

## Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México

### Morphometric analysis of the Cuale river watershed, Jalisco, Mexico



Bartolo Cruz Romero<sup>1,2\*</sup>, Fernanda Julia Gaspari<sup>3</sup>, Alfonso Martín Rodríguez Vagaría<sup>3</sup>, Fátima Maciel Carrillo González<sup>1</sup>, Jorge Téllez López<sup>1</sup>

Cruz Romero, B., Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría A. M., Carrillo González, F. M., Téllez López, J. Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 64: 26-34, enero-abril 2015.

#### RESUMEN

La morfometría de la cuenca del río Cuale se analizó con información topográfica e hidrológica digitalizada a escala 1:50,000 del INEGI. Se verificó la delimitación de la cuenca corrigiendo los detalles hidrológicos y topográficos y se determinaron los parámetros morfométricos que explican los efectos dinámicos de su comportamiento hidrológico. Los resultados se obtuvieron con los programas de Sistemas de Información Geográfica (SIG): Arc Gis 9.3 (ESRI, 2008)® e Idrisi Taiga®. El paisaje está constituido por un sistema serrano con pendientes y desniveles que acentúan el riesgo por escorrentía, situación que influye de manera decisiva en su respuesta hidrológica y que deberá valorarse en la planificación del territorio y manejo integral.

#### ABSTRACT

The morphometry of the Cuale River watershed was analyzed with topographical and hydrological

**Palabras clave:** cuenca hidrográfica, morfometría, sistemas de información geográfica.

**Keywords:** watershed, morphometry, geographic information systems.

Recibido: 13 de marzo de 2014, aceptado: 22 de agosto de 2014

<sup>1</sup> Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara.

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico de Bahía de Banderas.

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.

\* Autor para correspondencia: cruzromerobartolo@gmail.com

information digitized at 1:50,000 from INEGI. Watershed delineation was verified correcting hydrological and topographical details and morphometric parameters that explain the dynamic effects of the hydrological behavior. The results were obtained with the programs of Geographic Information Systems (GIS): Arc Gis 9.3 (ESRI, 2008) and Idrisi® Taiga®. The landscape consists of a mountain system with inclines and slopes that accentuate the risk of runoff, a situation that has a decisive influence on their hydrological response and that should be measured in spatial planning and integrated management.

#### INTRODUCCIÓN

El concepto de cuenca hidrográfica se expresa como un área delimitada por la dirección de sus cursos de agua y su superficie se define por el parteaguas a partir del cual la precipitación drena por esa sección (Cotler, 2010). Su función hidrológica se asemeja al de un colector que recibe la precipitación pluvial y la convierte en escurrimiento. Esta transformación se produce en función de las condiciones climatológicas y físicas, aunada a la naturaleza del suelo y cobertura vegetal (Gaspari, 2002). La influencia de estos factores es cuantificable para comprender e interpretar su comportamiento morfodinámico y su respuesta hidrológica (López Cadenas de Llano, 1998; Méndez y Marcucci, 2006; Matter et al., 2009).

Este análisis pretende caracterizar un ambiente geomorfológico por medio de parámetros que sean susceptibles de un tratamiento matemático que permita disminuir la influencia de la subjetividad en las conclusiones que se deriven de esos parámetros (Doffo y Bonorino, 2005). Con base en esta caracterización, el objetivo del trabajo es realizar el análisis morfométrico de la cuenca y subcuencas del río Cuale, Jalisco, México; con la finalidad de utilizar esta información en la planeación y ordenación de este territorio.

### Área de estudio

La cuenca del río Cuale se ubica en la costa oeste de México, en el estado de Jalisco (Figura 1), en la región donde confluyen la cordillera del Eje Transversal Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur (Quintero, 2004). Presenta regiones altitudinales que se distribuyen desde la costa hasta los 2,400 m.s.n.m. en el área montañosa. Comprende una superficie de 26,993.82 ha. Se localiza en las coordenadas geográficas: latitud norte entre 20° 31' 53" y 20° 34' 11" y longitud oeste entre 105° 06' 53" y 105° 10' 5" hacia el sureste de la ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco. Pertenece a la Región Hidrológica Huicicila (Quintero, 2004) y se compone de ríos tributarios que son los afluentes del río principal llamado Cuale.

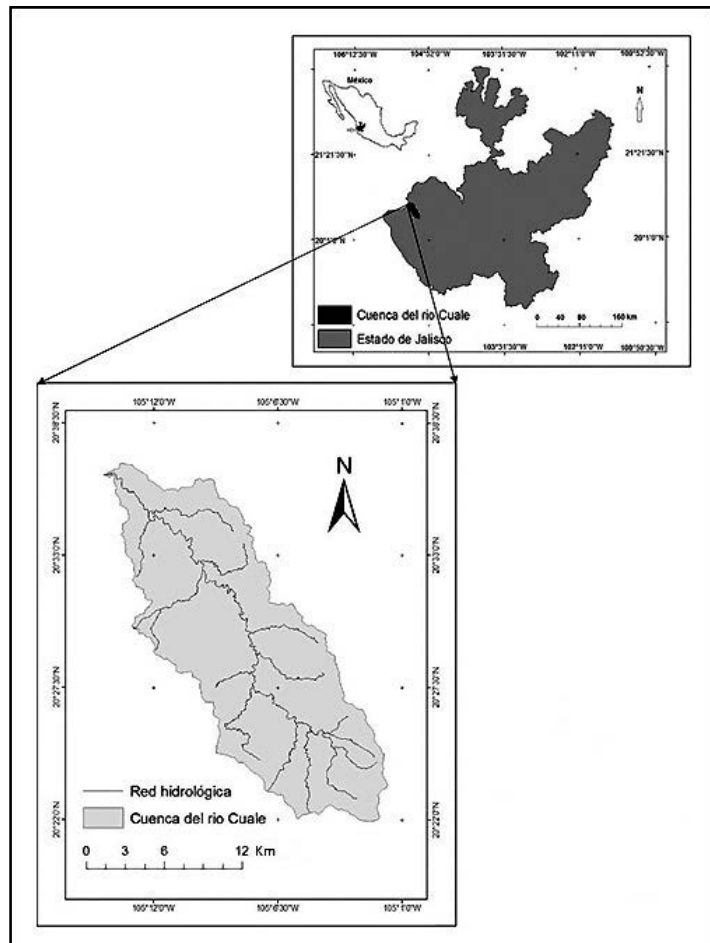


Figura 1. Ubicación de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México.

La precipitación anual es de 1,632.2 mm en las zonas bajas, con un clima subhúmedo semitropical y 1,447 mm en las partes altas, donde se presenta un clima templado subhúmedo (CONABIO, 2008). El entorno geológico está formado por rocas clásticas o detríticas de origen continental. Se aprecia la arenisca de grano fino con fragmentos de roca volcánica y algunos horizontes de arcilla (INEGI, 2010), de tal manera que los tipos de suelo dominantes corresponden a Regosol eútrico y Litosol (INEGI, 1974).

## MATERIALES Y MÉTODOS

La verificación de los límites de la cuenca del río Cuale se realizó a través del software SIG Arc Gis 9.3 y se incorporó información cartográfica digital del INEGI (2010), que correspondió a las cartas topográficas F13C69 Puerto Vallarta y F13C79 El Tuito, escala 1:50,000. Posteriormente, por medio de un

procesamiento altimétrico se generó el modelo de elevación digital (DEM) y utilizando la herramienta llamada preprocesado del terreno (*ArcHydro Terrain Preprocessing*) se obtuvo la delimitación automática de la cuenca y sus subcuencas. Para la determinación de los índices morfométricos se aplicó el software SIG Idrisi Taiga®, Módulo Agua/Aspectos medioambientales/Parámetros de cuencas; que calcula los parámetros que definen la forma, relieve y red hidrográfica de una cuenca y que de acuerdo con Campos (1992), Llamas (1993) y Chow et al. (1994) corresponden a los siguientes parámetros:

**a) Parámetros de forma.** Área de la cuenca (A) ( $\text{km}^2$ ); Perímetro (P) (km); Longitud axial (La) (km), que es la distancia entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca; Ancho promedio (AP) (km), expresado por el cociente entre el área de la cuenca y su longitud axial; Índice de forma de la cuenca (IF) (adimensional), que comprende la

distribución o arreglo geométrico de los ríos tributarios que integran la red hidrográfica; Coeficiente de compacidad de Gravellius ( $K_c$ ) (adimensional), que relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo de área equivalente al de la cuenca; Índice de alargamiento ( $I_a$ ) (adimensional), relaciona la longitud más larga de la cuenca con el ancho mayor, medido perpendicularmente a la dimensión anterior; Índice de homogeneidad ( $I_h$ ) (adimensional), determina la relación del área de la cuenca con la de un rectángulo que tiene por eje mayor la longitud máxima de la cuenca y por eje menor el ancho máximo de la cuenca e Índice asimétrico ( $I_a$ ) (adimensional), corresponde al cociente entre la vertiente más extensa y la menos extensa.

**b) Parámetros de relieve.** Altitud media ( $A_m$ ) (msnm); Curva hipsométrica (CH), es una representación gráfica de la distribución del área de acuerdo con su elevación, establecida para cada clase de elevación (sobre una equidistancia de 100 m en este estudio debido a las características heterogéneas del relieve) por medio de una curva de doble eje de coordenadas, cuya ordenada es la cota altitudinal (m.s.n.m.) y la abscisa es el área por encima de una cota dada (en % o  $\text{km}^2$ ), como lo establecen Strahler (1957) y Langbein (1947). Proporciona información sintetizada sobre la altitud y forma de la cuenca, así como el tiempo de ocurrencia del escurrimiento superficial (Harlin, 1984; Luo y Harlin, 2003), y es también utilizada para interpretar las etapas del paisaje y los procesos de erosión que ocurren en una cuenca (Moglen y Bras, 1995; Willgoose y Hancock, 1998; Luo, 2000) al representar gráficamente la distribución de la cuenca vertiente por tramos de altura (Langbein, 1947; Campos, 1992; Gaspari et al., 2009). Mediana de altitud ( $M_a$ ) (m), calculada por medio de la curva hipsométrica (CH); Pendiente de la cuenca ( $P$ ) (o), se obtiene al relacionar las diferentes cotas (curvas de nivel) con las distancias recorridas en metros hacia la desembocadura y se calculó con la media ponderada de las pendientes de todas las superficies en las que la línea de máxima pendiente es constante; altura media ( $H_m$ ) (m), se calculó dividiendo el volumen total del relieve de la cuenca por su superficie proyectada y se evaluó con la ayuda de la curva hipsométrica; el relieve de la cuenca ( $R_e$ ) se definió con la información de la curva hipsométrica y la Clasificación de los tipos de relieve (López Cadenas de Llano, 1998) y para este caso se determinó de acuerdo al resultado de la pendiente media (PM).

**c) Parámetros de la red hidrográfica.** Corresponden a la distribución o arreglo geométrico de los ríos tributarios que lo conforman (Gaspari et al., 2009). Comprende la clasificación de los sistemas de drenaje, la cual se determinó bajo el método propuesto por Horton (1945). Este método define escurrimiento de primer orden a aquel que carece de tributarios y uno de segundo orden que recibe al menos uno o varios tributarios del primer orden. El tercer orden lo confluyen uno o varios afluentes de segundo orden, pero puede recibir directamente afluentes de primer orden; así sucesivamente se llega al orden más elevado, que debe corresponder al cauce principal de la cuenca.

La Densidad fluvial ( $D_f$ ) ( $\text{km}/\text{km}^2$ ) consistió en relacionar la suma de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan en la cuenca con respecto al área de la misma (Henaos, 1988); Pendiente media del cauce (PM) (grados y %), se estableció a partir del desnivel topográfico sobre el cauce principal y la longitud del mismo; Tiempo de concentración ( $T_c$ ) (h), corresponde al tiempo mínimo necesario para que todos los puntos hidrológicos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía al punto de salida y está determinado por el tiempo que tarda una partícula hidrológicamente más lejana en viajar hasta el punto emisor de la cuenca (López Cadenas de Llano, 1998). El cálculo correspondió a la utilización de variables de tipo topográfico, en donde destacan la importancia de la inclinación y la longitud del cauce principal, utilizando la ecuación:

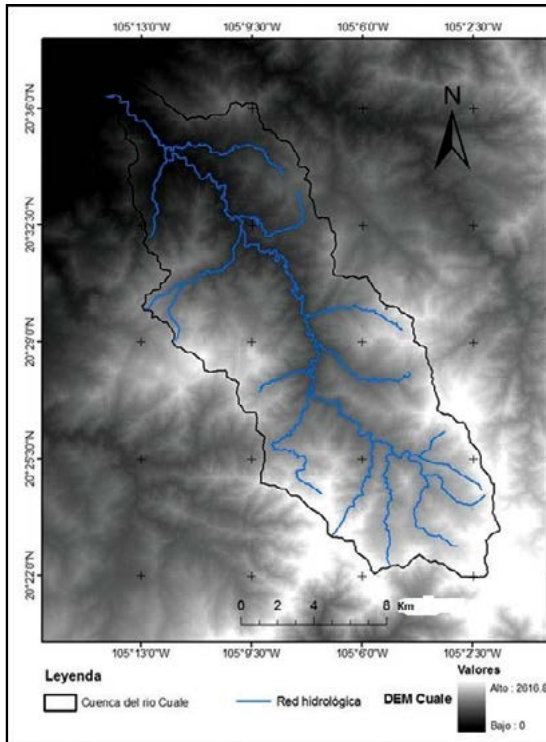
$$T_c = 0.3 * (L/J^{1/4})^{0.76}$$

En donde  $T_c$  = tiempo de concentración (hr),  $L$  = longitud del cauce (m),  $J$  = pendiente media del cauce (%) y, por último, se determinó la Longitud del cauce principal ( $L$ ) (km) a partir del mapa digitalizado de la red de drenaje.

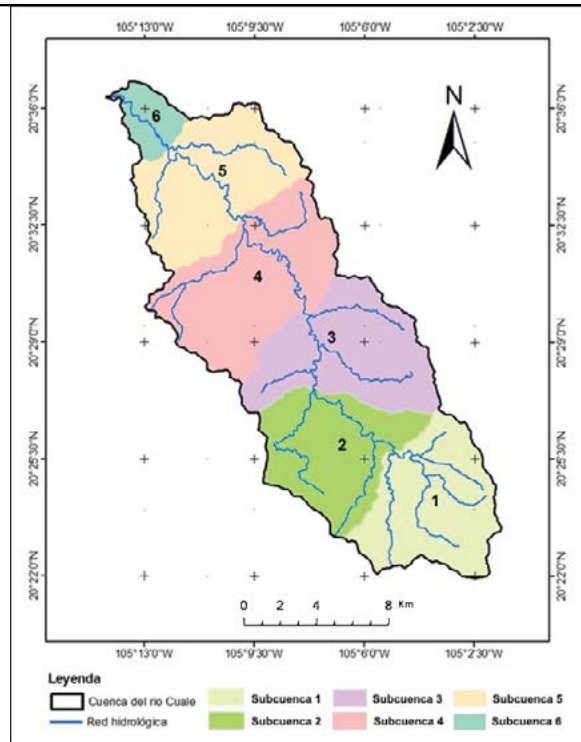
## RESULTADOS

A partir del procesamiento digital de la información cartográfica de las cartas F13C69 Puerto Vallarta y F13C79 El Tuito se obtuvo el DEM escala 1:50,000 que permitió caracterizar las formas de relieve con respecto a los valores de las curvas de nivel y crear una superficie vectorizada donde se integró el área de estudio (Figura 2).

La delimitación de las subcuencas consideró a las unidades hidrológicas menores originadas



**Figura 2.** Modelo de Elevación Digital (m.s.n.m.) (DEM). Escala 1:50,000.



**Figura 3.** Cuenca y subcuencas del río Cuale, Jalisco, México.

por las divisorias de agua representadas por los ríos secundarios o tributarios que fluyen al río principal (Figura 3).

Se presentan los parámetros de forma, relieve y red de drenaje analizados a nivel de cuenca y subcuencas en las tablas 1, 1(a), 2 y 3. El análisis de estos parámetros estuvo en función de determinar la influencia de la forma de la cuenca en el movimiento y captación del agua de lluvia, además de proporcionar información relacionada con la gestión, planificación y ordenación del territorio.

La influencia de los parámetros de forma representados en las tablas 1 y 1(a) inciden en la caracterización de la red hidrográfica de la cuenca del río Cuale. Con un área de 26,993.82 ha, perímetro de 117.19 km y factor de forma de 0.023, a esta cuenca le corresponde un tamaño intermedio pequeño con forma rectangular oblonga. El valor e interpretación del coeficiente de compacidad 2.03 y los índices de alargamiento 3.15, homogeneidad 1.72 y asimétrico 5.83 indican un menor tiempo de la cantidad de agua dentro del área de la cuenca.

Los parámetros de relieve representados en la Tabla 2 muestran que la cuenca del río Cuale presenta pendientes pronunciadas de hasta 25.23°, con una pendiente media en toda el área de 44.28%, lo que representa un relieve muy fuerte en la cuenca. Este efecto expresa que a una mayor pendiente corresponde una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al curso principal en esta cuenca.

La Figura 4 muestra la curva hipsométrica de la cuenca del río Cuale, presenta valores altitudinales elevados de más de 2,000 m con pendientes pronunciadas de 48.64%, se estabiliza hacia altitudes menores cercanas a los 260.08 m, de tal manera que la altitud media es más alta que la mediana de altitud.

Los parámetros relativos a la red de drenaje representados en la Tabla 3 estuvieron en función de la distribución o arreglo geométrico de la red hidrográfica y corresponden a valores bajos de densidad de drenaje entre 0.4014 a 0.5439 km/km<sup>2</sup>, con diferencias marcadas en la pendiente media del cauce entre 1.99° y 12.63°. El tiempo de concentración para toda la cuenca fue de 2.8 hr y la longitud del cauce principal de 49.04 km.

El número de orden de los cursos de agua para la cuenca del río Cuale correspondió a un valor de 3 (Figura 5) y denota que mientras mayor sea el grado de corriente, mayor será la red y su estructura será más definida.

## DISCUSIÓN

El procesamiento de la información digital a través de los SIG, en particular el análisis de superficies a través de un modelo digital de elevación, representa una alternativa que ha tomado relevancia en estudios de

parámetros morfométricos por ser útil para analizar características de un ambiente geomorfológico (Viramontes et al., 2007; Moreno et al., 2008). La aplicación de esta tecnología permite evaluar el funcionamiento hidrológico y la descripción de una cuenca mediante programas de cómputo de forma coherente y sistematizada (Salas Aguilar et al., 2011).

De los resultados obtenidos en los parámetros de forma presentados en las tablas 1 y 1(a) se deriva que el área obtenida, según la clasificación propuesta por Campos (1992) es considerada como

**Tabla 1.** Parámetros de forma de la cuenca del río Cuale

	Área (A) (ha)	Perímetro (P) (km)	Longitud axial (La) (km)	Ancho promedio (AP) (km)	Factor forma (IF)
Cuenca Cuale	26,993.82	117.19	8.02	8.03	0.023
Subcuenca 1	4,883.99	41.02	8.83	5.52	0.625
Subcuenca 2	4,524.04	39.72	8.39	5.38	0.641
Subcuenca 3	5,211.34	43.74	9.23	5.64	0.611
Subcuenca 4	6,148.79	47.81	7.48	8.21	1.090
Subcuenca 5	5,173.30	42.04	5.63	9.18	1.633
Subcuenca 6	1,053.20	19.17	4.14	2.54	0.613

**Tabla 1(a).** Continuación. Parámetros de forma

	Coefficiente de compacidad (Kc)	Índice de alargamiento (Ial)	Índice de homogeneidad (Ih)	Índice asimétrico (Ia)
Cuenca Cuale	2.03	3.15	1.72	5.83
Subcuenca 1	1.64	1.04	2.05	92.76
Subcuenca 2	1.65	0.89	1.12	331.25
Subcuenca 3	1.72	0.91	1.64	70.19
Subcuenca 4	1.73	0.70	1.17	46.33
Subcuenca 5	1.65	0.65	1.42	604.85
Subcuenca 6	1.68	1.59	1.76	1

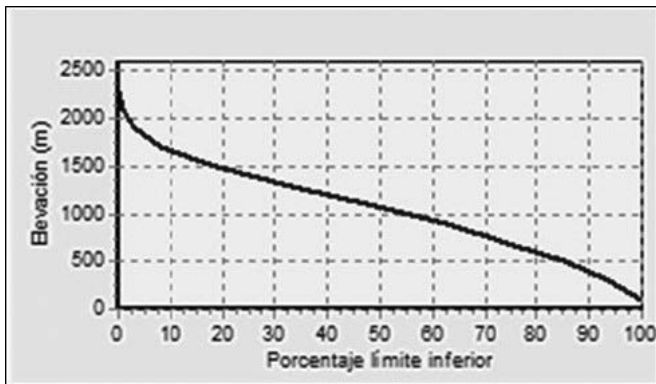
**Tabla 2.** Parámetros de relieve de la cuenca del río Cuale

	Altitud media (Am) (msnm)	Mediana de altitud (Ma) (m)	Pendiente media (PM) (°grados)	Pendiente media (PM) (%)	Relieve (Re)
Cuenca Cuale	1130.94	40.43	23.22	44.28	Muy fuerte
Subcuenca 1	1655.36	39.98	23.08	44.19	Muy fuerte
Subcuenca 2	1409.99	46.61	25.23	48.64	Muy fuerte
Subcuenca 3	1260.64	43.69	23.27	44.22	Muy fuerte
Subcuenca 4	1015.22	47.37	22.33	42.37	Muy fuerte
Subcuenca 5	571.60	31.84	22.78	43.28	Muy fuerte
Subcuenca 6	260.08	37.04	22.37	42.30	Muy fuerte



**Tabla 3.** Parámetros de la red de drenaje de la cuenca del río Cuale

	Densidad de drenaje (Dd) (km/km <sup>2</sup> )	Pendiente media del cauce (Pm) (°)	Tiempo de concentración (hr)	Longitud del cauce principal (L) (km)
Cuenca Cuale	0.5157	4.24	2.8	49.04
Subcuenca 1	0.5439	5.08	1.05	7.49
Subcuenca 2	0.4851	12.63	0.88	7.29
Subcuenca 3	0.2936	1.81	0.66	7.49
Subcuenca 4	0.4268	12.51	0.83	10.22
Subcuenca 5	0.4014	3.51	1.12	9.85
Subcuenca 6	0.5253	1.99	1.13	6.70

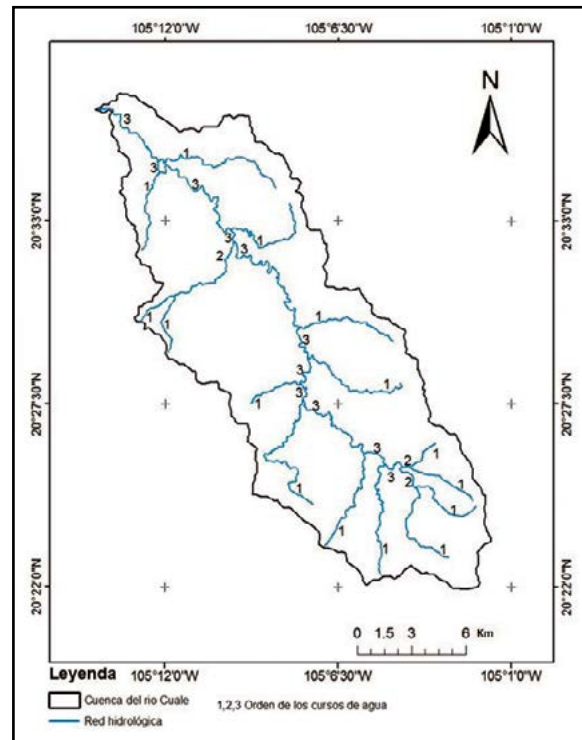


**Figura 4.** Curva hipsométrica de la cuenca del río Cuale.

una cuenca de tamaño intermedio pequeño. La misma se dividió en seis subcuencas, de las cuales la subcuenca 4 presenta mayor área y perímetro, la subcuenca 1 es la menor y las demás corresponden a áreas similares. Los valores de longitud axial y ancho promedio de la cuenca y sus subcuencas hacen suponer que esta área presenta poca capacidad de coleccionar agua. En una primera aproximación a la forma de la cuenca se ha utilizado el parámetro factor forma para determinar el arreglo geométrico de los ríos tributarios que integran la red hidrográfica. Este índice se complementó con el coeficiente de compacidad de Gravellius, el índice de alargamiento y el índice de homogeneidad representados en la Tabla 1 (a), datos que sitúan a la cuenca del río Cuale con valores por arriba de 1.75, en donde también se ubican las subcuencas 1, 3 y 6.

De acuerdo con Viramontes et al. (2007) y Salas Aguilar et al. (2011), esta cuenca presenta una tendencia de forma oval oblonga a rectangular oblonga y está menos sujeta a avenidas; valores menores a 1.50 significarían una forma redondeada que sería susceptible a avenidas rápidas e intensas

(Cotler, 2004), lo que puede generar pérdidas de suelo en la parte alta y traer consecuencias en la morfología del terreno aguas abajo, situación registrada por Fuentes (2004) a través del cálculo del índice de alargamiento con un valor de 2 en la zona del Parque Nacional Pico de Tancítaro, Michoacán. De esta manera, se considera que la forma de la cuenca del río Cuale representa la regulación a la cual se suministra el agua al cauce principal, desde su nacimiento hasta su desembocadura (Cotler y Maas, 2004).



**Figura 5.** Número de orden de los cursos de agua de la cuenca del río Cuale.

En cuanto al índice asimétrico con un valor de 5.86, se presume que la red de drenaje puede presentar avenidas de moderadas a lentas, ya que no se presenta de manera homogénea de una vertiente a otra. Este mismo comportamiento se observa en las subcuencas 2, 3, 4, 5 y 6, que registran valores elevados; sin embargo, en la subcuenca 1 el índice asimétrico se acerca a la unidad si se considera que a esta área le corresponde una red de drenaje de tipo homogénea.

En relación con los parámetros de relieve, los resultados que se obtuvieron de la curva hipsométrica (CH) permitieron establecer la altura media de la cuenca al ubicar la altitud media de cada unidad de drenaje en el punto donde se encuentra 50% del área acumulada. Este valor correspondió al porcentaje en el eje de las abscisas del área acumulada en cada isohipsa (curva de nivel) y en las ordenadas se colocaron los valores de altitud de cada una de las isohipsas o fajas altitudinales.

Desde el punto de vista hidrológico y de acuerdo con López Cadenas de Llano (1998), el resultado obtenido por la curva hipsométrica es más representativo en función de que la mitad de la superficie de una cuenca está influenciada por relaciones determinadas entre las elevaciones y la temperatura. Respecto a la forma de la curva hipsométrica, se puede inferir que la cuenca del río Cuale y sus subcuencas corresponden a una cuenca en equilibrio (Harlin, 1984), bajo el supuesto de que esta función, de acuerdo con Strahler (1957), relaciona la altitud con el área que cambia a través del tiempo en la medida que la cuenca sufre los efectos de la erosión, lo cual implica que esta área no presenta gran potencial erosivo y tiende a clasificarse como una cuenca en su fase de madurez (Campos, 1992; Llamas, 1993; Fuentes, 2004). Estos resultados en conjunto con los demás parámetros de relieve permiten considerar que las características físicas y el comportamiento hidrológico de la cuenca se encuentran influenciados por la topografía (Solís et al., 2006; Vivone et al., 2008).

El valor registrado para la altitud media de 1,130.94 m.s.n.m. y la mediana de altitud de 40.43 m calculada a partir de la curva hipsométrica describe a la cuenca del río Cuale como una cuenca de elevación media baja. Al mismo tiempo, la diferencia de altitud que se registra en las subcuencas se expresan desde 260.08 hasta 1,655.36 m.s.n.m. y puede indicar una mayor diferenciación

de ecosistemas, entre los que destacan el bosque tropical subcaducifolio, bosque de pino, bosque de encino y bosque mesófilo. Con respecto a la pendiente media 44.28%, le corresponde un relieve de tipo muy fuerte (compuesto por cañadas y montañas) de acuerdo con la clasificación de Fuentes (2004). Esta característica favorece a la escorrentía, lo que da como respuesta mayor velocidad del agua en las corrientes y menor tiempo de concentración. Lo anterior indica la presencia de planicies en la parte baja y representa un posible peligro de inundación en zonas aledañas al cauce principal en esta zona; en especial si la cobertura vegetal ha sufrido cambios en su estructura (Solís et al., 2006).

Los resultados de los parámetros de la red de drenaje corresponden a valores bajos de densidad de drenaje y pendiente media del cauce. Lo anterior hace suponer que la cuenca del río Cuale y sus subcuencas presentan bajos volúmenes de escurrimiento y bajas velocidades de desplazamiento del agua, lo que pudiera generar un moderado ascenso en las corrientes. Respecto al tiempo de concentración en toda la cuenca con un valor de 2.8 hr, se considera dentro de un rango de tiempo de concentración lento (Fuentes, 2004). Para las subcuencas estos valores oscilan entre las 0.83 hr y las 1.13 hr, lo que se considera un tiempo de concentración moderado. De acuerdo con este mismo autor, la cuenca presenta una clase de orden de corriente media. Asimismo, un mayor orden se relaciona en conjunto con la presencia de controles estructurales del relieve y mayor posibilidad de erosión. En este sentido y reconociendo a la morfometría y los parámetros de relieve de tipo muy fuerte (formado por cañadas y montañas), se considera que en la cuenca del río Cuale se presenta un aporte rápido de escurrimiento superficial que induce un fuerte impacto por parte de las avenidas desde la parte alta hasta la parte baja de la cuenca.

El estudio de la red hidrográfica se complementó tomando como criterio la longitud para definir el cauce principal de la cuenca y sus afluentes. El número de afluentes fue de 15 con una longitud total de 139.22 km y el cauce principal de acuerdo con Fuentes (2004) corresponde a un cauce de cuenca largo, valores que indican una cuenca bien drenada. Los cursos de agua en esta cuenca correspondientes al tercer orden, de acuerdo con Horton (1945), cuanto más alto sea el orden de la cuenca mayor será el grado de desarrollo fluvial



**Figura 6.** Cuenca hidrológica del río Cuale, Jalisco, México.  
Fotografía tomada por Jorge Téllez López.

y se establecerá una mayor jerarquización en las partes bajas o planas, lo que hace suponer que las avenidas provenientes de las partes altas pueden ser motivo de inundaciones en condiciones de lluvias abundantes (Mintegui et al., 2003; González, 2004; Hernández, 2008). Esta suposición, con los resultados de los demás parámetros morfométricos estudiados, deduce que la cuenca del río Cuale debe estar monitoreada constantemente en la época de lluvias para evitar alguna situación de riesgo por inundación.

## CONCLUSIONES

El uso de (SIG) permitió realizar el análisis morfométrico de la cuenca y subcuencas del río

Cuale. La determinación de los parámetros de forma, relieve y red de drenaje fue de gran importancia para interpretar el comportamiento hidrológico y comprender su incidencia ante la presencia de externalidades, como pueden ser las precipitaciones y avenidas extremas. El área estudiada corresponde a un paisaje montañoso con pendientes muy escarpadas y desniveles que le dan un carácter de riesgo por escorrentía, situación que causa que ante eventos pluviales se pueden presentar avenidas hidrológicas de moderadas a lentas. Lo anterior se afirma con base en la interpretación de los resultados relacionados con el índice asimétrico que indican que la red de drenaje no es homogénea en toda el área de la cuenca y está menos condicionada a avenidas agresivas, de tal manera que los riesgos de inundaciones asociados a esta cuenca son de mediana a baja intensidad. Esta característica debe considerarse sólo como un indicador que no descarta que se puedan provocar crecientes por otras causas. La información aportada por este análisis puede ser utilizada para propósitos de estudios hidrológicos e hidráulicos que puedan involucrarse en la ordenación y planeación de este territorio.

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer por el apoyo técnico y financiero a EXCEED Excellence Center for Development Cooperation Sustainable Water Management, Alemania, la Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro, Brasil y al Ministerio de Educación de la República de Argentina.

## LITERATURA CITADA

- CAMPOS, A. *Procesos del Ciclo Hidrológico*. 2 ed., México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, pp. 33-34, 1992.
- CHOW, V. T. et al. *Hidrología aplicada*. Colombia: McGraw-Hill, 584 pp., 1994.
- CONABIO (COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO DE LA BIODIVERSIDAD). *Regiones Terrestres Prioritarias de México*. En L. Arriaga y J. M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (Coords.), *Regiones Terrestres Prioritarias de México*. México: Autor, 2008.
- COTLER, H. (Coord.) *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*. México: Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT-Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P., 231 pp., 2010.
- COTLER, H. y MAAS, M. *Protocolo para el manejo integral de cuencas*. México: Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT. Publicación especial: 42-58, 2004.
- DOFFO, N. y BONORINO, G. Caracterización morfométrica de la cuenca alta del arroyo Las Lajas, Córdoba: Un análisis estadístico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 60(1): 16-22, 2005.
- FUENTES, J. J. *Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio en el Parque Nacional del Pico de Tancitaro*. México: INECOL. Publicación especial: 47 pp., 2004.
- FUENTES, O. *Una metodología para evaluar el potencial agrícola de las tierras en pequeñas unidades de producción. Lugar de aplicación: Los Cañizos, estado Yaracuy*. Tesis. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela, 205 pp., 1992.



- GASPARI, F. J. *Ordenamiento territorial en cuencas serranas. Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.)*. Argentina: Ediciones Cooperativas. 147 pp., 2002.
  - GASPARI, F. J. et al. *Manual de manejo integral de cuencas hidrográficas*. Argentina: Universidad Nacional de La Plata. 321 pp., 2009.
  - GONZÁLEZ, M. A. Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de la A.G.E.*, 38: 311-329.
  - HARLIN, J. M. Watershed morphometry and time to hydrograph peak. *Journal of Hydrology*, 67: 141-154, 1984.
  - HENAO, J. E. *Introducción al manejo de cuencas hidrográficas*. Bogotá, Colombia: Universidad Santo Tomás. Centro de Enseñanza Desescolarizada. 399 pp., 1988.
  - HERNÁNDEZ, M. Z. *Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa con base en análisis multivariado: la región de Zapotitlán de Méndez, Puebla*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Geociencias. 110 pp., 2008.
  - HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol. Soc. America Bull.*, 56: 275-280, 1945.
  - INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA). *Carta Edafológica. F13C69 y F13C79*. México: Autor, 1974.
  - INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA). *Geología. Cartas: F13C69 y F13C79*. México: [CD-ROM]. 2010.
  - LANGBEIN, W. B. Topographic characteristics of drainage basins. *U.S. Geology Survey. Water-Supply Paper. 968-C*: 125-155, 1947.
  - LLAMAS, J. *Hidrología General, Principios y Aplicaciones*. Bilbao, España: Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. 635 pp., 1993.
  - LÓPEZ CADENAS DE LLANO, F. *Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión. Ingeniería medioambiental*. España: Mundi Prensa-TRAGSATEC-Min. Medio Ambiente. 945 pp., 1998.
  - LUO, W. Quantifying groundwater-sapping landforms with a hypsometric technique. *Journal of Geophysical Research*, 105: 1685-1694, 2000.
  - LUO, W. y HARLIN, J. M. A theoretical travel time based on watershed hypsometry. *Journal of the American Water Resources Association*, 39: 785-792, 2003.
  - MATTER, M. A. et al. Characterizing hydroclimatic variability in tributaries of the Upper Colorado River Basin. *Journal of Hydrology*, 380(3): 260-276, 2009.
  - MÉNDEZ, W. y MARCUCCI, E. Análisis morfométrico de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas - Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 47(1): 29-55, 2006.
  - MINTEGUI AGUIRRE, J. A. et al. Avenidas torrenciales en el arroyo del Partido y su incidencia en la Marisma del Parque Nacional de Doñana. *Naturaleza y Parques Nacionales [Serie Técnica]*. Madrid, España: Editorial Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 373 pp., 2003.
  - MOGLEN, G. E. y BRAS, R. L. The effect of spatial heterogeneities on geomorphic expression in a model of basin evolution. *Water Resources Research*, 31: 2613-2623, 1995.
  - MORENO, A. et al. *Sistemas y Análisis de la Información Geográfica. Manual de autoaprendizaje con ArcGIS*. México: Alfaomega Grupo Editor, S. A. 940 pp., 2008.
  - SALAS AGUILAR, V. M. et al. Morfometría de la cuenca del río Nazas-Rodeo aplicando tecnología geoespacial en Durango, México. *TECNOCENCIA Chihuahua*, 5(1): 34-42, 2011.
  - SOLÍS, M. R. et al. Análisis de la cubierta vegetal de la cuenca alta del río Nazas en Durango, México. *Revista Chapingo: Serie de Ciencias Forestales y de Ambiente*, 12(04): 139-143, 2006.
  - STRAHLER, A. N. Quantitative Analysis of Watershed Morphology. *Transactions of the American Geophysical Union*, 38(6): 913-920, 1957.
  - TUCKER, G. et al. Statistical analysis of drainage density from digital terrain data. *Geomorphology*, 36: 187-202, 2001.
  - VIRAMONTES, O. O. et al. Morfometría de la cuenca del río San Pedro Conchos, Chihuahua. *TECNOCENCIA Chihuahua*, 1(3): 21-31, 2007.
  - VIVONE, E. R. et al. Hypsometric control on surface and subsurface runoff. *Water Resources Research*, 44: W12502, 2008.
  - WILLGOOSE, G. y HANCOCK, G. Revisiting the hypsometric curve as an indicator of form and process in transport-limited catchment. *Earth Surfaces Processes Landforms*, 23: 611-623, 1998.
- De páginas electrónicas**
- QUINTERO, T. P.R.P.C. *Río Cuale, Microcuenca El Cuale, Municipio de Talpa de Allende*. SAGARPA-FIRCO (Documento no publicado), 2004. Recuperado el 4 de noviembre de 2012, de <http://www.firco.gob.mx/Paginas/default.aspx>.