

Artículo publicado en el Repositorio Institucional del IMTA

<i>Título</i>	Algunas características hidrológicas del río Pilon, N.L.
<i>Autor / Adscripción</i>	Rubén Sánchez Silva Instituto de Tecnología del Agua, SARH
<i>Publicación</i>	Ingeniería Hidráulica en México, (2): 36-51
<i>Fecha de publicación</i>	1987
<i>Resumen</i>	<p>En este artículo se presenta una caracterización hidrológica encaminada a conocer tanto la dinámica cíclica del escurrimiento y sus variantes en el río Pilon, Nuevo León, con la comparación de diferentes tipos de gastos mensuales y anuales, como la determinación de la distribución estadística del gasto máximo anual y sus probabilidades. La dinámica de los gastos de este río corresponde a escurrimientos típicos de zonas áridas, con grandes variaciones de los gastos máximos, como respuesta a tormentas frecuentemente influenciadas por ciclones tropicales. El flujo base es uniforme y constante debido a que la zona montañosa constituye áreas de recarga de acuíferos.</p>
<i>Identificador</i>	<a href="http://hdl.handle.net/123456789/1189">http://hdl.handle.net/123456789/1189</a>

# Algunas características hidrológicas del río Pílon, N.L.

Rubén Sánchez Silva

Instituto de Tecnología del Agua, SARH

*En este artículo se presenta una caracterización hidrológica encaminada a conocer tanto la dinámica cíclica del escurrimiento y sus variantes en el río Pílon, Nuevo León, con la comparación de diferentes tipos de gastos mensuales y anuales, como la determinación de la distribución estadística del gasto máximo anual y sus probabilidades. La dinámica de los gastos de este río corresponde a escurrimientos típicos de zonas áridas, con grandes variaciones de los gastos máximos, como respuesta a tormentas frecuentemente influenciadas por ciclones tropicales. El flujo base es uniforme y constante debido a que la zona montañosa constituye áreas de recarga de acuíferos.*

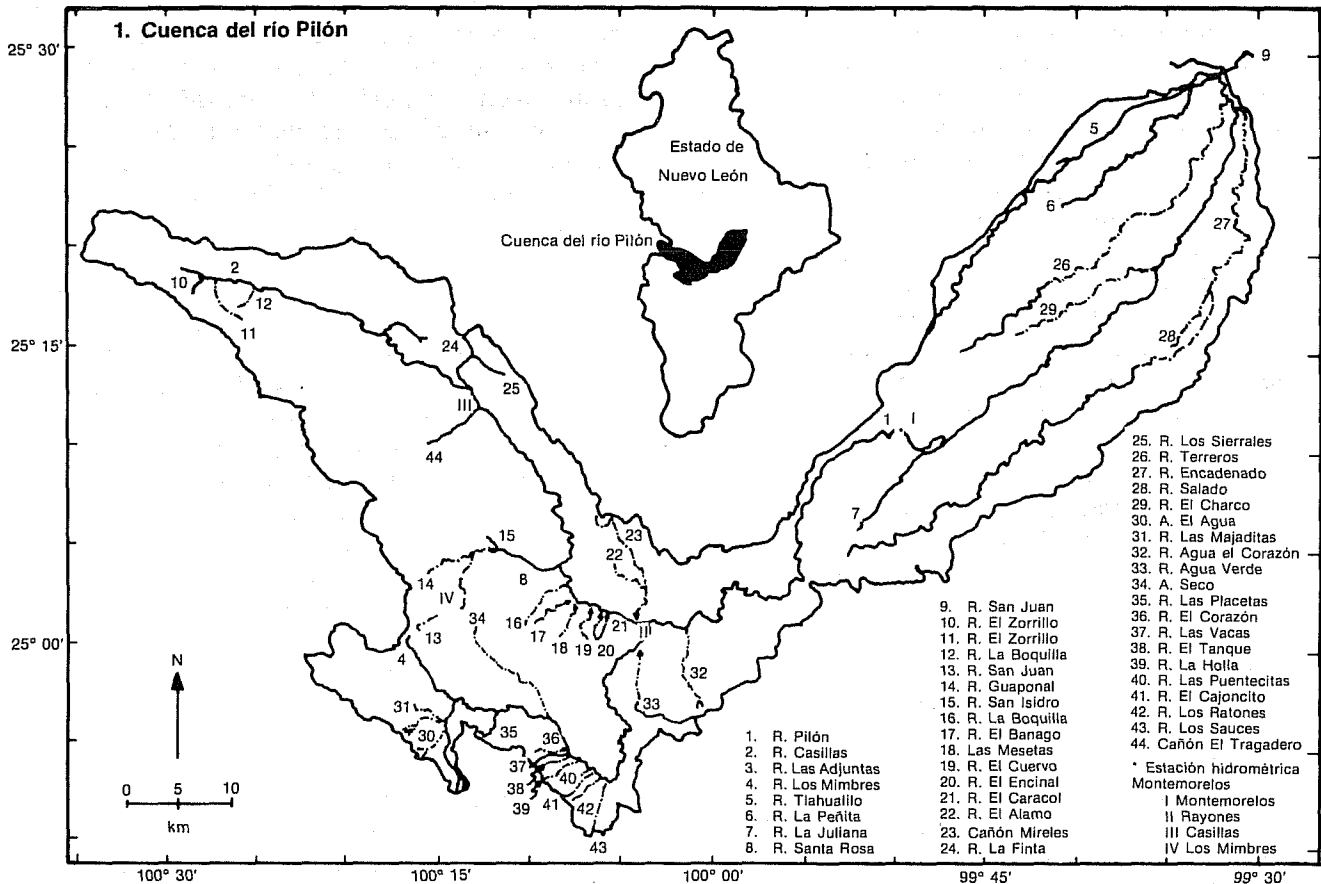
Todo estudio que pretenda caracterizar aspectos hidrogeográficos requiere de metodologías para conocer el medio natural como una unidad cuyos elementos constitutivos están interrelacionados. Así, los análisis hidrológicos de las corrientes forman parte del proceso de planificación enfocado a lograr el óptimo aprovechamiento del agua.

Es evidente que la cuenca del río Pílon, situada a sólo 85 km de la ciudad de Monterrey, constituye una fuente alternativa para el abastecimiento de agua a esa población, y en virtud del constante crecimiento de la demanda, es difícil pensar en que pudiera descartarse el aprovechamiento de su caudal, lo que seguramente originará serios conflictos, ya que en la actualidad se utiliza para el riego de amplias zonas de cítricos y, últimamente, de hortalizas.

El presente trabajo parte del objetivo de analizar las características del río, comparando diferentes tipos de gastos mensuales y anuales y determinando la distribución en el tiempo del gasto máximo anual y sus probabilidades. De esta manera, se intenta contribuir a una caracterización hidrológica que permita conocer la dinámica cíclica del escurrimiento y sus principales variantes, aspectos fundamentales para la optimización de futuros aprovechamientos.

## Marco físico de la cuenca

La cuenca del río Pílon está ubicada en la parte central del estado de Nuevo León; cubre parte de los municipios de General Terán, Montemorelos, Rayones y Galeana, así como una pequeña porción del estado de Coahuila. Sus coordenadas geográficas extremas son 24° 50' y 25° 29' de latitud norte y 99° 30' y 100° 35' de longitud oeste (véase ilustración 1). Pertenece a la región hidrológica núm. 24 (SRH, 1976). El río Pílon es un afluente del San Juan, el cual a su vez desemboca en el río Bravo. El río Casillas es considerado como un afluente del Pílon, aunque corresponde al colector principal. La superficie total de la cuenca es de 2407 km<sup>2</sup>; su forma es alargada y asemeja una V. Aguas arriba se inicia en dirección noroeste-sureste y, a partir de la mitad aproximadamente (en Rayones, N.L.), cambia hacia el noreste. En cuanto a su longitud en línea recta, del Puerto Maravillas, Coah. (extremo distal noroeste), a Rayones, N.L. es de 63 km, y de ahí a la desembocadura del río San Juan (extremo distal noroeste) es de casi 73 km; la longitud total del cauce alcanza los 181 km, con altitudes desde 185 a 2690 msnm. La pendiente hidráulica oscila entre 0.136° a 0.363° en la Llanura Costera del Gol-



fo; de  $0.424^\circ$  a  $0.593^\circ$  en el piedemonte y en la Sierra Madre Oriental es hasta de  $5.710^\circ$ . Alcanza su mayor altitud en su parte sur, específicamente en el cerro Potosí, donde es de 3720 msnm. El perímetro de la cuenca es de 384 km. El ancho de ésta es variable pero, en general, no rebasa los 15 km; la parte más angosta está al centro, en la zona de recurvamiento hacia el noreste, y mide sólo 5 km.

El río Pílon tiene un gasto medio uniforme, mantenido por un flujo base que procede de cinco manantiales; los principales son el del cañón de El Tragadero, manantial de tipo artesiano, con un gasto promedio que rebasa los  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ ; el afloramiento sobre el lecho del río Casillas, cuyo gasto promedio es de  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$  y que se ubica en el límite de los estados de Nuevo León y Coahuila, sitio en el que el escurrimiento se transforma de intermitente a perenne y, por último, el manantial localizado en el centro del cañón del Pílon, con un gasto promedio aproximado de 50 l/s.

El río tiene dos tipos de drenaje: el primero corresponde a la Sierra Madre Oriental y es rectangular, como resultado de un control estructural muy marcado, mientras que el segundo es de tipo

paralelo y comprende la zona de la Planicie del Golfo, donde la pendiente es suave.

Fisiográficamente la cuenca del río Pílon abarca tres áreas fundamentales, que son las siguientes:

- Sierra Madre Oriental: comprende el centro, sur y noroeste de la cuenca y su dirección es sureste-noroeste. Se inicia a 600 msnm; presenta numerosas elevaciones que superan los 3000 msnm, con pendientes pronunciadas y angostos valles intermontanos. En cuanto a la litología, predomina la caliza, aunque también es posible encontrar afloramientos de lutita. Esta sierra muestra en forma clara las etapas sucesivas del origen de las formaciones geológicas, con lutitas del Cretácico Superior, caliza-lutita y lutita-arenisca del Cretácico Inferior, así como caliza del Jurásico Superior, todas aflorando en bandas longitudinales que siguen el rumbo de los numerosos anticlinales y sinclinales que forman las cadenas montañosas del área. Es importante resaltar que las formaciones de caliza son zonas de recarga de acuíferos. Su superficie total es de  $1442 \text{ km}^2$ .

- Piedemonte: corresponde a la parte central de la cuenca, entre 400 y 600 msnm. Constituye una zona de transición entre la Llanura Costera del Golfo y la Sierra Madre Oriental; presenta fundamentalmente afloraciones de lutita, formando amplias mesetas que en ocasiones están cubiertas con conglomerados del Plioceno. Abarca una superficie de 300 km<sup>2</sup>.
- Llanura Costera del Golfo: se ubica al norte, entre 185 y 400 msnm; su pendiente es suave. Es una zona básicamente con depósitos del Cuaternario y con algunas afloraciones de lutita del Cretácico Superior que soportan conglomerados del Plioceno. Su superficie es de 665 km<sup>2</sup>.

De acuerdo con el sistema de clasificación de Köpen, modificado por García (1981), los climas de la cuenca del río Pilón son: el BS<sub>1</sub> (h') hw'' (e), que se extiende por todo el noreste de la misma a partir del municipio de General Terán; el (A) C (x') w'' a (e), que cubre básicamente el área del piedemonte; el BS<sub>1</sub> hw'' (w) (e), que se extiende por el noreste de la Sierra Madre Oriental y el BS<sub>1</sub> kw'' (e), que cubre el suroeste de la cuenca.

Conviene mencionar que la accidentada topografía de la Sierra Madre Oriental hace que se presenten notables variantes climáticas, debido a que las fluctuaciones en los factores altitud y orientación modifican de manera notoria los elementos insolación, nubosidad, temperatura y precipitación, entre otros; esto se refleja con claridad en los cambios espaciales correspondientes a las

asociaciones y los tipos de vegetación. En el cuadro 1 se muestra la relación del clima —básicamente en cuanto a la precipitación— con el escurrimiento superficial, y los diferentes datos de temperatura y precipitación de las estaciones meteorológicas Montemorelos, Rayones, Casillas y los Mimbres; también se indican en forma esquemática en las ilustraciones 2, 3, 4 y 5.

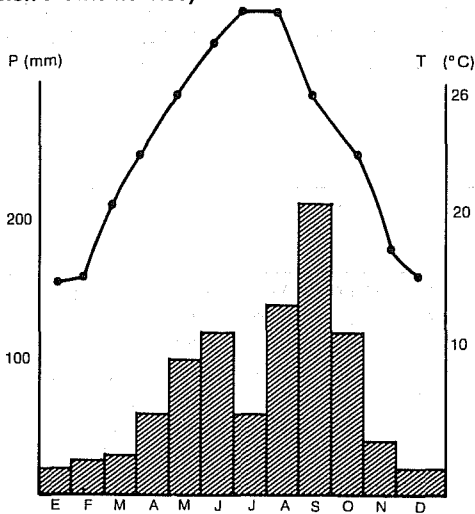
Por lo que respecta a los suelos en la cuenca del río Pilón se presentan los siguientes tipos: litosol, vertisol, xerosol, regosol, cambisol, rendzina, castañozem, chernozem, luviosol, feozem y fluvisol; su distribución varía de acuerdo con las diferentes zonas ecológicas. Los vertisoles son los más importantes en cuanto a su uso, ya que sobre ellos se asienta la zona citrícola de Montemorelos y General Terán, mientras que en la Sierra Madre Oriental las mayores extensiones corresponden a los litosoles.

La vegetación de la cuenca refleja las numerosas variantes ecológicas, representadas básicamente por el suelo y el clima, con sus diversos factores y elementos (Rojas-Mendoza, 1965; Flores *et al*, 1971). En la Sierra Madre Oriental existe una gran diversidad de comunidades vegetales, entre las que destacan los bosques de pino (*Pinus spp.*), de encino (*Quercus spp.*), de pino-encino y matorrales (altos, medianos y bajos, así como espinosos, subinermes e inermes, crasicaules, etc.; sobresale por su extensión el alto inermes parvifolio de barreta (*Helietta parvifolia*) y los altos y medianos espinosos de *Acacia spp.* En el piede-

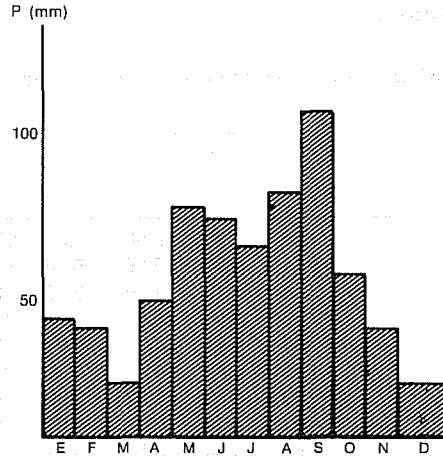
1. Temperatura (°C) y precipitación (mm). (Estaciones meteorológicas, cuenca del río Pilón)

	Montemorelos (SMM)		Rayones (SMM)		Casillas (SRH)		Los Mimbres (SRH)
	Precip. 1940-77	Temp. 1944-79	Precip. 1927-31 1938-79	Temp. 1927-31 1961-75	Precip. 1958-59 1962-79	Temp. 1956-59 1962-79	Precip. 1957-59 1963-65 1967-82
E	19.5	14.1	6.1	14.3	12.0	14.0	31.6
F	26.4	15.1	10.0	17.2	14.9	16.1	30.3
M	28.2	20.1	10.7	19.6	11.9	18.6	24.5
A	54.2	24.0	27.8	23.4	25.3	22.8	45.2
M	90.2	26.3	43.2	23.9	55.0	25.8	78.1
J	110.7	28.2	52.9	24.9	79.7	26.8	77.9
J	59.9	29.0	27.6	25.1	61.1	26.8	71.4
A	122.2	29.0	70.6	24.9	75.7	26.8	85.1
S	204.9	26.4	89.1	23.5	119.8	23.4	109.4
O	118.9	22.6	35.3	21.4	51.2	21.1	61.0
N	35.1	18.2	13.3	19.4	18.3	17.4	32.5
D	21.2	14.8	9.1	15.1	13.5	14.1	30.8
A	891.4	22.3	395.7	21.0	583.4	21.2	677.8

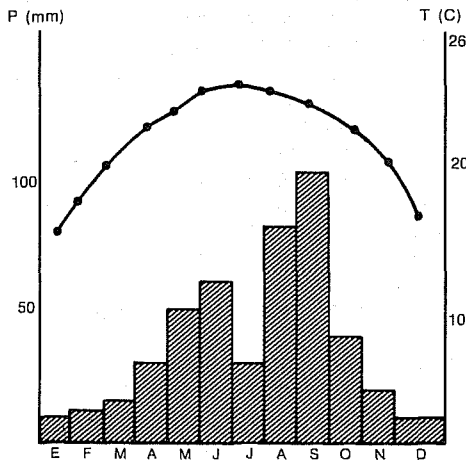
2. Precipitación y temperatura media mensual (Estación Montemorelos)



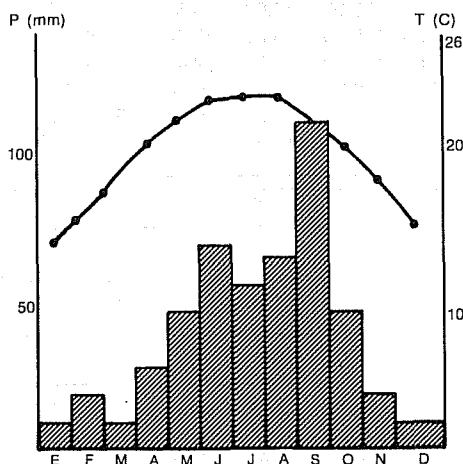
5. Precipitación media mensual (Estación Los Mimbres)



3. Precipitación y temperatura media mensual (Estación Rayones)



4. Precipitación y temperatura media mensual (Estación Casillas)



monte también se presentan amplios matorrales de *Helietta parvifolia* y en la Llanura Costera del Golfo existen densos matorrales espinosos de variadas especies de leguminosas, así como comunidades puras que forman huizachales (*Acacia sp.*) y mezquitales (*Prosopis sp.*). La vegetación en galería es común a todas las corrientes de la cuenca; las especies dominantes son los sauces (*Salix spp.*), el sabino (*Taxodium sp.*), el fresno (*Fraxinus sp.*), el Chopo (*Populus sp.*) y el álamo (*Platanus sp.*), entre otras.

En la Sierra Madre Oriental la vegetación se ha alterado relativamente poco, excepto en angostos valles intermontanos que se han destinado a la agricultura, contrariamente a lo que sucede en el resto de la cuenca, donde se tiene un uso agrícola intensivo. Este hecho se refleja en la dinámica del escurrimiento superficial.

Análisis hidrométrico

En los cuadros 2, 3 y 4 se presentan los datos mensuales y anuales de los gastos máximos ( $Q_{max}$  mensual y  $Q_{max}$ ), mínimos ( $Q_{min}$  mensual y  $Q_{min}$ ) y medios ( $\bar{Q}$  mensual y  $\bar{Q}$ ) para el periodo 1941-1980 de la estación hidrométrica Montemorelos<sup>1</sup>. En cada uno se señalan también algunos parámetros estadísticos (frecuencias de  $Q_{max}$  y  $Q_{min}$ ; frecuencia del menor valor de  $Q_{max}$ ; frecuencia del mayor valor de  $Q_{min}$ ; valores mayores, menores, promedios y desviaciones estándar de  $Q_{max}$ ,  $Q_{min}$  y  $\bar{Q}$ ), los cuales permiten contar con mayor información sobre los datos

Algunas características hidrológicas del río Pílon, N.L.

de las series que sirven de fundamento para la discusión y los análisis comparativos. En el cuadro 4 se presenta, además, el volumen anual de escurrimiento.

$Q_{max}$  se refiere al mayor gasto que se tiene en un año o mes en particular ( $Q_{max}$  mensual), independientemente del momento en que éste se haya presentado y del tiempo que se haya mante-

2. Gasto máximo (m<sup>3</sup>/s), estación hidrométrica Montemorelos

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	$Q_{max}$	MIN $Q_{max}$
1941	4.05	14.96	18.50	7.31	23.17	288.00	13.32	7.80	150.00	10.08	6.20	27.20	288.00	4.05
1942	6.71	3.77	5.26	5.26	11.72	127.00	250.00	24.50	11.00	75.70	5.57	4.92	250.00	3.77
1943	5.44	4.13	4.06	2.16	1.21	1.41	2.85	2.40	102.00	127.20	6.75	5.30	127.20	1.21
1944	4.78	4.41	3.14	1.97	3.70	27.27	24.43	16.90	109.50	33.04	12.99	9.10	109.50	1.97
1945	6.39	5.32	4.03	3.94	5.63	5.24	3.62	6.75	12.30	64.56	6.92	5.60	64.56	3.62
1946	4.33	4.49	4.47	4.12	10.31	2.93	4.42	4.42	30.20	30.25	8.86	6.07	30.25	2.93
1947	5.53	4.83	4.07	3.90	3.77	3.25	25.00	254.00	12.83	57.10	5.46	5.02	254.00	3.25
1948	4.01	4.39	5.08	2.88	4.55	8.70	8.34	23.15	52.60	92.40	7.43	5.85	92.40	2.88
1949	4.56	3.84	3.77	4.11	3.09	4.47	4.14	3.31	6.97	4.45	4.64	5.20	6.97	3.09
1950	3.50	3.18	5.86	8.50	10.20	3.27	8.65	2.89	21.60	16.70	3.61	3.30	21.60	2.89
1951	3.32	2.67	2.55	3.32	16.70	79.00	3.90	102.00	67.60	17.20	9.23	5.86	102.00	2.55
1952	4.07	4.13	3.43	19.30	13.70	12.90	5.20	2.56	18.50	10.50	3.98	2.89	19.30	2.56
1953	2.61	2.41	14.80	9.68	1.64	1.14	13.00	77.90	110.00	81.80	3.13	3.44	110.00	1.14
1954	9.97	6.96	3.38	14.33	6.90	2.78	3.58	5.51	11.68	80.40	23.82	4.88	80.40	2.78
1955	4.28	3.36	2.95	3.92	9.59	2.80	62.40	17.20	90.48	24.80	6.63	4.01	90.48	2.95
1956	3.89	3.73	3.45	2.85	95.50	4.90	9.90	20.56	14.50	3.36	13.50	3.69	95.50	2.85
1957	3.76	3.40	2.38	55.60	5.08	3.76	2.16	2.26	2.00	32.36	2.60	3.58	55.60	2.00
1958	1.98	2.26	1.72	1.93	5.90	2.53	3.14	4.10	21.40	137.00	53.60	20.76	137.00	1.72
1959	19.19	9.33	7.49	7.01	79.00	17.98	16.00	22.00	37.00	19.30	5.43	3.60	79.00	3.60
1960	4.59	4.66	3.79	29.27	4.30	2.61	8.57	27.20	14.80	6.02	4.58	5.45	29.27	2.61
1961	5.78	4.98	3.63	3.66	6.40	15.38	3.24	6.80	9.66	5.39	3.45	2.40	15.38	2.40
1962	3.47	4.12	4.16	3.30	2.42	4.47	4.47	1.78	11.59	4.26	3.14	2.96	11.57	2.42
1963	2.73	3.28	2.29	7.97	16.80	2.43	2.31	3.28	50.26	6.96	4.36	3.81	50.26	2.29
1964	3.48	6.61	3.08	2.63	4.89	7.11	3.11	2.58	5.25	4.95	4.15	4.41	7.11	2.58
1965	4.67	4.23	4.37	3.96	3.82	3.59	1.74	163.00	4.97	8.60	2.85	3.88	163.00	1.74
1966	3.49	4.71	4.79	5.90	17.93	60.20	18.71	12.00	18.40	32.93	30.71	7.30	60.20	3.49
1967	6.29	5.33	5.64	5.84	2.33	2.72	3.54	45.00	282.50	47.20	19.84	8.01	282.50	2.33
1968	8.16	5.49	4.51	4.54	4.78	5.27	5.79	5.01	20.56	18.28	12.93	5.56	20.56	4.51
1969	4.29	4.88	4.30	3.22	3.22	48.50	1.50	26.50	42.00	42.40	23.84	5.50	48.50	1.50
1970	3.60	3.21	(18.50)	4.28	4.67	4.96	5.29	9.70	37.48	21.83	5.88	6.27	37.48	3.21
1971	6.31	5.54	5.13	4.66	8.87	7.08	8.06	12.90	40.26	84.48	11.22	10.80	84.48	4.66
1972	6.14	4.72	22.00	6.76	64.00	55.00	26.50	7.76	9.33	11.20	5.40	3.94	64.00	3.94
1973	4.51	5.46	5.53	3.91	5.37	345.00	46.50	49.00	32.46	34.00	15.33	15.43	345.00	3.91
1974	7.57	7.65	6.30	5.58	6.15	5.21	4.67	1.99	71.55	18.20	5.56	2.76	71.55	1.99
1975	2.96	3.24	2.92	3.08	56.80	2.69	11.71	28.91	36.00	14.08	8.69	6.44	56.80	2.69
1976	5.58	5.61	5.08	4.26	3.89	3.37	107.70	10.28	125.90	18.03	32.64	22.96	125.90	3.37
1977	13.81	9.75	8.35	7.41	8.32	5.21	24.99	27.58	423.50	17.21	12.43	7.90	423.50	5.21
1978	6.24	4.49	4.99	5.56	5.00	22.72	4.29	23.12	516.00	197.60	26.96	17.02	516.00	4.29
1979	13.05	11.13	8.67	6.92	5.63	13.44	5.58	7.87	21.07	5.92	5.26	5.88	21.07	5.26
1980	3.78	4.87	5.77	5.77	6.37	3.96	8.77	3.84	11.40	19.00	7.15	6.55	19.00	3.78
$Q_{max}$	19.19	14.96	22.00	55.60	95.50	345.00	250.00	254.00	516.00	197.60	53.60	27.20	516.00	5.26
F $Q_{max}$	0	0	0	3	4	6	1	3	15	8	0	0	40	-
MIN $Q_{max}$	1.98	2.26	1.72	1.93	1.21	1.14	1.50	1.78	2.00	4.26	2.60	2.40	6.97	1.14
F MIN $Q_{max}$	3	2	5	6	4	9	3	3	1	0	1	3	-	40
$\overline{Q_{max}}$	5.57	5.13	5.55	7.26	13.73	30.75	19.27	27.40	66.76	38.41	10.91	7.13	111.67	2.99
$\sigma_{Q_{max}}$	3.32	2.47	4.10	9.29	21.37	71.31	42.27	48.14	108.25	42.60	10.48	5.67	118.43	1.00

nido. Como se aprecia en el cuadro 2, en el primer renglón del 7 y en la ilustración 9, los mayores valores de gasto máximo mensual corresponden a los meses de septiembre y junio, y los menores al periodo noviembre-abril; en julio y agosto puede notarse con claridad el efecto de la sequía intraestival. Es decisiva la influencia de los ciclones tropicales en los valores máximos extremos.

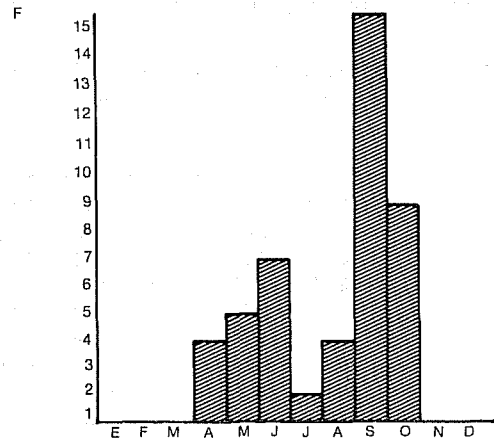
La frecuencia de  $Q_{max}$  ( $F Q_{max}$ ) corresponde al número de veces que se presenta el  $Q_{max}$  de todos los años de la serie en cada uno de los meses del año; los valores van desde cero, en los meses de noviembre a marzo, hasta 15, en el mes de septiembre (véase ilustración 6). El menor valor de  $Q_{max}$  ( $MIN Q_{max}$ ), contrario a  $Q_{max}$ , es poco utilizado en cálculos hidrológicos, aunque proporciona valores útiles para comparar las variaciones de los diferentes tipos de gasto. En las series estudiadas se tienen valores muy bajos para esta variable (de  $1.14 \text{ m}^3/\text{s}$  en junio a  $4.26 \text{ m}^3/\text{s}$  en octubre) y con oscilación anual poco significativa, lo que resulta en un amplio rango de variación que indica grandes diferencias interanuales (véanse cuadro 2 e ilustración 8).

La frecuencia de  $MIN Q_{max}$  ( $F MIN Q_{max}$ ) corresponde al número de veces que el  $MIN Q_{max}$  ocurre en el transcurso del año. En el caso de la estación Montemorelos ( $n = 40$ ), dicha frecuencia se ha presentado al menos una vez en cada mes del año, con excepción de octubre; la mayor frecuencia corresponde al mes de julio, con 9, y le siguen los de abril y marzo, con 6 y 5, respectivamente (véase ilustración 7).

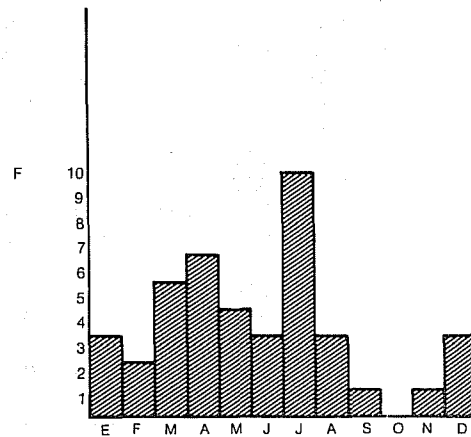
Las medias de  $Q_{max}$  ( $\overline{Q_{max}}$ ) indicadas en el cuadro 2, y representadas esquemáticamente en la ilustración 10, en ningún momento son comparables con los valores de  $Q_{max}$  y  $MIN Q_{max}$  de las series (enero... diciembre y anual). Como datos aislados, las medias pueden proporcionar información no representativa, hecho que queda de manifiesto al observar la magnitud de la desviación estándar ( $\sigma Q_{max}$ ), que las rebasa en el periodo de abril a octubre; esto se debe a que se tienen enormes diferencias interanuales, como se aprecia al analizar las series de valores correspondientes (véase ilustración 11).

El gasto mínimo es el menor valor instantáneo en un año ( $Q_{min}$ ) o en un mes ( $Q_{min}$  mensual), según sea el caso. En el cuadro 3 se indican estos datos para la estación Montemorelos, así como algunos parámetros estadísticos que se representan esquemáticamente en las ilustraciones 12, 13, 14, 15, 16 y 17.  $Q_{min}$  mensual denota valores extremos de  $0.0 \text{ m}^3/\text{s}$  en agosto y  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$  en no-

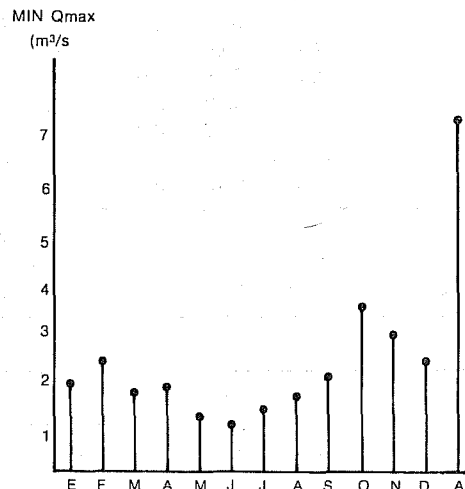
6. Frecuencia de  $Q_{max}$  anual (1941-1980)



7. Frecuencia del menor valor de  $Q_{max}$  anual (1941-1980)



8. Menor valor de  $Q_{max}$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) (1941-1980)



Algunas características hidrológicas del río Pilón, N.L.

viembre, con una tendencia anual que muestra en forma clara una disminución en la mitad cálida del año (véase ilustración 14). Los valores de  $Q_{min}$  (anual) de la serie disminuyen inclusive

hasta 0.0 m<sup>3</sup>/s (en 1960). En general las diferencias que se observan en los gastos mínimos son pequeñas, con rangos de variación reducidos y con una  $\sigma Q_{min}$  que rebasa a la media en los

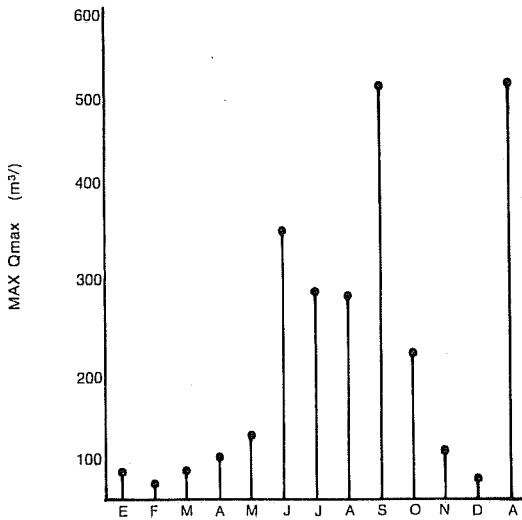
3. Gasto mínimo (m<sup>3</sup>/s), estación hidrométrica Montemorelos

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	$Q_{min}$	MAX $Q_{min}$
1941	2.50	2.12	0.98	2.12	0.98	2.47	5.10	2.44	1.76	4.44	3.44	3.16	0.98	5.10
1942	3.27	2.69	1.51	1.46	1.80	0.81	3.90	3.90	4.10	4.75	3.62	2.96	0.81	4.75
1943	3.49	2.31	1.44	0.81	0.65	0.68	0.70	0.48	1.40	3.68	2.94	3.02	0.48	3.68
1944	2.75	1.38	0.62	0.50	0.54	0.69	2.03	1.20	11.31	10.91	7.91	5.79	0.50	11.31
1945	4.35	3.75	1.48	1.14	1.09	1.07	0.55	0.81	1.07	2.10	4.67	3.93	0.55	4.67
1946	2.83	1.74	1.08	0.99	1.72	0.98	0.98	0.67	0.67	8.86	5.61	3.10	0.67	8.86
1947	3.10	1.84	1.12	0.71	0.69	0.44	0.37	5.54	4.40	4.08	4.03	2.70	0.37	5.54
1948	2.62	1.82	1.34	0.93	1.24	0.60	1.06	0.52	2.83	4.92	4.98	3.86	0.52	4.98
1949	2.99	1.31	1.65	1.61	1.31	0.68	0.91	0.58	0.36	1.45	1.83	1.80	0.36	2.99
1950	1.20	0.82	0.68	0.74	0.19	0.50	0.25	0.26	0.20	0.80	0.90	0.51	0.19	1.20
1951	0.46	0.36	0.27	0.29	0.50	0.27	0.49	0.45	1.75	5.54	5.11	3.49	0.27	5.54
1952	2.07	1.08	1.02	1.02	0.73	0.80	0.48	0.54	0.52	0.81	0.50	0.50	0.48	2.07
1953	0.50	0.49	0.58	0.36	0.31	0.24	0.20	0.11	0.35	1.65	1.52	1.51	0.11	1.65
1954	0.84	0.88	0.44	0.32	0.27	0.25	0.22	0.14	0.06	0.12	2.68	2.23	0.06	2.68
1955	1.29	0.81	0.63	0.69	0.60	0.47	0.50	1.35	3.28	6.14	3.80	2.52	0.47	6.14
1956	1.81	1.40	0.77	0.77	1.30	0.88	0.68	0.62	1.15	1.04	1.48	0.99	0.62	1.81
1957	0.85	0.80	0.55	0.52	1.02	1.07	0.36	0.40	0.44	0.36	1.28	0.66	0.36	1.28
1958	0.81	0.55	0.52	0.36	0.38	0.38	0.56	0.46	1.25	4.10	13.40	9.82	0.36	13.40
1959	7.13	6.27	6.66	4.99	3.03	1.84	1.40	1.65	1.65	1.65	2.00	1.48	1.40	7.13
1960	1.71	1.41	1.01	0.94	0.92	0.62	0.72	0.00	2.95	2.22	3.29	3.25	0.00	3.27
1961	3.66	0.73	0.89	0.90	1.28	1.56	1.28	0.60	0.60	1.47	2.02	1.68	0.60	3.66
1962	1.72	0.53	0.49	0.60	0.84	0.84	0.53	0.35	0.65	0.96	1.02	1.56	0.35	1.72
1963	0.89	0.51	0.68	0.64	1.35	0.52	0.20	0.25	0.43	0.99	1.02	1.37	0.20	1.37
1964	0.54	0.30	0.10	0.16	0.17	0.18	0.15	0.10	0.10	0.24	0.22	0.20	0.10	0.54
1965	0.15	0.18	0.15	0.16	0.24	0.08	0.08	0.07	0.05	0.63	0.50	0.38	0.05	0.63
1966	0.18	0.20	0.30	0.15	1.06	0.21	2.07	1.43	2.00	2.20	4.43	4.12	0.15	4.43
1967	1.68	0.35	0.35	0.22	0.33	0.09	1.71	1.65	2.32	19.84	7.37	6.54	0.09	19.84
1968	4.41	3.79	2.02	1.94	2.64	0.80	1.34	0.28	2.04	9.50	3.95	0.68	0.28	9.50
1969	0.71	0.45	0.19	0.16	0.11	0.24	0.14	0.19	13.50	8.26	4.40	2.93	0.11	13.50
1970	2.04	1.62	(0.10)	0.21	0.19	0.22	0.22	0.26	0.14	5.24	4.44	2.13	0.14	5.24
1971	0.84	0.35	0.12	0.08	0.08	0.08	0.09	0.12	1.54	0.55	3.47	6.81	0.08	6.81
1972	1.80	1.11	1.08	0.58	1.41	7.10	3.01	1.54	0.45	1.46	1.54	1.36	0.45	7.10
1973	1.05	0.52	0.53	0.23	0.32	0.59	18.25	19.48	12.89	11.64	13.29	5.68	0.23	19.48
1974	4.08	2.53	1.44	0.42	0.23	0.26	0.26	0.11	0.18	5.29	2.67	2.22	0.11	5.29
1975	0.45	0.64	0.30	0.24	0.36	0.60	0.29	2.87	9.83	5.83	4.36	2.79	0.24	9.83
1976	2.22	0.63	0.31	0.54	0.53	0.32	1.98	2.26	3.69	8.22	8.20	13.53	0.31	13.53
1977	8.98	7.89	3.82	2.59	2.79	1.32	0.52	0.31	7.56	8.80	6.57	3.64	0.31	8.98
1978	2.82	2.58	1.05	1.15	0.26	0.71	0.03	0.02	5.82	26.46	15.51	10.46	0.02	26.46
1979	8.28	4.83	2.78	2.42	2.14	1.85	0.71	2.00	3.23	3.03	1.66	2.72	0.71	8.28
1980	1.53	0.83	0.84	0.34	0.39	0.11	0.13	0.22	1.10	3.23	5.31	3.91	0.11	5.31
$Q_{min}$	0.15	0.18	0.10	0.15	0.08	0.08	0.03	0.00	0.05	0.12	0.50	0.20	0.00	0.54
F $Q_{min}$	0	0	3	6	4	6	8	12	8	1	0	0	48*	-
MAX $Q_{min}$	8.98	6.27	6.66	4.99	3.03	7.10	18.25	19.48	12.89	26.46	15.51	13.53	1.40	19.80
F MAX $Q_{min}$	10	0	0	0	0	1	0	2	3	13	8	3	-	40
$\bar{Q}_{min}$	2.36	1.61	1.04	0.87	0.89	0.83	1.36	1.40	2.74	4.83	4.17	3.29	0.35	6.72
$\sigma Q_{min}$	2.04	1.67	1.17	0.91	0.75	1.14	2.94	3.14	3.52	5.35	3.51	2.84	0.28	5.69

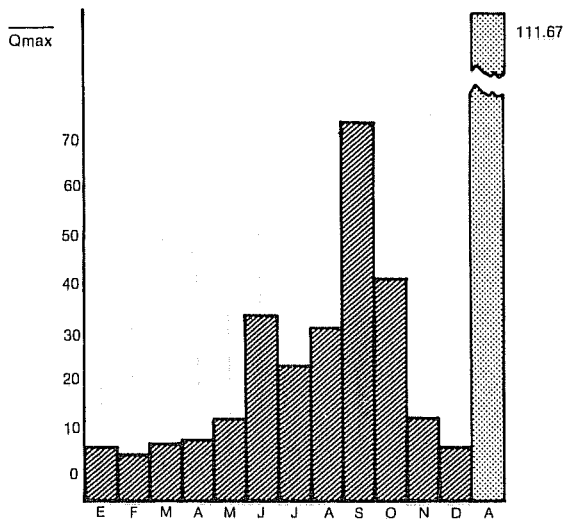
\* n ≠ 40 debido a que  $Q_{min}$  (anual) se presenta en más de un mes en los años 1946, 1951, 1957, 1961, 1964 y 1971.



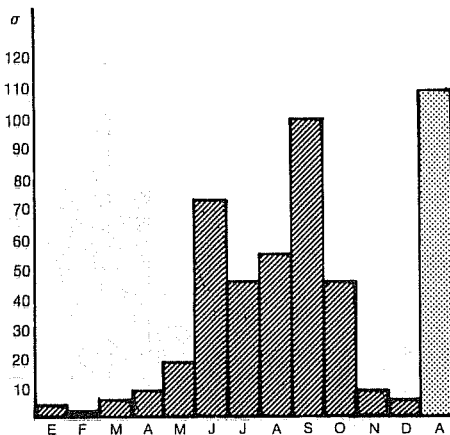
9. Mayor valor de Qmax (m³/s) (1941-1980)



10. Promedio de Qmax (m³/s) (1941-1980)



11. Desviación estándar de Qmax (m³/s) (1941-1980)



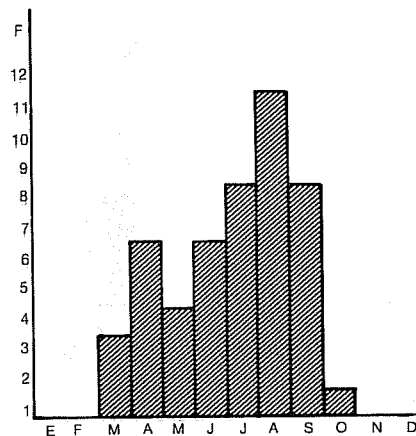
periodos de febrero a abril y de julio a octubre (véase ilustración 17). La mayor frecuencia de  $Q_{min}$  corresponde al periodo de marzo a octubre, mientras que en los meses de noviembre a febrero su valor es de cero (véase ilustración 12).

El mayor valor de  $Q_{min}$  ( $MAX Q_{min}$ ), anotado en la última columna del cuadro 3 para los diferentes años y en el renglón correspondiente para cada uno de los meses, permite apreciar la magnitud de las variaciones en los gastos mínimos. Como puede notarse, los  $MAX Q_{min}$  de la serie estudiada son importantes, ya que oscilan entre  $3.03 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $26.46 \text{ m}^3/\text{s}$  en mayo y octubre, respectivamente (véase ilustración 15), cifras que en éstos y en todos los meses del año rebasan no sólo el gasto medio ( $\bar{Q}$ ) del río Pílon (véase ilustración 20), sino también el  $MIN Q_{max}$  (véase ilustración 8). La frecuencia de  $MAX Q_{min}$  tiene valores altos en enero, octubre y noviembre, con 10, 13 y 8 en el mismo orden (véase ilustración 13).

La variación anual de los promedios mensuales de  $Q_{min}$  ( $\bar{Q}_{min}$ ) va de  $0.83 \text{ m}^3/\text{s}$  en junio a  $4.83 \text{ m}^3/\text{s}$  en octubre; su comportamiento anual coincide en lo fundamental con el del gasto medio, pero con valores de casi la mitad de éste (véanse ilustraciones 16 y 20). El gasto medio anual ( $\bar{Q}$ ) denota valores extremos de  $0.94 \text{ m}^3/\text{s}$  en 1964 a  $13.18 \text{ m}^3/\text{s}$  en 1973, con media global de  $4.17 \text{ m}^3/\text{s}$ . Los gastos medios mensuales ( $\bar{Q}$ ) van de  $1.68 \text{ m}^3/\text{s}$  en abril hasta  $9.29 \text{ m}^3/\text{s}$  en octubre; su tendencia anual se aprecia en la ilustración 20.

La distribución anual de los valores menores y mayores de  $Q$  mensual ( $MIN \bar{Q}$  y  $MAX \bar{Q}$ ), obtenidos de las series con que se cuenta para cada uno de los meses del periodo 1941-1980, está repre-

12. Frecuencia de  $Q_{min}$  anual (1941-1980)



sentada en las ilustraciones 18 y 19. Para  $MAX \bar{Q}$  los valores menores corresponden a la época seca del año, o sea de noviembre a mayo, y son de entre  $20.07 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $6.46 \text{ m}^3/\text{s}$ ; para  $MIN \bar{Q}$  los valores menores se refieren al periodo de marzo a agosto, con  $0.61 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $0.39 \text{ m}^3/\text{s}$ .

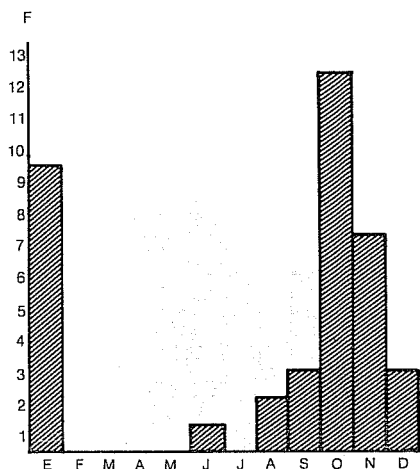
La desviación estándar de  $Q$  ( $\sigma_Q$ ) es realmente pequeña si se compara con las de  $Q_{min}$  y  $Q_{max}$ ; a pesar de todo, en los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre su valor es mayor que la media anual, lo que significa que en esa época del año existen marcadas diferencias interanuales (véase ilustración 21).

El promedio global del volumen anual de escurrimiento en la cuenca del río Pílon es de  $131722 \times 10^3 \text{ m}^3$ ; en el periodo 1941-1980, el menor volumen registrado correspondió a 1964, con  $29804 \times 10^3 \text{ m}^3$ , y el mayor a 1978, con  $374283 \times 10^3 \text{ m}^3$ ; su desviación estándar fue de  $83298 \times 10^3 \text{ m}^3$  (véase cuadro 4).

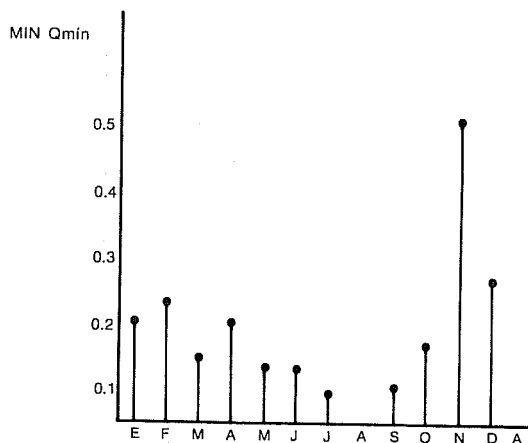
Para comparar los diferentes tipos de gastos también pueden calcularse sus coeficientes de correlación  $r$ , que establecen su relación matemática. En los cuadros 5 y 6 se señalan las correlaciones obtenidas mediante el método de mínimos cuadrados<sup>2</sup> para los diferentes tipos de gastos mensuales y anuales.

Si  $r = 0.8$  se toma como valor mínimo de significancia, de 36 correlaciones calculadas para los gastos mensuales, sólo 5 resultan de importancia:  $Q_{max} - MAX \bar{Q}$ ,  $MIN \bar{Q}_{max} - Q_{min}$ ,  $MIN Q_{max} - MIN \bar{Q}$ ,  $Q_{min} - \bar{Q}$ , y  $MAX \bar{Q} - \bar{Q}$ . De todas ellas la que más llama la atención es la correlación entre  $MIN Q_{max}$  y  $\bar{Q}_{min}$ , con  $r = 0.86$ , indicador de que los menores gastos máximos mensuales de las

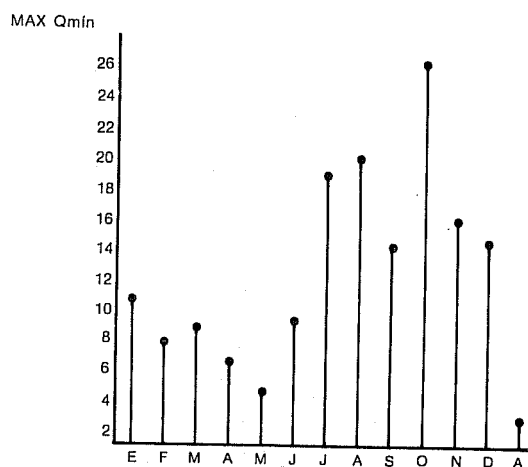
13. Frecuencia del mayor valor de  $Q_{min}$  anual (1941-1980)



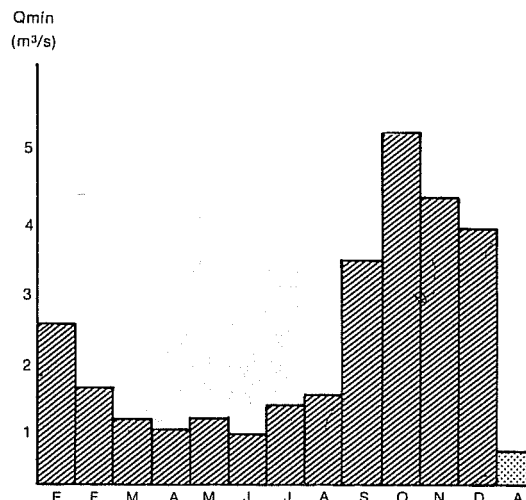
14. Menor valor de  $Q_{min}$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) (1941-1980)



15. Mayor valor de  $Q_{min}$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) (1941-1980)



16. Promedio de  $Q_{min}$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) 1941-1980



series 1941-1980 representadas por cada uno de los meses del año, están estrechamente relacionados con el promedio de los gastos mínimos (compárese también la tendencia anual que se aprecia en las ilustraciones 8 y 16). En el caso de los gastos anuales, ninguna correlación alcanza el valor de 0.8, lo cual prueba que se presentan de manera independiente.

### Frecuencia de avenidas

Una forma rápida y sencilla para obtener la probabilidad aproximada de un gasto dado es determinar en porcentajes sus frecuencias acumuladas y elaborar la gráfica correspondiente. Este procedimiento se realiza a partir de series de datos con distribuciones de tipo normal; sin embargo, aun-

#### 4. Gasto medio (m³/s) y volumen anual (miles de m³), estación hidrométrica Montemorelos

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	$\bar{Q}$	Volumen
1941	3.16	3.37	3.50	2.28	3.33	16.78	8.61	3.95	8.54	5.56	4.32	4.35	5.69	179 392
1942	4.85	3.10	2.33	2.22	3.28	7.17	10.18	5.78	5.32	10.12	4.63	3.96	5.27	166 083
1943	4.27	2.87	2.29	1.26	0.88	0.92	1.17	0.97	6.48	8.41	4.32	4.13	3.17	99 830
1944	3.48	2.72	1.26	0.93	1.11	3.05	5.23	5.55	23.24	18.19	9.96	6.78	6.79	214 625
1945	5.41	4.30	2.85	2.19	2.35	2.11	1.25	1.74	2.36	11.76	5.47	4.02	3.82	120 753
1946	3.12	2.64	1.94	1.86	3.01	1.63	2.07	1.36	5.85	14.72	6.71	4.34	4.12	129 841
1947	3.90	2.96	1.93	1.43	1.67	1.33	1.30	19.72	6.89	5.79	4.75	3.70	4.64	146 310
1948	3.10	2.50	2.52	1.50	2.05	1.91	2.73	2.23	6.17	8.83	5.88	4.58	3.67	116 110
1949	3.57	2.35	2.22	2.17	2.20	1.71	1.73	1.41	1.64	2.33	2.55	2.64	2.21	69 710
1950	2.13	1.41	1.74	1.25	0.86	0.88	0.98	0.90	1.08	2.20	1.47	1.18	1.34	42 272
1951	1.07	0.86	0.84	0.85	1.43	3.37	1.25	4.98	11.21	8.78	6.49	4.41	3.80	119 861
1952	2.98	1.91	1.56	1.94	1.65	2.10	1.29	0.97	2.53	1.78	1.26	1.01	1.75	55 189
1953	1.07	1.02	1.37	0.97	0.57	0.47	0.68	3.71	3.93	4.07	2.27	2.39	1.88	59 361
1954	1.44	1.66	1.11	1.40	1.43	0.81	0.81	0.98	0.71	7.73	4.47	3.12	2.15	67 695
1955	1.99	1.40	1.07	1.12	1.90	1.01	4.59	2.25	13.06	10.05	5.10	3.28	3.91	123 294
1956	2.37	1.99	1.34	1.18	4.71	1.82	1.58	2.03	2.32	1.53	2.40	1.54	2.06	65 447
1957	1.39	1.19	0.93	2.83	1.95	1.68	0.80	0.91	0.72	1.77	1.66	1.16	1.42	44 702
1958	1.09	0.94	0.82	0.68	0.80	0.98	1.53	1.91	3.95	27.82	20.07	12.54	6.13	193 365
1959	9.95	7.30	7.00	5.97	5.12	3.05	2.25	3.10	3.23	2.97	2.85	2.10	4.56	143 782
1960	2.32	2.03	1.82	1.47	1.63	1.27	1.39	2.59	5.28	3.51	3.85	4.69	2.56	83 885
1961	4.46	2.53	1.69	1.60	2.73	3.57	1.87	2.64	3.37	2.33	2.70	2.03	2.62	82 776
1962	2.20	1.30	1.38	1.13	1.81	1.97	1.49	0.75	3.05	2.01	1.78	1.99	1.74	54 802
1963	1.44	1.13	1.01	1.08	2.39	0.91	0.70	0.97	4.43	2.83	2.27	2.15	1.78	56 017
1964	1.29	1.22	0.61	0.65	1.00	0.81	0.74	0.60	1.61	1.05	0.86	0.88	0.94	29 804
1965	0.84	0.90	0.82	0.80	0.88	0.60	0.40	1.83	0.79	1.30	1.20	1.01	0.95	29 924
1966	1.46	1.73	1.14	1.69	3.69	9.35	6.06	4.29	3.66	10.09	6.37	4.93	4.55	143 605
1967	2.66	1.55	1.17	1.32	0.68	0.51	2.05	6.29	26.02	31.61	11.32	7.23	7.73	243 741
1968	5.62	4.52	2.76	2.42	3.28	1.84	2.44	1.28	11.31	12.21	5.55	2.38	4.63	146 325
1969	1.35	1.28	0.99	0.70	0.55	2.47	0.43	3.00	21.74	13.25	5.79	3.79	4.60	145 193
1970	2.63	1.99	(1.25)	0.99	1.20	0.96	2.42	2.35	10.78	11.45	5.10	2.99	3.67	122 680
1971	1.85	1.31	0.96	0.82	0.96	1.91	1.30	3.83	4.57	14.53	8.85	5.80	3.91	123 346
1972	2.91	2.07	3.27	2.09	6.46	15.44	4.93	3.36	3.17	3.11	2.13	1.92	4.23	133 904
1973	2.01	1.34	1.43	1.01	0.97	32.45	28.87	30.75	16.86	14.47	14.50	12.71	13.18	415 578
1974	5.12	3.82	2.71	1.33	1.23	1.08	1.24	0.39	6.76	7.03	4.52	2.45	3.13	98 765
1975	1.01	1.74	0.86	0.73	2.53	1.59	4.15	5.18	14.56	8.41	5.53	3.70	4.17	131 510
1976	3.08	2.00	1.51	2.03	1.77	1.21	14.67	5.07	10.42	11.66	14.44	16.27	7.06	222 528
1977	11.40	8.85	5.66	3.80	4.08	2.21	1.79	1.27	31.73	11.34	8.31	5.37	7.94	250 351
1978	3.75	3.22	2.20	1.95	1.33	3.22	1.04	3.25	44.05	44.79	19.88	13.61	11.87	374 283
1979	10.10	7.53	4.57	3.83	2.79	3.71	2.03	3.35	5.10	3.76	2.38	4.57	4.46	140 680
1980	2.31	1.63	1.67	1.34	1.42	0.91	1.12	1.19	2.49	6.36	6.05	5.22	2.65	83 756
$\bar{Q}$	3.25	2.50	1.95	1.68	2.09	3.51	3.27	3.71	8.52	9.29	5.75	4.42	4.17	131 722
MAX $\bar{Q}$	11.40	8.85	7.00	5.97	6.46	32.45	28.87	30.75	44.05	44.79	20.07	13.61	13.18	415 578
MIN $\bar{Q}$	0.84	0.86	0.61	0.65	0.55	0.47	0.40	0.39	0.71	1.05	0.86	0.88	0.94	29 804
$\sigma \bar{Q}$	2.45	1.81	1.33	1.04	1.33	5.87	5.05	5.39	9.33	8.87	4.64	3.55	2.64	83 298

que no haya ajuste a esta distribución, es útil para empezar los cálculos. La probabilidad de obtener un gasto igual o menor se expresa de la siguiente manera:

$$p = |F_a(\%) - 100| \quad (1)$$

En este caso se requiere agrupar en clases todos los valores de la serie. Para la estación hidrométrica Montemorelos, estos cálculos se exponen esquemáticamente en la ilustración 22, en la cual se emplean intervalos de 50 m/s.

A fin de analizar la frecuencia de avenidas es necesario calcular el periodo de retorno o intervalo de recurrencia ( $T$ ), que corresponde al tiempo de ocurrencia o frecuencia de una avenida determinada; es decir, indica el intervalo promedio o tiempo entre avenidas iguales o mayores (Hewlett, 1969; Springall, 1977; Dunne y Leopold, 1978). Los valores de  $T$  están dados por la relación siguiente:

$$T = (1 + n)/m \quad (2)$$

donde:

$n$  = número total de años de la serie; para nuestro caso  $n = 40$

$m$  = número de orden (de mayor a menor) que corresponde al valor  $i$  en la serie.

Debido a que  $T$  depende de la posición ( $m$ ) de los valores en la muestra y del tamaño de ésta ( $n$ ), su magnitud es siempre la misma para cualquier serie con igual número de casos, independientemente de su distribución estadística, de que se trate de estaciones hidrométricas distintas o de diferentes tipos de gastos máximos analizados, y aun de precipitación pluvial.

La probabilidad ( $p$ ) de que una avenida sea igualada o excedida en un año dado, se define como la inversa de  $T$ :

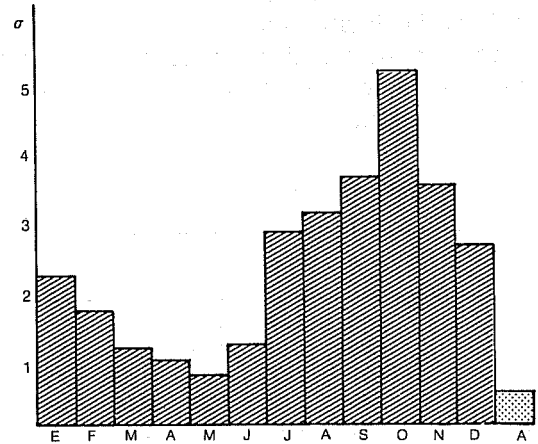
$$p = 1/T \quad (3)$$

Así mismo, la probabilidad de que no se repita una determinada avenida ( $q$ ) en el año siguiente es:

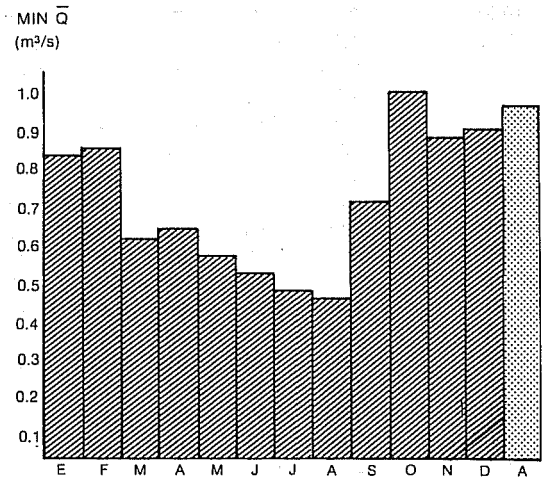
$$q = 1 - p \quad (4)$$

El parámetro  $q$  puede utilizarse para calcular en porcentajes las frecuencias acumuladas de cada uno de los valores de  $Q_{max}$ , al margen de su

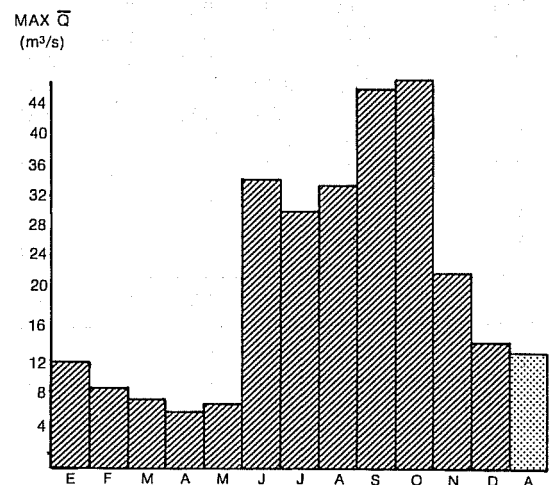
17. Desviación estándar de  $Q_{min}$  ( $m^3/s$ )



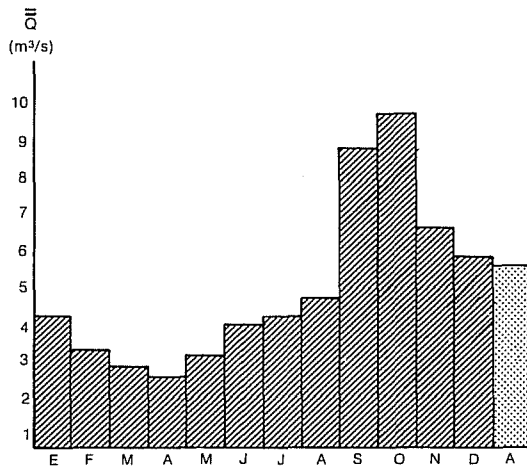
18. Menor valor de  $\bar{Q}$  ( $m^3/s$ ) (1941-1980)



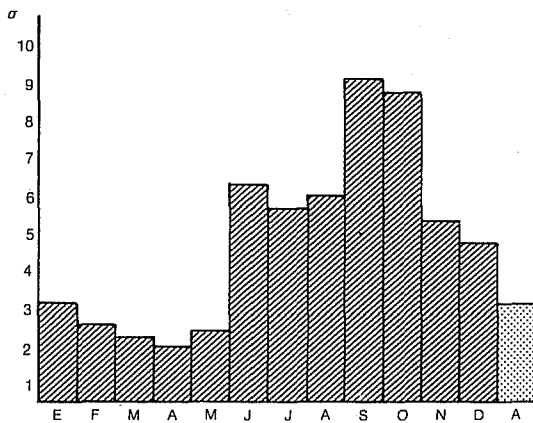
19. Mayor valor de  $\bar{Q}$  ( $m^3/s$ ) (1941-1980)



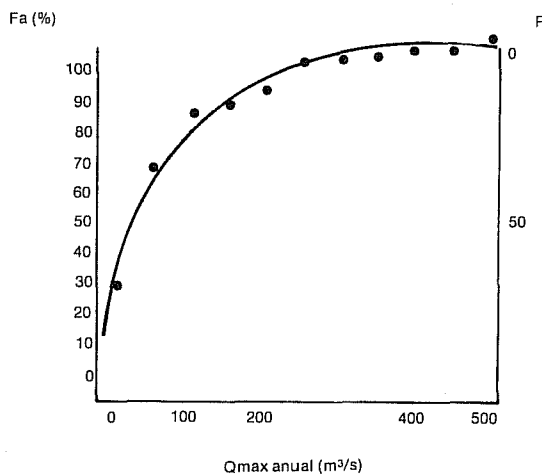
20. Distribución de  $\bar{Q}$  mensual ( $\bar{Q}$ ) (1941-1980)



21. Desviación estándar de  $\bar{Q}$  ( $\sigma$ ) (1941-1980)



22. Frecuencia acumulada (%) y probabilidad de  $Q_{max}$  anual Estación Montemorelos (1941-1980)



distribución y sin que se requiera agruparlos en clases; de esta manera  $F_a$  se relaciona directamente con los periodos de retorno y sus probabilidades correspondientes; dicho parámetro queda representado por la relación (véase ilustración 23), siguiente:

$$F_a(\%) = q \cdot 100 \quad (5)$$

La probabilidad de tener un cierto  $Q_{max}$  en los próximos  $n$  años ( $p_n$ ) está dada por:

$$P_n = 1 - q = 1 - \left[ \frac{T-1}{T} \right]^n \quad (6)$$

5. Correlación lineal ( $r$ ) de diferentes tipos de gastos anuales, estación Montemorelos (1941-1980)

MIN $Q_m$	0.30			
$Q_{min}$	0.00	0.22		
MAX $Q_{min}$	0.61	0.25	0.11	
$\bar{Q}$	0.77	0.44	0.02	0.78
$Q_{max}$		MIN $Q_{max}$	$Q_{min}$	MAX $Q_{min}$

6. Correlación lineal ( $r$ ) de diferentes tipos de gastos mensuales, estación Montemorelos (1941-1980)

MIN $Q_{max}$	0.13							
$\bar{Q}_{max}$	0.22	0.04						
$Q_{min}$	0.49	0.09	0.02					
MAX $Q_{min}$	0.31	0.67	0.61	0.00				
$\bar{Q}_{min}$	0.01	0.86	0.06	0.53	0.69			
MAX $\bar{Q}$	0.84	0.36	0.22	-0.26	0.73	0.43		
MIN $\bar{Q}$	0.37	0.81	-0.01	0.56	0.22	0.79	0.00	
$\bar{Q}$	0.03	0.70	0.19	0.11	0.70	0.81	0.82	0.50
$Q_{max}$		MIN $Q_{max}$	$\bar{Q}_{max}$	$Q_{min}$	MAX $Q_{min}$	$\bar{Q}_{min}$	MAX $\bar{Q}$	MIN $\bar{Q}$

En el cuadro 7 se señalan los valores del periodo de retorno ( $T$ ), de la probabilidad de que no se repita una avenida ( $q$ ) y de la probabilidad de ocurrencia ( $p_n$ ) de los  $Q_{max}$  mensuales y anuales para 1, 5, 10, 20, 50 y 100 años, de la estación hidrométrica Montemorelos durante el periodo 1941-1980. Así mismo en la ilustración 24 se muestra la distribución de las probabilidades ( $p_n$ ) de algunos valores representativos.

Los datos de  $Q_{max}$  anual no siguen una distribución normal, sino que pueden presentar otras, como la geométrica, la exponencial, la Gumbel tipo I, la Gumbel tipo III (distribución logarítmica de la Gumbel tipo I), la de Poisson, la de Pearson, etc. (Hewlett, 1969; Dunne y Leopold, 1978; Springall, 1977). Para el caso de la estación hidrométrica Montemorelos, la distribución de los datos de  $Q_{max}$  anual y sus periodos de retorno se aproximan a una recta sólo si se utiliza la escala aritmé-

tica de Gumbel (véase ilustración 25), lo que indica una distribución Gumbel tipo I, con la relación (Springall, 1977) siguiente:

$$p(y) = e^{-e^{-(a+y)/c}} \quad (7)$$

donde:

$p(y)$  = probabilidad acumulada de un  $Q_{max}$  anual dado

$c$  = parámetro estadístico definido por:

$$c = S_y / \sigma N = 103.7675$$

$S_y$  = desviación estándar = 118.432

$\sigma N$  = valor que está en función del número de casos de la muestra (estación Montemorelos)

$$N = 40 \quad \sigma N = 1.14132$$

$e$  = constante = 2.7182

$a$  = parámetro estadístico definido por:

$$a = \bar{Y}_c - \bar{y} = -55.259874$$

$\bar{Y}_N$  = media = 111.67

$\bar{y}$  = al igual que  $\sigma N$  es un valor que está en función de  $N$

$$N = 40; \bar{Y}_N = 0.54362$$

La relación anterior también puede expresarse (Springall, 1977) como se indica a continuación:

$$p(y) = \frac{T-1}{T} \quad (8)$$

Esta ecuación resulta de las siguientes relaciones, las cuales ya se han mencionado:

$$p = 1/T \quad (9)$$

$$q = 1 - p$$

Por tanto:

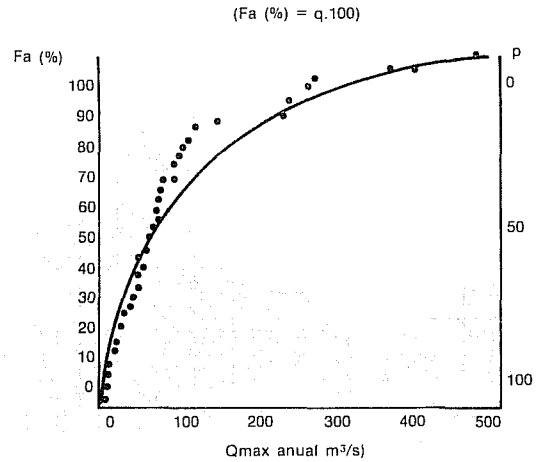
$$q = \frac{T-1}{T} \quad (10)$$

De esta manera, la relación  $p(y)$  corresponde a un valor ajustado de  $q$ :

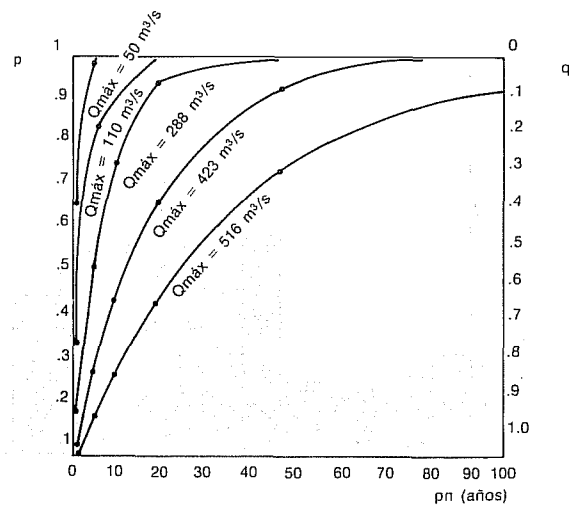
$$p(y) = q \quad (11)$$

Con la finalidad de elaborar una gráfica ajustada, cuando los valores de  $y$  ( $Q_{max}$  anual) son de 1, 5, 10, 20, 50, 100, 500 y 1000  $m^3/s$ , los valores de  $p(y)$  corresponden a 0.179, 0.185, 0.212, 0.245, 0.349, 0.522, 0.986 y 0.999, respectivamente (véase ilustración 26). Conviene mencionar que este procedimiento puede aplicarse para calcular las probabilidades acumuladas de los  $Q_{max}$  mensuales, siempre y cuando éstas se ajusten a la misma distribución. En el cuadro 7 se hacen coincidir los  $Q_{max}$  anuales con los mensuales.

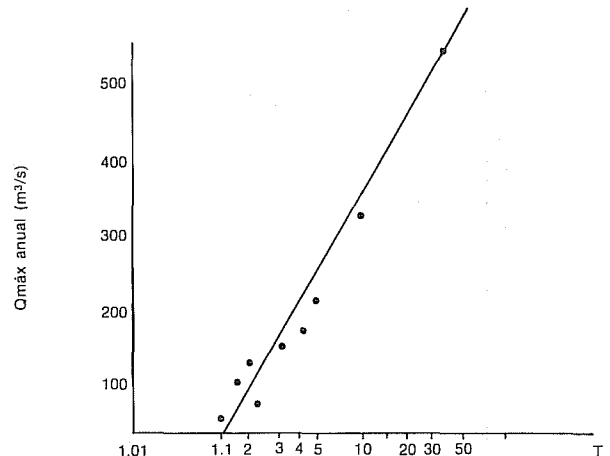
23. Frecuencia acumulada (%) de cada valor de  $Q_{max}$  anual y su probabilidad (1941-1980)



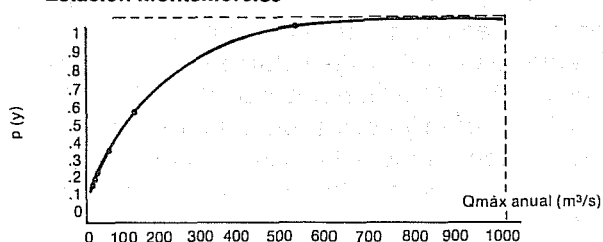
24. Probabilidad de  $Q_{max}$  anual en función de diferentes periodos de tiempo. Estación Montemorelos



25.  $Q_{max}$  anual y su periodo de retorno (distribución Gumbel) (1941-1980) Estación Montemorelos



26. Probabilidad acumulada de Q<sub>max</sub> anual (P(y)): P(y) = q.  
Estación Montemorelos



**Discusión y conclusiones**

De acuerdo con los análisis realizados en este trabajo, la dinámica hidrológica del área en estudio corresponde a una zona árida típica, con grandes variaciones mensuales y anuales en los valores de los gastos máximos. Las gráficas anexas de los diferentes gastos permiten efectuar un análisis comparativo de las diferencias de cada parámetro; con los valores del coeficiente de correlación puede decirse que estos parámetros funcionan como eventos independientes.

El gasto máximo anual muestra valores muy diversos entre sí. La comparación de los menores valores de este parámetro (véase cuadro 2), per-

mite reforzar la hipótesis de que los gastos máximos son en gran medida independientes, como resultado de tormentas esporádicas, afirmación que corrobora los valores de la desviación estándar. La media del gasto máximo (111.67 m<sup>3</sup>/s) considerada como dato aislado no es representativa, ya que la serie no corresponde a una distribución normal.

Los mayores gastos máximos mensuales se concentran en la mitad cálida del año. En este sentido, la influencia de la precipitación en los escurrimientos es definitiva; sin embargo, las características de los gastos máximos instantáneos están dadas por la intensidad, duración y extensión geográfica de la precipitación, así como por las condiciones de la cuenca que la precedieron. Los gastos máximos extremos están relacionados directamente con los ciclones tropicales; por ejemplo, cuando se registraron los tres gastos mayores de la serie estudiada (de 516, 423 y 345 m<sup>3</sup>/s, correspondientes a septiembre de 1978, septiembre de 1977 y junio de 1973, respectivamente), se presentaron 6, 5 y 1 ciclones en el Atlántico, en ese orden. En el primer caso dos afectaron la cuenca del Pilón; en el segundo, el

7. Periodo de retorno y probabilidades de los gastos máximos anuales y mensuales, estación hidrométrica Montemorelos (1941-1980)

Orden (n)	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /s)												Anual	T	q	p	P <sub>n</sub> (años)				
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D					5	10	20	50	100
1	19.19	14.96	22.00	55.60	95.50	345.00	250.00	254.00	516.00	197.60	53.60	27.20	516.00	41.00	0.97	0.02	0.11	0.21	0.39	0.70	0.91
2	13.81	11.13	18.50	29.27	79.00	288.00	107.70	163.00	423.50	137.00	32.64	22.96	423.50	20.50	0.95	0.04	0.22	0.39	0.63	0.91	0.99
3	13.05	9.75	14.80	19.30	64.00	127.00	64.20	102.00	282.50	127.20	30.71	20.76	345.00	13.66	0.92	0.07	0.31	0.53	0.78	0.97	0.99
4	9.97	9.33	8.67	14.33	56.80	79.00	46.50	77.90	150.00	92.40	26.96	17.02	288.00	10.25	0.90	0.09	0.40	0.64	0.87	0.99	0.99
5	8.16	7.65	8.35	9.68	23.17	60.20	26.50	49.00	125.90	84.48	23.84	15.43	282.50	8.20	0.87	0.12	0.47	0.72	0.92	0.99	0.99
6	7.57	6.96	7.49	8.50	17.93	55.00	25.00	45.00	110.00	81.60	23.82	10.80	254.00	6.83	0.85	0.14	0.54	0.79	0.95	0.99	0.99
7	6.71	6.61	6.49	7.97	16.80	48.50	24.99	43.12	109.50	80.40	19.84	9.10	250.00	5.85	0.82	0.17	0.60	0.84	0.97	0.99	0.99
8	6.39	5.61	6.30	7.41	16.70	27.27	24.43	28.91	102.00	75.70	15.33	8.01	163.00	5.12	0.80	0.19	0.66	0.88	0.98	0.99	1.00
9	6.31	5.54	5.86	7.31	11.72	22.72	18.71	27.58	90.48	64.56	13.50	7.90	137.00	4.55	0.78	0.21	0.71	0.91	0.99	0.99	1.00
10	6.29	5.49	5.77	7.01	13.70	17.98	16.00	27.20	71.55	57.10	12.99	7.30	127.00	4.10	0.75	0.24	0.75	0.93	0.99	0.99	1.00
11	6.24	5.46	5.64	6.92	10.31	15.38	13.32	26.50	67.60	47.20	12.93	6.55	125.90	3.72	0.73	0.26	0.79	0.95	0.99	0.99	1.00
12	6.14	5.33	5.53	6.76	10.20	13.44	13.00	24.50	52.60	42.40	12.43	6.44	110.00	3.41	0.70	0.29	0.82	0.96	0.99	0.99	1.00
13	5.78	5.32	5.26	5.90	9.59	12.90	11.71	23.15	50.26	34.00	11.22	6.27	109.50	3.15	0.68	0.31	0.85	0.97	0.99	0.99	1.00
14	5.58	4.98	5.13	5.84	8.32	12.80	9.90	22.00	42.00	33.04	9.23	6.07	102.00	2.92	0.65	0.34	0.87	0.98	0.99	1.00	1.00
15	5.53	4.88	5.08	5.77	6.90	8.70	8.77	20.56	40.26	32.93	8.86	5.88	95.50	2.73	0.63	0.36	0.89	0.98	0.99	1.00	1.00
16	5.44	4.87	5.08	5.58	6.40	7.11	8.65	17.20	37.48	32.36	8.69	5.86	92.40	2.56	0.60	0.39	0.91	0.99	0.99	1.00	1.00
17	4.78	4.83	4.99	5.56	6.37	7.08	8.57	16.90	37.00	30.25	7.43	5.85	90.48	2.41	0.58	0.41	0.93	0.99	0.99	1.00	1.00
18	4.67	4.72	4.79	5.26	6.15	5.27	8.34	12.90	36.00	24.80	7.15	5.60	84.48	2.27	0.56	0.43	0.94	0.99	0.99	1.00	1.00
19	4.59	4.71	4.51	4.66	5.90	5.24	8.06	12.00	32.46	21.83	6.92	5.56	80.40	2.15	0.53	0.46	0.95	0.99	0.99	1.00	1.00
20	4.56	4.66	4.47	4.54	5.63	5.21	5.79	10.28	30.20	19.30	6.75	5.50	79.00	2.05	0.51	0.48	0.96	0.99	0.99	1.00	1.00
21	4.51	4.49	4.37	4.28	5.63	5.21	5.58	9.70	21.60	19.00	6.63	5.45	71.55	1.95	0.48	0.51	0.97	0.99	0.99	1.00	1.00
22	4.33	4.49	4.30	4.26	5.37	4.96	5.29	7.87	21.40	18.28	6.20	5.30	64.56	1.86	0.46	0.53	0.97	0.99	0.99	1.00	1.00
23	4.29	4.41	4.16	4.12	5.08	4.90	5.20	7.80	21.07	18.20	5.88	5.20	64.00	1.78	0.43	0.56	0.98	0.99	0.99	1.00	1.00
24	4.28	4.39	4.07	4.11	5.00	4.47	4.67	7.76	20.56	18.03	5.57	5.02	60.20	1.70	0.41	0.58	0.98	0.99	0.99	1.00	1.00
25	4.07	4.23	4.06	3.96	4.89	4.47	4.47	6.80	18.50	17.21	5.56	4.92	56.80	1.64	0.39	0.60	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00
26	4.05	4.13	4.03	3.94	4.87	3.96	4.42	6.75	18.40	17.20	5.46	4.88	55.60	1.57	0.36	0.63	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
27	4.01	4.13	3.79	3.92	4.78	3.76	4.29	5.51	14.80	16.70	5.43	4.41	50.26	1.51	0.34	0.65	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
28	3.89	4.12	3.77	3.91	4.67	3.59	4.14	5.01	14.50	14.08	5.40	4.01	48.15	1.46	0.31	0.68	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
29	3.78	3.84	3.63	3.90	4.55	3.37	3.90	4.42	12.83	11.20	5.26	3.94	37.48	1.43	0.29	0.70	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
30	3.76	3.77	3.45	3.66	4.30	3.27	3.62	4.10	12.30	10.40	4.64	3.88	30.25	1.36	0.26	0.73	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
31	3.60	3.73	3.43	3.32	4.89	3.25	3.58	3.84	11.68	10.08	4.58	3.81	29.27	1.32	0.24	0.75	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
32	3.50	3.40	3.38	3.30	3.82	2.93	3.54	3.31	11.57	8.60	4.36	3.69	21.60	1.28	0.21	0.78	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
33	3.49	3.36	3.14	3.22	3.77	2.78	3.24	3.28	11.40	6.96	4.15	3.60	21.07	1.24	0.19	0.80	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
34	3.48	3.28	3.08	3.08	3.70	2.72	3.14	2.89	11.00	6.03	3.98	3.58	20.56	1.20	0.17	0.82	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
35	3.47	3.24	2.95	2.88	3.22	2.69	3.11	2.58	9.66	5.92	3.61	3.44	19.30	1.17	0.14	0.85	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
36	3.32	3.21	2.92	2.85	3.09	2.61	2.85	2.56	9.33	5.39	3.45	3.30	19.00	1.13	0.12	0.87	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
37	2.96	3.18	2.55	2.63	2.42	2.53	2.31	2.40	6.96	4.95	3.14	2.96	15.38	1.10	0.09	0.90	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
38	2.73	2.67	2.38	2.16	2.33	2.43	2.16	2.26	5.25	4.45	3.13	2.89	11.57	1.07	0.07	0.92	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
39	2.61	2.41	2.29	1.97	1.64	1.41	1.74	1.99	4.97	4.26	2.85	2.76	7.11	1.05	0.04	0.95	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
40	1.98	2.26	1.72	1.93	1.21	1.14	1.50	1.78	2.00	3.36	2.60	2.40	6.97	1.02	0.02	0.97	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00

área de la cuenca corresponde a la zona de disipación de uno de los cinco ciclones (DGETN, 1979).

Los menores valores del gasto mínimo mensual (véase ilustración 14) suceden de manera inversa a los gastos máximos (véase ilustración 9). La aparente contradicción de esto con la frecuencia del gasto mínimo (compárense las ilustraciones 14 y 12) se debe a que en el primer caso dicho valor corresponde al gasto mínimo de toda la serie de un mes en particular y, en el segundo, a la frecuencia del mes en que se aprecia el gasto mínimo de cada año (tratamiento vertical y horizontal de los cuadros 2 y 3).

Las frecuencias de los gastos máximos y mínimos anuales en relación con el mes en que se presentan (véanse ilustraciones 6 y 12) coinciden con la época del año; en ningún caso hay traslape en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero. Una interpretación de lo anterior es que los primeros son producto de respuestas instantáneas de la cuenca ante tormentas considerables y los segundos obedecen al flujo base, independientemente de los máximos.

El hecho de que en el periodo estudiado no se hayan presentado gastos mínimos anuales en los meses fríos del año (véase ilustración 12), se debe por un lado, a la influencia de las precipitaciones poco intensas y de larga duración, provocadas por frentes polares, y por el otro, a que las bajas temperaturas en esa época del año evitan una evapotranspiración que afecte el flujo base de la corriente. Si en una determinada época del año se concentra la mayor frecuencia de los gastos máximos, que para el caso del río Pilón corresponde al periodo de abril a octubre, es de esperarse que los mínimos sucedan en los meses restantes. Sin embargo, la distribución anual de ambos parámetros coincide; esto refuerza la hipótesis de que la gran variabilidad del gasto máximo obedece a tormentas de gran intensidad y corta duración, lo que ocasiona que poco después del pico máximo se regrese al flujo base.

Los diferentes tipos de gasto analizados reflejan la influencia de las características geomorfológicas, geológicas, morfométricas, climatológicas y de vegetación de la cuenca, incluyendo a la subterránea, cuya divisoria de aguas no coincide necesariamente con la superficial. Además de determinar las formas de escurrimiento superficial, estos factores participan en el balance hidrológico, que en el río Pilón queda expresado de la siguiente manera: con el método de isoyetas se obtiene una precipitación anual de 522 mm para

la superficie de captación de la estación hidrométrica Montemorelos (1 691 km<sup>2</sup>); el volumen anual promedio registrado en esa zona ( $131\,722 \times 10^3$  m<sup>3</sup>) equivale al 14.9% del volumen total precipitado ( $883\,107 \times 10^3$  m<sup>3</sup>), por lo que el restante 85.1% ( $751\,385 \times 10^3$  m<sup>3</sup>) corresponde tanto a la evapotranspiración, como a la recarga proveniente de los acuíferos que mantienen el flujo base o afloran en cuencas aledañas.

El uso actual del agua en la cuenca es un factor que debe considerarse seriamente en los análisis anteriores. Existen 50 tomas para irrigación, con gasto de entre 3 y 15 l/s en el río Casillas, de Rayones hacia aguas arriba; otra se localiza 10 km aguas arriba de Montemorelos, con capacidad de 2 m<sup>3</sup>/s para irrigación de la zona citrícola. Se desconoce la influencia de estas derivaciones en los registros hidrométricos, aunque puede suponerse que en marzo, abril y mayo influyen de manera decisiva sobre los gastos mínimos y medios, sobre todo en años secos.

El flujo base de la Sierra Madre Oriental mantiene un gasto constante aproximado de 3 m<sup>3</sup>/s, fuente de la agricultura de riego de la zona de Montemorelos, en la cual es frecuente encontrar pozos muy cercanos al río para fines de irrigación, que seguramente provocan la formación de conos de abatimiento en el nivel freático, lo que causa flujos influentes que disminuyen el escurrimiento superficial.

La distribución estadística de los gastos máximos, así como sus valores para el periodo de retorno y sus probabilidades (véase cuadro 7), son el fundamento para determinar las características de las obras de derivación y control y, en general, para decidir el uso que se dará al agua de la cuenca. Sin embargo, cualquier plan de aprovechamiento tendrá que considerar a ésta como un sistema cuyos componentes están relacionados, por lo cual el mal manejo de alguno repercutirá necesariamente sobre los procesos hidrológicos.

## Referencias

- Dirección General de Estudios del Territorio Nacional (DGETN). *Atlas de Huracanes*, SPP, México, 1979, pp. 40, 44 y 45.
- Dunne, T. y L.B. Leopold. *Water in Environmental Planning*, W.F. Freeman & Co., San Francisco, 1978, pp. 51-55, 305-316.
- Flores G., J. Jiménez, X. Madrigal, F. Moncayo y F. Takaki. *Tipos de vegetación en la República Mexicana*, Dirección de Agrología, SRH, México, 1971, mapa y memoria.
- García, E. *Modificaciones al sistema de clasificación*



climática de Köpen, (3a. ed.), Larrios, México, 1981, 251 pp.

Hewlett, J.D. y W.L. Nutter. *An Outline in Forest Hydrology*, University of Georgia Press, EUA, 1969, pp. 31-34.

Rojas-Mendoza, P. "Generalidades sobre la vegetación del Estado de Nuevo León y datos acerca de su flora". *Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, UNAM, México, 1965, 124 pp.*

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos: Subsecretaría de Planeación. *Boletín Hidrológico* núm. 53, "Región hidrológica núm. 24, Oriente Bajo Río Bravo", México, 1980, tomo II.

Secretaría de Recursos Hidráulicos. *Atlas del agua de la República Mexicana*, SRH, México, 1976, pp. 147-157, 169.

Springall, R. *Análisis estadístico y probabilístico de datos hidrológicos*, Instituto de Ingeniería, México, UNAM, 1977, 139 pp.

Material cartográfico:

Cartas topográfica, geológica, edafológica y uso actual del suelo y vegetación. Escala 1:50 000. INEGI. G 14 C 35 - San Antonio de las Alazanas; G 14 C 36 - Allende; G 14 C 37 - General Terán; G 14 C 38 - La Unión; G 14 C 45 - San Rafael; G 14 C 46 - Montemorelos; G 14 C 48 - San José de las Flores; G 14 C 55 - La Paz; G 14 C 56 - Galeana; G 14 C 57 - Hualahuises.

<sup>1</sup> Ubicada en Montemorelos, N.L., 70 m aguas abajo del puente de la carretera nacional núm. 85, con área de captación de 1691 km<sup>2</sup> (SARH, *Boletín Hidrológico*, núm. 53).

<sup>2</sup>

$$r = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2] \cdot [N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$