

La caracterización morfométrica de la subcuenca del Río Moctezuma, Sonora: ejemplo de aplicación de los sistemas de información geográfica

Adán Guillermo Ramírez García¹
Artemio Cruz León²
Pastor Sánchez García³
Alejandro Ismael Monterroso Rivas⁴

Resumen

El primer paso para la propuesta de un modelo de gestión de manejo integrado de una cuenca es la caracterización de sus propiedades morfométricas. El presente trabajo tiene como objetivo determinar los principales parámetros morfométricos de la subcuenca del Río Moctezuma. Para ello, se compiló la cartográfica digital de INEGI; asimismo, se empleó el modelo digital de elevación mde escala 1:50,000 para el cálculo de los parámetros morfométricos de mayor importancia para el análisis hídrico; la interpretación fue digitalizada en el programa ArcGis/Info Versión 10 y Qgis Lisboa 1.8.0. Entre los resultados destaca que la cuenca del Río Moctezuma tiene un área de 6 712.089 km² y un perímetro de 522.135 km, con un ancho promedio de 47.117 km. La cuenca tiene una longitud máxima de 142.453 km: la distancia del punto de aforo al punto de mayor altura, en dirección horizontal hasta llegar a donde el río principal corta el contorno de la cuenca. La cuota mínima se encuentra a una altura de 350 msnm y la altura máxima corresponde a 2 450 msnm, con una altura media de 1 309 msnm; la densidad de drenaje para la cuenca del Río Moctezuma es de 2.37 km/km². Los valores de los diferentes índices de forma calculados para la subcuenca del Río Moctezuma determinan que presenta una forma alargada, sin problemas de avenidas fuertes por lluvia; el tiempo de concentración de la parte alta hasta la parte baja es largo; sin embargo, en el tiempo de inundaciones permanecen un mayor tiempo. Los índices morfométricos son una herramienta que permite conocer la relación del agua con el medio físico desde la perspectiva del manejo de cuencas.

Palabras clave: cuenca, escurrimiento, morfométrica, precipitación, sistemas de información geográficos

Morphometric characterization of the Moctezuma River Watershed in Sonora: an example of application of geographical information systems

Abstract

The first step for a proposal of a watershed management model is the morphometric characterization of its properties. The present study aims at determining the main morphometric parameters of the

¹ Profesor investigador del Centro Regional Universitario del Noreste. Universidad Autónoma Chapingo.

² Profesor investigador de la Maestría en Ciencias en Desarrollo Rural Regional. Universidad Autónoma Chapingo.

³ Profesor investigador del Centro Regional Universitario del Noreste. Universidad Autónoma Chapingo.

⁴ Profesor investigador del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo.

Moctezuma River watershed. In order to calculate the most important morphometric parameters for water analysis, the INEGI digital map was compiled and the MDE scale of 1:50 000 Digital Elevation Model was used. Interpretation of the data was digitized in ArcGIS / Info Version 1.8.0 10 Qgis Lisbon program. The results highlighted that the Moctezuma River watershed has an area of 6712.089 km² and a perimeter of 522.135 km, with an average width of 47.117 km. The basin has a maximum length of 142.453 km, being this the distance from the gauging point to the highest point in a horizontal direction as far as the main river that cuts the contour of the basin. The minimum rate is 350 m high and the maximum height is 2450 m, with an average height of 1309 m, while the drainage density is 2.37 km / km². The values of different shape rates calculated at the basin of the Moctezuma River determine that the basin has an elongated shape and smooth avenues in time of rain. The time of concentration from the top to the bottom is long; however it stays longer in flood times. Morphometric tools are a helpful tool in understanding the water relationship with the physical environment under the perspective of watershed management.

Keywords: watershed, runoff, morphometry, precipitation, geographic information systems.

Introducción

En el manejo de los recursos naturales, la existencia de una unidad espacial bien definida es fundamental en la planeación y manejo de los recursos naturales. En este sentido, se establece a la cuenca hidrográfica como una unidad enfocada al manejo del agua, y su relación con el medio natural se define como una unidad de planeación para el uso de los recursos naturales, en una extensión territorial delimitada por las partes más altas de las topografías, donde las precipitaciones son convertidas en escurrimientos, dependiendo de las condiciones climáticas y las características físicas. Sánchez (1995) concibe a la cuenca hidrográfica como:

[...] una unidad espacial global, delimitada superficialmente por un área natural de drenaje cuyas aguas vierten a un colector común, en la cual interactúan orgánicamente elementos físico-bióticos, que el hombre utiliza en los procesos de producción y consumo de medios materiales de vida, como base de recursos, base de soporte y base de desechos, en el marco de las relaciones de producción de un sistema social dado.

La FAO (2009a) contextualiza las cuencas hidrográficas como áreas de desagüe o cuencas

fluviales que constituyen las zonas desde las cuales la lluvia o la nieve —al derretirse— bajan a un río, lago, embalse, estuario, humedal, mar o al océano. Otra definición de cuenca hidrográfica hace referencia a la superficie terrestre drenada por un sistema fluvial continuo y bien definido, cuyas aguas vierten a otro sistema fluvial o a otros objetos de agua y cuyos límites están generalmente determinados por la divisoria principal según el relieve (González Piedra, 2007). En síntesis, la cuenca hidrográfica es una unidad de planificación de los recursos naturales, delimitada por aspectos fisiográficos (parteaguas), en la que se conforma una red de drenaje recolectora de los escurrimientos superficiales hasta un punto de salida, el cual puede ser un almacenamiento de agua interior, por ejemplo, un lago, una presa, un río o el mar.

En la planificación del aprovechamiento de los recursos naturales, la cuenca desempeña un papel importante; por ello, debe ser muy bien analizada, para evitar afectar componentes que intervienen en los procesos hidrológicos y poder determinar la condición de los componentes bióticos y abióticos, la identificación de las causas de su deterioro, las áreas con un grado de degradación y la generación de alternati-

vas que conlleven al manejo sustentable de la cuenca.

La cuenca hidrográfica puede caracterizarse por su morfología, la naturaleza del suelo, la cobertura vegetal y el uso del suelo, pues las características físicas inciden directamente en su comportamiento hidrológico, así como en la respuesta a eventos lluviosos. Es de gran importancia su caracterización mediante parámetros que permitan determinar el comportamiento hidrológico de la cuenca. En este sentido, los parámetros morfométricos proporcionan una descripción física-espacial, lo que permite efectuar comparaciones entre distintas cuencas hidrográficas, al tiempo que pueden conocerse las características ambientales del territorio a partir de la descripción precisa de la geometría de las formas superficiales (Gaspari *et al.*, 2012; Gaspari *et al.*, 2013). Asimismo, se hace referencia a éstas como las unidades básicas que permiten recabar, agrupar y analizar información acerca de la geometría de las formas terrestres determinadas por la erosión fluvial (Pesce, 2005). Dicha caracterización es efectuada mediante parámetros de forma, relieve y red de drenaje, los cuales son básicos en la modelación hidrológica para determinar el comportamiento del agua captada por la cuenca y su relación con los demás recursos naturales.

En la actualidad existen herramientas metodológicas tales como los sistemas de información geográfica (sig) y la interpretación de imágenes satelitales, las cuales permiten llevar a cabo la caracterización espacio-temporal de las propiedades morfométricas de las cuencas hídricas y de las redes de drenaje. El análisis de los índices morfométricos permitirá conocer la capacidad de la cuenca para captar y conducir el agua a un punto de salida, así como sentar las bases para la toma de decisiones que permitan el manejo sustentable de los recursos naturales, además de remediar, prevenir y controlar los efectos de degradación ambiental

que se desarrollen por causas naturales y antropogénicas. En tanto, la caracterización morfométrica de la subcuenca permitirá establecer las bases para la toma de decisiones en la formulación de estrategias enfocadas al desarrollo sustentable en el marco de una unidad bien definida.

El objetivo de este trabajo es describir las características morfométricas de la subcuenca del Río Moctezuma, para la toma de decisiones en la formulación de estrategias enfocadas al desarrollo sustentable; identificar los parámetros morfométricos de mayor importancia en la intervención de los procesos de degradación dentro de las unidades de la subcuenca; instrumentar los modelos de sistemas de información geográfica en la determinación de los parámetros morfométricos, y analizar las medidas e índices que reflejan las relaciones y características de la riqueza del recurso hídrico respecto a los demás componentes del paisaje.

Materiales y métodos

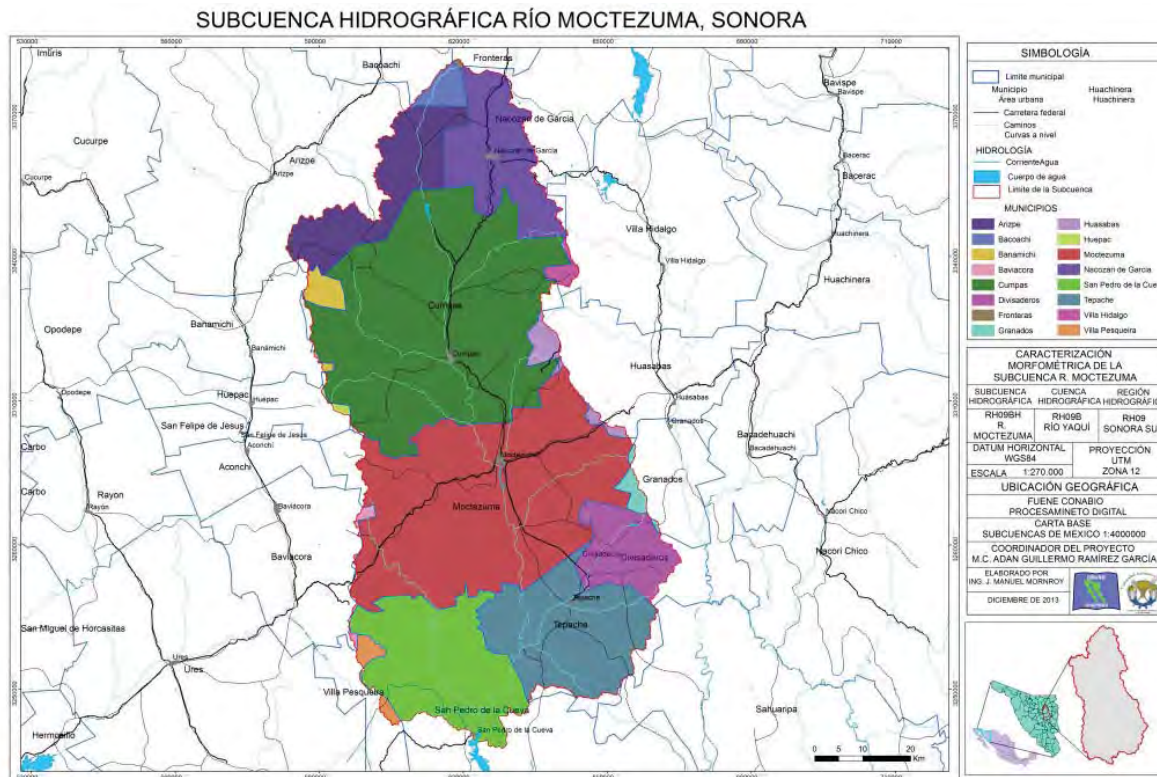
La subcuenca del Río Moctezuma se encuentra en la porción centro oriental del estado de Sonora, 170 km al noreste de Hermosillo (figura 1), entre las coordenadas 109°0'00" a 110°0'00" de longitud este, y 29°0'00" a 31°0'00" de latitud norte. Incluye parte de los municipios de Arizpe, Bacoachi, Banamichi, Baviacora, Cumpas, Divisaderos, Fronteras, Granados, Huasabas, Huepac, Moctezuma, Nacozari de Gracia, San Pedro de la Cu, Tepache, Villa Hidalgo y Villa Pesqueira (cuadro 1). El municipio con mayor superficie dentro de la subcuenca es Cumpa, con 30% de la superficie total, seguido de Moctezuma con 26% en la extensión territorial, mientras que el municipio con menor superficie corresponde al de Fronteras con 0.04%. Asimismo, cuenta con una superficie de 6 712.089km², con una altitud en la parte baja de 350 msnm y alcanza su parte más alta a los 2 450 msnm.

Cuadro 1. Municipios que conforman la subcuenca del Río Moctezuma

Municipio	Superficie km ²	%
Arizpe	442.45	6.59
Bacoachi	63.66	0.95
Banamichi	57.11	0.85
Baviacora	16.04	0.24
Cumpas	1 981.09	29.52
Divisaderos	287.77	4.29
Fronteras	2.37	0.04
Granados	36.34	0.54
Huasabas	68.99	1.03
Huepac	7.49	0.11
Moctezuma	1 790.71	26.68
Nacozari de García	466.20	6.95
San Pedro de la Cueva	720.62	10.74
Tepache	702.80	10.47
Villa Hidalgo	28.63	0.43
Villa Pesqueira	39.82	0.59
Total	6 712.088	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 1. Ubicación geográfica de la subcuenca del Río Moctezuma



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al clima, de acuerdo con conabio (2014), el área de estudio presenta tres grupos de clima: 1) BS1k(x'), clima semiárido, templado, con una temperatura media anual entre 12°C y 18°C; la temperatura del mes más frío oscila entre -3°C y 18°C y la del más caliente es menor a 22°C, con lluvias de verano mayores a 18% anual. Se presenta en la parte alta de las montañas, por lo que su gradiente de temperatura se asocia a la altitud presente; cubre 20.29% de la superficie total; 2) BS1h(x'); clima semiárido, templado, con una temperatura media anual mayor a 18°C;

la del mes más frío es menor a 18°C y la del más caliente rebasa los 22°C, con lluvias de verano superiores a 18% anual; domina en la mayor parte de la cuenca, en las áreas de transición de lomeríos a montaña; cubre 73% de la superficie total, y 3) BSo(h')(x'), clima árido cálido, con una temperatura media anual mayor a 22°C; la del mes más frío mayor a 18°C, con lluvias entre verano e invierno superiores a 18% anual. Es el clima con menor extensión en la subcuenca (6.21%) (cuadro 2 y figura 2).

Cuadro 2. Unidades climáticas presentes en la subcuenca del Río Moctezuma

Nomenclatura	Área km²	%
BS1h(x')	4 933.48	73.50
BS1k(x')	1 361.89	20.29
BSo(h')(x')	416.73	6.21
Total	6 712.09	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Unidades climáticas



Fuente: Elaboración propia.

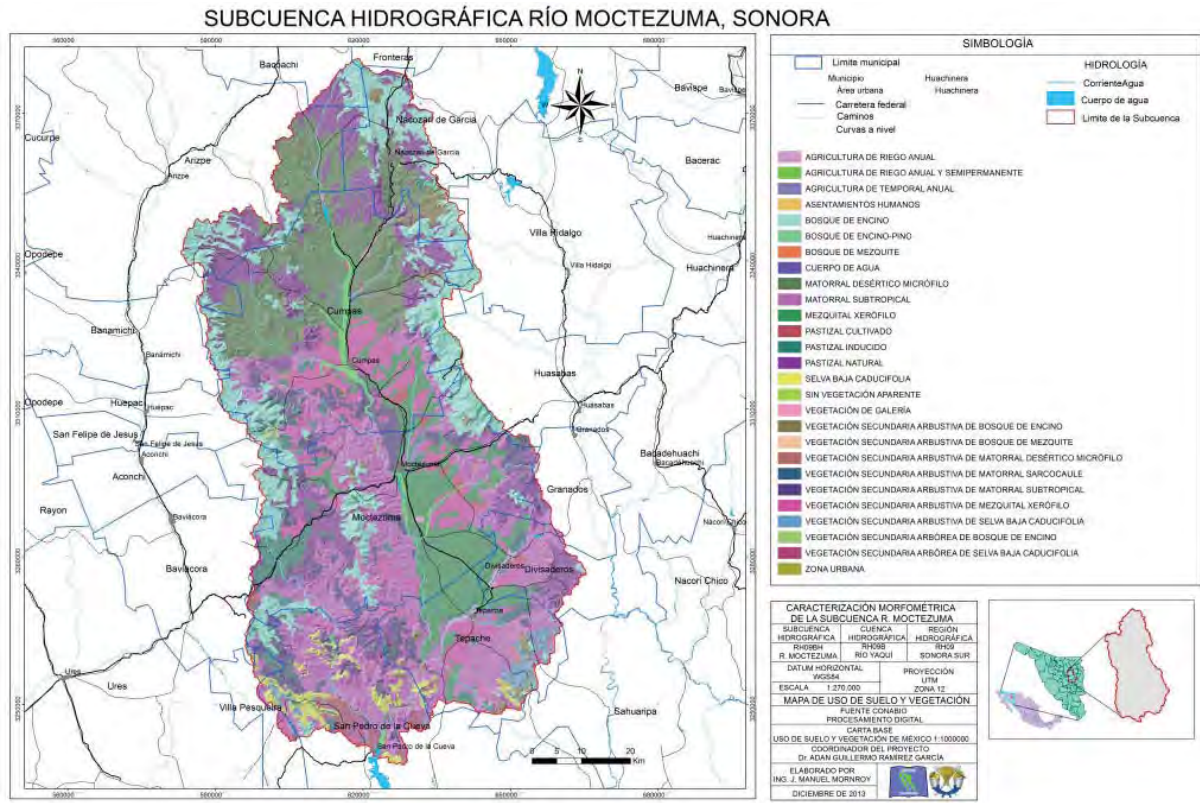
La distribución de los tipos de vegetación está estrechamente asociada con las condiciones climáticas (Priego *et al.*, 2010). Por ejemplo, los climas cálidos y templados permiten una congregación de especies que constituyen comunidades de vegetación en importancia y cobertura, como los mezquites, las selvas bajas, los bosques de pino y los matorrales con diferentes subclasificaciones. En la subcuenca es el reflejo de una zona de transición en cuanto a cobertura vegetal, pues el rango altimétrico que presenta permite desarrollar 27 tipos de vegetación (INEGI, 2012), de los cuales el matorral subtropical es el de mayor extensión, ya que cubre 19.66% de la superficie total. Se distingue por presentar arbustos y árboles bajos, inermes o espinosos, que se desarrollan en una amplia zona de transición ecológica entre la selva baja caducifolia y los bosques templados, como también de matorrales en estas regiones. De acuerdo con el INEGI, este tipo de cobertura requiere de estudios más detallados respecto a su distribución y composición florística. Su distribución en la cuenca se asocia a las topoformas del terrenos, y se encuentra en lomeríos y planicies acolinadas, dominantes en la parte sur, centro-este y centro-oeste.

En segundo lugar, por superficie cubierta, se encuentra el bosque de encinos, con 15.65% de la superficie de la cuenca. Este tipo de vegetación se desarrolla sobre diversas

clases de roca madre, tanto ígneas, como sedimentarias y metamórficas; prefiere suelos profundos de terrenos aluviales planos. No tolera, aparentemente, deficiencias de drenaje, aunque puede crecer a orillas de arroyos, en tierra húmeda de forma permanente; también es posible encontrarlo en suelos someros de terrenos muy rocosos e inclinados o de pedregales. Típicamente, el suelo es de reacción ácida moderada (pH 5.5 a 6.5), con abundante hojarasca y materia orgánica en el horizonte superficial y a menudo también a mayor profundidad. La textura varía de arcilla a arena, al igual que la coloración, la cual con frecuencia es roja, aunque puede ser amarilla, negra, café o gris (conabio, 2014).

El pastizal natural se encuentra en 25% de la superficie total de la subcuenca, sobre todo en la parte norte, con algunos manchones en la parte oeste, asociado a planicies acolinadas y lomeríos. Esta comunidad se caracteriza porque predominan pastos con pocos árboles y arbustos. Finalmente, el mezquital es el cuarto con mayor cobertura en la subcuenca: equivale a 16.23% de su superficie total. Su distribución en el área de estudio se concentra en las planicies acolinadas, con pendientes moderadas, las cuales las hacen susceptibles al deterioro, por el cambio de uso de suelo para dar paso a terrenos ganaderos (figura 3).

Figura 3. Uso de suelo y vegetación



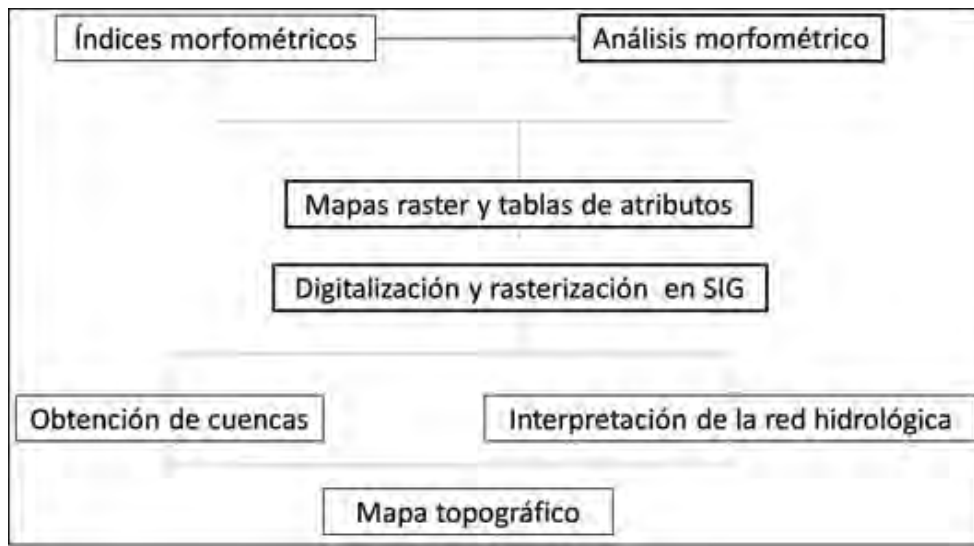
Fuente: Elaboración propia.

En la determinación de los parámetros morfométricos intervienen diversos factores que permiten caracterizar a la cuenca. Para ello se compiló información referente al tema, así como la cartográfica digital del INEGI y de la conabio. La cartografía base utilizada en la caracterización de la subcuenca fue la de precipitación, temperatura, edafología, geología uso de suelo, topofomas. Se ponderaron los parámetros morfométricos de mayor importancia para el análisis hídrico. Las variables a considerar se dividen en: *a)* unidades de medida: área, perímetro, longitud máxima, alturas mínimas y máximas, ancho; *b)* forma: índice de Gravelius, índice de Horton, índice de alargamiento; *c)* relieve: curva hipsométrica, frecuencia de altitudes, altitud media, altitud más frecuente, altitud de frecuencia media, y *d)* red de drenaje: longitud del cauce principal, orden de la red hídrica, longitud total de la red hídrica,

pendiente promedio de la red hídrica, pendiente del cauce principal.

Mediante la interpretación del mapa topográfico se obtuvieron los límites topográficos de las cuencas y la red hidrológica; esta última también por medio de interpretación e inferencia de los cursos fluviales a partir del modelo digital de elevación (mde). La interpretación fue digitalizada y transformada en formato raster en el programa ArcGis/Info Versión 10 y Qgis Lisboa 1.8.0. La obtención de parámetros como la densidad de drenaje y la cantidad de población fue realizada en forma totalmente automatizada en el sig ArcGis/Info Versión 10, mientras que los datos necesarios para los índices fueron extraídos de tablas generadas por ArcMap, a partir de los mapas raster de topografía (mde), de cuencas y de ríos, y posteriormente tratados en una hoja de cálculo en el programa Excel v.2010 para Windows (figura 4).

Figura 4. Esquema metodológico



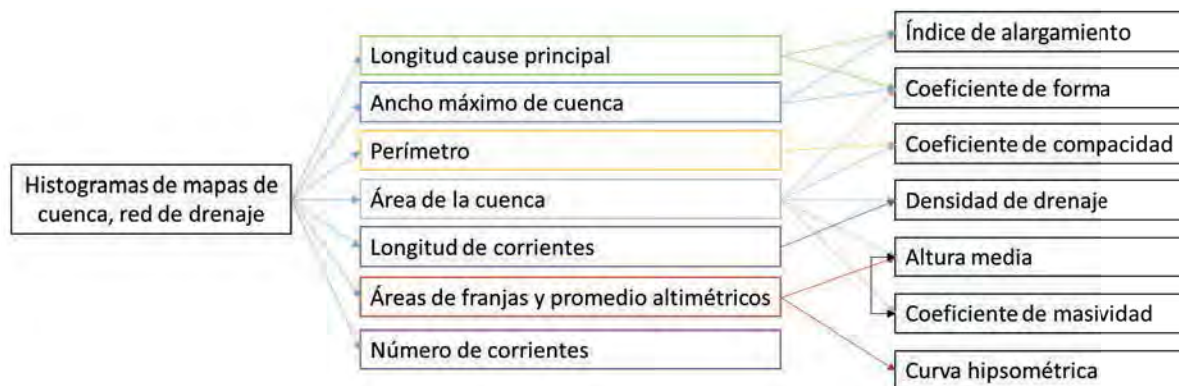
Fuente: Elaboración propia.

Mediante el procesamiento espacial de los modelos de elevación del terreno en el programa ArcMap, así como por medio del análisis de la red hidrológica fue posible determinar la delimitación de la subcuenca del Río Moctezuma. Los parámetros manejados en este proceso fueron la dirección del flujo hidrológico y la acumulación de éste, los cuales estuvieron determinados por el programa

hydrology. Con ello se logró la delimitación de la subcuenca.

La unidad resultante posee atributos que la describen y que permiten ubicar un punto en su superficie: las coordenadas y la altura sobre el nivel del mar. Lo anterior permitió determinar una serie de parámetros como el área, el perímetro, la longitud máxima, las alturas mínimas y máximas, entre otros (figura 5).

Figura 5. Esquema metodológico



Fuente: Elaboración propia con base en Fuentes, 2004.

Los valores obtenidos en el procesamiento del modelo digital de elevación se utilizaron para determinar los índices morfométricos, los cuales fueron:

Índice de Gravelius: las observaciones de un buen número de cuencas reales en todo el mundo permiten establecer la siguiente relación entre el área de la cuenca A y el área de un cuadrado de longitud L, en la que L es la longitud del cauce principal. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$Kc = \frac{\text{perímetro de la cuenca}}{\text{perímetro de un círculo}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde

Kc = índice de Gravelius (adimensional)

P = perímetro de la cuenca (km)

A = área de la cuenca (km²)

A medida que el coeficiente de compacidad tiende a la unidad, mayor es el riesgo de tener un mayor volumen en el escurrimiento superficial en un periodo corto, debido a que las distancias relativas de los puntos de la divisoria, con respecto a uno central, no presentan diferencias mayores, y el tiempo de concentración se hace menor.

Índice de Horton: el factor de forma de Horton expresa la relación existente entre el área de la cuenca (A), y el cuadrado de la longitud máxima o longitud axial de la misma (Lb). La ecuación para calcular el índice de Horton es:

$$Rf = \frac{A}{Lb^2}$$

Donde:

A: Área de la cuenca

Lb: Longitud axial de la cuenca.

Índice de alargamiento: relaciona la longitud máxima de la cuenca (Lb) con su ancho máximo (W). Este parámetro permite conocer

el comportamiento del flujo superficial en la cuenca, facilitando el estudio del tiempo de concentración de éste y sus efectos sobre el cauce principal.

$$Ia = \frac{Lb}{W} Ia = \frac{Lb}{W}$$

Donde:

Lb: longitud del cauce principal

W: el ancho máximo de la cuenca

Sobre el relieve se determinó la curva hipsométrica, la cual representa el área drenada, con variaciones que dependen de la altura de la superficie de la cuenca. También podría verse como la variación media del relieve de la hoya. Los valores son obtenidos del mapa altimétrico creado a partir del modelo de elevación del terreno de la subcuenca, el cual representa los gradientes altitudinales y las áreas que corresponde a cada gradiente respecto a la cuenca. Las curvas hipsométricas también han sido asociadas con las edades de los ríos de las respectivas cuencas.

La frecuencia de altitudes representa el área drenada, por lo que varía en función de la altura de la superficie de la cuenca. También podría verse como la variación media del relieve de la subcuenca. Es representada por una gráfica de barras en Excel 2010 para Windows.

La altitud media se refiere a la altura ubicada a la mitad de la cuenca (valores obtenidos mediante el procesamiento del mapa altimétrico). La altitud más frecuente es la altura que se presenta con mayor frecuencia en la subcuenca, (valores obtenidos mediante el procesamiento del mapa altimétrico). La altitud de frecuencia media se refiere a la altura con mayor frecuencia en la altura media de la subcuenca (valores calculados en Excel, con base en los valores obtenidos del mapa altimétrico).

Respecto a la red de drenaje, los parámetros considerados fueron la longitud del cauce principal, a partir de los cauces que la integran; esto

permite conocer el volumen de escurrimiento superficial y el tiempo que tarde en un punto de interés. Su cálculo se hizo mediante la digitalización de la red hidrológica.

Orden de la red hídrica: este índice refleja el grado de ramificación o bifurcación de la cuenca, en el cual se maneja el orden de las corrientes. Strahler (1964, citado por Valtierra y Domínguez M. (2007) desarrolló un método de clasificación basado en la numeración y el conteo de las corrientes de agua —de un determinado orden— existentes en una cuenca. Este índice se obtiene mediante la agregación de corrientes; se considera una corriente de primer orden aquella que no tiene afluentes; una de segundo, aquella donde se reúnen dos corrientes de primer orden; una de tercero, donde confluyen dos de segundo orden, y así sucesivamente. El orden de la cuenca fue calculado con el programa ArcGis 10, mediante la herramienta Hidrology.

Respecto a la longitud total de la red hídrica, es importante conocer la longitud de la red de drenaje, principalmente la de los cauces que la integran, pues esto permite conocer el volumen de escurrimiento superficial y el tiempo que tarde en un punto de interés. Por otro lado, permite determinar el número de cauces por unidad de superficie, facilitando establecer medidas preventivas contra eventos fluviales que pueden ocasionar pérdidas materiales e incluso humanas; al igual que el orden de la cuenca, los sistemas de información geográfica permiten determinar las longitudes de los cauces de la red hídrica.

La pendiente del cauce principal determina la velocidad de flujo y la duración de subida o la duración total de las avenidas; por consiguiente, desempeña un papel importante en la forma del hidrograma. Su influencia se acopla a la de la longitud de la corriente.

La relación de bifurcación permite comprender algunas variaciones geológicas que se producen en el territorio de la cuenca, fundamen-

talmente en el sustrato rocoso, en los grupos de suelos dominantes y en la cobertura vegetal, pues estas variables son condicionantes en los cursos fluviales.

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

Donde:

Rb es la relación de bifurcación

Nu es el número de canales de orden n y

Nn+1 es el número de canales de orden n+1

Cuando los valores de la razón de bifurcación son bajos, existen picos fuertes en el hidrograma; cuando son altos, el hidrograma es más uniforme. También, como norma general, valores muy altos de la razón de bifurcación permiten esperar cuencas alargadas, con multitud de tributarios de primer orden, los cuales vierten a una sola corriente principal.

La densidad de drenaje es la longitud total de los cauces dentro de una cuenca hidrográfica, dividida por el área total de drenaje; define la densidad de drenaje o longitud de cauces por unidad de área. Este parámetro se expresa en km/km². En general, los valores altos de la densidad de drenaje reflejan áreas con suelos de fácil erosión o relativamente impermeables, con pendientes fuertes, escasa cobertura vegetal y precipitaciones. Por esta razón, los valores elevados de la densidad de drenaje indican mayor abundancia de escurrimiento y valores importantes de erosión (Hernando, 2001).

Resultados y discusión

La cuenca del Río Moctezuma tiene un área de 6 712.089 km² y un perímetro de 522.135 km, con un ancho promedio de 47.117 km. La cuenca tiene una longitud máxima de 142.453 km, es decir, la distancia del punto de aforo al de mayor altura, en dirección horizontal hasta llegar a donde el río principal corta el contorno de la cuenca. La cuota mínima se encuentra a una altura de 350 msnm y

la altura máxima corresponde a 2 450 msnm con una altura media de 1 309 msnm; sin embargo, dentro de la subcuenca la altura con mayor frecuencia es de 900 msnm; esto refleja la escasas

de formaciones rocosas que sobrepasen los 1 000 msnm, por lo que se tiene un área homogénea que va de la altura mínima a los 900 m sobre el nivel del mar, lo que da origen a lomeríos (figura 6).

Figura 6. Mapa del gradiente altitudinal



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el gradiente altitudinal que presenta la cuenca (véase figura 7), con fines prácticos se establecieron dos partes de la cuenca: alta y media. La alta contiene las

montañas y laderas con pendientes de muy fuertes a fuertes; en tanto que la media se constituye por valles intermontanos (INEGI, 2014).

Figura 7. Gradiente altitudinal de la subcuenca



Fuente: Elaboración propia.

Forma

Los valores de los diferentes índices de forma calculados para la subcuenca del Río Moctezuma determinan que la cuenca presenta una forma alargada, sin problemas de avenidas fuertes por fenómenos lluviosos; el tiempo de concentración de la parte alta hasta la baja es largo, sin embargo, en época de inundaciones permanecen en un mayor tiempo (cuadro 3).

Cuadro 3. Valores de índices de forma de la subcuenca Río Moctezuma

Índice de forma	Unidad	
Índice de Horton		0.33
Coefficiente de compacidad	Adimensional	1.80
Relación de elongación	Adimensional	0.65
Relación de circularidad	Adimensional	0.31

Fuente: Elaboración propia.

Relieve

La pendiente fue clasificada en seis categorías, las cuales están en función de la erodabilidad de acuerdo con las topoformas. Ante ello, el área de estudio tiene una pendiente media de 11% (cuadro 4).

En este sentido, retomando la clasificación de la Semarnat-ine, la cuenca presenta un sistema montañoso con pendientes fuertes a moderadas, mientras que la clasificación empleada por la FAO hace referencia a nueve divisiones, en la cual la pendiente media de la subcuenca determina que presenta terrenos fuertemente inclinados,

con relación a la zona de transición de lomeríos a montañas. Este análisis se sustenta con las topoformas presentes en la subcuenca, de las cuales 40% de la superficie corresponde a un sistema de montaña, cuyos valores fueron obtenidos del mapa altimétrico del relieve mexicano escala 1:250000. Las pendientes planas o cercanas al nivel se distribuyen en el centro-oeste de la subcuenca, con dirección norte-sur. Este rango de pendiente se encuentra en los valles intermontanos y en las planicies onduladas. Por otro lado, en el área de lomeríos se encuentran pendientes que van de 5 a 15%, con una distribución de oeste a este y de norte a sur, mientras que las pendientes más fuertes hacen referencia a terrenos escarpados, como es el caso de las montañas que conforman la Sierra Madre Occidental, con elevaciones mayores a 1 000 msnm (figura 7).

Cuadro 4. Gradiente de pendiente en función de erodabilidad.

ID	Gradiente de pendiente	Frecuencia	Área km ²
1	0 2	695 866	585.30
2	2 6	1 063 535	894.55
3	6 13	1 370 698	1 152.91
4	13 25	1 736 038	1 460.20
5	25 56	2 620 435	2 204.08
6	> 56	493 861	415.39
Total			6 712.44

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Mapa de pendiente de la subcuenca Río Moctezuma

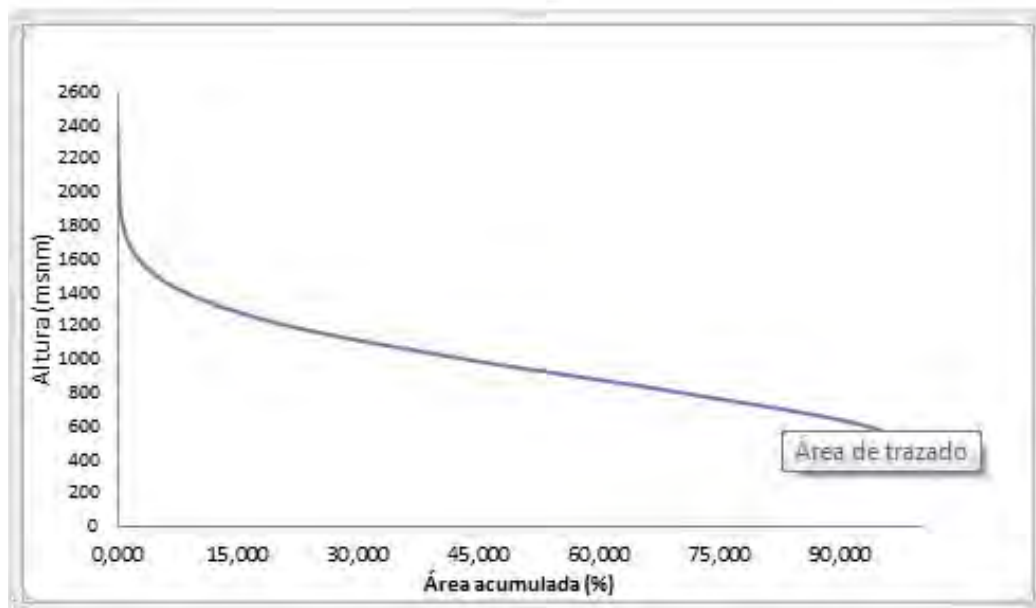


Fuente: Elaboración propia.

La curva hipsométrica corrobora la pendiente media de la cuenca en el cauce principal, pues la pendiente no presenta cambios bruscos, remitiendo el efecto hidrológico sobre las unidades edáficas, así como eventos geológicos

lejanos (figura 8). En la parte alta de la cuenca, la pendiente tiene un cambio brusco, lo que hace referencia a la presencia de plegamientos geológicos (montañas).

Figura 8. Curva hipsométrica de la subcuenca del Río Moctezuma



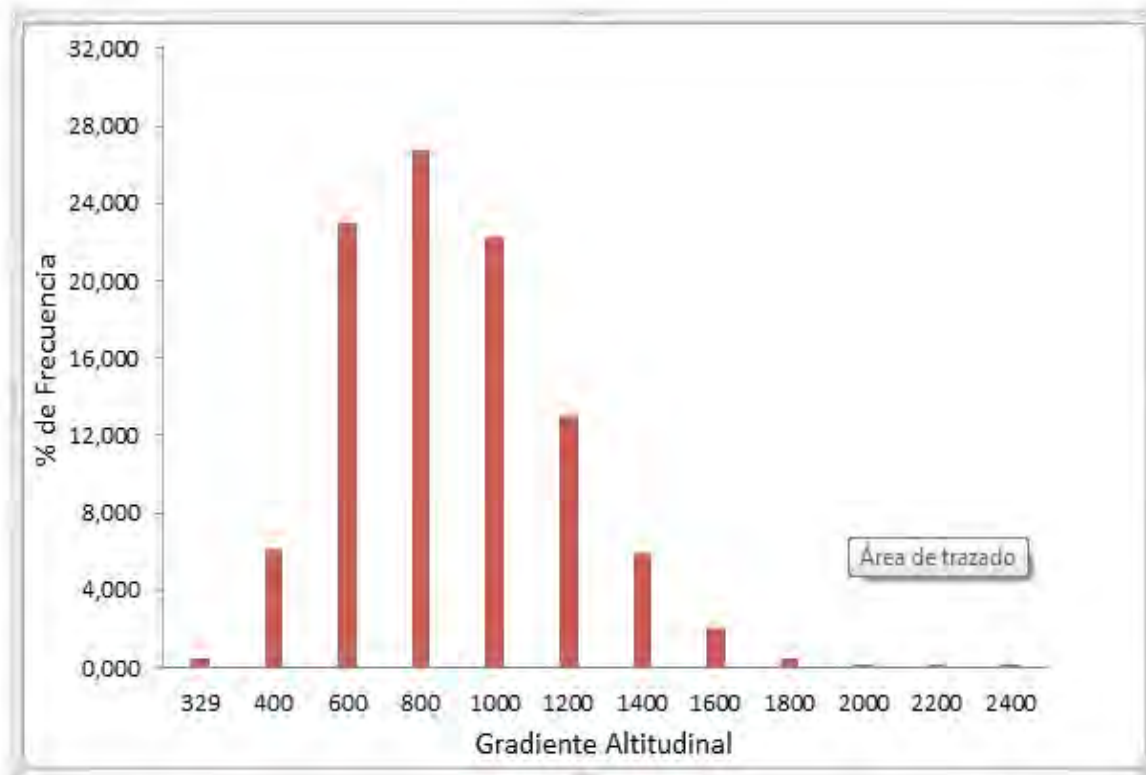
Fuente: Elaboración propia.

Frecuencia de altitudes

En la subcuenca del Río Moctezuma, a pesar de ser una unidad caracterizada por montañas, el relieve es de moderado a fuerte, lo cual resulta lo de menor relación respecto al área

por el rango altitudinal. En este sentido, la subcuenca presenta como dominante un valle intermontano, que permite tener una pendiente regular, debido principalmente a su componente geológico (figura 9).

Figura 9. Hipsograma de frecuencia relativa de altitudes en la subcuenca Río Moctezuma



Fuente: Elaboración propia.

El gradiente altimétrico es un parámetro de gran importancia en el análisis de la forma del terreno en la subcuenca, pues permite determinar las topoformas presentes, así como su distribución con relación al cauce principal. En la figura 6 se representan los rangos de altura que sustentan los valores de la pendiente, ya que se encuentra un valle intermontano, planicies acolinadas donde la pendiente es moderada (5%).

Perfil longitudinal del cauce principal

La longitud del cauce principal de la cuenca del Río Moctezuma es de 206.786 km, con una

pendiente media de 1.015%; lo anterior denota que el escurrimiento superficial en el cauce principal es lento; es un factor determinante que permite conocer el tiempo de concentración que recorre el agua desde el punto más alto de la cuenca hasta el punto de aforo de la misma.

Orden de la red hídrica

La subcuenca del Río Moctezuma presenta un orden en la red de 8, el cual determina la densidad de drenaje de acuerdo con la geología presente. De ésta se originan suelos someros

en las colinas de las montañas, lomeríos, entre otros, los cuales muestran un alto grado de fragilidad al deterioro por erosión hídrica. La

red hídrica presenta una longitud total de 15 926 km, distribuida en la subcuenca, en donde domina el del primer orden (figura 10).

Figura 10. Red hidrológica por orden del cauce



Fuente: Elaboración propia.

Pendiente del cauce principal

El orden de la red hídrica de la subcuenca del Río Moctezuma es de 8, cuyo valor se debe a la superficie del área de trabajo; sin embargo, el valor de orden de la cuenca está directamente relacionado con el relieve del terreno. Aunado a lo anterior, el alto valor del terreno permite definir subunidades para analizar los recursos con mayor precisión.

La densidad de drenaje para la cuenca del Río Moctezuma es de 2.37 km/km². El área de estudio es un área bien drenada; sin embargo, la poca precipitación presente en la cuenca, combinada con las fuertes pendientes

presentes en la mayor parte del territorio dan pauta a tener valores considerables de erosión. La longitud total de la red de drenaje es de 15 926.39 km.

Conclusiones

La caracterización de los parámetros morfológicos de la subcuenca del Río Moctezuma es un elemento fundamental para llevar a cabo el análisis del estado actual de los recursos naturales en la subcuenca y los efectos por el deterioro forestal, los cuales influyen tanto en la velocidad de escurrimiento, como en el volumen de agua infiltrado.

Los sistemas de información geográfica son una herramienta eficaz en el procesamiento, análisis y visualización espacial de los parámetros morfométricos, que permiten entender el comportamiento del flujo hidrológico. Los parámetros morfométricos dan una visión general de las características físicas relacionadas con el flujo hidrológico; sin embargo, para determinar la influencia de estos factores, es necesaria la toma de datos en campo, precisar otros parámetros y compararlos con otras cuencas. Los índices morfométricos son una herramienta que permite conocer la relación del agua con el medio físico desde la perspectiva del manejo de cuencas.

Debido a los gradientes altitudinales que presenta la cuenca, se observa que la parte alta (por encima de los 900 msnm) refleja una condición montañosa con laderas fuertes y muy fuertes, en tanto que la parte media define un valle intermontano con pendientes más suaves. Si a lo anterior le agregamos la longitud de la cuenca principal y su pendiente media, nos define un escurrimiento superficial lento, consideración fundamental para estimar comportamiento de la cuenca.

Literatura citada

- cemda. 2006. *El agua en México: lo que todas y todos debemos saber*. México: Centro Mexicano de Derecho Ambiental. En línea: [http://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2011/12/agua-mexico_001.pdf], consultado: 28 de enero de 2014.
- conabio. 2014. *Diversidad mexicana. Encinos y robles*. En línea: [http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/gran_familia/plantas/magnoliayMarg/Encinos/encinos.html], consultado: 14 de febrero de 2014.
- FAO. 2009a. *¿Por qué invertir en ordenación de cuencas hidrográficas?* Roma: FAO.
- FAO. 2009b. *Guía para la identificación de suelos*. Trad. De Ronald Vargas. Roma: FAO.
- Fuentes Junco, J. A. 2004. *Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del parque nacional pico de Tancitaro*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Gaspari, F. J., A. M. Rodríguez Vagaría, G. Senisterra, G. Denegri, S. Besteiro y M. L. Delgado. 2012. "Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina". En: *augmdomus*, núm.(4)143-158.
- Gaspari, F. J., A. M. Rodríguez Vagaría, G. Senisterra, G. Denegri, S. Besteiro y M. L. Delgado. 2013. *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. Curso de Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Buenos Aires: Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales-Universidad Nacional de La Plata.
- Gil, V., J. Gentil y A. Campo. 2009. "Influencia de la litología en la variación de los parámetros morfométricos, sistema de ventania, Argentina". En: *Papeles de Geografía*. Núm. 49-50, Bahía Blanca, Universidad Nacional del Sur-CONICET, (49)55-68.
- Gonzales, A. I. M. 2004. "Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas". En: *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. Núm. 38, pp. 311-329.
- González Piedra, J. I. 2007. "El manejo de cuencas en Cuba: actualidad y retos". En: Helena Cotler. (Comp.). *El manejo integral de cuencas de México. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. 2ª edición. México: Semarnat/Instituto Nacional de Ecología, p 21-40.
- Hernando, C. 2001. *Cuencas hidrográficas: bases conceptuales-caracterización-planificación-administración*. Ibagué: Facultad de Ingeniería Forestal-Universidad del Tolima.
- Ibáñez, A. S., H. R. Moreno, J. M. I. B. Gisbert. s/f. *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Valencia: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural-Universidad Politécnica de Valencia.
- INEGI. 2012. *Conjunto de datos vectoriales de las series topográficas y de recursos naturales escala 1:1000000*. En línea: [<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/fisiografia/infoescala.aspx>].

- Pesce, F. 2005. *Propiedades morfométricas de las cuencas hidrográficas y las implicaciones en ecología fluvial. Aportes de la hidrología morfométrica a la ecología fluvial*. En línea: [<http://tecrenat.fcien.edu.uy/Cuencas/Gestion%20Integrada%20de%20Cuencas/Aportes%20de%20la%20Hidrologia%20a%20la%20Ecologia%20Fluvial.pdf>], consultado: 2 de febrero de 2014.
- Priego, A., G. Bocco, M. Mendoza y A. Garrido. 2010. *Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisaje, fundamento y métodos*. México: Semarnat/Instituto Nacional de Ecología.
- Sánchez Barrios, S. F. 1995. *Una aproximación al proceso de planificación de cuencas hidrográficas*. Ibagué: Facultad de Ingeniería Agronómica-Universidad del Tolima.
- Vaccarino Pasquali, E. L. B., F. R. Manduca, F. S. Bizzoto y A. I. J. Vich. 2012. *Morfometría de cuencas ubicadas en el pie de monte mendocino de la precordillera*. Mendoza: Instituto de Estudios del Ambiente y Recursos Naturales-Universidad Nacional de Cuyo.
- Valtierra J. G., Domínguez M. A. 2007. *Herramienta para la caracterización geomorfológica de cuencas hidrográficas*. Centro Queretano de Recursos Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro. México. Consultado el 10 de febrero 2014 2014. http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/cong_nal_06/tema_03/16_jose_valtierra.pdf