

ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO AYUQUILA, JALISCO-MÉXICO

RUBÉN DARÍO GUEVARA GUTIÉRREZ¹, JOSÉ LUIS OLGÚN LÓPEZ¹, OSCAR RAÚL
MANCILLA VILLA², OSCAR ARTURO BARRETO GARCÍA

¹ Dep. de Ecología y Recursos Naturales del Centro Universitario de la Costa Sur de la Universidad de Guadalajara. Av. Independencia Nacional 151, Autlán de Navarro, Jalisco-México. CP 48900.

² Dep. de Producción Agrícola del Centro Universitario de la Costa Sur de la Universidad de Guadalajara. Av. Independencia Nacional 151, Autlán de Navarro, Jalisco-México. CP 48900.
rguevara@cucsur.udg.mx

RESUMEN

La descripción de las características morfométricas de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila aporta información base para la planificación estratégica del manejo de recursos naturales, así como para la realización de estudios hidrológicos. El trabajo emplea los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramienta base que permite el análisis de la cartografía digital de Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), conformando imágenes de la red de corrientes, hipsometría y pendientes, y manipulación de imágenes digitales. La cuenca, que se distribuye en 21 municipios y una superficie de 3642,43 km², se conforma por 24 cuencas tributarias, drenaje dendrítico y 10288 corrientes superficiales. Basado en 35 parámetros morfométricos se estimaron modelos de correlación, identificando la mayor dependencia en el tiempo de concentración con respecto a la longitud de la cuenca ($R^2 = 0.91$) y la proporción de elongación en relación al área de la cuenca ($R^2 = 0.83$).

Palabras clave: Cuenca, cuenca tributaria, morfometría, zonas funcionales.

ABSTRACT

The description of the morphometric characteristics of the Ayuquila river basin provides basic information for the strategic planning of the management of natural resources, as well as for the realization of hydrological studies on a spatial scale. The work uses the Geographic Information Systems (GIS) as a basic tool that allows the analysis of official digital cartography from the Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), forming images of the network of rivers, hypsometry and slopes, and manipulation of digital images. The basin that is distributed in 21 municipalities with an area of 3642,43 km², consists of 24 tributary basins, dendritic drainage and 10288 runoffs. Based on 35 morphometric parameters, correlation models

Guevara Gutiérrez, R. D., Olguín López, J. L., Mancilla Villa, O. R., Barreto García O. A. (2019): "Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p 141-158. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.622>

were estimated, identifying the greatest dependence in the time of concentration with respect to the length of the basin ($R^2 = 0.91$) and of the proportion of elongation in relation to area of basin ($R^2 = 0.83$).

Keywords: Watershed, tributary watershed, morphometry, functional zones.

Introducción

La caracterización morfométrica de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila e identificación de sus zonas funcionales, representa una fuente importante de información que aporta la base para la planificación estratégica del manejo de sus recursos naturales, así como para la realización de estudios hidrológicos, sociales y ecológicos; en este sentido, poca es la información referida a esta cuenca a nivel del estado de Jalisco – México, una fuente económica importante debido a las actividades primarias que se realizan, ya que en ella se ubica el valle agrícola y pecuario más importante de la región Costa Sur del estado. El objetivo del estudio es analizar las características morfométricas de la cuenca en relación al uso de suelo y vegetación respecto a su respuesta hidrológica e identificación de zonas de riesgo de degradación. La estructura de la revisión bibliográfica fue realizada considerando la importancia de las cuencas hidrográficas y su caracterización morfométrica en relación al comportamiento hidrológico. Los métodos empleados son basados en el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y análisis de la cartografía de INEGI. Los resultados obtenidos indican la relación de la morfometría de la cuenca e influencia del uso del suelo y vegetación sobre el comportamiento hidrológico.

Revisión bibliográfica

Las cuencas hidrográficas como territorios naturales son consideradas unidades apropiadas para conducir procesos de planificación estratégica, manejo, aprovechamiento, planeación y administración del agua, en su sentido amplio son consideradas territorios idóneos para llevar a cabo la gestión integral de los recursos hídricos (CNA, 2009; IPICYT, 2002); así como para la planeación y ejecución de proyectos y políticas en manejo ambiental (Walker *et al.*, 2006). Esta división natural, permite entender las interrelaciones entre los recursos hídricos y condiciones naturales (relieve, suelo, clima y vegetación) así como las formas en que la población se organiza para apropiarse de éstos e impactar en su cantidad, calidad y temporalidad; constituyéndose como el marco apropiado para el análisis de los procesos ambientales resultantes de las decisiones en materia de uso y manejo de los recursos naturales (Cotler, 2004). Es entonces que la morfometría de cuencas permite establecer parámetros de evaluación al funcionamiento del sistema hidrológico de una región, así como el manejo y planeación de los recursos naturales (Instituto Nacional de Ecología, 2004).

Gleason (2014), Benavides *et al.* (2009), González (2004), Campos (1987), Sánchez (1987) y Linsley *et al.* (1984) mencionan que los estudios de cuencas hidrográficas han sido establecidos para describir las principales características físicas de las mismas, a partir de las cuales se condiciona su comportamiento hidrológico, desarrollando diversos métodos de cálculo y representación de resultados, con el fin de conservar los recursos suelo, agua, así como estimar los escurrimientos (medio y máximo) como efecto directo de los eventos de la precipitación pluvial. Santos (2004) reconoce que a partir de la delimitación de cuencas a escalas menores e identificación

Guevara Gutiérrez, R. D., Olguín López, J. L., Mancilla Villa, O. R., Barreto García O. A. (2019): "Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p 141-139. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.62>

de las interacciones de eventos hidrológicos sobre la geometría de las cuencas hidrográficas se explican los sistemas de drenaje que pueden ser divididos en componentes de diferentes órdenes. Sistemas que propician la construcción de parámetros morfométricos, relacionados con los procesos de escurrimiento superficial en función de sus condiciones ambientales. Cortés *et al.* (2002) emplean estos parámetros en la formulación de programas hidrológicos forestales regionales y en la implementación de estrategias para resolver problemas de desarrollo forestal.

Vidal-Abarca *et al.* (1987) reconocen que el estudio morfométrico de cuencas fluviales basado en jerarquización de variables que componen la red fluvial, permite sistematizar la diversidad de formas de cuencas, su tipificación y cartografía de unidades territoriales; en función de estas variables, interpretan sus configuraciones con base en parámetros que dividen en propiedades lineales de las redes de drenaje para interpretar la función de transporte de agua, en características superficiales o área de captación pluvial que ayudan a la interpretación de la dinámica de cuencas.

En el presente análisis se describe la morfometría fluvial de la cuenca del río Ayuquila, se denotan propiedades geométricas de la superficie del sistema, identificando los componentes básicos: 1) Sistema de cauces, 2) Propiedades superficiales, 3) Relieve del sistema fluvial y 4) Vertiente de cauces (Strahler, 1986). Relacionados a la apariencia del paisaje, fenómenos que ocurren y como prerequisite esencial en la aplicación de levantamientos edafológicos, forestales, geológicos e hidrológicos. Basado en los valores estimados de cada parámetro morfométrico, se identifica la relación entre éstos a través de modelos lineales, apoyados en mapas como herramienta importante en la planificación del territorio (Benavides *et al.*, 2009).

Área de estudio

La cuenca del río Ayuquila se encuentra ubicada en la provincia Sierra Madre del Sur y subprovincias Sierras de Jalisco y Colima, México, en las coordenadas geográficas 19°26'43" a 20°04'31" norte y 103°56'53" a 104°42'51" oeste, distribuida en 21 municipios del Estado de Jalisco y constituida por 24 cuencas tributarias (Figura 1), con una población aproximada de 115 555 habitantes, de las cuales el municipio de Autlán de Navarro concentra 36 % y El Grullo 16.7 % (INEGI, 2005). Dentro de esta cuenca se localizan presas de importancia para el desarrollo agrícola y económico de la región (Trigomil, Tacotán y Basilio Badillo o "Las Piedras" con capacidad de 250 Mm³, 149 Mm³ y 145 Mm³ respectivamente), que benefician a 19 986 ha en los municipios de Autlán de Navarro, El Grullo y El Limón en beneficio de 2521 familias (CNA-SARH, 1992).

Guevara Gutiérrez, R. D., Olgún López, J. L., Mancilla Villa, O. R., Barreto García O. A. (2019): "Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p 141-139. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.62>

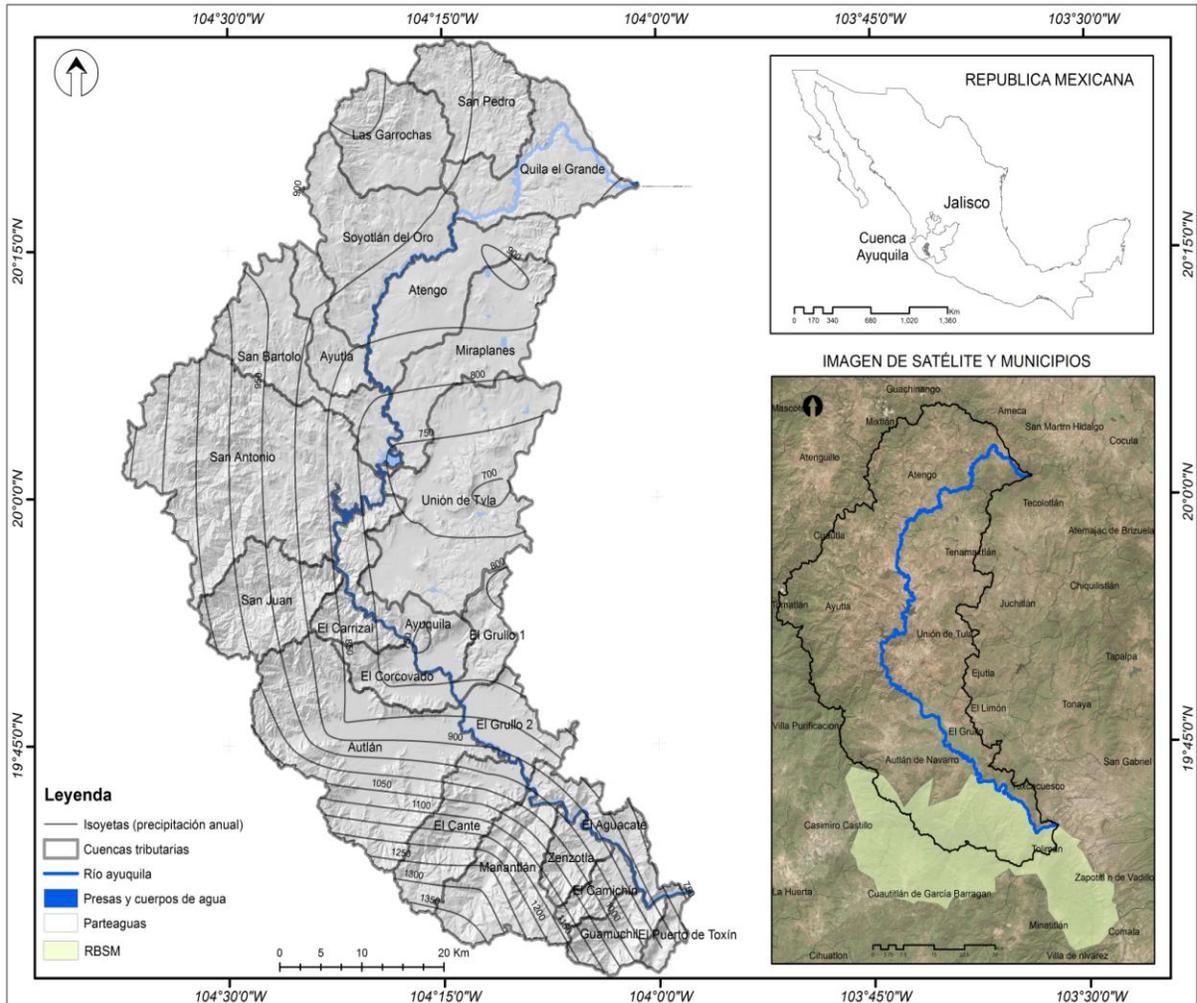


Figura 1. Localización de la cuenca del río Ayuquila.

Marco metodológico

La delimitación de la cuenca hidrográfica fue en consideración al escurrimiento principal a través de la identificación del parteaguas a nivel cartográfico empleando 12 cartas digitales escala 1:50.000 impresas por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (Autlán E13B12, El Grullo E13B13, Tapalpa E13B14, Casimiro Castillo E13B22, El Chante E13B23, Venustiano Carranza E13B24, Atenguillo F13D72, Atengo F13D73, Cocula F13D74, Ayutla F13D82, Tecolotlán F13D83 y Atemajac de Brizuela F13D84) digitalizadas a mano en el programa ATLAS GIS (V. 2.1), editadas en los programas ARC GIS (V. 9.3) e IDRISI (V. 2.0) a partir de los que fueron estimados los parámetros morfométricos de la cuenca (Tabla 1). Se consideraron curvas a nivel cada 20 metros con las que se construyeron imágenes vectoriales con extensión DXF representadas como líneas en el sistema de referencia UTM-13N y unidad de referencia a un metro como unidad de distancia, así como coberturas digitales (modelo digital de elevación, pendiente e

Guevara Gutiérrez, R. D., Olguín López, J. L., Mancilla Villa, O. R., Barreto García O. A. (2019): "Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p 141-139. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.62>

hidrología) con lo que se analizó y definió las zonas altimétricas a partir de la expresión gráfica de sus datos (curva hipsométrica) y de las que se identificaron las zonas funcionales, generada a partir de criterios morfográficos (curvas de nivel y red hidrográfica) y de relieve (modelo digital de elevación) y apoyados con herramientas de análisis espacial de los sistemas de información geográfico (Garrido *et al.*, 2010). Debido a que la hidrología de las cuencas tributarias de Autlán y El Grullo están conectados al sistema de riego, se realizó la reclasificación del sistema de corrientes principales mediante verificaciones de campo. Finalmente se estimaron los modelos de predicción y correlación de los parámetros morfométricos a través de la regresión lineal empleando como criterio de selección el coeficiente de determinación $R^2 \geq 0.5$ y de similitud entre parámetros mediante la prueba de Tukey (Martínez, 1988).

Tabla 1. Modelos para la obtención de los parámetros físicos y de relieve de la cuenca.

Parámetro	Fórmula	Parámetro	Fórmula
Número de Orden	Strahler	Pendiente Media	IDRISI
Altura Media	$hm = \frac{Ac}{Lc}$	Coficiente de Masividad	$Cm = \frac{hm}{A}$
Índice de Compacidad	$Ic = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	Coficiente Orográfico	$Co = \frac{hm}{A} hm$
Relación de Bifurcación	$Rb = \frac{Nc}{Na + 1}$	Coficiente de Rugosidad	$Rn = R Dd$
Densidad de Drenaje	$Dd = \frac{Le}{A}$	Tiempo de Concentración	$Tc = 0.02 \frac{L^{1.15}}{H^{0.385}}$
Frecuencia de corrientes	$F = \frac{\sum_1^k Nu}{A}$		

hm, altura media de la cuenca; *Ac*, área bajo la curva hipsométrica; *Lc*, longitud máxima de la cuenca; *Ic*, Índice de compacidad; *P*, perímetro de la cuenca; *Rb*, relación de bifurcación; *Nc*, número de escurrimientos de orden determinado; *Na*, Número de escurrimientos de orden inmediato superior; *Dd*, Densidad de drenaje; *Le*, longitud total de cauces; *A*, área de la cuenca; *Cm*, coeficiente de masividad; *Co*, Coeficiente orográfico; *Rn*, Coeficiente de rugosidad; *R*, relieve; *Tc*, tiempo de concentración; *L*, longitud del escurrimiento principal; *H*, diferencias de elevación entre cotas extremas.

Resultados y discusión

La cuenca del Río Ayuquila tiene una superficie de 3642,4 km², 0,44 % son cuerpos de agua, 0,62 % es uso urbano, 18,32 % uso pecuario, 21,1 % agrícola y 59,52 % vegetación perenne y selvas (Figura 2); una proporción de esta superficie se encuentra protegida por el régimen especial de Reserva de Biosfera, concentrada en la vertiente suroeste de la cuenca baja, en ella se observa el desarrollo de actividades agropecuarias en las áreas de amortiguamiento y núcleo. Por el desagüe de sus escurrimientos la cuenca es considerada exorreica, constituida por 24 cuencas tributarias y 10 288 corrientes que conforman el modelo tridimensional de elevación.

Guevara Gutiérrez, R. D., Olguín López, J. L., Mancilla Villa, O. R., Barreto García O. A. (2019): "Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p 141-139. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.62>

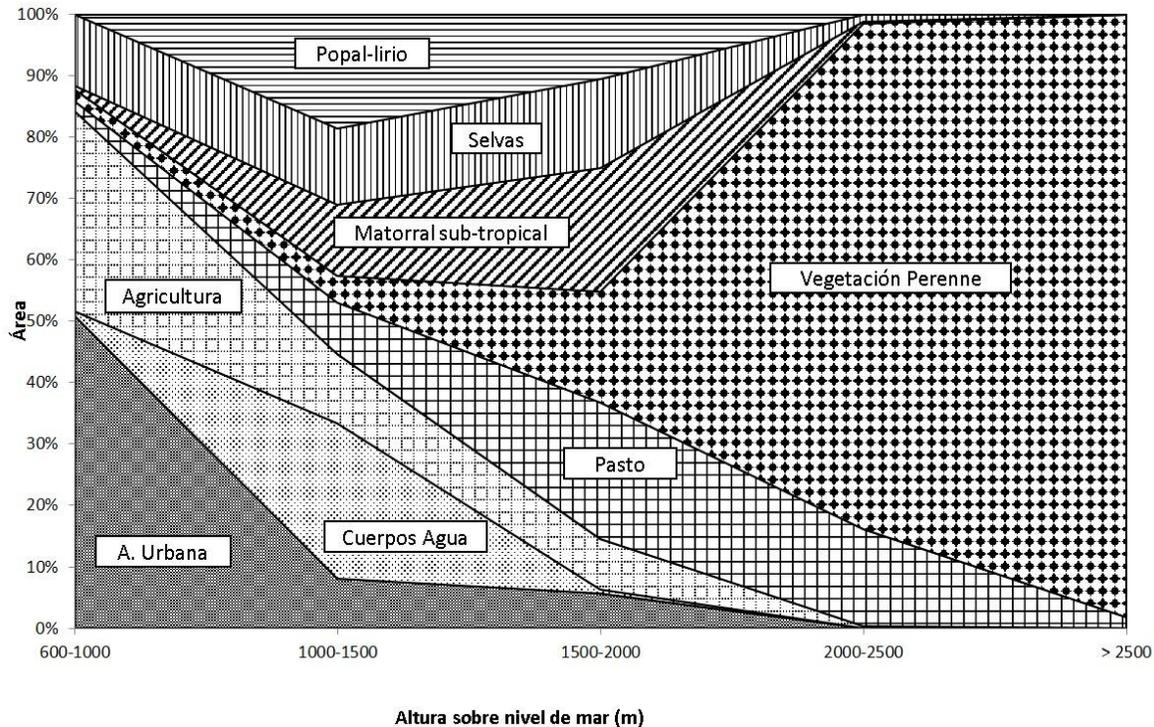


Figura 2. Distribución de uso del suelo con base a rangos altitudinales.

La longitud estimada de la cuenca es de 8893,58 km y orden de corrientes 7 lo que manifiesta la energía producida dentro del sistema (Pozo y Elozegi, 2009); la densidad de drenaje 2,44, frecuencia de corrientes 2,82 y relación de bifurcación 3,58 valores que indican que la energía y eficiencia de la red hidrológica favorece el drenaje y captación del escurrimiento, así como su potencial erosivo (INE-SEMARNAT- PLADEYRA, 2003) que sumados al bajo coeficiente de masividad (0,02) reflejan entornos característicos de zonas de montaña de suelos erosionables, taludes fuertes principalmente cuenca media y alta, de rápida respuesta hidrológica (Linsley *et al.*, 1984; Gleason, 2014), influido por el modelo de drenaje dendrítico y sub dendrítico, conformados por una corriente principal e irregulares taludes del terreno (Sánchez, 2008) predominio de órdenes 1 y 2 que forman barrancas o cárcavas constituidas de rocas ígneas (extrusivas e intrusivas, basalto y toba) y suelos aluviales (Guerra, 1980; Strahler, 1986; INE, 2004). Estas características asociadas a la dimensión de la cuenca y tipo de suelo, condicionan la respuesta y velocidad del escurrimiento (Gleason, 2014), que define la capacidad de expansión de la red de drenaje y su relación de bifurcación (Doffo y González, 2005). En consideración a la relación de bifurcación, Sánchez (1991) menciona que este parámetro determina la rapidez de ondas de crecida y ante ello el grado de peligrosidad de la cuenca, basado en la estimación realizada para la cuenca del río Ayuquila, Gleason (2014) manifiesta que ésta corresponde a una cuenca altamente disectada de respuesta rápida a tormentas (proporcional en relación a la pendiente y escurrimiento) de suelos permeables y poco resistentes a la erosión.

En referencia a los gradientes de forma y tamaño de la cuenca Vidal-Abarca *et al.* (1987) comentan que éstos responden a factores topográficos, relieve y tipología del sustrato, siendo la cuenca del río

Guevara Gutiérrez, R. D., Olguín López, J. L., Mancilla Villa, O. R., Barreto García O. A. (2019): "Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p 141-139. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.62>

Ayuquila de forma alargada (rectangular) representativa de sectores montañosos con áreas deprimidas y llanas. Doffo y González (2005) comentan que la forma de la cuenca está estrechamente relacionada con las formas de la red de corrientes y su grado de expansión que permite realizar inferencias a cerca del estado de equilibrio de la red. Basado en el índice de forma (0,52), la relación de elongación (0,79) y el índice de compacidad (1,75) se considera que la cuenca es de forma oval-oblonga, longitud del río principal de 21,8 km y pendiente promedio 22 %, con tiempo de concentración superior a 120 minutos, lo que reduce el riesgo de inundación, sin afectar el hidrograma de escorrentía y las tasas del flujo máximo (Linsley *et al.*, 1984), lo que propicia una respuesta hidrológica difusa dependiendo de los cauces directos y de las dimensiones de las cuencas tributarias a lo largo del trayecto del escurrimiento principal (González, 2004). En zonas de aforo (cuenca media y baja) se reduce la superficie y los hidrogramas presentan variaciones en el tiempo (Welcomme, 1980), alcanzando valores superiores a 582,9 Mm³ de volumen medio que se concentra en la cuenca media, saliendo rápidamente de la cuenca baja debido a su forma estrecha y alargada, aumentando la peligrosidad de crecidas debido a los incrementos de rangos de pendientes (30 % y > 45 %) y a la distancia existente entre los puntos del parteaguas con respecto a eje central, que afecta el tiempo de concentración del escurrimiento (Sánchez, 1987). Basado en los resultados se supone el dominio del flujo en el cauce sobre el flujo de ladera con lo que se registra menor tiempo de respuesta al crecimiento del hidrograma (tiempo pico).

Campos (1987) y Becerra (1999) reconocen que este efecto se incrementa debido a los valores de pendiente media de la cuenca (63,5 %), altura media (1507,14 metros) y proporción de relieve (82,9), respuesta regulada por la presa Trigomil ubicada en la cuenca media dentro del municipio de Unión de Tula y modificado por las diferentes coberturas de uso y cambio de patrón de uso de suelo, deforestación, tipo de suelo y clima. En este sentido Linsley *et al.* (1984) establecieron que el incremento de las crecientes está condicionado por la estructura vegetal en interacción con la conformación litológica resistente y permeable que favorecen la infiltración de la precipitación pluvial al reducir el efecto de la energía cinética de la escorrentía superficial que se integra en la red fluvial. No obstante, se considera que la pendiente media de la cuenca es un parámetro que proporciona la caracterización del relieve, que está estrechamente relacionada al fenómeno erosivo del suelo, a la infiltración, al escurrimiento superficial y humedad del suelo; conforme la pendiente de la cuenca se incrementa en su origen, persiste la posibilidad del incremento de inundaciones y erosión fluvial en zonas de depósito de la cuenca media y baja. Slesak *et al.* (2015) remarcan el incremento del proceso de erosión del suelo en laderas debido a la extracción de madera y aplicación de técnicas de preparación del suelo.

La cuenca del río Ayuquila se divide en vertientes oeste (VW) con rango altitudinal de 988 a 2385 m de superficie 2251,8 km² y vertiente este (VE) de 1087 a 1889 m superficie de 1390,6 km². Con base a este rango altitudinal la mayor variación climática y ecológica se observa en la VW (Ruíz *et al.*, 2002; Martínez y Castillo, 1996). La orientación de cada relieve impone la dirección de la red fluvial con alto grado de jerarquización de cauces (superior a 4) y número de escurrimientos respectivo de 6,891 y 3,397; la ramificación de la red de drenaje para VW es de 5916,234 km y 2977,349 km en VE, densidad de drenaje superior a 2, estrechos y escasa longitud, valores que conforman una morfología hidrológica tipo continental. Doffo y González (2005) reconocen que esta morfología es influenciada por la estructura y litología del terreno ya que 80 % de la cuenca es constituida por rocas ígneas, condiciones que en la cuenca media y alta tienden a reducir las rápidas crecidas pero no en la cuenca baja ya que se caracteriza por su forma estrecha, baja ramificación y jerarquización del drenaje. Basado en la carta topográfica (1:50 000) editada por el Instituto

Guevara Gutiérrez, R. D., Olguín López, J. L., Mancilla Villa, O. R., Barreto García O. A. (2019): "Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p 141-139. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.62>

Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), más del 95 % de los cauces son intermitentes o temporales.

Las pendientes promedio en las vertientes son de 27 % para VW y 14 % en VE, más del 50 % de las secciones transversales están representadas por valores superiores a 20 %, parámetro base y limitante para establecer estrategias en la solución de problemas de riesgos de deterioro y efecto de la degradación, acelerados por el manejo inapropiado de los recursos naturales no renovables, como el cambio de uso de suelo y vegetación (arbórea principalmente) al implementar las actividades agrícola y pecuaria, uso que se distribuye en diferentes altitudes y rangos de pendiente pero principalmente en rangos de 0 a 15 % (95 128 ha), de 15 a 30 % predominan las selvas (34 642 ha) y de 30 % a >45 % la vegetación perenne (60 457 ha) (Figura 3); estos últimos rangos corresponden a la cabecera de la cuenca en la que se da la mayor captación de precipitación pluvial, donde nacen los ríos que fluyen por elevadas pendientes, lo que ayuda a regular y distribuir el agua y en donde se registra la mayor presión sobre los bosques por la deforestación. Jardel (1992) reconoció que el principal impacto de la agricultura está por debajo de los 2000 m.s.n.m.; el CIGA- UNAM (2012) identificaron que en el periodo 1995 a 2010 la cuenca del río Ayuquila perdió más de 30,000 ha de selvas bajas y más de 11 mil hectáreas de bosque, con el respectivo incremento de pastizales y agricultura. Este proceso reconoce Faminow (1998) acelera la degradación del suelo en más de 12,3 millones de hectáreas a nivel mundial. Este cambio de uso del suelo y la agricultura de ladera ha producido la deforestación de más de 600 mil hectáreas al año, superficie considerada con la mayor susceptibilidad a ser erosionada debido al factor de longitud y grado de inclinación del terreno (Lal, 2000). Quiñones y Dal Pozzo (2005) identificaron incremento de los riesgos de degradación en pendientes superiores a 50 %. Factores que, en interacción a características de vegetación y litología impermeable, reducen la infiltración del suelo e incrementan la fricción de la escorrentía superficial incrementando con ello la ocurrencia de mayores tasas erosivas (Gómez-Pompa y Burley, 1991). La relación de uso del suelo respecto a la tipología morfométrica mencionan Vidal-Abarca *et al.* (1987) es inversamente proporcional en relación a la conservación y explotación de los recursos con respecto a unidades pequeñas de relieve abrupto y cauces permanentes, conservándose en ellos relictos boscosos en más del 80 %.

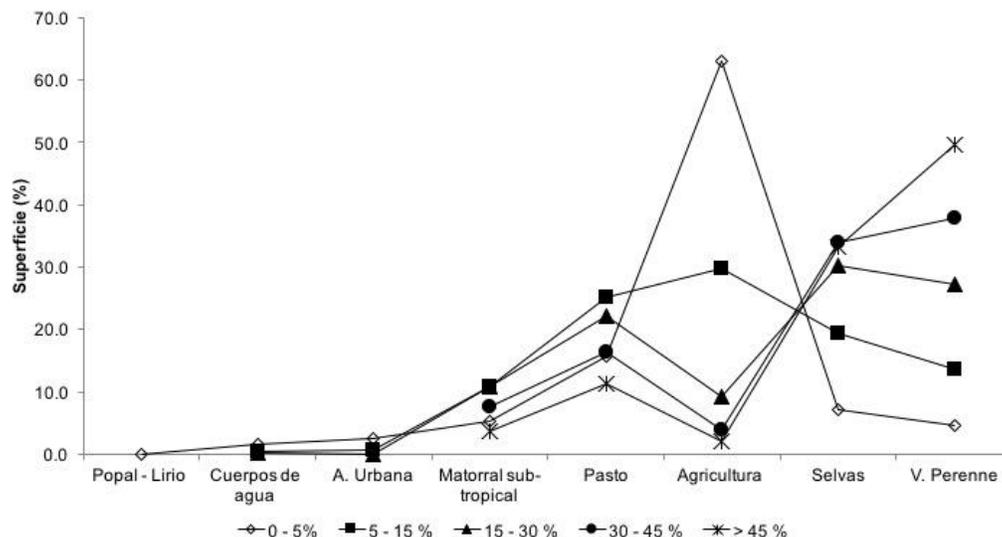


Figura 3. Distribución del uso del suelo con base a rangos de pendiente.

Guevara Gutiérrez, R. D., Olguín López, J. L., Mancilla Villa, O. R., Barreto García O. A. (2019): "Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p 141-139. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.62>

Con los valores de hipsometría y pendiente media, se reafirma que la cuenca es representativa de zonas de montaña o cabeceras de cerro en la mayoría de la superficie (cuenca media y alta) zonas de captación donde nacen las corrientes superficiales que por sus condiciones morfológicas presentan mayor fragilidad hidrológica (García *et al.*, 2003), valores que permiten conocer las variaciones de las curvas por presentar más de un punto de inflexión (Campos, 1987) y que se relacionan a controles tectónicos o litológicos (Racca, 2007). El perfil longitudinal de la cuenca (Figura 4) representa un relieve irregular dominado por pendientes superiores a 15 % y en el que se pueden diferenciar dos etapas de desarrollo, la primera es una etapa de equilibrio identificada entre 1550 a 2860 m.s.n.m. (53 % de la superficie) considerada como una cuenca de pie de montaña, pero con tendencia a ser una cuenca erosionada o de valle, dominada por vegetación perenne y en menor proporción por desmontes con fines pecuarios y pequeñas áreas de agricultura de subsistencia. La segunda etapa es identificada como una cuenca geológicamente joven o en equilibrio, ubicada entre 648 a 1550 m.s.n.m. (47 % de la superficie) en donde predomina la actividad agrícola, así como el matorral subtropical que se incrementa a partir de los 1500 m hasta 2000 m.

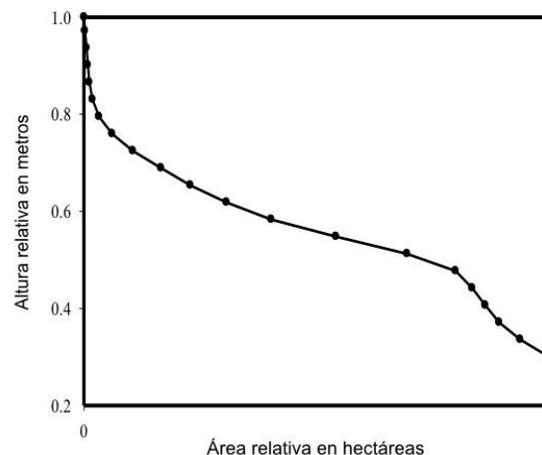


Figura 4. Curva hipsométrica representativa del ciclo geológico.

Una de las propuestas para la delimitación y estudio de cuencas hidrográficas es el establecido por Garrido *et al.* (2010) a partir de éste, se identificaron tres zonas funcionales en la cuenca del río Ayuquila (Figura 6). Cuenca alta (zona limítrofe) con superficie de 143 852,24 ha (39.4 %) de proporción altimétrica sobre el nivel del mar de 1600 a 2880 m, hidrología caracterizada por predominar corrientes de primer y segundo orden que evidencia procesos fluvio-erosivos asociado a fuertes pendientes y de mayor cobertura forestal, no obstante se observan áreas con bajo rango de pendiente, que frecuentemente son deforestadas. La cuenca media (área de transición) se distribuye sobre una superficie de 200 411,08 ha (54.8 %) con rango altitudinal de 1000 a 1600 m.s.n.m., pendientes predominantes de 15 a 50 % en más de 60 % de la superficie, su sistema de drenaje se integra en mayor proporción por disecciones de segundo a cuarto orden; en esta zona se observa la mayor área de deposición correspondientes a zonas de producción agrícola (valle de los municipios de Autlán de Navarro, El Grullo y El Limón). Finalmente la cuenca baja es distribuida sobre 21 238,32 ha, considerada el área de salida del sistema de drenaje, altimétricamente es la porción más

Guevara Gutiérrez, R. D., Olguín López, J. L., Mancilla Villa, O. R., Barreto García O. A. (2019): "Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p 141-139. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.62>

baja que comprende planicies de inundación (670 a 1000 m.s.n.m.), abarca las terrazas fluviales y lechos ordinarios, caracterizada por ser estrecho en la desembocadura, pero debido a su irregularidad topográfica tiene elevados flujos de energía con escasas zonas de deposición (Figura 5).

En el afán de buscar modelos que expliquen las asociaciones entre parámetros y diferencias entre cuencas tributarias, fueron correlacionados 14 parámetros morfométricos, considerándose sólo aquellos que reflejaron una $R^2 \geq 0,50$. Se identificaron siete de ellos dependientes a más de un parámetro, sobresaliendo la proporción de elongación dependiente a ocho de los 14 y el tiempo de concentración dependiente a seis (Tabla 2). Los parámetros que con mayor frecuencia están correlacionados a otros son el área $R^2 = 0,93$ en referencia a longitud de escurrimientos; número de escurrimientos $R^2 = 0,98$ en relación a longitud de escurrimientos; el coeficiente de masividad con $R^2 = 0,97$ respecto al coeficiente orográfico y longitud del escurrimiento principal $R^2 = 0,71$ en relación a longitud de la cuenca.

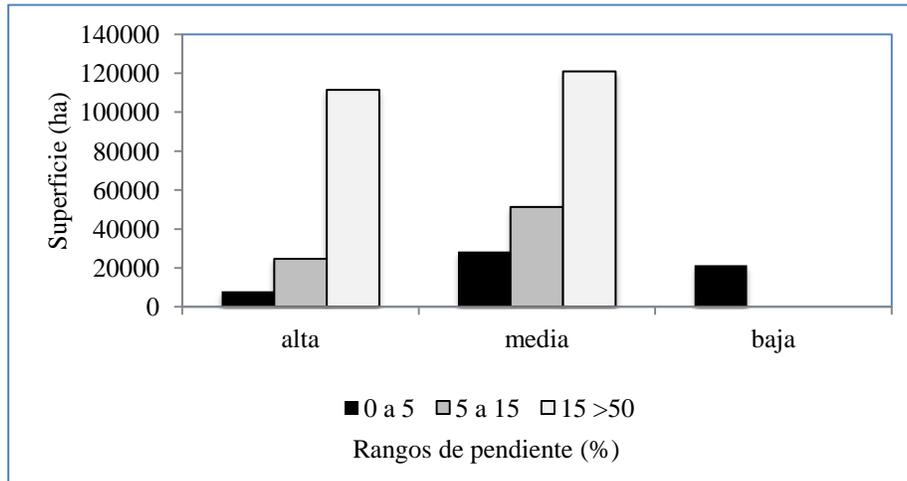


Figura 5. Distribución de rangos de pendiente por zona funcional.

Guevara Gutiérrez, R. D., Olguín López, J. L., Mancilla Villa, O. R., Barreto García O. A. (2019): "Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p 141-139. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.62>

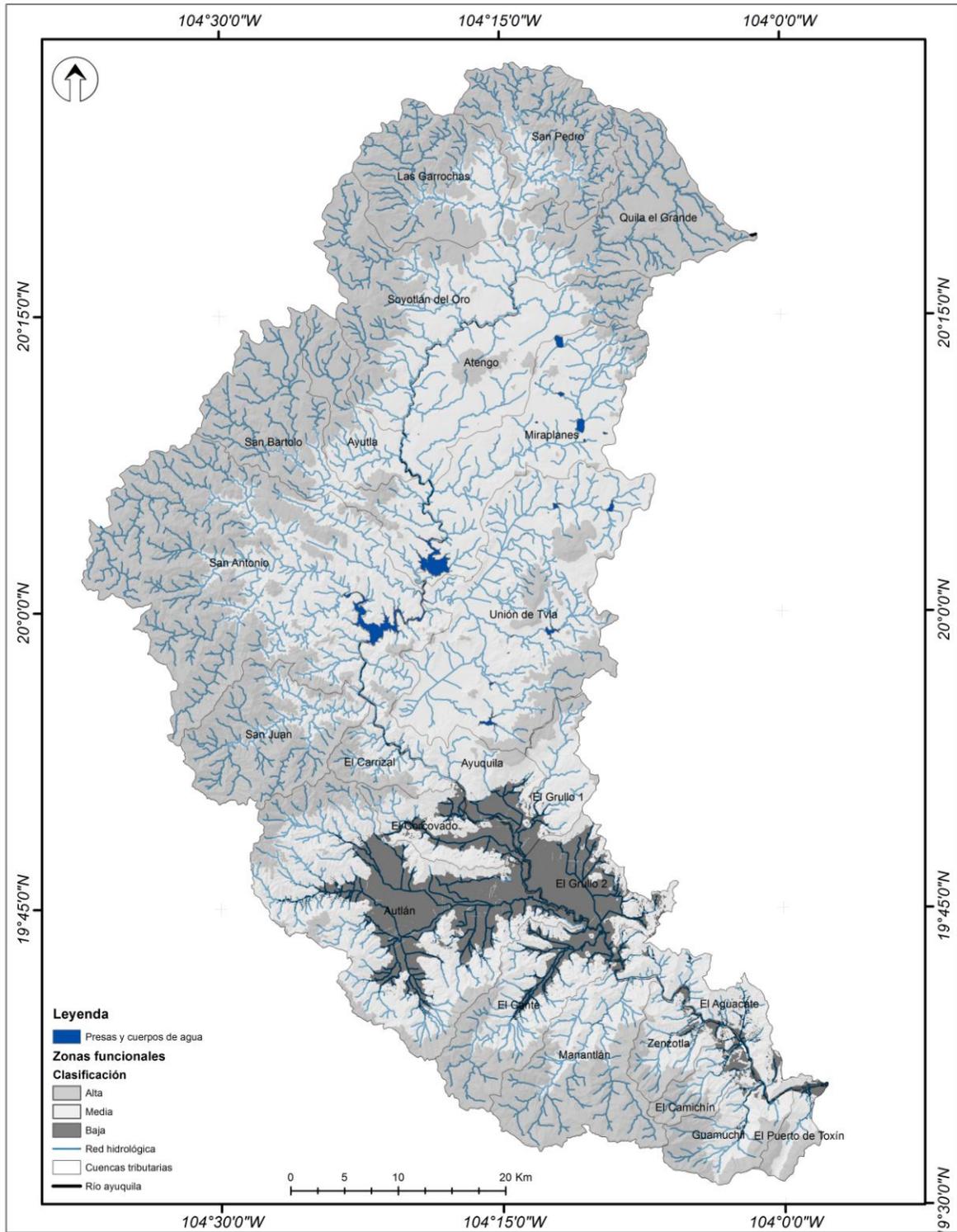


Figura 6. Zonas funcionales de la cuenca del río Ayuquila.

Guevara Gutiérrez, R. D., Olguín López, J. L., Mancilla Villa, O. R., Barreto García O. A. (2019): "Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p 141-139. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.62>

Tabla 2. Modelos de correlación de parámetros morfométricos.

Variable dependiente	Variable Independiente	Modelo	R ²
Longitud de escurrimientos	Número de escurrimientos	$Y = 1,2425 X - 31,761$	0,98
	Área	$Y = 0,359 X - 18,501$	0,93
	Longitud de la cuenca	$Y = 0,0153 X + 11,435$	0,57
Relación de elongación	Índice de forma	$Y = 1,3649X - 0,5571$	0,98
Coefficiente orográfico	Coefficiente de masividad	$Y = 0,6259X + 0,0006$	0,97
Número de escurrimientos	Área	$Y = 0,2811X + 31,283$	0,90
Proporción de longitud de escurrimientos	Coefficiente orográfico	$Y = 5,4246 X - 5,4232$	0,63
	Coefficiente de masividad	$Y = 3,0448 X - 3,0436$	0,87
Proporción de circularidad	Índice de compacidad	$Y = -0,3301X + 0,926$	0,88
Densidad de drenaje	Densidad hidrológica	$Y = 1,4603X - 0,7527$	0,71
Pendiente de la cuenca	Longitud de escurrimientos	$Y = -8,2752 X - 237,3$	0,69
	Número de escurrimientos	$Y = 10,257 X - 324,8$	0,67
	Coefficiente de masividad	$Y = - 0,0003 X + 0,041$	0,58
	Longitud del escurrimiento principal	$Y = 0,268 X + 2,0938$	0,54
Densidad hidrológica	Constante del mantenimiento del canal	$Y = -6,661X + 5,5515$	0,54
Proporción de elongación	Área	$Y = -0,0002X + 0,6174$	0,83
	Perímetro	$Y = 0,0008X + 0,6449$	0,82
	Coefficiente de masividad	$Y = 1,8614X + 0,5528$	0,75
	Proporción longitud de escurrimiento	$Y = 0,1241X + 0,9325$	0,71
	Longitud de escurrimientos	$Y = -9002X + 5617,7$	0,71
	Número de escurrimientos	$Y = -11059X + 6874,8$	0,68
	Longitud del escurrimiento principal	$Y = -311,18X + 203,6$	0,62
	Coefficiente orográfico	$Y = 0,7671X - 0,4187$	0,59
Tiempo de concentración	Longitud de la cuenca	$Y = -0,1353X + 3,2827$	0,91
	Perímetro	$Y = 0,611X + 10,97$	0,75
	Longitud del escurrimiento principal	$Y = 0,2105X + 0,269$	0,67
	Proporción de relieve	$Y = -1,0265X + 187,74$	0,66
	Proporción de elongación	$Y = -0,0005X + 0,6369$	0,65
	Área	$Y = 1,9227X - 44,68$	0,54
Longitud de la cuenca	Perímetro	$Y = 4,2952X - 0,0094$	0,75
	Longitud del escurrimiento principal	$Y = 1,535X - 4,4739$	0,71
	Proporción de elongación	$Y = -0,0038X + 0,6482$	0,68
	Área	$Y = 14,637X - 98,592$	0,63
	Número de escurrimientos	$Y = 45,956x - 357,38$	0,55
Proporción de relieve	Longitud de la cuenca	$Y = 0,4631X + 7,0167$	0,71
	Longitud de escurrimientos	$Y = 7,7669X - 17,404$	0,59

Guevara Gutiérrez, R. D., Olguín López, J. L., Mancilla Villa, O. R., Barreto García O. A. (2019): "Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p 141-139. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.62>

Número de escurrimientos	Y=25,253X-121,38	0,55
Área	Y=20,08X-66,802	0,55

Las diferencias observadas entre valores promedio y el incremento de la desviación estándar, hacen suponer diferencias entre parámetros morfológicos de las cuencas tributarias (Tabla 3), respuesta que es confirmada en el ANOVA (Tabla 4).

Tabla 3. Estadística descriptiva de parámetros morfométricos de las 24 cuencas tributarias.

Parámetros	Media	Desv. Std	Error Std.	Mediana	25%	75%	Sesgo	Kurtosis
Área	151,768	117,009	23,884	141,416	68,942	180,834	1,626	2,615
Altitud	1507,135	263,97	53,883	1548,819	1394,482	1703,749	-0,888	0,22
Ind. Comp.	1,76	0,316	0,0644	1,687	1,578	1,831	1,072	1,041
Nº esc.	428,667	393,837	80,392	330,000	170,000	519,000	2,166	6,034
Long. Esc.	370,566	313,543	64,002	296,231	164,383	438,643	2,093	5,095
Long. Esc. Ppal.	21,781	11,525	2,353	19,908	11,053	29,571	0,543	-0,538
Long. Esc. Medio	0,949	0,244	0,0499	0,892	0,803	1,006	2,561	8,285
Den. Drenaje	2,365	0,483	0,0986	2,412	2,022	2,696	-0,0258	-0,238
Den. Hidrológica	2,659	0,844	0,172	2,554	2,082	3,117	0,469	-0,356
Rel. Bif.	3,586	0,466	0,095	3,55	3,33	3,857	0,226	-0,348
Orden	4,542	0,833	0,17	4,50	4,00	5,00	0,103	-0,371
Pend. Med.	22,036	11,84	2,417	20,992	12,19	33,244	0,426	-0,916
Rel. Elong.	0,789	0,196	0,0399	0,772	0,633	0,919	0,683	-0,43
Prop. Relieve	82,854	56,475	11,528	59,215	46,53	97,844	1,264	-0,0494
Coef. Mas.	0,0158	0,0141	0,00288	0,01	0,01	0,02	1,737	3,294
Coef. Orog.	0,0285	0,0294	0,00601	0,02	0,01	0,035	1,907	2,579
Num. Rug.	2876,003	1435,739	293,069	2265,553	1801,831	3846,271	0,575	-0,974
Long. Cca.	17,104	6,331	1,292	16,513	12,175	22,1	0,182	-0,893
Tiempo de concentración	102,172	44,664	9,117	97,289	71,081	141,703	0,152	-0,971

Las diferencias entre pares, se realizó mediante la comparación múltiple a través Tukey ($\alpha = 0,05$) observándose diferencias entre algunos parámetros y similitud entre otros, por consecuencia se establece que en los primeros no existe influencia en el incremento numérico, y en el segundo grupo refleja influencia numérica entre parámetros (Tabla 5). Ejemplo de ello es lo manifiesto por Díaz-Delgado *et al.* (1999) y González (2004) los que identifican la influencia de la forma alargada de la cuenca y la superficie de la cuenca sobre el tiempo de concentración del escurrimiento y en la intensidad de los caudales máximos hacia la salida de la misma.

Tabla 4. Aplicación del ANOVA de parámetros morfométricos.

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	18	222166426,4	12342579,24	97,564	<0,001
Residual	437	55283583,29	126507,056		
Total	455	277450009,7			

Conclusiones

El análisis morfométrico de la cuenca como unidad natural de estudio permite establecer criterios de evaluación que facilitan el entendimiento de su funcionamiento que impactan en la planeación, manejo y uso de sus recursos, fungiendo como una base para el análisis integrado de cuencas hidrográficas.

La conformación morfológica del sistema natural, se considera es alterado por un complejo aparato político-social que a nivel municipal influye en la modificación del uso del suelo y cobertura vegetal, que repercute en la dinámica de la energía captada en la red fluvial, esta respuesta es condicionada por las características físico-topográficas de la cuenca, pero en específico por sus propiedades morfométricas (superficie de captación, forma, pendiente media, relieve y la conformación de la red hidrológica, principalmente sus cauces directos) y dimensiones de cuencas tributarias al escurrimiento principal, condicionando así la velocidad y volumen de los flujos superficiales, adicional de las presas hidráulicas que en ella se encuentran.

En consideración a las zonas funcionales de la cuenca, se considera que las elevadas pendientes que dominan las zonas alta y media, son caracterizadas en su perfil longitudinal al considerarse estar en etapa de equilibrio, con tendencia en su parte baja hacia una cuenca de valle, estas zonas presentan importantes cadenas montañosas que registran constantes cambios de uso del suelo (agrícola principalmente) y de vegetación, manifestados en diferentes gradientes altitudinales y de pendiente lo que favorece la velocidad de los flujos superficiales, el aumento del proceso erosivo y deposición de sedimentos en la zona baja.

La red de drenaje está representada por su elevado grado de jerarquización y ramificación de tipo dendrítico y subdendrítico que influye en la respuesta hidrológica de la cuenca, pero condicionada por el material permeable que conforman el suelo, la cobertura vegetal boscosa en la zona alta y la actividad agrícola y pecuaria en la cuenca media y baja principalmente.

Guevara Gutiérrez, R. D., Olguín López, J. L., Mancilla Villa, O. R., Barreto García O. A. (2019): "Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p 141-139. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.62>

Tabla 5. Comparación múltiple entre parámetros morfométricos a través Tukey ($\alpha = 0.05$).

Parámetro	A	Al	IC	NE	LEP	LEM	DD	DH	RB	OC	PM	RE	PR	CM	CO	CR	LC	TC	LE
A	■		Si		Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si		Si	Si	
Al	No	■	No		No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No		No	No	No
IC			■			Si						Si		Si	Si				
NE	Si		No	■	No	No	No	No	No	Si	No	No	Si	No	No		No	Si	Si
LEP			Si		■	Si	Si	Si	Si	Si		Si		Si	Si		Si		
LEM						■						Si		Si	Si				
DD			Si			Si	■					Si		Si	Si				
DH			Si			Si	Si	■				Si		Si	Si				
RB			Si			Si	Si	Si	■			Si		Si	Si				
OC			Si			Si	Si	Si	Si	■		Si		Si	Si				
PM			Si		Si	Si	Si	Si	Si	Si	■	Si		Si	Si		Si		
RE											Si	■		Si	Si				
PR			Si		Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	■	Si	Si		Si		
CM														Si					
CO															Si				
CR	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	■	No	No	No
LC			Si			Si	Si	Si	Si	Si		Si		Si	Si		■		
TC			Si		Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si		Si	■	
LE	Si		No		Si	No	No	No	No	No	Si	No	Si	No	No		Si	Si	■

A=Área, Al=Altitud, IC=Índice de Compacidad, NE=Número de escurrimientos, LEP=Longitud del escurrimiento principal, LEM=Longitud del Escurrimiento Medio, DD=Densidad de Drenaje, DH=Densidad Hidrológica, RB=Relación de Bifurcación, OC=Orden de Corrientes, PM=Pendiente Media, RE=Relación de Elongación, PR=Proporción de Relieve, CM=Coficiente de Masividad, CO=Coficiente Orográfico, CR=Coficiente de Rugosidad, LC=Longitud de la Cuenca, TC=Tiempo de Concentración, LE=Longitud de Escurrimientos.

Guevara Gutiérrez, R. D., Olgún López, J. L., Mancilla Villa, O. R., Barreto García O. A. (2019): "Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p 141-139. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.62>

Referencias bibliográficas

- Becerra, M.A. (1999): Escorrentía, erosión y Conservación de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. México., 361 p.
- Benavides, M.V., Tarlé, P.T.C. y Galbiatti, J.A. (2009): Caracterización y clasificación de la red hidrológica de la cuenca del río Bobo, departamento de Nariño – Colombia, Ingeniería e Investigación, Vol. 29 No. 3, Diciembre, pp. 97 – 101.
- Campos, A.D.F. (1987): Procesos del ciclo hidrológico. Capítulo 2 Geomorfología de la Cuenca. Volumen 1 1ra. Reimpresión. Tomo ½. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 29p
- CIGA - UNAM. (2012): Análisis de cambio de cobertura y uso del suelo, escenario de referencia de carbono y diseño preliminar del mecanismo de Monitoreo, Reporte y Verificación en los diez municipios de la Junta Intermunicipal del Río Ayuquila, Jalisco. Informe final. Centro de Investigación Geográfica Ambiental (CIGA), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Universidad de Guadalajara (UdeG), pp. 13-14. [Consulta: 10-12-2017]. Disponible en: https://es.scribd.com/document/211806847/InformeFinal-JIRA-May10-12#from_embed
- CNA. (2009): Cuencas hidrográficas. El concepto de cuenca hidrográfica, Sistema de consulta de cuencas hidrográficas en México 2009. [Consulta: 09-05-2010]. Disponible en: http://www.agua.org.mx/index.php?option=com_content&view=category&id=46&Itemid=75.
- CNA-SARH. (1992): Presa Trigomil, General Ramón Corona Madrigal. Grupo Editorial Códice S.A. de C.V. Talleres de Edita S.A. de C.V. 27p.
- Cortés, H., Medina, R., Gómez, A., Wruck, D., Viramontes, D., Palma, G., Aguayo, A., Rivera, M., Olvera, M. D., & Yáñez, M., (2002): Formulación de los Programas Regionales Hidrológico-Forestales de la Regiones IV Balsas y VIII Lerma- Santiago-Pacífico, Anuario del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA. 7p.
- Cotler, H. (2004): Manejo Integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Primera Edición. 267p.
- Díaz-Delgado, C., Mamadou-Bâ, K., Iturbe-Posadas, A., Esther, M. V., Reyna-Sáenz, F. (1999): Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MDET: caso del curso Alto del río Lerma, Estado de México. *Ciencias Ergo Sum*, (6), (2), pp. 123-134.
- Doffo, N. y González, B.G. (2005): Caracterización morfométrica de la cuenca alta del arroyo las Lajas, Córdoba: un análisis estadístico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 60 (1), pp. 16-22.
- Faminow, M.D. (1998): Cattle, deforestation and development in the Amazon: An economic, agronomic and environmental perspectiva. CAB International Wallingford, U.K.
- García, C.I., Martínez, O.A., Vidriales, C.H.G. (2003): Balance Hídrico de la Cuenca del Río Pixquiac, Delimitación de Zonas Prioritarias y Evaluación de los Mecanismos Existentes para el Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos en la cuenca del Río Pixquiac Veracruz, México, Documento técnico, Proyecto NCMA3-08-03. [Consulta: 06-12-2017]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/333292361_Balance_hidrico_preliminar_de_la_micro_cuenca_del_Rio_Pixquiac
- Garrido, A., Pérez, D.J.L., Enríquez, G.C. (2010): Delimitación de zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México. En *Las cuencas hidrográficas de México, diagnóstico y*

Guevara Gutiérrez, R. D., Olgún López, J. L., Mancilla Villa, O. R., Barreto García O. A. (2019): "Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p 141-139. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.62>

priorización. Cotler A.H. (Coord.). Primera Edición. Pluralia Ediciones e Impresiones S.A. de C.V. Méx. D.F., pp. 14-17.

Gleason, E.J.A. (2014): *Sistemas de agua sustentables en las ciudades*. Editorial Trillas S.A. de C.V. México, D.F. 1ª. Edición. Impreso en México, pp. 47-53.

Gómez-Pompa, A. y Burley, F.W. (1991): "The management of natural tropical forest", en: Gómez-Pompa, A, T. C. Withmore y M. Hadley (eds.), *Rain forest regeneration and management*, UNESCO-The Phathernon Publishing Group, pp. 3-18.

González, de M.A.I. (2004): Análisis morfométrico de la cuenca y la red de drenaje del río Zadorra y sus fuentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de la A.G.E.* No. 38, pp. 311-320.

Guerra, P.F. (1980): *Fotogeología. Configuraciones Naturales de Drenaje*. 1ra Edición. Universidad Autónoma de México, pp. 206-255.

INEGI. (2005): Base de datos Iter. 2005 II Censo de Población y Vivienda, INEGI 2005, México. Disponible para World Wide Web:

INE-SEMARNAT- PLADEYRA. (2003): Paisajes hidrológicos y balance hídrico de la cuenca Lerma Chapala, México.

Instituto Nacional de Ecología -INE- (2004): Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancitaro. Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. Estudio Contratado a: Fuentes J.J.J. 47p.

IPICYT. (2002): Reportes del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. Primer Foro Ambiental y Manejo de Recursos Naturales Renovables. Manejo y Conservación de la Cuenca del Río Ayuquila. Volumen 1, Numero 1. Noviembre 2002, pp. 118-125.

Jardel, P.E.J. (Coord.). (1992): *Estratega para la conservación de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán*. Editorial Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jal. 315p.

Lal, R. (2000): *Integrated watershed management in the global ecosystem*. Edited by Rattan Lal. Soil and Water Conservation Society. New York: CRC Press.

Linsley, R.K.Jr., Kohler, M.A., y Paulhus, J.L.H. (1984): *Hidrología para ingenieros*. Segunda edición. Edit. McGraw-Hill, S.A. de C.V. Impreso en México, pp. 211-357.

Martínez, C.A., y Castillo, R.F. (1996): Estacionalidad pluviométrica en Galicia: Comportamiento, representatividad espacial y mecanismos asociados. *GEOGRAPHICALIA*, 33, pp. 127-145.

Martínez, G.A. (1988): *Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría*. Editorial Trillas. S. A. de C. V. Primera edición, pp. 128-138.

Pozo, J. y Elosegi, A. (2009): *El marco físico: La cuenca*. Capítulo 3. Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Primera edición. Fundación BBVA. [Consulta: 03-09-2017]. Disponible en https://w3.grupobbva.com/TLFU/dat/cap_03.pdf.

Quiñónez, E. y Dal Pozzo, F. (2005): Influencia del cálculo del factor topográfico e la distribución espacial del riesgo de degradación de los suelos por erosión hídrica en el Estado de Mérida, Venezuela, *GeoFocus (Artículos)*, N°5, ISSN 1578-5157, pp. 204-218.

Racca, J.M.G. (2007): Análisis hipsométrico, frecuencia altimétrica y pendientes medias a partir de modelos digitales del terreno. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* 77(1-2): 31-38. Rosario. ISSN 1666-115X. 8 p.

Guevara Gutiérrez, R. D., Olgún López, J. L., Mancilla Villa, O. R., Barreto García O. A. (2019): "Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p 141-139. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.62>

Ruiz, C.J.A., Pimienta, B.E., Zañudo, H.J. (2002): Regiones térmicas óptimas y marginales para el cultivo de Agave tequilana en el estado de Jalisco. *Agrociencia*, vol. 36, núm. 1. Texcoco, México, pp. 41-53.

Sánchez, K.G.Y. (2008): Patrón de drenaje, Universidad Nacional Federico Villareal, Facultad de Ingeniería Geográfica, 2008, 26 págs., [Consulta: 20-05-2010]. Disponible en: <http://www.scribd.com/doc/5581866/PATRONES-DE-DRENAJE>

Sánchez, T. (1991): "Estudio morfoclimático del Cabeçó d'Or." Universidad de Alicante. España. 69 p.

Sánchez, V.A. (1987): Conceptos Elementales de Hidrología Forestal Agua, Suelo y Vegetación. La cuenca hidrográfica. Editorial División de Ciencias Forestales. Primera Edición. Volumen 1. Universidad Autónoma de Chapingo, pp. 57-97.

Santos, R.F. (2004): Planejamento Ambiental, São Paulo., Oficina de Textos, pp.71-135.

Slesak, R.A., Schoenholtz, S.H., Evans, D. (2015): Hillslope erosion two and three years wildfire, skyline salvage logging, and preparation in southern Oregon, USA. *Forest Ecology and Management* 342 (2015) 1-7. [Consulta: 10-04-2018]. Disponible en: www.elsevier.com/locate/foreco.

Strahler, A.N. (1986): *Geografía física*. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España. 765p.

Vidal-Abarca, M.R., Montes, C., Suárez, M.L. y Ramírez-Díaz, L. (1987): Caracterización morfométrica de la cuenca del río Segura: Estudio cuantitativo de las formas de las subcuencas. *Papeles de Geografía (Física)* N°. 12, pp. 19-31.

Walker, J., Dowling, T., y Veitch, S. (2006): An assessment of catchment condition in Australia, *Ecological Indicator*, Volume 6, Issue 1, January 2006, pp. 205–214.

Welcomme, R.L. (1980): Cuencas fluviales. *FAO, Doc, 1980 Téc. Pesca*, (202): 62p. [Consulta: 10-11-2017]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/X6853S/X6853S00.htm>.