.9 Km² (fig. 61).

4. Aprovechamiento de los recursos hidrológicos. El agua es un recurso indispensable para la subsistencia del hombre, pero este aprovechamiento no solamente se limita a esto, sino que se proyecta hacia un sinnúmero de actividades que él lleva a cabo en su afán de progreso y bienestar; estos usos pueden ser directos o indirectos mas sin embargo, en algunos casos, cuando esa utilización no es racional, el recurso tiende a limitarse, de ahí que sea indispensable tomar algunas medidas al respecto, con el fin de no frenar esa marcha ascendente de la humanidad.

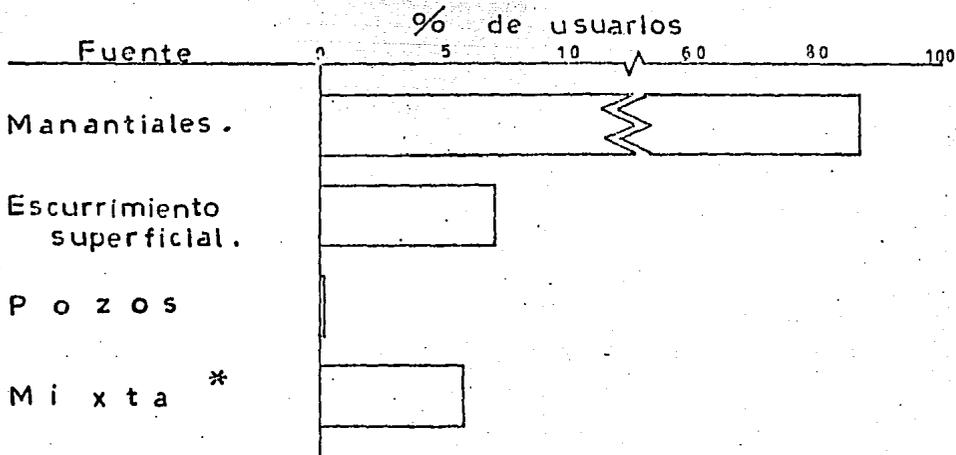
El análisis del uso del agua en la cuenca del río Huicicila es de gran importancia pues permite poner a disposición el trato que los habitantes dan a este recurso y las posibilidades que haya para destinarla a otros.

Infelizmente la información de que se dispone no es lo suficientemente completa, pues solamente señala la dotación

del recurso a las viviendas y la fuente abastecedora. Por otra parte, esa escasa información también queda limitada al no especificar si el líquido en cuestión es potable o no, esto es, si reúne o carece de las condiciones físicas, químicas y biológicas para su consumo directo en el hogar, por lo que a partir de este momento será reemplazado este término por el de agua para uso doméstico; por otra parte no se cuentan los volúmenes aprovechados.

El uso del agua para cubrir las necesidades más indispensables en las viviendas localizadas en la cuenca de estudio es tomada de diferentes fuentes como: manantiales, escurrimientos superficiales y pozos profundos, fuentes que no sólo abastecen este tipo de uso sino seguramente también otros como el industrial y el agropecuario.

Considerando la información reunida en el cuadro 53, que corresponde a la que proporciona el Censo Nacional de Población y Vivienda de 1970, y la obtenida por otros medios vistos en capítulos antecedentes, puede decirse que de la población total de la cuenca del río Huicicila (20 567), el 87.1 %, esto es, 17 660 habitantes aprovechan el recurso de los diversos afloramientos del agua del subsuelo o manantiales, el 7.1 %, o sean 1 433 habitantes, de los escurrimientos superficiales y sólo 0.8 % de 16 de los pozos profundos; el resto, es decir las 1 160 personas que representan el 5.8 % obtienen el vital líquido de fuentes mixtas o indistintamente de manantiales y escurrimientos superficiales (150 habitantes) y de manantiales y pozos profundos (1 010) (fig. 63).



* Ver texto.

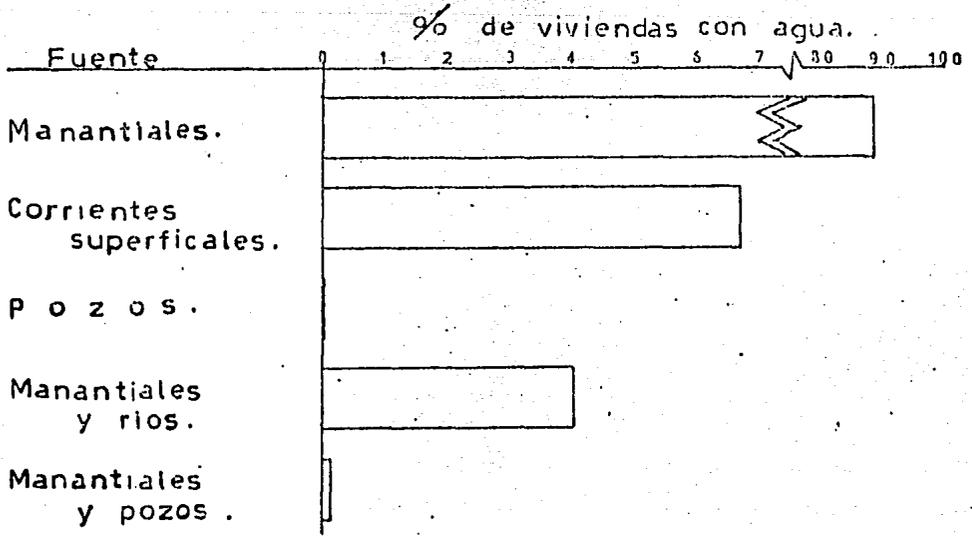
FUENTE: Censo Nat. de Pobl. y Vivienda, 1970.

Fig. 63

Viendo el mismo caso del uso del recurso agua pero a nivel de vivienda, puede resumirse de la siguiente manera: de los 3 445 hogares existentes en la cuenca, 3 041 (88.3 %) reciben agua de manantiales, 232 (6.7 %) de escurrimientos superficiales, 4 (0.1 %) es extraída de pozos profundos y los últimos 4 (0.1 %), es obtenida de manantiales y pozos (2 viviendas) y de manantiales y corrientes superficiales (2) (fig. 64).

Como puede observarse se tiene prioridad por el agua del subsuelo a la superficial, lo cual resulta lógico ya que el agua brotante tiene más posibilidades de pureza o potabilidad que la superficial que está más expuesta a la contaminación.

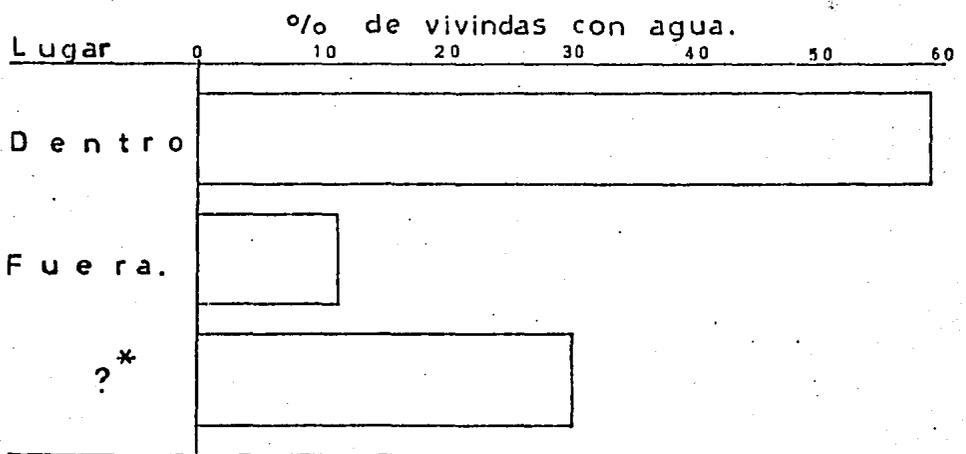
Los habitantes de la cuenca del río en estudio disponen del recurso de diferentes maneras, 58.9 % (2 028) de las viviendas están dotadas con el agua en su interior, 11.0 % (328) de las mismas tienen sus tomas fuera, y del 30.1 % (1 037) res-



FUENTE Censo Nal. de Pob. y Viv., 1970.

Fig. 64

tante el censo no especifica concretamente (fig. 65).



* No se especifica.

FUENTE: Censo Nal. de Pob. y Viv., 1970

Fig. 65

CUADRO 53

U S O D E L A G U A

Lugar	Municipio	Habitantes	Viviendas	Fuente abastecedora de agua	% de viviendas con agua		
					Dentro	Fuera	Sin especificar
Astras Las	Compostela	81	3	Río	-	-	100
Buenavista	Compostela	14	5	Manantial	-	-	100
Burras Las	Compostela	42	3	Manantial	-	100	-
Canoas Las	Compostela	45	7	Río	-	-	100
Capulines Los	Compostela	5	2	Río	-	-	100
Carrizal El	Jalisco	150	20	Manantial	5.0	-	95
Carrizal El	Compostela	5	1	Manantial	-	-	100
Cerritos Los	Compostela	3	1	Río	-	-	100
Cofradía La	Compostela	350	49	Río	-	-	100
Compostela	Compostela	9 572	1 806	Manantial	78.6	6.4	10
Cuastecomalillo	Compostela	388	59	Río	69.5	13.3	10
Curva La	Jalisco	460	97	Manantial-Río	3.1	47.4	49.5
Charros Los	Compostela	2	1	Manantial	-	-	100
Chiles Los	San Pedro Lag.	2	1	Manantial	-	-	100
Estación Compostela	Compostela	80	11	Manantial	-	-	100
Escondida La	Compostela	11	3	Manantial	-	-	100
Ermitaño El	Sta. Ma. del Oro	700	40	Manantial-Río	-	-	100
Guamara	Compostela	8	3	Río	-	-	100

CUADRO 53 (continuación)

U S D D E L A G U A

Lugar	Municipio	Habitantes	Viviendas	Fuente abastecedora de agua	% de viviendas con agua		
					Dentro	Fuera	Sin especificar
Gloria La	Compostela	5	1	Pozo	-	-	100
Huicicila	Compostela	13	4	Río	-	-	100
Italiano El	Jalisco	10	1	Río	-	-	100
Juntas Las	Compostela	16	4	Río	-	-	100
Lajas Las	Jalisco	7	1	Río	-	-	100
López Mateos Adolfo	Jalisco	200	21	Río	-	-	100
Limbo El	Compostela	6	2	Río	-	-	100
Manantial El	Jalisco	860	142	Manantial	49.3	31.7	19
Matadero El	Compostela	8	3	Manantial	-	-	100
Milpillas Bajas	S. Pedro Lag.	220	34	Manantial	32.4	61.8	5.8
Miravalles	Compostela	600	83	Manantial	30.1	59.0	11.1
Paranal	Compostela	435	57	Río	-	-	100
Quebrada La	Compostela	7	2	Río	-	-	100
Realito El	Compostela	2	1	Río	-	-	100
Refilión El	Compostela	200	5	Río	-	-	100
Refugio El	Compostela	5	1	Manantial	-	-	100
San Antonio	Compostela	2	1	Manantial	-	-	100
San José-Costilla	Jalisco	150	31	Manantial-Río	-	-	100
Sidra La	Compostela	4	2	Río	50.0	-	50

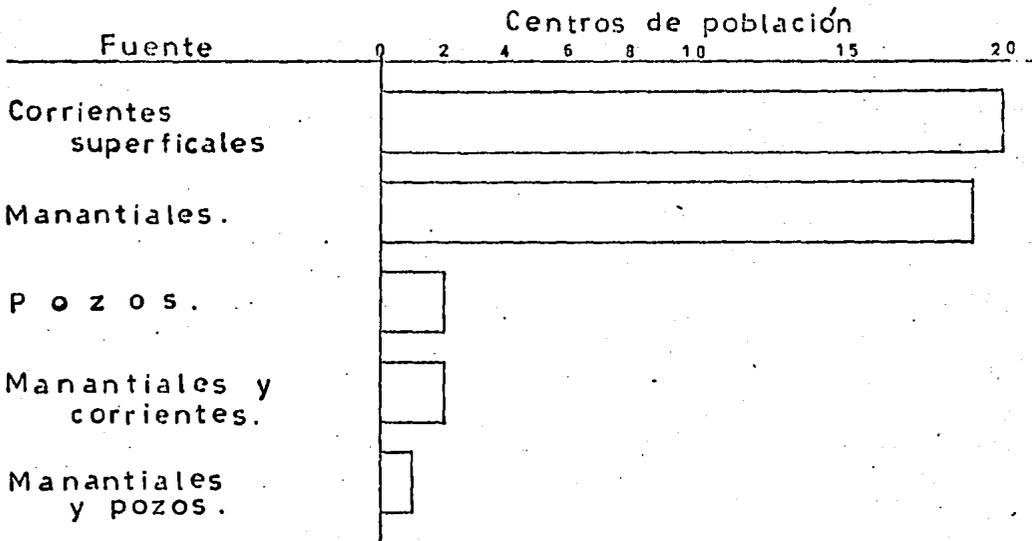
CUADRO 53 (continuación)

U S O D E L A G U A

Lugar	Municipio	Habitantes	Viviendas	Fuente abaste- cedora de agua	% de viviendas con agua		
					Dentro	Fuera	Sin especificar
Tacote El	Jalisco	50	6	Manantial	-	-	100
Taray El	Jalisco	3	1	Manantial	5.9	-	94.1
Tepiqueño	Compostela	300	34	Río	-	-	100
Víboras Las	Compostela	23	3	Río	-	-	100
Zacualpan	Compostela	4 551	762	Manantial	53.3	12.1	34.6
Zapata Emiliano	Jalisco	806	120	Manantial	-	-	100

Censo Nacional de Población y Vivienda. 1970.

Para redondear más el uso del agua en el área de trabajo se ha abordado también a nivel localidad, quedando resumido de la siguiente manera: de los 43 asentamientos humanos localizados dentro de la cuenca, 20 son abastecidos desde los escurrimientos que conforman el sistema del río Huicicila, a 19 les es conducida de los manantiales, solamente 2 la extraen de pozos profundos, 2 de manantiales y corrientes superficiales y solamente 1 de manantiales y pozos profundos (fig. 66 y 67).



FUENTE: Censo Nat. de Pob. y Viv., 1970

Fig. 66

Como se ve a nivel de centros de población, aún por una diferencia mínima con la determinada respecto a el abastecimiento de las viviendas, existe preferencia por el uso del agua de los escurrimientos superficiales.

Infortunadamente los usos industrial y agropecuario no son abordados con amplitud debido a que se carece de la informa-

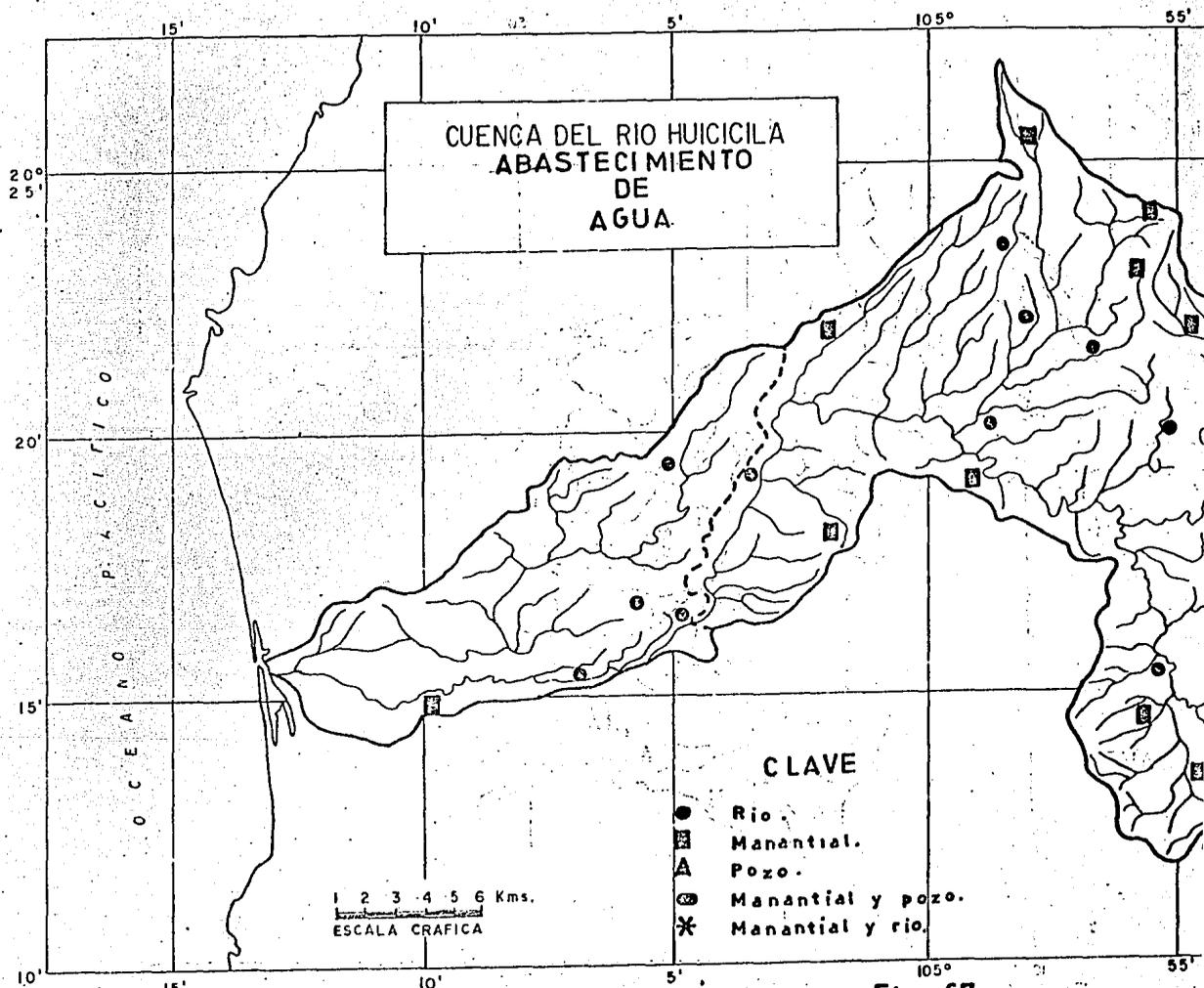


Fig. 67

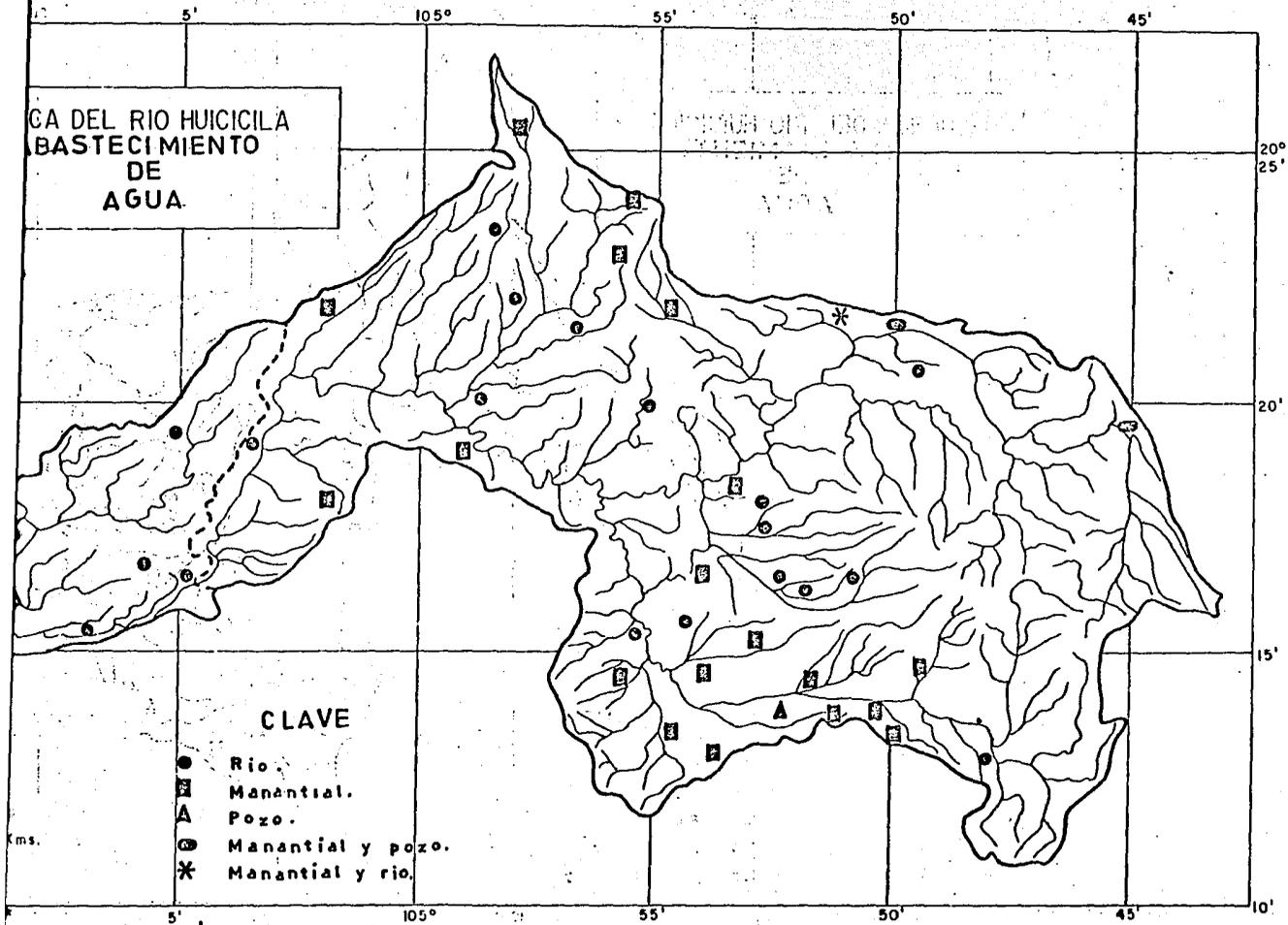


Fig. 67

ción necesaria, sin embargo, en el caso del agua para riego se sabe de su existencia gracias a la carta de uso del suelo de DETENAL.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

El estudio geográfico del escurrimiento, como se vió a lo largo de este trabajo, implica una serie de elementos y factores no solamente de la corriente en sí sino también del espacio drenado por el río; las características en cuestión no se presentan de manera aislada, es decir permanecen vinculadas en mayor o en menor grado entre ellas y el escurrimiento y cuyo comportamiento en el espacio y en el tiempo se refleja indudablemente en el régimen de las corrientes.

El espacio que drena el río Huicicila por sus dimensiones (570.08 Km^2) se considera pequeño si se compara con las cuencas de los grandes sistemas fluviales del país.

Independientemente de la apreciación directa del mapa de la cuenca, el índice de compacidad (2.09) y el factor de forma (0.001) indican que precisamente se trata de una cuenca alargada lo cual deja entrever la escasa posibilidad de que se presenten avenidas.

Por otro lado, los índices sobre sus condiciones topográficas demuestran que su pendiente media o general es bastante pronunciada (29.6 %), lo que quiere decir que está muy expuesta a la erosión del suelo por la esorrentía. Esta peculiaridad es característica de toda cuenca que drene formaciones montañosas con gran aproximación a la línea de costa como lo es el extremo poniente de la Sierra Volcánica Transversal y que en parte es desaguada por el río Huicicila; lo anterior se demuestra en la distribución altitudinal de la cuenca (histograma de frecuencias altimétricas) y el comportamiento de la curva hipsométrica y se con

firma con la altitud media de la cuenca (884.2 m) que es muy significativa por su cercanía a la costa, sin embargo el coeficiente de masividad (0.155 dm/Km^2) demuestra lo contrario pero se debe de tomar en consideración que la superficieavenada no presenta una pendiente con cierta uniformidad en sus vertientes, por ende no se identifican, esto se corrobora con lo acentuado del índice orográfico (5.7); todo esto conduce a tomar medidas extremas en el manejo del suelo de la cuenca para evitar hasta donde sea posible la erosión.

La superficie del espacio drenado está cubierta en un 84.0 % (478.83 Km^2) por rocas de origen volcánico en su mayor parte fracturadas y sólo el 2.2 % (12.7 Km^2) por rocas sedimentarias; el restante 13.8 % (78.55 Km^2) corresponde a suelos aluvial y residual.

El área boscosa cubre apenas el 66.5 % de la superficie total de la cuenca, esto es, 378.8 Km^2 .

Respecto a las condiciones climatológicas, la temperatura es de 23.3°C en promedio anual, con oscilaciones poco acentuadas sin llegar a ser isotermal. La precipitación es de régimen de verano con una altura de 1344.0 mm, con intensidades máximas en 24 horas hasta de 240.1 mm; en el comportamiento pluvial interviene una serie de factores relacionados entre sí como los vientos alisios, los ciclones tropicales y las condiciones locales; además, durante el invierno son de gran relevancia las invasiones de masas de aire frío procedentes del polo norte. La distribución espacial está estrechamente vinculada al relieve del área de estudio lo cual contribuye a las lluvias de relieve, y en algunos casos la orografía actúa como pan

talla meteorológica, por ejemplo en la zona de Compostela. La altura de la precipitación más alta registrada en 24 horas fue de 240.1 mm, que equivale a la mayor intensidad en ese lapso.

Con referencia a la evaporación real, ésta es mayor en la medida que existe más disponibilidad de agua y la temperatura es elevada, lo cual ocurre en el verano y principios del otoño, y alcanza un promedio anual de 641.4 mm.

En resumen, de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por E. García, en la cuenca del río Huicicila predomina el clima Aw, es decir, prevalecen condiciones cálido húmedas con diversos grados de humedad, predominantemente en el verano, sin embargo en el extremo oriental se localiza un (A)C, esto es, un semicálido correspondiente al más cálido de los templados.

En relación con las peculiaridades de la red de drenaje, su modalidad es dendrítica como consecuencia de las condiciones geológicas y topográficas de la cuenca, en muchos casos los canales se ajustan a las zonas débiles del terreno siguiendo las líneas de fallas y fracturas. La densidad de drenaje es alta (3.347 Km/Km^2) lo que indica un eficiente desalajamiento del agua precipitada, lo cual es parte de una repercusión de la fuerte pendiente del terreno.

La extensión total de los canales que conforman la red hidrográfica es de 1 908.2 Km lo cual da una densidad de 4.9 corrientes por kilómetro cuadrado, predominando una mayor concentración en las partes más húmedas y de pendiente acentuada. Por lo que se refiere al desarrollo de dicha red, se ha considerado alto pues su índice de bifurcación es de 4.66.

En el caso particular del río principal y sus afluentes más importantes, se ha notado que los últimos presentan pendientes muy marcadas (arroyos El Limón con 19.75 m/Km, El Asalto con 19.4 m/Km y La Tinaja con 22.78 m/Km) como consecuencia de la aproximación de las estribaciones de la Sierra Volcánica Transversal al océano Pacífico, es decir, drenan las formaciones más pronunciadas, mientras que la longitud comparativamente mayor del colector general recorre en un espacio menos inclinado ya que apenas alcanza 2.8 m/Km; sin embargo todo esto indica que el sistema fluvial en su conjunto está muy distante de su nivel de base.

El régimen de escurrimiento del río en estudio está íntimamente relacionado con los elementos del clima, específicamente con la precipitación que constituye su fuente principal, y teniendo ésta su principal periodo de ocurrencia en el verano, es en esta época cuando se manifiesta en la corriente con un lapso de respuesta muy marcado atribuido a las iniciales exigencias de agua por parte del suelo. La evapotranspiración es el segundo elemento del clima en importancia que interviene en el comportamiento del escurrimiento del río ya que representa la mayor pérdida de agua, sobre todo en la época de estiaje en la que prácticamente toda el agua precipitada se evapora debido al alto poder evaporante de la atmósfera, sosteniéndose un escaso escurrimiento gracias a los aportes del subsuelo cuya recarga se realiza durante la estación lluviosa por medio de la infiltración.

Cuantificando lo anterior se tiene que del 100 % del agua precipitada, el 50.72 % se evapotranspira, el 15.61 se infiltra y solamente 33.67 % escurre.

Con relación al uso del agua, el vital líquido satisface las necesidades de la población establecida en la cuenca dándose preferencia a la utilización del agua del subsuelo quizá a causa del contenido de sólidos en suspensión de la corriente, que reducen su potabilidad, por lo que es urgente la aplicación de técnicas de control de la erosión con la finalidad de mejorar las condiciones del recurso.

BIBLIOGRAFÍA

- Chow, V. T. (editor in Chief), Handbook of Applied Hidrology. A Compendium of Water Resources Technology. Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1964.
- Davis, S. N. y Wiest R., Hidrogeología. Ed. Ariel, S. A. Barcelona, 1971.
- Fournier, F., "Débit des Cours d'Eau, Essai d'estimation de la Perte en Terre subie par l'ensemble du Globe Terrestre". Bull. Assoc. Int. Hidr. Scientifique, Vol. 53, 1960.
- García, E., "Distribución de la precipitación en la República Mexicana". Boletín del Instituto de Geografía. Vol. V. México, 1974.
- García, E., Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México, 1964.
- Hall, W. R. Hidrogeología. Ed. C. E. I. S. A. Madrid, 1974.
- Klohn, Wulf, "Magnitudes fisiográficas e índices morfométricos relacionados con la Hidrología", Rev. S. C. M. H. Bogotá, 1970.
- Maderay, R., L. E., Balance hidrológico de la cuenca del río Tizar, durante el periodo 1967-1968, Tesis profesional. México, 1971.
- Maderay, R., L. E., "Obtención de los elementos físicos que influyen en el régimen hidrológico de la cuenca del río Pabellón, Afluente del río Aguascalientes. Rev. Recursos Hidráulicos. México, 1973.
- Remeniera, G., Tratado de hidrología aplicada. Ed. Técnicos Asociados, S. A., Barcelona, 1971.
- Secretaría de Industria y Comercio. Censo de Población y Vivienda 1970. México, 1974.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos, Boletín Hidrológico Número 41, México.

Secretaría de Recursos Hidráulicos, "Elementos de Esgurrimiento Superficial". Memorándum Técnico Núm. 330, México, 1974.

Stanescu Silviu, "Determinación práctica de las características morfométricas y fisiográficas de las cuencas hidrográficas y su aplicación a los cálculos hidrológicos", Rev. S. C. M. H. Bogotá, 1970.

Viers G., Geomorfología. Ed. Oikos-Tau, S. A., Barcelona, 1974.

Wisler, C. O. y Brater, E. F., Hydrology. John Wiley and Sons, Inc. New York, 1859.

MATERIAL CARTOGRAFICO

Comité de la Carta Geológica de México, Carta Geológica de la República Mexicana, Esc. 1:2 000 000. México, 1960.

Secretaría de Obras Públicas. Carta de Carreteras. Hoja Estado de Nayarit. México, 1974.

Secretaría de la Presidencia. CETENAL. Instituto de Geografía-UNAM, Carta de Climas Hoja 13Q-(III) San Blas, México, 1970.

Secretaría de la Presidencia. CETENAL. Carta Topográfica. México, 1971.

Clave de hoja	Nombre
F-13-D-31	Jalisco
F-13-D-39	Jalcocotlán
F-13-D-41	Compostela
F-13-D-49	Las Varas

Secretaría de la Presidencia. CETENAL. Carta Geológica. México (1971).

Clave de hoja	Nombre
F-13-D-31	Jalisco
F-13-D-39	Jalcocotlán
F-13-D-41	Compostela
F-13-D-49	Las Varas

Secretaría de la Presidencia. CETENAL. Carta de Uso del Suelo (1971).

Clave de hoja	Nombre
F-13-D-31	Jalisco
F-13-D-39	Jaliscootlán
F-13-D-41	Compostela
F-13-D-49	Las Varas

FUENTES DE INFORMACION

Secretaría de Agricultura y Ganadería. Servicio Meteorológico Nacional.

Secretaría de Recursos Hidráulicos, Dirección de Hidrología y Meteorología.