

## CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CUENCA DEL RÍO TIZAR

Por *Laura Elena Maderey*

### INTRODUCCIÓN

Las características físicas de una cuenca hidrográfica son importantes desde el punto de vista hidrológico y geomorfológico, ya que constituyen los factores que afectan el escurrimiento y la morfogenia. Estos factores se dividen en dos grupos, uno que depende especialmente del clima y otro que se refiere a las características morfométricas de la cuenca hidrográfica. En este caso se tratará este segundo grupo principalmente.

### *Descripción de la Cuenca del Río Tizar*

La Cuenca del Río Tizar es una cuenca pequeña de 81.6 km<sup>2</sup> situada en la parte oriental de la Cuenca de México. Se localiza en la vertiente oriental de la Sierra de Patlachique y sus estribaciones, en un terreno francamente volcánico. La Sierra de Patlachique pertenece a la continuación, hacia el norte, de las Sierras Nevada y Río Frío. La cuenca no pertenece de manera natural a la Cuenca de México, se incorporó a ella artificialmente llevando las aguas del Río Tizar, a la Cuenca del Río de las Avenidas de Pachuca que finalmente llega a la Laguna de Zumpango.

Las formaciones geológicas de la cuenca en cuestión corresponden a la era Cenozoica, en su mayor parte al Terciario Superior y al Cuaternario. El extremo sur de la cuenca comprende las series andesíticas de las Sierras Nevada y Río Frío. En la parte sur se encuentra la formación Tarango, representada por tobas, con-

glomerados, brechas y lavas. En las partes media y norte las formaciones geológicas se localizan atendiendo al relieve; las elevaciones corresponden a conos cineríticos, las partes inmediatas y circundantes a éstos están constituidas por lavas y tobas interestratificadas, y a las partes más bajas pertenecen los depósitos aluviales. La mayoría de las formaciones geológicas de la cuenca corresponden a material sedimentario piroclástico, dada la situación de la cuenca dentro de la región volcánica más importante de México.

El drenaje tiene una orientación general de suroeste a noreste y se manifiesta superficialmente en la mayor parte de la cuenca, excluyendo la parte norte, en donde seguramente es subterráneo. De hecho, la cuenca en estudio abarca esencialmente la parte alta del Río Tizar, es decir, a sus formadores.

La corriente principal, como el nombre de la cuenca lo indica es el Río Tizar. Sus formadores son varios y la corriente principal, propiamente empieza cerca de la salida de la cuenca en cuestión. Entre los formadores del Río Tizar están los siguientes: Río Barranca de Tenexcalco, Río del Salto, Río Sabinal, Río del Cerro de Enmedio, Río Barranca del Bosque, Río Barranca Chame, Río Barranca Tlalpalo, Río Barranca del Monte del Malpaís.

El drenaje de la cuenca es de carácter intermitente, pues únicamente se registran escurrimientos en la época de lluvias, que es en verano y principios de otoño.

El clima de la región, de acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen, es templado fresco con lluvias en el verano y con el máximo de temperatura media antes del sol-



ticio de verano. Las precipitaciones que se registran en la cuenca durante el verano y principios de otoño, y que son las que interesan, puesto que son las que dan lugar a los escurrimientos, se presentan en forma de tormentas, chubascos o aguaceros. Estas precipitaciones son de carácter convectivo, ciclónico y orográfico.

### Elementos morfométricos

Los elementos morfométricos pueden separarse en dos: los que dan idea de la forma de la cuenca y los que describen la red de drenaje.

#### I. Forma de la cuenca

La forma de las cuencas hidrográficas, tanto en superficie como en relieve, tiene interés en el comportamiento del agua al caer a la superficie, por la velocidad que adquiere y la erosión que produce y además, por el tiempo que tarda en llegar de los límites de la cuenca a la salida de la misma.

Existen varios índices y relaciones para determinar la forma superficial y de relieve de las cuencas, algunos de ellos, los más usados, se aplicaron para analizar este aspecto en la cuenca en cuestión.

*Coefficiente de compacidad.* Es un índice establecido por el autor alemán Gravelius y es la relación "K" entre el perímetro "P" de la cuenca en estudio y el perímetro de un círculo que tenga la misma superficie "A" que dicha cuenca.

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

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

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

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

Al tener el círculo la misma superficie que la cuenca, el perímetro del primero será menor que el de la segunda, de manera que para cual-

quier caso, este coeficiente será mayor o igual a la unidad, y entre más próximo a ella, la forma de la cuenca será más semejante a la del círculo. "K" es un número adimensional, independiente del tamaño de las cuencas, es decir, que dos cuencas hidrográficas de diferente superficie pueden tener el mismo coeficiente de compacidad.

La causa por la que se comparan las cuencas a la figura circular es porque las cuencas con esta forma o similar a ella, tienen mayor posibilidad de producir avenidas de mayores puntas.

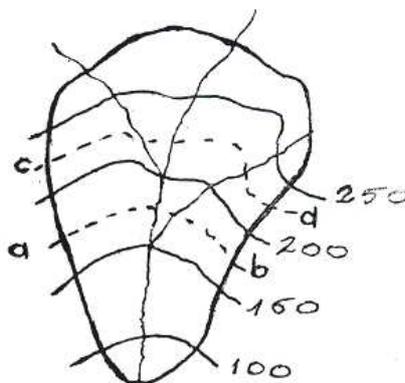
Al aplicar este coeficiente a nuestra cuenca, con  $P = 48.5$  km,  $A = 81.6$  km<sup>2</sup> se obtuvo un resultado de 1.5.

*Factor de forma.* Es otra relación que da idea de la forma de las cuencas. Se obtiene dividiendo la anchura media entre la distancia más grande, medida sobre el curso principal, desde la salida de la cuenca hasta la cabecera más alejada. La anchura media se obtiene dividiendo el área entre la distancia máxima antes definida. Este factor indica, en cierto modo, la posibilidad de la presencia de avenidas, ya que entre más bajo es su valor, la cuenca es más alargada y hay menor probabilidad de que se precipite una tormenta simultáneamente en toda su extensión.

Para la Cuenca del Río Tizar se obtuvo un valor de 0.5, con una anchura media de 6.2 km y el eje axial de 13 km.

*Pendiente media.*<sup>1</sup> Se utilizó el método empleado por Horton.

La figura siguiente representa una cuenca con curvas de nivel; *ab* y *cd* son líneas trazadas a la mitad, entre las curvas de nivel de 150 y 200 m, y 200 y 250 m respectivamente.



<sup>1</sup> Wisler, C. O. y Brater, E. F. *Hydrology*. John Wiley and Sons, Inc., New York, 1959, pp. 45-46.

- $s_1$  = Área de la franja *abcd*.
- $a_1$  = Anchura media de la franja *abcd*.
- $l_1$  = Longitud de la curva de nivel de 200 m.
- $P_1$  = Pendiente media de la franja *abcd*.
- $P$  = Pendiente media de la cuenca.
- $D$  = Intervalo entre las curvas de nivel.
- $A$  = Área de la cuenca.
- $L$  = Longitud total de las curvas de nivel.

$$P_1 = \frac{D}{a_1} = \frac{Dl_1}{s_1}$$

Al ponderar la pendiente de cada franja de acuerdo a su área, se tiene:

$$P = \frac{Dl_1}{s_1} \cdot \frac{s_1}{A} + \frac{Dl_2}{s_2} \cdot \frac{s_2}{A} + \dots + \frac{Dl_n}{s_n} \cdot \frac{s_n}{A}$$

$$P = \frac{D}{A} (l_1 + l_2 + \dots + l_n)$$

$$P = \frac{DL}{A}$$

Según esta fórmula, la pendiente media de una cuenca es igual a la longitud total de las curvas de nivel por el intervalo de dichas curvas, entre la superficie total de la cuenca.

Al aplicar esta fórmula a la Cuenca del Río Tizar con  $D = 50$  m,  $L = 341.550$  km y  $A = 81.6$  km<sup>2</sup>, se obtuvo una pendiente media de 0.209 o bien del 20.9%.

*Curva hipsométrica.* Es la curva que representa la forma media del relieve de la cuenca. Se construye llevando en el eje de las abscisas longitudes proporcionales a las superficies proyectadas de la cuenca, en km<sup>2</sup> o en porcentaje, comprendidas entre las curvas de nivel consecutivas, hasta sumar la superficie total, y en el eje de las ordenadas la cota de las curvas de nivel consideradas.

La curva hipsométrica, de acuerdo con su forma, da una idea en su conjunto, incluso se puede interpretar como un perfil transversal de la cuenca. Si el plano de la curva se girara 90°, se representaría un perfil medio de la cuenca.

La curva hipsométrica de la Cuenca del Río Tizar está representada en las gráficas I y II, y el cálculo de la misma, en el cuadro 1.

*Histograma de frecuencias altimétricas.* Representa las superficies en km<sup>2</sup> y en porcentaje, comprendidas entre las altitudes consideradas. Para el caso de la Cuenca del Río Tizar, las altitudes son de 100 en 100 m. Ver gráfica III y cuadro 2.

*Altura media.* Para obtener la altura media se empleó la curva hipsométrica. Teóricamente se calcularía dividiendo el volumen total del relieve de la cuenca entre su superficie proyectada, pero en la práctica, la altura media se obtiene dividiendo el área comprendida bajo la curva hipsométrica, entre la longitud que representa la superficie total de la cuenca.

La altura media no es representativa del relieve, ya que existen cuencas con la misma altura media, de relieves totalmente diferentes, sin embargo, es útil conocerla para investigar otros coeficientes indicadores del relieve.

La altitud media, obviamente, se obtendrá sumando la altura media a la cota mínima de la cuenca.

La altura media de la Cuenca del Río Tizar resultó de 170 m, la altitud máxima de 3270 m y la altitud media de 2760 m.

*Coefficiente de masividad.* Este coeficiente fue establecido por De Martonne y resulta de dividir la altura media de una cuenca entre su superficie proyectada:

$$\tan \alpha = \frac{\bar{H}}{S}$$

$\bar{H}$  = Altura media en Dm

$S$  = Superficie de la cuenca en km<sup>2</sup>

Al analizar esta relación, se observa que el coeficiente de masividad aumenta con la altura media de la cuenca, y para cuencas pequeñas con marcados desniveles adquiere valores muy grandes. Este coeficiente diferencia cuencas con la misma altura media, sin embargo, su valor puede ser el mismo para cuencas en donde los fenómenos de erosión sean distintos.

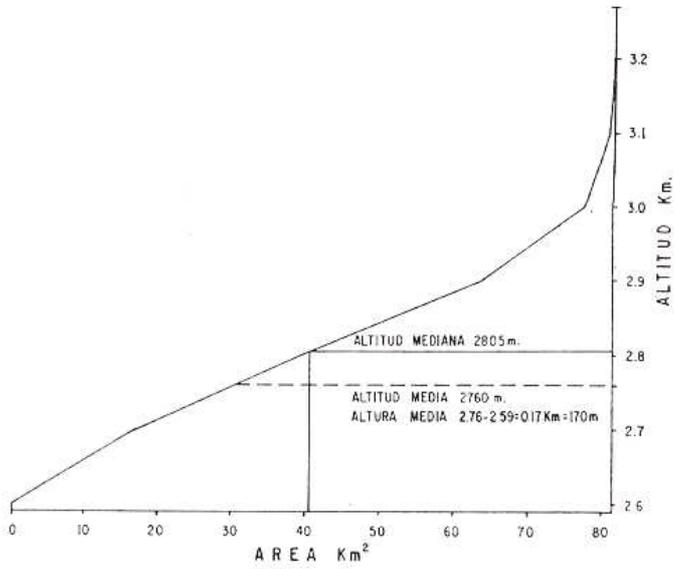
El coeficiente de masividad, identifica, de hecho, la pendiente media de la cuenca. El valor obtenido para la Cuenca del Río Tizar fue de 0.208. Como se puede observar, casi igual al de la pendiente media.

*Coefficiente orográfico.* Las consideraciones hechas al tratar la altura media y el coeficiente de masividad, condujeron a combinar estos dos índices para obtener un coeficiente orográfico, un número adimensional, que de acuerdo con el autor francés Fournier, se puede aplicar este coeficiente para definir el relieve de una cuenca en función de su erosión, estableciéndose que 6 es un valor límite de dicho coeficiente a partir del cual el relieve puede considerarse como acentuado.

Coefficiente orográfico = Coeficiente de masividad  $\times$  Altura media.

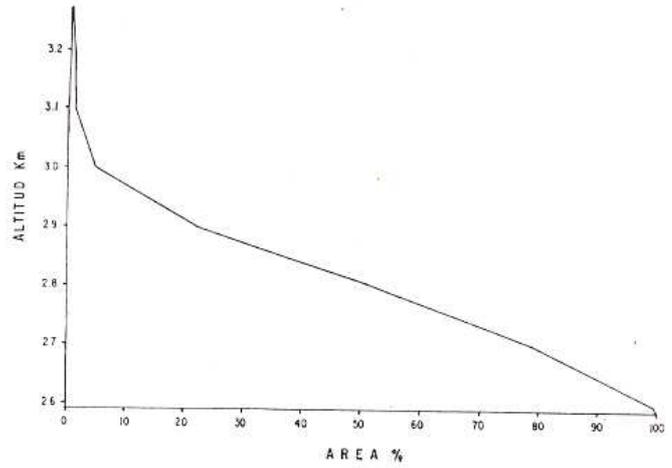
GRAFICA I

CURVA HIPSOMETRICA DE LA CUENCA DEL RIO TIZAR



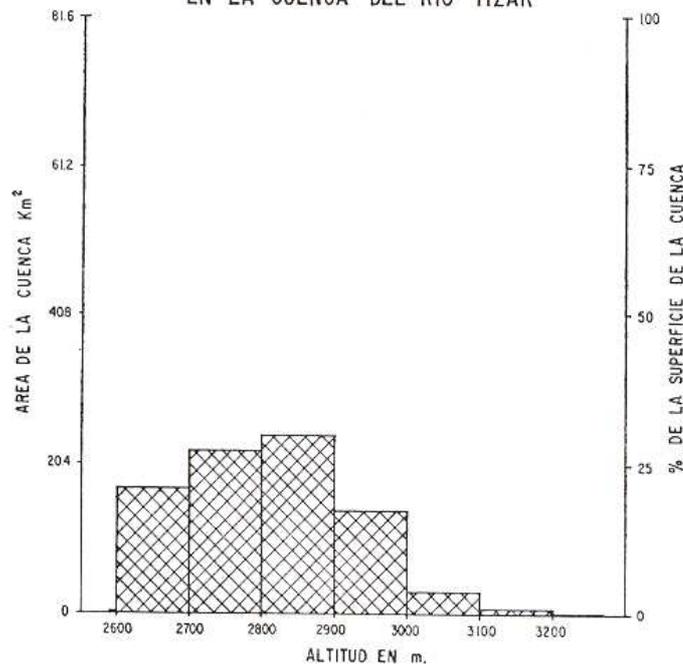
GRAFICA II

CURVA HIPSOMETRICA DE LA CUENCA DEL RIO TIZAR



GRAFICA III

HISTOGRAMA DE LAS FRECUENCIAS ALTIMETRICAS EN LA CUENCA DEL RIO TIZAR



Dibajo: Humberto Robles U.

Cuadro 1

Curva hipsométrica de la Cuenca del Río Tizar

Intervalo entre las curvas de nivel	Área planímetro km <sup>2</sup>	Área compensada km <sup>2</sup>	Área acumulada km <sup>2</sup>	% Área compensada	% Área acumulada
2600	0.281	0.281	0.281	0.34	100.00
2600 - 2700	16.968	16.961	17.242	20.79	99.66
2700 - 2800	22.231	22.221	39.463	27.23	78.87
2800 - 2900	24.316	24.305	63.768	29.79	51.64
2900 - 3000	14.085	14.079	77.847	17.25	21.85
3000 - 3100	2.877	2.876	80.723	3.53	4.60
3100 - 3200	0.697	0.696	81.419	0.85	1.07
3200	0.181	0.181	81.600	0.22	0.22
Total	81.636	81.600		100.00	

Cuadro 2

Cálculo del histograma de frecuencias altimétricas de la Cuenca del Río Tizar

Altitud m	Área km <sup>2</sup>	% Área
2600	0.281	0.34
2600 - 2700	16.961	20.79
2700 - 2800	22.221	27.23
2800 - 2900	24.305	29.79
2900 - 3000	14.079	17.25
3000 - 3100	2.876	3.53
3100 - 3200	0.696	0.85
3200	0.181	0.22
Total	81.600	100.00

Coefficiente orográfico =  $\tan \alpha \cdot \bar{H} =$

$$\frac{\bar{H}}{S} \cdot \bar{H} = \frac{\bar{H}^2}{S}$$

En la Cuenca del Río Tizar se obtuvo un valor de 3.54 para el coeficiente orográfico; lo que significa que tiene un relieve poco acentuado.

Tanto para el cálculo del coeficiente de masividad como para el del coeficiente orográfico, las unidades empleadas son: la altura media en m y la superficie en km<sup>2</sup>. Sin embargo, al emplear estas unidades, resultaron valores demasiado grandes por tratarse de una cuenca muy pequeña, de manera que hubiera sido necesario cambiar el valor límite de 6 a 600, por lo que para mayor comodidad y facilidad las unidades que se emplearon para la altura media fueron decámetros.

## II. Red de drenaje

La red de drenaje constituye otro de los detalles físicos importantes de las cuencas hidrográficas, ya que la curva del hidrograma depende de la eficiencia del sistema de drenaje, y por otra parte, a través de éste, se pueden analizar las características del terreno sobre el que se ha desarrollado.

El tipo de sistema de avenamiento que se encuentra en la Cuenca del Río Tizar es el dendrítico, que es el que predomina en la mayoría de los casos. Se distingue por la ramificación irregular de los ríos tributarios en muchas direcciones y por lo general en ángulo agudo. Se desarrolla sobre rocas que presentan una resistencia uniforme y demuestran una falta de control estructural. La mayoría de las veces se presenta sobre rocas sedimentarias casi horizontales o en áreas de rocas ígneas macizas.

Entre los aspectos interesantes de la red de drenaje se cuentan los siguientes:

*Densidad hidrográfica.* Se refiere a la relación de la cantidad de corrientes que existen en la cuenca entre la superficie total de ésta.

$$D_h = \frac{N_c}{S} \quad \begin{array}{l} D_h = \text{Densidad hidrográfica} \\ N_c = \text{Número de corrientes} \\ S = \text{Superficie de la cuenca en km}^2 \end{array}$$

Para la Cuenca del Río Tizar se obtuvo una densidad hidrográfica de 4.853 canales/km<sup>2</sup> con  $N_c = 396$  y  $S = 81.6$  km<sup>2</sup>.

Con respecto al criterio utilizado para designar el orden de las corrientes o canales y contar el número de los mismos en la cuenca estudiada,

fue el de considerar canales de 1er. orden a las corrientes formadoras, es decir, a las que no tienen afluentes. Cuando dos canales de 1er. orden se unen, forman uno de 2o. orden, cuando dos canales de 2o. orden se unen, forman uno de 3er. orden, y así sucesivamente. La Cuenca del Río Tizar resultó ser un sistema fluvial de 5o. orden. Ver mapa 2.

*Densidad de drenaje.* Resulta de dividir la longitud total de los canales o corrientes de agua entre la superficie total de la cuenca.

$$D_d = \frac{L}{S} \quad \begin{array}{l} D_d = \text{Densidad de drenaje} \\ L = \text{Longitud total de los canales de agua} \\ S = \text{Superficie total de la cuenca en km}^2 \end{array}$$

Para la Cuenca del Río Tizar resultó un valor de 0.277 km/km<sup>2</sup>.

*Relación de bifurcación.* Es la relación del número de canales de un orden al número de corrientes de orden inmediato superior.

$$R_b = \frac{N_c}{N_c + 1} \quad \begin{array}{l} R_b = \text{Relación de bifurcación} \\ N_c = \text{Número de canales de un orden determinado} \\ N_c + 1 = \text{Número de canales de orden inmediato superior} \end{array}$$

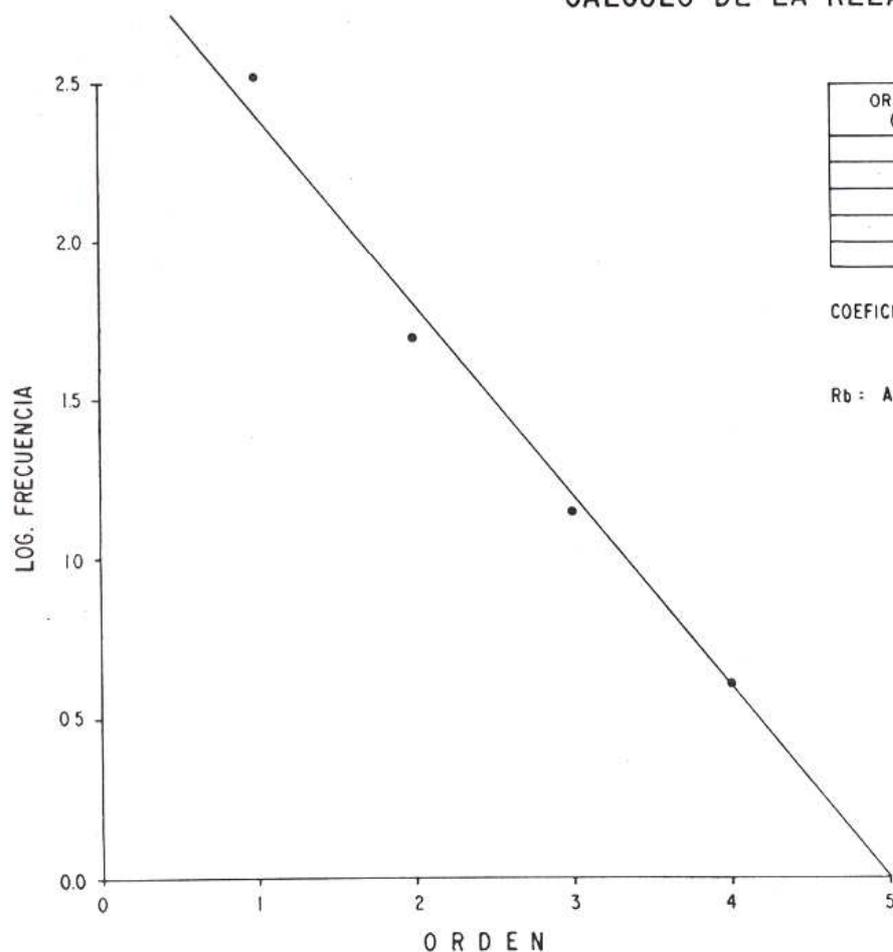
El valor medio de la relación de bifurcación de una cuenca hidrográfica se puede determinar mediante la pendiente de la recta que resulta de graficar el logaritmo del número de corrientes de cada orden en el eje de las ordenadas, y el orden de las corrientes en el eje de las abscisas. La relación de bifurcación media es el antilogaritmo de la pendiente de la recta.

El rango de variación de la relación de bifurcación media, está entre 3 y 5. Para la Cuenca del Río Tizar el valor medio de la relación de bifurcación resultó ser 4, lo que significa que, en promedio, hay cuatro veces tantos canales de un orden como del inmediato superior. Ver gráfica IV.

Con todo lo expuesto anteriormente se deja ver el comportamiento de la cuenca estudiada, a reserva de confirmarlo con datos registrados en ella.

En cuanto a la forma, la cuenca dista de ser circular de acuerdo con el coeficiente de compacidad y como se puede observar en los mapas que la representan, y al analizar la relación de la que resulta el factor de forma, se puede decir que la cuenca se comporta de forma alargada, como en realidad la tiene, pero como si tuviera

## CALCULO DE LA RELACION DE BIFURCACION R<sub>b</sub>



ORDEN (1)	FRECUENCIA (2)	LOGARITMO FRECUENCIA
1	329	2.51720
2	49	1.69020
3	14	1.14613
4	4	0.60206
5	1	0.00000

$$\text{COEFICIENTE DE REGRESION} = \frac{\text{LOG FRECUENCIA}}{\text{ORDEN}} = 0.6$$

$$R_b = \text{ANTILOG COEFICIENTE DE REGRESION} = 4.0$$

GRÁFICA IV

la cabecera más alejada diametralmente opuesta al punto de salida. Por lo que se refiere al relieve, la pendiente, la curva hipsométrica, el coeficiente de masividad y el coeficiente orográfico, dan idea de su forma. Según éstos el relieve de la cuenca es medianamente acentuado.

Al tratar los aspectos de la red de drenaje se observa que el orden del sistema fluvial es bastante alto si se toma en cuenta la extensión de la superficie en la que se desarrolla, lo cual trae como consecuencia que los valores de la densidad hidrográfica y de la densidad de drenaje resulten también altos. Esto tiene lugar debido a que en la parte sur de la cuenca el sistema fluvial se encuentra muy ramificado, lo que hace suponer que se debe a una herencia paleoclimática ya que a pesar de que la geología favorece el desarrollo de las ramificaciones fluviales, el régimen pluviométrico y por derivación el de escurrimiento, no lo propician, puesto

que los canales son intermitentes. Por otro lado esta situación da lugar a que la relación de bifurcación entre los canales de diferentes órdenes no sea constante y haya una alteración notable en la de los canales de 1er. orden.

Todas las características analizadas tienen gran interés en el escurrimiento y en la morfogenia, como se mencionó en páginas anteriores, sin embargo hay un factor muy importante, sobre todo para el escurrimiento, que determina la intervención de dichas características; este factor es la precipitación. Como ya se dijo, el régimen pluviométrico de la Cuenca del Río Tizar, es de verano y principios de otoño; dado el carácter de los canales fluviales, éstos llevan agua únicamente cuando llueve; por la forma de la cuenca es difícil que una tormenta o aguacero abarque la totalidad de su superficie, de manera que en tales circunstancias los hidrogramas resultantes serán cortos y con picos acentuados, tanto más cuanto mayor intensidad

tenga la tormenta. En cuanto a la denudación, ésta será mayor en las zonas desprovistas de la cubierta vegetal original que se han dedicado al cultivo, es decir en la parte central de la cuenca, ya que en la parte norte no se registra escurrimiento. En la zona sur la denudación será menor, pues se ha conservado la vegetación primaria.

Pendiente media	0.209; 20.9%
Curva hipsométrica	Ver gráfica I y cuadro 1.
Histograma de frecuencias Altimétricas	Ver gráfica II y cuadro 2.
Altitud media	2760 m
Altura media	170 m
Coefficiente de masividad	0.208
Coefficiente orográfico	3.54

## RESUMEN

### Elementos morfométricos de la Cuenca del Río Tizar

#### I. Forma de la cuenca

Coefficiente de compacidad	1.5
Factor de forma	0.5

#### II. Red de drenaje

Densidad hidrográfica	4.853 canales/km <sup>2</sup>
Densidad de drenaje	0.277 km/km <sup>2</sup>
Relación de bifurcación	4.0
Características de los canales:	

Orden	Frecuencia	Extensión total km	Extensión media km	Relación de bifurcación
1	328	135 000	0.412	6.7
2	49	49 500	1.010	3.5
3	14	24 500	1.750	3.5
4	4	10 100	2.525	4.0
5	1	7 250	7.250	—
Total	396	226 350	0.572	—

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chow, V. T. (Editor in Chief). *Handbook of Applied Hydrology*. A compendium of Water Resources Technology. Mc. Graw-Hill Book Company. New York, 1964.
- Fournier, F. *Debit 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, pp. 19-22.
- Guitart de Gregorio, R. *Apuntes de Hidrología de Superficie*. Inéditos. Escuela de Hidrología. Madrid, España, 1967.
- López Cadenas, F. *Apuntes de Hidrología Forestal*. Inéditos. Escuela de Hidrología. Madrid, España, 1967.
- Nogueira Garcez, L. *Hidrología*. Editorial Edgard Blücher LTDA, Sao Paulo, Brasil, 1967.
- Thornbury, W. D. *Principios de Geomorfología*. Editorial Kapelusz. Buenos Aires, Argentina, 1960.
- Tolentino, M.; Gandolfi, N.; Braga P., A. Estudio Morfométrico das Bacias Hidrográficas do Planalto de Sao Carlos. *Revista Brasileira de Geografia*, núm. 4, año 30 Out/Dez. Instituto Brasileiro de Geografia. Rio de Janeiro, Brasil. 1968, pp. 42-50.
- Wisler, C. O. y Brater, E. F. *Hydrology*. John Wiley and Sons, Inc., New York, 1959.

