

## CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA LA BERMEJA, SAN CRISTÓBAL, ESTADO TÁCHIRA, VENEZUELA

Fernando Guerra<sup>1</sup> y Julio González<sup>2</sup>

*Universidad de los Andes, Táchira, Departamento de Ciencias Sociales.*

### Resumen

Este trabajo analiza algunas características morfométricas de la cuenca de la quebrada La Bermeja, para establecer el comportamiento de la red de drenaje y la evolución topográfica e hipsométrica, asociada a la morfodinámica de la cuenca. A tal efecto, se emplearon mapas a escala 1:25000 y 1:5000, para el cálculo de las mediciones básicas (superficie, perímetro, longitud de la cuenca, cauces, elevación, desnivel del cauce principal y número de cauces de menor orden) y de éstas se derivaron las variables utilizadas en la mayoría de los análisis morfométricos. La cuenca presenta una distribución de áreas asimétricamente positiva, encontrándose en una etapa intermedia entre la fase de desequilibrio o juventud, evolucionando hacia madurez. La cuenca en su parte alta y media se caracteriza por vertientes asimétricas con entallamiento profundo en forma de "V". Los tipos litológicos en superficie y la intervención de la cobertura vegetal, determinan la ocurrencia en esas vertientes de procesos erosivos, los cuales aportan volúmenes de materiales que en el pasado originaron los abanicos aluviales en la parte baja y en el presente causan acumulaciones caóticas (tapones) y daños a la infraestructura existente, principalmente durante eventos lluviosos intensos.

**Palabras claves:** Morfometría, morfodinámica, cuenca.

## MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF LA BERMEJA DRAINAGE BASIN, SAN CRISTOBAL, STATE OF TÁCHIRA, VENEZUELA

### Abstract

This paper analyses some morphometric characteristics of La Bermeja drainage basin. The aim is to study the drainage network and its topographic and hypsometric evolution, correlated with morphodynamic process of the basin. In order to estimate some basin's parameters such a catchment area, perimeter, basin length, channel flow, elevation, stream channel gradient and number of streams of lower order, hard copy maps at scales 1:25000 and 1:5000 were used. This information allowed the estimation of a number of variables that are used in many morphometric analyses. This drainage basin shows a positive asymmetric distribution. This basin is at a middle stage moving from an unbalanced or youth phase towards a maturity phase of evolution. The drainage basin is characterised in its high and middle section by asymmetric slopes with deep valley in "V" shapes. These above stated basin attributes, together with rock types on surface and land cover changes; benefit the occurrence of erosive process, which lead high volume of materials to the valley bottom. In the past, these materials built large alluvial fans. Currently, they are responsible

---

<sup>1</sup>Geógrafo. E-mail: fguerra@tach.ula.ve

<sup>2</sup>Ing. Forestal. M.Sc. en Ciencias del Suelo. E-mail: jtovar@tach.ula.ve

for chaotic accumulations that produce damages to the infrastructure, during intense and heavy precipitation.

**Keywords:** Morphometry, Morphodynamic, Basin.

### Introducción

La Bermeja es un afluente del río Torbes. Ésta abastece a la planta de potabilización que lleva su nombre y ha sido un factor clave para garantizar el suministro de agua a la población del estado Táchira, cuando ha colapsado el Acueducto Regional del Táchira (ART).

Durante el año 1997, una crecida de la quebrada afectó importantes sectores de la ciudad, y colapsó puentes, alcantarillas (Ver Figuras 1 y 2), causando daños significativos a un gran número de viviendas asentadas a lo largo del cauce principal.

El Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (MARNR) contrató a una empresa para estudiar la problemática de la cuenca. El informe concluye que un evento lluvioso excepcional y el desarrollo de procesos erosivos (movimientos en masa) en la parte alta y media, generaron sedimentos que obstaculizaron el cauce principal, lo cual produjo represamientos que al ser rebasados (ruptura) originaron las crecidas que causaron los daños a la infraestructura de la ciudad.

El planteamiento anterior es el soporte de una investigación que busca delimitar unidades de paisaje en la cuenca de la quebrada La Bermeja, utilizando el ensayo de clasificación sistemático propuesto por Elizalde (1983) y Elizalde y Jaimes (1989). La idea es identificar unidades con alto grado de homogeneidad en relación con su dinámica pedogeomorfológica. De este modo se pretende conocer las unidades que poseen cierto grado de estabilidad morfodinámica y menos problemáticas, como aquellas que dadas sus condiciones actuales y la tendencia de los procesos formadores del paisaje pudieran tener un comportamiento más proclive a la inestabilidad y, en consecuencia, a originar problemas ambientales en el presente y futuro.



**Figura 1.** Daños causados por la quebrada La Bermeja a las alcantarillas de la ciudad de San Cristóbal (sector Ave. 19 de Abril).



**Figura 2.** Daños causados por la quebrada La Bermeja a viviendas e infraestructura de la ciudad de San Cristóbal (sector La Guacara).

El presente trabajo expone los avances obtenidos en la primera fase de la investigación, que incluye la elaboración de un análisis morfométrico para caracterizar la red hidrográfica de la quebrada; analizar la evolución hipsométrica y su relación con la morfodinámica de la cuenca, además de generar información antes de la realización del estudio geomorfológico.

### **Objetivos de trabajo**

1. Elaborar un análisis morfométrico que incluya la hipsometría de la cuenca.
2. Analizar el comportamiento de la red de drenaje y la evolución hipsométrica asociada a la morfodinámica de la cuenca.
3. Identificar sectores hidrográficos a fin de proponer una subdivisión práctica de la cuenca.

### **Materiales y métodos**

#### **Descripción del área de estudio**

La Bermeja se localiza en el municipio San Cristóbal, y sirve de referencia limítrofe entre las parroquias San Sebastián, Pedro María Morantes y la Concordia. Fisiográficamente se encuentra en paisaje de montaña sobre la Cordillera de los Andes (Freile, 1962).

Si se consideran unidades de paisajes menores, el cauce principal atraviesa dos grandes unidades: la montañosa, que forma parte de las serranías del Táchira (Freile, 1962), denominado Serranía de la Maravilla y una unidad de paisaje en posición baja sobre depósitos cuaternarios (Depresión del Táchira), donde está asentada buena parte de la ciudad de San Cristóbal. Los límites entre estas unidades de paisaje están definidos por la falla de corrimiento de El Zumbador, la cual está relacionada con el sistema de fallas de Boconó, y pone en contacto a la Formación Río Negro con los depósitos cuaternarios.

Con base en las unidades de paisajes descritas en el párrafo anterior y los límites de las Áreas Bajo Régimen Especial (ABRAE), el MARNR (1998) propone una sectorización de la cuenca de La Bermeja, en extraurbana, aguas arriba de la cota 1100 msnm; y urbana, aguas abajo de la cota antes mencionada, hasta la desembocadura en el río Torbes. Este último punto está localizado a  $7^{\circ} 45' 02''$  de latitud norte y  $72^{\circ} 14' 06''$  de longitud oeste, cerca de la vía que conduce al barrio El Río.

La vertiente izquierda del río Torbes, donde se localiza la cuenca La Bermeja, presenta una precipitación y niveles de escurrimiento considerablemente mayores que la vertiente derecha. Esta característica se refleja en una vegetación boscosa con mayor altura, densidad y diversidad (bh-P y bmh-P) (Ewel, et al., 1976) ) que ha sido intervenida en algunos sectores para establecer una actividad agropecuaria en su mayoría de subsistencia.

Los valores de precipitación en el área de estudio varían entre 1263 y 1573 mm tal y como se muestran en el Cuadro 1, datos estimados a partir del Atlas del Táchira, MARNR (1986). La variación de la precipitación en la cuenca del río Torbes es un fenómeno complejo y su explicación inicialmente tiene que ver con la orientación NE-SW de la Serranía de la Maravilla, que configura, con un ramal del Macizo del Tamá (Fila Barro Amarillo), una apertura de la Depresión del Táchira con una dirección que facilita la penetración de las masas de aire desde la depresión llanera hacia las altas estribaciones.

Por ello, las lluvias aumentan desde las partes bajas de la depresión por acción del relieve (precipitación orográfica) hasta un óptimo pluviométrico. Por otro lado las altitudes de la Serranía de la Maravilla pueden ser sobrepasadas por las masas de aire, aún cargadas de humedad, provenientes del piedemonte Andino - Llanero y precipitar cuantiosamente sobre la vertiente izquierda del río Torbes, que además presenta una orientación que garantiza un menor número de horas de sol (umbría) y obviamente menor evapotranspiración; valores estos que se muestran en el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Características generales del área de estudio

Característica	Cuenca La Bermeja
Tipo de paisaje	Montaña
Relieve	Accidentado
Material parental	Areniscas, limolitas y conglomerados*
Geología (Formación)	Río Negro, Aguardiente y La Quinta**
Suelos	Inceptisol y Ultisol*
Zona de vida	bh-P/bmh-P**
Uso de la tierra	Barbechos y pastizales*
Pendiente media (%)	26***
Altitud (msnm)	721 – 2060***
Precipitación media anual (mm)	1263 – 1573**
ETP (mm)	= 334***
Temperatura media anual (°C)	16 – 23,3**
*MARNR (1998)	**MARNR(1986)
	***Fuente propia.

## 2.- Breve reseña geológica y geomorfológica

Las rocas que se encuentran en la cuenca de la quebrada La Bermeja son sedimentarias clásticas, de particular importancia areniscas, conglomerados y limolitas de las formaciones río Negro, Aguardiente y La Quinta. Esta última formación es Mesozoica, presenta gran variabilidad litológica constituida principalmente por rocas clásticas de color rojo y con espesores variables que oscilan, según Schubert (1986), entre 311 m, en el piedemonte de Barinas, hasta 3400 m, en Angaraveca – El Zumbador (estado Táchira).

De acuerdo con el MARNR (1998), la Formación La Quinta aflora en 49,8% de la superficie de la cuenca, se concentra en la parte alta y son abundantes como afloramientos los litotipos conglomerados y limolitas. La limolita, según Schubert et al (1979), es el tipo litológico predominante en la Formación La Quinta. Se encuentra a través de toda la secuencia estratigráfica y su origen se asocia a procesos sedimentarios en una planicie aluvial. De acuerdo con el MARNR (1998), en la cuenca de la quebrada La Bermeja se han desarrollado procesos erosivos, tipo movimientos en masa, principalmente sobre materiales alterados producto de la meteorización de estas rocas.

Los materiales geológicos descritos en los párrafos anteriores son el material parental de los suelos reportados en la cuenca, que se caracterizan por su alto contenido de materia orgánica y varían desde los que presentan incipiente desarrollo pedogenético (Inceptisoles) hasta Ultisoles, es decir, suelos con un mayor desarrollo pedogenético, que se expresa en un horizonte argílico, pH ácido y baja saturación de bases (MARNR; 1998).

### **3.- Fuente de datos para las mediciones básicas**

De acuerdo con Strahler (1974), la medida de la forma, o geometría de cualquier cuerpo natural, recibe el nombre de morfometría. Por esta razón, utiliza el término morfometría fluvial para denotar la medida de las propiedades geométricas de la superficie sólida de un sistema de erosión fluvial. El autor parte del principio que los componentes básicos que integran cada forma de la tierra son esencialmente idénticos y pueden clasificarse de un modo sistemático.

Ahora bien, los componentes básicos de un paisaje de erosión fluvial, según Strahler (1974) son principalmente cuatro:

- El sistema de cauces que, obviando el ancho, todos los ríos pueden considerarse como simples líneas relacionadas.
- Las propiedades superficiales de las cuencas, es decir, el área y la descripción de los contornos.
- El relieve del sistema fluvial, en otras palabras, propiedades relacionadas con la tercera dimensión.
- Los gradientes o pendientes de la superficie y de los cauces fluviales, parámetros que condicionan la velocidad del escurrimiento.

Con base en el planteamiento anterior es que Gardiner (1974) y Gardiner y Dackombe (1983) señalan que el análisis morfométrico es un término tradicionalmente aplicado al análisis numérico de las formas de la tierra, a partir de datos derivados de un mapa. Este análisis se utiliza en estudios geomorfológicos regionales para generar información de un área, antes de la ejecución de un trabajo detallado de campo. Dado que la fuente de datos es un mapa, la selección del mismo se considera un paso importante sobre todo en lo relacionado con la escala y la edición a ser utilizada.

En este trabajo no se dispuso de información sobre evaluaciones de mapas topográficos hechos en Venezuela, como fuente de datos para estudios morfométricos. Por tal motivo, la disponibilidad de mapas y la resolución o nivel de abstracción del estudio geomorfológico, fueron determinantes en la elaboración del mapa base a escala 1:25000 y efectuar los cálculos correspondientes. Para ello fue necesario utilizar dos hojas cartográficas edición I DCN con actualización instrumental mediante fotografías aéreas del año 1983, de la Dirección de Cartografía Nacional e identificadas como 5739-II-SO y 5739-II-NO.

El mapa base elaborado representa la cuenca de la quebrada, hasta la confluencia con el río Torbes y curvas de nivel con equidistancia de 100 m, así como los lugares seleccionados para elaborar los perfiles transversales (figura 3).

Además de la cartografía base mencionada, se utilizó cartografía complementaria para precisar la delimitación de la cuenca, particularmente en el área urbana, mediante hojas identificadas como mapa base del Concejo Municipal de San Cristóbal, a escala 1:5000 y fotografías aéreas a escala 1:25000, pertenecientes a la misión 0102135 del año 1981. Es necesario destacar que las fotografías aéreas, en blanco y negro, no se utilizaron para verificar la red de drenaje derivada del mapa, debido a que la cobertura vegetal y la abundante nubosidad impidieron observar los cauces.

Por otro lado, tampoco se efectuó ninguna prolongación de los cursos de agua utilizando la forma de las curvas de nivel. Esto implica que se consideran aceptables las características de las redes de drenaje basadas en los mapas de Cartografía Nacional. Por último, se llevaron a cabo visitas de campo para verificar divisorias de aguas y la red de drenaje derivada del mapa, particularmente en el área urbana. Así mismo, se efectuaron mediciones con altímetro y Global Position System (GPS) (Trimble Scout Master) para controlar altitud y coordenadas de algunos puntos de interés especial, como por ejemplo la confluencia de la quebrada La Bermeja con La Potrera y con el río Torbes.

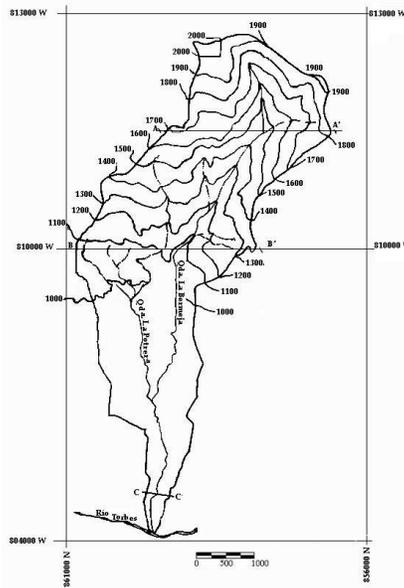


Figura 3. Cuenca Quebrada La Bermeja.

#### 4.- Las mediciones básicas

Seleccionada la fuente de los datos (mapa) y la red de drenaje, se procedió a efectuar las siguientes mediciones básicas: superficie de la cuenca (A), perímetro (P), longitud de la cuenca (L), elevación (Hb), desnivel del cauce principal (Hc), longitud total de cauces (Ct), longitud del cauce principal (Cm) y número de cauces de menor orden (N1 y N2)

A partir de estas mediciones básicas se pueden generar la mayoría de las variables morfométricas utilizadas en los análisis morfométricos tradicionales (Gardiner, 1974). Si se consideran los componentes básicos de un paisaje de erosión fluvial ya descritos, la determinación de las mediciones básicas requiere, de acuerdo con Gardiner (1974), tres tipos de operaciones: mediciones de área, mediciones de longitud y estimaciones de altitud. En este trabajo se efectuaron estas operaciones, para ello se utilizó el curvímetero digital (Run-Mate, Club) para determinar las longitudes, y el planímetro polar (Salmoiraghi 236) en la determinación de superficies, tanto para la cuenca como entre curvas de nivel. La altitud se obtuvo por lectura o interpolación directa del mapa topográfico. Todas las mediciones fueron sistemáticamente verificadas para el caso del curvímetero y del planímetro, a fin de lograr un margen de error inferior a 5%.

Generalmente las superficies calculadas a partir de un mapa topográfico mantienen un error por la pendiente de la cuenca. Para Llamas (1993), lo que se mide en el mapa es la proyección ortogonal de la superficie real, cuyo valor es:  $A_s = A / \cos(i)$ . Siendo (A) la superficie medida en el mapa, mientras que ( i ), es el ángulo que define la pendiente media. Este ángulo para la cuenca de La Bermeja se estimó en 14,64°. Por ello, los valores medidos y corregidos son prácticamente iguales. Por otra parte, existe todavía mucha discusión sobre si el área real es una medida representativa de la magnitud de la cuenca. Muchos opinan (ej Unalmed, 2002) que es una medida ambigua que se puede prestar a equivocaciones. Por lo antes expuesto, en este trabajo se utilizó el valor de superficie sin corrección.

**5.- El cálculo de las variables morfométricas**

Las variables morfométricas determinadas a partir de las mediciones básicas, así como las fórmulas utilizadas en dicho cálculo se muestran en los cuadros 2 y 3. La selección de estas variables se efectuó considerando las recomendaciones de Gardiner (1974), especialmente en relación con la forma y la longitud de la cuenca.

**Cuadro 2.** Mediciones básicas para la cuenca de la quebrada La Bermeja

Medición	Símbolo	Valor	Unidades
Área	A	14,8	km2
Perímetro	P	22,3	Km
Longitud total de cauces	Ct	20,34	Km
Longitud de la cuenca	L	8,6	Km
Elevación de la cuenca	Hb	1339	m.
Desnivel del cauce principal	Hc	979	m.
Longitud del cauce principal	Cm	9,2	Km
Número de cauces 1 orden	N1	9	-
Número de cauces 2 orden.	N2	3	-

La forma se analizó mediante el cálculo del índice de elongación de Schumm y la relación de circularidad de Miller. Sin embargo, es necesario destacar la gran disponibilidad de índices que existen en la actualidad para analizar la forma de una cuenca (al menos 10), todos ellos basados en mediciones tales como perímetro (P), área (A), longitud (L) y ancho de la cuenca (W).

**Cuadro 3.** Variables morfométricas para la cuenca de la quebrada La Bermeja.

Variable	Símbolo	Formula	Valor	Unidades
Relación de relieve	R	$R = Hb/L$	155,7	M/km
Densidad de drenaje	Dd	$Dd = G/A$	1,4	Km/km <sup>2</sup>
Pendiente del cauce principal	Sl	$Sl = Hc/Cm$	106,4	M/km
Elongación	Se	$Se = (A \times 2)/(L \times p)$	0,505	-
Compactibilidad	Sc	$Sc = A \times 4 \times p / (P)^2$	0,374	-
Longitud del flujo superficial	Lg	$Lg = 1,0 / (2 \times Dd)$	0,36	km
Número geométrico	G	$G = Hb \times Dd$	1874,6	-
Relieve relativo	Rm	$Rm = (Hb \times 1000) / P$	0,060	-
Número de rugosidad	Rg	$Rg = (Hb \times 1000) \times Dd$	1,87	-
Frecuencia de cauces.	F	$F = (N1 + N1 - 1) / A$	1,15	km <sup>2</sup>
Intensidad de drenaje	Di	$Di = F / Dd$	0,82	km
Relación de bifurcación	B	$B = N1 / N2$	3	-

Se utilizó además la curva hipsométrica para estudiar con mayor detalle la distribución del relieve dentro de la cuenca, especialmente las denominadas altitudes centrales, que de acuerdo con Silva (1999), son las siguientes:

- Altitud media: la altitud promedio de la superficie de la cuenca.
- Altitud mediana: una altitud que divide a la superficie de la cuenca en dos áreas iguales.
- Altitud modal: la altitud más frecuente.

La altitud mediana y modal se estimaron gráficamente a partir de la curva hipsométrica.

Por último, se calculó la pendiente media de la cuenca utilizando un procedimiento basado en el área entre curvas de nivel, a través de la fórmula siguiente:

$$S = D \times L / A$$

Donde:

- S = pendiente media de la cuenca.
- D = intervalo entre curvas de nivel.
- L = longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca.
- A = área de la cuenca.

La pendiente media estimada de esta manera, aunque útil para comparar cuencas, implica representar toda la cuenca con un sólo valor de pendiente, una situación que para algunos autores se aleja de la realidad (Guilarte, 1978). Por esta razón, en la actualidad se trabaja en el modelo de elevación digital del terreno de la cuenca, pieza clave en la delimitación de las unidades de paisaje de acuerdo con la metodología de Elizalde (1983).

## 6.- Elaboración de perfiles

La construcción de los perfiles se realizó utilizando criterios clásicos del dibujo cartográfico, con cuidado especial en la escogencia de las escalas adecuadas para su representación. Se seleccionaron perfiles representativos en el área extraurbana y en el área urbana. Para esta última, por la ausencia de curvas de nivel, se utilizó un GPS y un altímetro para elaborar un croquis aproximado de lo que sería el perfil transversal de la cuenca muy cerca de confluencia.

### Resultados y Análisis

#### 1.- La cuenca hidrográfica

Según Silva (1999), en Venezuela existe un uso indiscriminado de los términos río y quebrada. Esto se debe en parte a que no existen criterios bien claros para diferenciarlos con exactitud. Por lo general se hacen consultas en textos geográficos antiguos, al vulgo o a la toponimia cartográfica, para decidir muchas veces en forma incorrecta el uso de un término u otro. Por ello propone una definición de río como todo cauce que satisfaga las condiciones siguientes:

- a.- Longitud total mayor o igual a 20 km
- b.- Área total de la cuenca mayor o igual a 100 km<sup>2</sup>

De acuerdo con este criterio y considerando los valores obtenidos para las mediciones básicas que se muestran en el cuadro 2, La Bermeja es una quebrada que pertenece al Sistema Hidrográfico Torbes – Uribante – Apure - Orinoco. El eje principal de drenaje nace en la Serranía de la Maravilla a una altitud aproximada de 1700 msnm y en un área rodeada por una línea montañosa que incluye los cerros Moraleño y El Salto del Indio. Los materiales en los cuales nacen las aguas de La Bermeja, pertenecen a la Formación La Quinta.

La cuenca tiene una superficie de 1480 ha (14,8 km<sup>2</sup>), de las cuales aproximadamente el 40% están sometidas a un uso urbano y el restante 60% conforman el área extraurbana de la cuenca. Ésta última área, de acuerdo con el MARNR (1998), ubicada a partir de la cota 1100 msnm, se encuentra protegida por varias figuras de Régimen Especial (Zona Protectora del Área Metropolitana de San Cristóbal y Parque Nacional Chorro del Indio). Sin embargo, en esta área se observó el desarrollo de actividades agropecuarias que, según el MARNR (1998), afectan 19% de la superficie de la cuenca. Dicha intervención se concentra en la vertiente izquierda, entre 1100 y 1700 msnm .

El perímetro (P) de la cuenca es de 22,3 km de largo, el cauce principal desemboca en el río Torbes por su margen izquierda a una altitud de 721 msnm, lo que ocurre sobre materiales cuaternarios, infradyacentes a la Formación Colón.

En relación con la longitud de la cuenca, existen en la literatura muchas propuestas para su cálculo, algunas de ellas subjetivas en su derivación o diferentes al perímetro en sí mismo (Gardiner, 1974). De tal manera que estas definiciones pueden resultar en líneas que caen parcialmente fuera de los límites de la cuenca, especialmente cuando estas son asimétricas. Para el caso de La Bermeja se utilizó la longitud de la línea desde la desembocadura hasta un punto equidistante en cualquier dirección alrededor del perímetro ( $P/2 = 11,15$  km). El valor de longitud de la cuenca (L), en este caso fue de 8,6 km.

## 2.- La red de drenaje

Según Llamas (1993), la red drenaje, es decir, el arreglo de los canales que conducen las corrientes de agua dentro de la cuenca, está integrada por un río principal y una serie de tributarios cuyas ramificaciones se extienden hacia las partes más altas de la cuenca. Para Guilarte (1978) la red de drenaje se describe muy bien, mediante los siguientes parámetros:

- El orden de cauces.
- La longitud de los tributarios.
- La densidad de drenaje.
- La longitud del escurrimiento sobre el suelo.

La colección de datos morfométricos a partir de la red de drenaje requiere entonces, como primer paso, la subdivisión de la misma en sus constituyentes. En otras palabras, la descomposición de la red en un número de segmentos, cada uno compuesto de uno o más cauces unidos, de acuerdo con las reglas del sistema de orden empleado. En este trabajo se utilizó el sistema propuesto por Horton (1945), modificado por Strahler (1952), y considerado por Gardiner (1974), de aplicación objetiva y jerárquico. Su empleo en la cuenca de La Bermeja permite señalar la presencia de un sistema de drenaje de tercer orden. Este resultado permite calificar a La Bermeja, teniendo en cuenta la extensión que ocupa, como una cuenca poco jerarquizada, con un patrón de drenaje o forma de ramificación de los tributarios de tipo dendrítico, particularmente por encima de la cota 1100 msnm. La longitud del cauce principal es de 9,2 km y la longitud total de cauces aproximadamente 20,34 km. Esto indica que la longitud total de los tributarios se estima en 11,14 km, mientras que la longitud de los tributarios de primer orden se calculó en 9,4 km.

La relación de bifurcación, para Sánchez (1991), determina la mayor o menor rapidez de las ondas de crecida, lo que define, de alguna manera, el grado de peligrosidad de la cuenca. Los índices bajos suelen relacionarse con redes fuertemente ramificadas, lo que repercute directamente ante fuertes precipitaciones en ondas de crecidas rápidas. La Bermeja presenta una relación de bifurcación de 3,0, valor que se puede considerar bajo, si se considera que Strahler (1974) plantea que los valores de esta relación oscilan entre 3 y 5. De otra parte, valores de la relación de bifurcación se han relacionado en muchos casos con cuencas redondeadas. Por ello, se ha planteado una relación inversa entre la relación de bifurcación y la elongación de la cuenca.

La densidad de drenaje (Cuadro 3) es de 1,4 km/km<sup>2</sup> y la frecuencia de cauces se estimó en 1,15 cauces por km<sup>2</sup>. Según Sánchez (1991) la densidad de drenaje es un parámetro revelador del régimen y de la morfología de la cuenca, porque relaciona la longitud de los cursos de agua con el área total. De esta manera, altos valores reflejan un fuerte escurrimiento; en consecuencia, su magnitud está indirectamente relacionada con la infiltración, con la erodabilidad del suelo y obviamente con la litología y la cobertura vegetal. En otras palabras, puede afirmarse que terrenos permeables se caracterizan por baja densidad de drenaje.

La Bermeja presenta un valor de la densidad de drenaje que, como la relación de bifurcación, se considera bajo. Este valor de la densidad de drenaje (textura gruesa) pudiera explicarse inicialmente por la cobertura boscosa presente en la parte media y alta de la cuenca. Para Strahler (1974) una misma roca producirá menor densidad de drenaje

en un clima húmedo, donde una espesa cobertura de bosques protege al material subyacente, que una región árida donde no existe esa cobertura vegetal.

Según Ferrer (1977) afloran en la parte media y alta de la cuenca, conglomerados y limolitas de la Formación La Quinta y areniscas cuarzosas de la Formación Río Negro. El MARNR (1998) reporta además areniscas duras de colores claros pertenecientes a la Formación Aguardiente. En este sentido, los conglomerados de La Quinta y las areniscas de la Formación Aguardiente, se consideran resistentes y por ello tienden a desarrollar bajas densidades de drenaje. Esto, según Strahler (1974), es debido a que la erosión fluvial se limita considerablemente y sólo pueden subsistir cursos de agua relativamente grandes. Por otro lado, las areniscas de la Formación Río Negro son rocas friables pero muy permeables, por lo tanto, tiende a favorecer la infiltración, dejando poca agua en superficie que pudiera alimentar los cauces. Por último las limolitas de la Formación La Quinta son friables y muy fracturadas. Esto, conjuntamente a la cobertura vegetal, probablemente favorezca la infiltración en detrimento del escurrimiento.

Lo anteriormente expuesto parece indicar un bajo grado de ramificación y jerarquización de la red de drenaje, que podría interpretarse como una tendencia al desarrollo de ondas rápidas de crecidas. La dirección del cauce principal muestra un control estructural evidente que se expresa en cambios de su dirección al atravesar las fallas existentes en el sector y discurre en la parte alta y media sobre materiales, por una parte muy resistentes (conglomerados y areniscas) y, por otra, muy permeables (areniscas cuarzosas de la Formación Río Negro). La interacción de los litotipos aflorantes con una cobertura vegetal boscosa parece ser la explicación a la baja densidad de drenaje reportada. Este comportamiento parecería indicar que la superficie de afloramientos de limolitas no es tan extensa, y lleva a la necesidad de verificar con mayor trabajo de campo la superficie de este tipo litológico en la cuenca.

El primer afluente a la quebrada se presenta por la vertiente izquierda (Figura 3) y confluye en la cota 1452 msnm, cuando La Bermeja ha recorrido 1,25 km. La quebrada La Potrera es el principal afluente de La Bermeja. Converge por la vertiente derecha en la zona urbana a una cota de 871 msnm, y en ese punto el cauce principal de La Bermeja ha acumulado 6,73 km de longitud. La Potrera, con una superficie aproximada de 4 km<sup>2</sup>, es una cuenca con un sistema de drenaje de segundo orden, conformado según el MARNR (1998) por tres pequeñas quebradas: La Marcelina, La Totuma y La Arenosa (Ver Figuras 3 y 11).

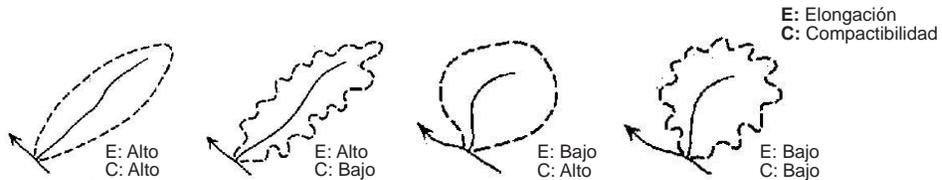
### **3.- La forma de la cuenca**

Para Llamas (1993), la forma de una cuenca es la configuración geométrica tal y como está proyectada sobre el plano horizontal. Esta forma, de acuerdo con Guilarte (1978), gobierna la tasa a la cual se suministra el agua al cauce principal, desde su nacimiento hasta su desembocadura.

Cada cuenca tiene entonces una forma determinada; sin embargo, en su mayoría son ovoides con la desembocadura en el extremo angosto. Dicha forma tiene relación con su comportamiento hidrológico. Según Guilarte (1978), dos cuencas de igual área pero con forma diferente no se comportan igual. Por ejemplo, en una cuenca rectangular

alargada con el cauce principal a lo largo del eje mayor del rectángulo, las distancias por recorrer son mucho mayores que en una cuenca de igual área pero con forma cuadrada.

La forma se considera una característica morfométrica, cuyo concepto es complejo con muchos atributos específicos. Por esta razón, es difícil caracterizar satisfactoriamente la forma de una cuenca mediante un simple valor numérico. Para La Bermeja, solamente se evaluó la elongación y la compactibilidad, siendo esta última, una medida de la irregularidad del perímetro. La interpretación de estos atributos se puede observar en la Figura 4.



**Figura 4.** Atributos de la forma de una cuenca (Gardiner, 1974).

La elongación se evaluó mediante el índice Se propuesto por Schumm (1956). La fórmula se puede observar en el Cuadro 3, junto con el valor calculado de 0,505 para el área de estudio. Es importante destacar que de acuerdo a Gardiner (1974), puede variar desde cero para una cuenca de forma circular, hasta el valor 1, para una cuenca completamente alargada. Estos resultados implican un balance interesante en el caso de La Bermeja, ya que esta cuenca no presenta una marcada redondez ni destaca tampoco por la elongación.

En el caso de La Bermeja, el valor calculado para la elongación es probablemente un valor medio que parece estar enmascarado por dos situaciones distintas. En la parte alta, la cuenca (Figura 3) tiende a tener una forma redondeada, mientras que la parte media y baja tiende a presentar mayor elongación. Este planteamiento sería válido también para la relación de bifurcación, en otras palabras, es un valor bajo para toda la cuenca pero si se observa con detalle tiende a ser menor en la parte alta y su valor se incrementa en la parte media y baja, cuando la cuenca empieza a presentar mayor alargamiento

Con un procedimiento similar se evaluó la compactibilidad (irregularidad del perímetro) mediante la denominada circularidad, índice según Gardiner (1974), propuesto por Miller. Para su cálculo se utilizó la fórmula mostrada en el cuadro 3 y el valor calculado fue de 0,374. Es importante señalar que los valores de este índice no tienen unidades y oscilan entre 0 y 1, de tal manera que el valor estimado parece indicar cierta irregularidad del perímetro. De acuerdo con Guilarte (1978) entre dos cuencas con el mismo tamaño y con todas las demás características morfométricas similares, la creciente máxima es más probable que provenga de la cuenca que tenga menor irregularidad.

#### **4.- La elevación de la cuenca y el perfil longitudinal**

De acuerdo con Llamas (1993), las variaciones de altitud en el interior de la cuenca, así como su altitud media, son datos esenciales para el estudio de la temperatura y la precipitación. En este sentido, Guilarte (1978) señala que las diferencias de temperatura,

como consecuencia de la altitud, tiene un efecto importante sobre las pérdidas de agua por evaporación.

La diferencia de altitud dentro de La Bermeja se estimó en 1339 m, medida entre el punto más alto en la divisoria de la cuenca a 2060 msnm y la desembocadura del cauce principal. Por otra parte, la relación de relieve, es decir, la relación entre el desnivel máximo de una cuenca con su longitud, es un indicador, según Sánchez (1991), de la energía cinética que puede esperarse de las cuencas fluviales. Para La Bermeja se estimó en 155,7 m/km., valor alto que puede indicar la existencia de una capacidad de transporte considerable de la corriente de agua que fluye por el cauce. Evidencia de lo anterior son los fragmentos de roca que pueden observarse a lo largo del cauce principal (Figura 5).

Llamas (1993) señala que el retrato más preciso sobre la elevación de una cuenca se logra a través la curva hipsométrica. Según Hernández (sf) la curva hipsométrica es simplemente una distribución del área de acuerdo con la elevación, es decir, una representación bidimensional, que grafica en el eje vertical la elevación y en el eje horizontal el porcentaje del área sobre cada curva de nivel, en términos del área total.



**Figura 5.** Fragmentos de rocas observados en el cauce de la quebrada La Bermeja.

La hipsometría progresiva en la cuenca de la quebrada se muestra en el Cuadro 4 y su representación gráfica en la Figura 6, donde se observa la distribución de áreas en función de la altitud y se puede calcular las altitudes centrales de la cuenca, que en el caso de La Bermeja son los valores siguientes: altitud media = 1262 m ; altitud mediana = 1220 m y altitud modal = 929 m. Como la altitud media es mayor que la mediana, la distribución de áreas con respecto a la altitud se considera asimétricamente positiva (Silva, 1999), es decir, la superficie de la cuenca con altitudes superiores a la media es menor que la superficie con altitudes inferiores a dicho valor medio.

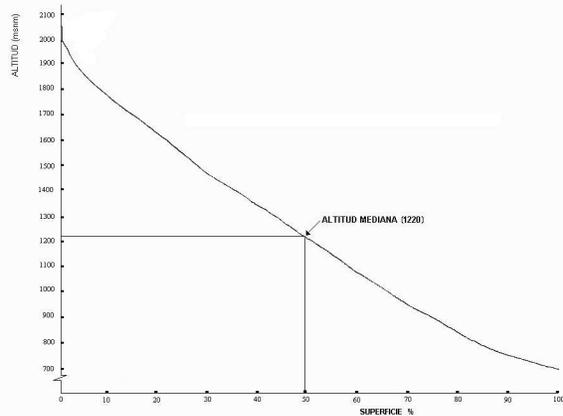
Por otro lado, la curva hipsométrica puede modificarse en función de la altura relativa y ello permite estimar el estado de equilibrio dinámico potencial de la cuenca, bajo la hipótesis de que esta función relaciona altitud con área, por lo tanto, cambia con el tiempo a medida que la cuenca sufre denudación. No obstante, algunos autores atribuyen las diversas formas de la curva hipsométrica a una actividad diferencial entre los procesos

de construcción tectónica y degradación por erosión, actividades no necesariamente relacionadas con la edad de la cuenca.

**Cuadro 4.** Hipsometría en la cuenca de la quebrada La Bermeja.

Clase hipsométrica	Superficie entre curvas de nivel (ha)	% acumulado
2060 – 2000	8,75	0,6
2000 - 1900	34,38	2,9
1900 – 1800	78,75	8,2
1800 - 1700	100,83	15
1700 – 1600	107,29	22,2
1600 – 1500	84,79	27,9
1500 – 1400	118,34	35,9
1400 – 1300	125,41	44,4
1300 – 1200	115,21	52,2
1200 – 1100	103,54	59,2
1100 – 721	602,71	100

En la figura 7, tomada de Strahler, citado por Llamas(1993), se muestran las curvas características del ciclo de erosión de cuencas con potenciales evolutivos diferentes. Al comparar la curva hipsométrica modificada de La Bermeja que se muestra en la Figura 8, con estas curvas de la Figura 7, es posible señalar que esta cuenca se encuentra en una etapa intermedia entre la fase de equilibrio relativo o de madurez y la fase de desequilibrio o juventud, obviamente evolucionando hacia la etapa de madurez. Ello implicaría; sin embargo, un potencial erosivo que no debe despreciarse y cuya evidencia son los bloques observados cuando se recorre el cauce principal.

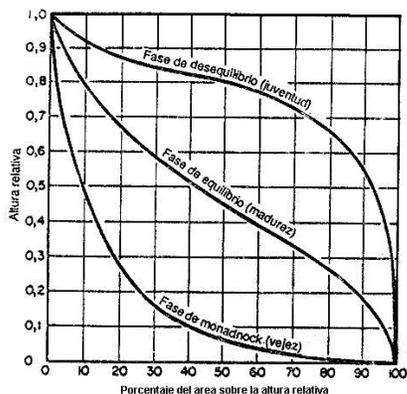


**Figura 6.** Curva hipsométrica quebrada La Bermeja.

De acuerdo con Silva (1999), no existe un método universal para dividir una cuenca en alta, media y baja. Sin embargo, existen características como la hipsometría y el perfil longitudinal del cauce principal, que son útiles para plantear una división satisfactoria desde un punto de vista hidrográfico.

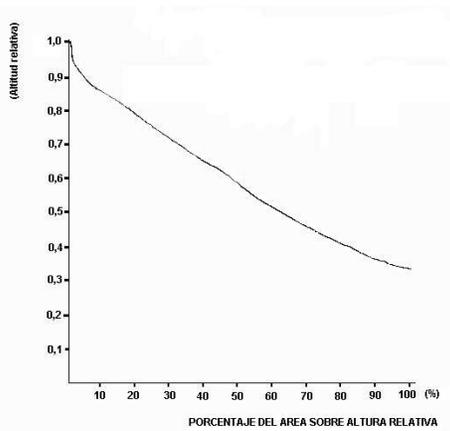
Schumm (1977), citado por Silva (1999), contempla tres zonas en una cuenca, atendiendo a la dinámica de los sedimentos:

- 1.-Zona donde predomina la producción de sedimentos y aguas.
- 2.- Zona donde predomina el transporte de ambos.
- 3.- Zona caracterizada por la deposición de sedimentos.

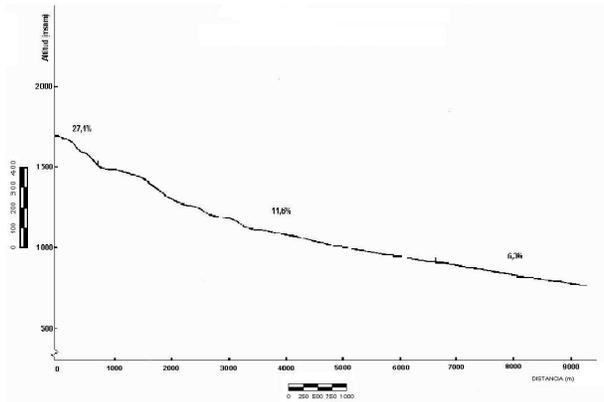


**Figura 7.** Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión,según STRAHLER

En la Figura 9 puede observarse el perfil longitudinal del cauce principal, con su forma cóncava y una pendiente general del 10,6 %. La sinuosidad hidráulica se estimó en 1,15 valor menor que 1,25 que, de acuerdo con Monsalve (1999), indica baja sinuosidad, es decir, cauce rectilíneo que se caracteriza normalmente por una baja actividad de ensanchamiento y alta actividad incisiva. En este sentido, La Bermeja tiene un cauce claramente rectilíneo en la parte alta y media de la cuenca. Sin embargo, la sinuosidad claramente incrementa hacia la parte baja limitada, en la actualidad, por las construcciones que han invadido el lecho de la quebrada.



**Figura 8.** Curva hipsométrica modificada para el estudio del estado dinámico de La Bermeja.



**Figura 9.** Perfil longitudinal del cauce principal

En el perfil longitudinal (figura 9) es posible diferenciar, utilizando como criterio la pendiente, tres tramos. El primero de ellos hasta una altitud de 1500 msnm, con una pendiente aproximada del 27%; el segundo tramo entre 1500 y 960 msnm, con una pendiente estimada de 11,6% y, por último, un tramo de menor pendiente (6,3%) entre los 960 msnm y 721 msnm. Estos planteamientos difieren de los del MARNR (1998) quienes señalan, un primer tramo hasta 1600 msnm, un tramo intermedio entre 1600 y 1100 msnm y el último con altitudes inferiores a los 1100 msnm.

Si las cotas utilizadas para diferenciar el cauce principal se emplean también para subdividir la cuenca en alta, media y baja, (Cuadro 5) se puede utilizar la curva hipsométrica para estimar la superficie de cada zona. En este sentido, la zona alta por arriba de los 1500 msnm tendría una superficie aproximada de 414,4 ha; la parte media entre 1500 msnm y 960 msnm con una superficie de 635,6 ha y, por último, la parte baja hasta 721 msnm con una superficie de 430 ha, que comprende principalmente los depósitos cuaternarios.

**Cuadro 5.** Propuesta de subdivisión de la cuenca en alta, media y baja.

Cuenca	Altitud (msnm)	Superficie (ha)	Geología (Formación).
Alta	2060-1500	414,4	La Quinta.
Media	1500- 960	635,6	La Quinta, Río Negro, Aguardiente.
Baja	960 – 721	430,0	Depósitos cuaternarios.

Es importante recordar que la pendiente media del cauce principal en toda su longitud de 9,2 km y en cualquiera de sus tramos es superior al 2%. Por ello, la quebrada La Bermeja se considera torrencial durante todo su recorrido.

### **5.- La pendiente media**

La pendiente media de una cuenca es uno de los principales parámetros que caracteriza el relieve de la misma y permite hacer comparaciones entre cuencas (Guilarte, 1978). Este concepto trata de ser representativo de las infinitas pendientes que pueden existir dentro de una cuenca y está estrechamente relacionado con los fenómenos erosivos que se manifiestan en la superficie, guardando obviamente una relación importante, aunque compleja, con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al caudal de las corrientes.

La pendiente media calculada, de acuerdo con la fórmula descrita en la sección de materiales y métodos, es de 26% y evidentemente favorece la escorrentía. Sin embargo, habría que resaltar la cobertura vegetal boscosa que todavía ocupa superficies importantes en la parte alta y media de la cuenca, lo que favorecería la infiltración, debido principalmente a la intercepción de la lluvia y la disminución en la velocidad del agua de escorrentía, todo esto en interacción con una litología o muy resistente o muy permeable.

La intervención antrópica que ha provocado incendios forestales y la actividad agropecuaria en la parte media, evidentemente ha ido en detrimento de la cobertura vegetal natural, favoreciendo el escurrimiento superficial y potenciando algunos procesos erosivos. No obstante, la intervención todavía no parece tener en La Bermeja una magnitud que modifique significativamente el balance escorrentía / infiltración y por ello deben extremarse las actividades de vigilancia y control en el área.

### **6.- Los perfiles transversales**

En la figura 3 se muestra la ubicación de los perfiles transversales. Por otro lado, en las figuras 10, 11 y 12 se observa que la vertiente derecha de La Bermeja es más extensa y de pendientes menos pronunciadas que la izquierda. Esta última, por lo general, con mayores altitudes.

Es importante destacar que en el área extraurbana (Figuras 10 y 11) las vertientes se unen casi directamente con el cauce principal en forma de "V", no existiendo una zona de amortiguación de la escorrentía superficial en su ruta hacia el cauce. Esto, de acuerdo con Hernández (sf) generalmente refleja una mayor sensibilidad al deterioro hidrológico una vez que se perturba el suelo.

## Caracterización morfométrica de la cuenca de la quebrada La Bermeja

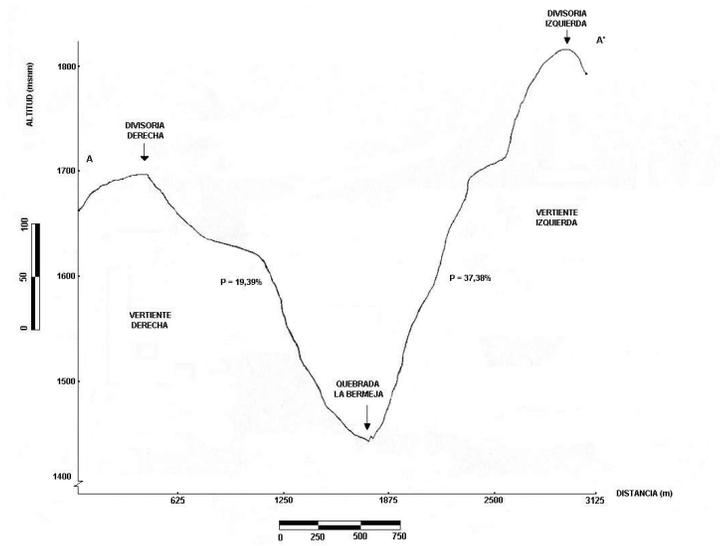


Figura 10. Perfil transversal quebrada La Bermeja (AA')

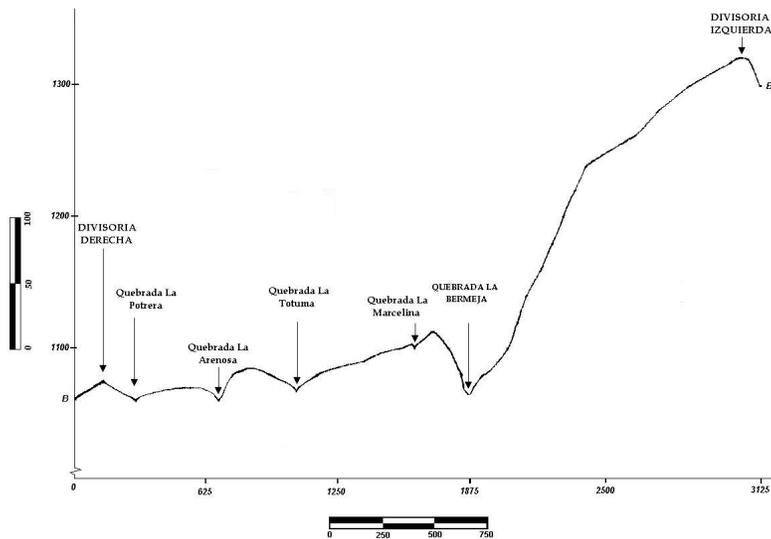
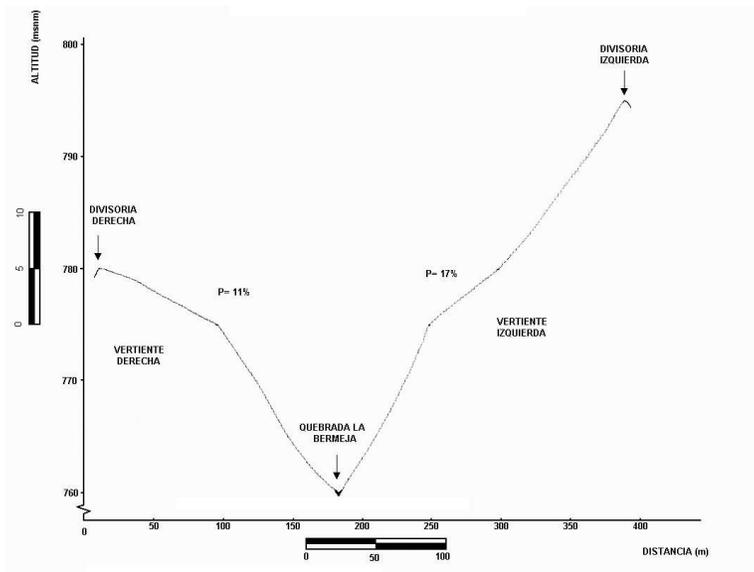


Figura 11. Perfil transversal quebrada La Bermeja (BB')



**Figura 12.** Croquis de la sección transversal corte (CC')

El perfil AÁ fue seleccionado debido a que según el MARNR (1998) en ese nivel del cauce principal existe un cambio de pendiente y, además allí, ocurrió el represamiento de materiales que causó los daños en 1997. En este sentido, el relieve montañoso que caracteriza la parte alta de la cuenca (28% de su superficie), con vertientes poco alargadas, especialmente la izquierda, y con entallamiento profundo en forma de “V”, determinan que los procesos erosivos de vertiente, movimientos en masa tipo lupas de soliflucción (Ferrer, 1985), aporten importantes volúmenes de materiales que eventualmente pueden obstaculizar el cauce principal.

Esta dinámica en el cauce principal ha originado represamientos, que al desbordarse transportan volúmenes de materiales que son depositados en la parte baja de la cuenca. Estos son algunos de los eventos geomorfológicos que originaron en el pasado, los depósitos aluviales donde están asentados populosos sectores (Ferrer, 1977) y causan en el presente graves daños a la infraestructura de la ciudad de San Cristóbal.

**Conclusiones**

- 1.- El análisis de la red hidrográfica permite aseverar que el principal afluente de La Bermeja es la quebrada La Potrera, la cual confluye con esta por la margen derecha a una altitud de 871 msnm.
- 2.- La Bermeja se considera torrencial durante todo su recorrido, porque la pendiente de su cauce principal es superior a 2%. Además presenta un cauce rectilíneo caracterizado por un evidente control estructural, baja actividad de ensanchamiento y alta actividad incisiva.

3.- La red de drenaje presenta un bajo grado de ramificación y jerarquización, discurre sobre materiales sedimentarios y bajo cobertura vegetal boscosa, lo que influye en el desarrollo de una baja densidad de drenaje.

4.- Los índices calculados no permiten concluir sobre una forma característica de la cuenca. En cuanto a la distribución de áreas con respecto a la altitud, se considera asimétricamente positiva.

5.- La Bermeja no presenta la curva hipsométrica característica de una cuenca en equilibrio. Al contrario, se observan semejanzas con las curvas hipsométricas típicas de cuencas en fase de desequilibrio (juventud), generalmente con gran potencial erosivo.

6.- Con base en el perfil longitudinal y la ayuda de la curva hipsométrica se propone una subdivisión de la cuenca en alta (2060 – 1500 msnm), media (1500 – 960 msnm) y baja (960 – 721 msnm).

7.- En la parte alta y media de la cuenca, las vertientes se unen con el cauce principal en forma de "V", no existiendo una zona de amortiguación de la escorrentía superficial en su ruta hacia el cauce principal.

### Referencias

- Elizalde, G., (1983). *Ensayo de clasificación sistemática de categorías de paisaje*. Primera aproximación. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay-Venezuela. 46p.
- Elizalde, G y Jaimes, E. (1989). "Propuesta de un modelo pedogeomorfológico". *Revista Geográfica Venezolana*, XXX: 5-35. Mérida-Venezuela.
- Ewel, J.; Madriz, A. y Tosi, J. (1976). *Zonas de vida de Venezuela*. MAC. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 2da. Edición. Caracas- Venezuela.
- Ferrer, C. (1977). *Estudio geomorfológico detallado de la cuenca media-inferior del río Torbes, Estado Táchira*. Universidad de los Andes. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos. Mérida-Venezuela. 180pp.
- Ferrer, C. (1985). *Estudio geotécnico de la ciudad de San Cristóbal y sus alrededores*. Mapa Geomorfológico. Inventario de procesos.
- Freile, A. (1962). *Fisiografía de Venezuela*. Mapa incluido en el "Atlas de Venezuela". Dirección de Cartografía Nacional. MARNR. Caracas-Venezuela.
- Gardiner, V. (1974). "Drainage basin morphometry". *British Geomorphological Research Group. Technical Bulletin N° 14*. University of East Anglia. England .44p.
- Gardiner, V y Dackombe, R. (1983). *Geomorphological field manual*. George Allen & Unwin Publisher Ltd. London-UK. 254pp.
- Guilarte, R. (1978). *Hidrología básica*. Facultad de ingeniería, UCV. Caracas-Venezuela. 667 p.
- Hernández, E., (sf). *La cuenca hidrogáfica*. FCFA. Universidad de los Andes. Mérida – Venezuela.

- Horton, R., (1945). "Erosional development of streams and drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology". **Bulletin of the Geological Society of America**, **56**, 275- 370.
- Llamas, J., (1993). *Hidrología general*. Universidad del Estado de México. Toluca. México 627 pp.
- MARNR. (1998). *Estudio para el saneamiento y aprovechamiento integral de la quebrada La Bermeja*. San Cristóbal – Táchira . Venezuela. 301 p.
- MARNR. (1986). *Atlas del Táchira*. San Cristóbal. Táchira. Venezuela.
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Centro Editorial. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá – Colombia. 382pp.
- Sánchez, T. (1991). "*Estudio morfoclimático del CabeVó D'OR.*" Universidad de Alicante. España. 69 pp.
- Schubert, C. (1986). "Stratigraphy of the Jurassic La Quinta Formation", Mérida Andes. Venezuela: *Type Section Z. Deut.Geol.Ges.* 137:391- 411.
- Schubert, C.; Sifontes, R.; Velez, V. y Loaiza, P.A. (1979). "Formación La Quinta (Jurásico) Andes Merideños: Geología de la sección tipo". *Acta Científica Venezolana*. 30:42-55.
- Schumm,S.(1956).*The fluvial system*. A Wiley–Interscience Publication.John Wiley & Sons, Inc. New York. 338 pp.
- Silva, G. (1999). "Análisis hidrográfico e hipsométrico de la cuenca alta y media del río Chama, estado Mérida", Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*. Vol.40(1).9 – 42.
- Strahler, A. (1952). "Hypsometric (area-altitud) analysis of erosional topography". *Bulletin of Geological Society of America*, **63**, 1117- 1142.
- Strahler, A. (1974). *Geografía física*. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España.765 pp.
- Unalmed.,(2002). "La cuenca hidrográfica". Disponible en [http:// poseidon.unalmed.edu.co/morfometria/Morfo\\_1.html](http://poseidon.unalmed.edu.co/morfometria/Morfo_1.html)
- Zinck, A. (1980). "Valles de Venezuela". Cuadernos Lagoven, Serie "El hombre y su ambiente". Caracas.150p.