

CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA CUENCA DEL RÍO HUITZILAC, PUEBLA, MÉXICO



Tomé Hernández, Griselda

Griselda Tomé Hernández

tome.griselda@colpos.mx

COLPOS, México

Boletín Geográfico

Universidad Nacional del Comahue, Argentina

ISSN: 0326-1735

ISSN-e: 2313-903X

Periodicidad: Semestral

vol. 44, núm. 1, 2022

boletingeografico@gmail.com

Recepción: 02 Septiembre 2021

Aprobación: 16 Julio 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/344/3443321005/>

Resumen: El marco espacial del presente estudio, fue la cuenca del río Huitzilac, situada geográficamente al suroeste del estado de Puebla, México. En este estudio, se analizan los parámetros morfométricos de la cuenca citada y su red de drenaje, con el fin de comprender su dinámica superficial. Para ello, se utilizaron índices cuantitativos y Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se completó la información con trabajo de campo. Los resultados más relevantes muestran que la cuenca posee un área de 615 km., por lo que se clasifica entre “intermedia a grande”. Los valores de los parámetros de forma, elongación y compacidad, sugieren una forma alargada, con tendencia a una configuración rectangular-oblonga. Es un sistema de quinto orden con patrón de drenaje principalmente de tipo dendrítico-subdendrítico. La curva hipsométrica y el factor de circularidad muestran una etapa de equilibrio relativo o de madurez, implicando un potencial erosivo, principalmente en la parte alta del área de estudio, mismo que no debe subestimarse. En general, las características morfométricas atenúan algún efecto negativo, debido a posibles inundaciones.

Palabras clave: Red de drenaje, Curva hipsométrica, Madurez hidrológica, Potencial erosivo, Inundaciones.

Abstract: The spatial framework of this study was the basin of the Huitzilac River, located geographically towards the southwest of the state of Puebla, Mexico. This paper analyzes the morphometric parameters of the Huitzilac River basin and its drainage network in order to understand its surface dynamics. To do this, quantitative indicators and Geographic Information Systems (GIS) were used. The information was completed with fieldwork. The main results show that the basin has an area of 615 km., so it is classified as "intermediate to large". The values of form factor, circularity ratio and elongation ratio parameters, suggest an elongated shape with a tendency to a rectangular-oblong configuration. It is a fifth order system with drainage pattern mainly in dendritic to sub-dendritic type. The hypsometric curve and the circularity ratio factor show a relative equilibrium or maturity stage, implying an erosive potential, mainly at the upstream area of the study area, which should not underestimate. In general, the morphometric characteristics attenuate some negative effects, due to possible flooding.

Keywords: drainage network, hypsometric curve, hydrological maturity, erosive potential, flooding.

INTRODUCCIÓN

La cuenca hidrográfica es considerada como la unidad territorial más apropiada para la planificación y gestión integrada de los recursos hídricos (Dourojeanni, 2002). Uno de los elementos clave para lograr lo anterior, es el conocimiento de sus características geomorfológicas, las cuales pueden obtenerse a través de técnicas morfométricas e hipsométricas (Choudhari, Nigam, Singh & Thakur, 2018).

Las diferentes características morfométricas de una unidad hidrográfica (cuenca, subcuenca y microcuenca), como parámetros lineales (orden y número de corriente, radio de bifurcación, longitud media de corriente y de fuerza), parámetros de geometría de la cuenca (relación de circularidad y elongación, densidad de drenaje, frecuencia de drenaje) y de relieve (índice de disección y rugosidad, características hipsométricas), permiten medir y analizar cuantitativamente la forma, estructura y extensión de las cuencas, y conocer mejor su historia evolutiva (Mahala, 2020; Romshoo, Shakeel & Irfan, 2012; Campos, 1998; Veltri, Veltri & Maiolo, 1996; Maidment, 1992; Strahler, 1952). Estos datos e información, pueden ser posteriormente empleados para establecer parámetros de evaluación al funcionamiento del sistema hidrológico de una región; así como en la conservación y restauración de los recursos naturales y modelación hidrológica (Mahala, 2020; Choudhari *et al.*, 2018).

En el ámbito internacional y nacional (México) son numerosos los estudios morfométricos a la escala de cuenca tal como los realizados por Méndez, Corral, Nájera, Cruz y Pompa (2021); Mahala, (2020); Guevara, Olguín, Mancilla, Barreto y García (2019); Faye (2018); Baba y Bouanani (2016), Cruz, Gaspari, Rodríguez, Carrillo y Téllez (2015); Chandniha y Kansal (2017); Farhan, Ahnbar, Enaba y Al-shaikh (2015); Esper y Perucca (2014); Bali, Argawal y Nawaz (2012); Gaspari *et al.*, (2012); Romshoo, Shakeel y Irfan (2012); Gil (2011); Geraldi, Piccolo y Perrillo (2010); Viramontes, Escoboza, Pinedo, Pinedo, Reyes, et al., (2008); Meza y Martínez (2010); Gaspari *et al.*, (2009); Chopra, Dhiman y Sharma (2005); Méndez, Córdoba y Cartaya (2005); Sreedevi, Subrahmanyam y Shakeel (2005); Ibisate (2004), Guerra y González (2002); Díaz, Mamadou, Iturbe, Esteller y Reyna (1999); Patton (1988); Vidal, Montes, Suárez y Ramírez (1987); entre otros. En cambio, las investigaciones a escala de subcuenca son escasas, y se reducen aún más a la escala de cuenca, especialmente en México.

Al igual que en este estudio, la mayoría de los autores previamente citados han recurrido a los Sistemas de Información Geográfica, así como a los índices y métodos cuantitativos estándar propuestos por Témez (1978), Horton (1945), Miller (1957), Strahler (1952, 1957, 1964); Schumm (1956); Horton (1932), Gravelius (1914), entre otros.

Cabe mencionar que, el río Huitzilac, cauce principal de la cuenca estudiada, no representa un riesgo para la población, dado que, hasta la fecha, no se tienen registros de inundaciones. Todavía más, no existen investigaciones que hagan referencia sobre la corriente citada ni sobre la delimitación y caracterización morfométrica de la cuenca, pese a que forma parte de la subregión Hidrológica Administrativa XVIII Alto Balsas, unidad hidrográfica de gran relevancia histórica, social y ambiental para el país y el estado de Puebla. Lo anterior es preocupante, dado que la generación de información y de datos científicos de la cuenca es determinante para transitar hacia una gestión integrada del agua por cuenca hidrográfica.

En ese contexto, el objetivo principal del presente estudio es determinar, analizar y comprender la dinámica superficial de la cuenca del río Huitzilac a partir de los principales parámetros de geometría, forma, relieve y red de drenaje; con la finalidad de aportar conocimiento espacial y morfométrico de una de las múltiples unidades hidrográficas que integran a la subregión Hidrológica Administrativa XVIII Alto Balsas.

ÁREA DE ESTUDIO

El marco espacial del presente estudio fue la cuenca del río Huitzilac, situada geográficamente al suroeste del estado de Puebla, México (Figura 1). Pertenece a la subregión Hidrológica Administrativa XVIII Alto Balsas.

Desde el punto de vista orográfico, la superficie total de la zona de estudio (615 km.) se ubica en la provincia del Eje Neovolcánico, y específicamente en la subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, [INEGI] 2001a), los cuales determinan su variabilidad climática, geológica, litológica y edafológica.

A rasgos generales, la precipitación anual en la parte alta de la cuenca (de 2500 a 5300 msnm) oscila entre 1000 a 1500 mm, con un clima frío y semifrío subhúmedo, y registra bajas temperaturas que van de los 0 °C a 9 °C. Mientras que en la parte media y baja llueve anualmente entre 600 a 1000 mm, donde se presenta un clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano (parte media) y cálido subhúmedo (parte baja), con temperaturas promedio anuales que van de los 18 °C a 26 °C (Figura 1). La temporada de lluvia se presenta principalmente entre los meses de junio a octubre (INEGI, 2017).

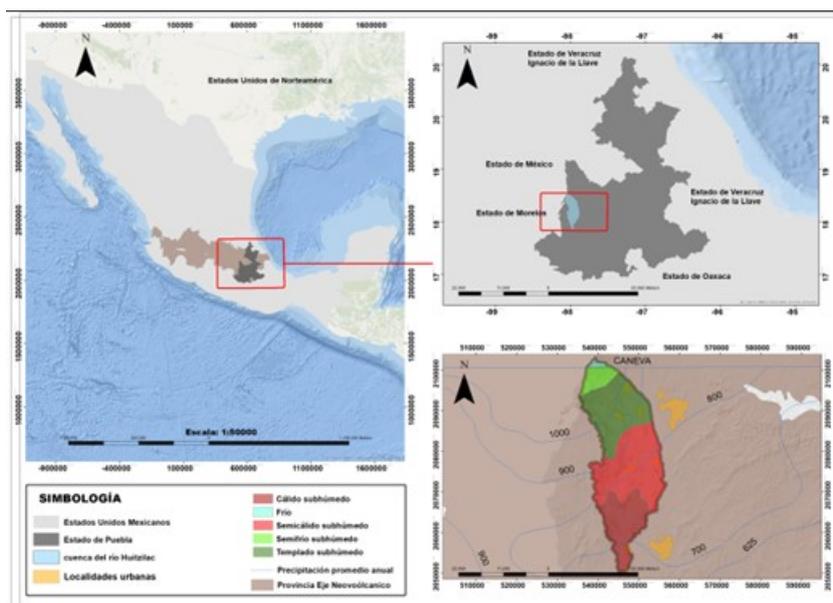


FIGURA 1.

Localización de la cuenca del río Huitzilac.

Elaboración propia con datos de Marco Geoestadístico del INEGI (2020) y Anuario estadístico y geográfico de Puebla (INEGI, 2017).

METODOLOGÍA

El presente estudio utilizó como información base el Modelo Digital de Elevación (MDE) ASTER GDEM V2, obtenido del sitio web de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA, 2011, por sus siglas en inglés): EARTHDATASEARCH, con una cobertura territorial escala 1:20 000 con 30 m de resolución.

TABLA 1.
Parámetros morfométricos calculados para la cuenca del río Huitzilac

Variable	Parámetro	Índice/ método/ programa	Referencia
Geometría o tamaño de la cuenca	Área (A, km ²)	<ul style="list-style-type: none"> Cargar en ArcGIS la capa vectorial en 3D de la cuenca delimitada Agregar campos para área, perímetro, cota máxima y cota mínima en la tabla de atributos. 	-
	Perímetro (Pr, km)		-
	Longitud (Lb, km)		-
	Diámetro (D, km)		-
Relieve de la cuenca	Cota Máxima, msnm	<ul style="list-style-type: none"> Calcular geometría Seleccionar la propiedad adecuada en cada campo agregado, así como el sistema de coordenadas y la unidad de medida a utilizar. La longitud de la cuenca se calculó con la herramienta de regla. Para ello, se configuró la unidad de medida (km), y posteriormente, se unió el vértice más alto con el más bajo para obtener su longitud 	-
	Cota Mínima, msnm		-
Forma de la cuenca	Pendiente media (S, %)	$S = 100[(H/L)/A]$ H= Distancia vertical entre curvas; L: Long. total de las curvas de nivel, A= área	-
	Curva hipsométrica	ArcGis 10.5.1 y Excel	-
	Forma (R _f)	$R_f = A/L^2$ A=área de drenaje de la cuenca, L=longitud de la cuenca	Horton (1932)
	Coefficiente de compacidad o índice de Gravelius (K _c)	$K_c = 0,282 * P / \sqrt{A}$ A=área de la cuenca, P= perímetro de la cuenca	Gravelius (1914)
	Razón de elongación (R _e)	$R_e = 1,128 * \sqrt{A/L}$ A=área de la cuenca, L=longitud de la cuenca	Schumm (1956)
	Factor de circularidad (R _c)	$R_c = 4A\pi/p^2$ A=área de la cuenca, P= perímetro de la cuenca	Strahler (1964)
Red de drenaje	Número de orden (rango)	Una vez definida la red hídrica se trabajó con la herramienta Hydrology, específicamente en las extensiones stream order y stream to feature para generar el orden de ríos y asignar el número de río en cada una de las ramificaciones y cauce principal	Strahler (1964)
	Long. del cauce principal (L _{cp} , km)		-
	Pendiente media del cauce principal, %	$S = (\Delta h/L) * 100$ S=pendiente del tramo en cauce h = desnivel entre los extremos del cauce L=long. real horizontal del tramo del cauce (m)	Becerra (2005)
	Tiempo de concentración (T _c , hs)	$t_c = 0,3 (L/S^{0,25})^{0,76}$ L=Longitud del cauce principal S=pendiente media de la cuenca	Témez (1978)

Elaboración propia.

Previo a la delimitación de la cuenca, se realizó la corrección atmosférica del MDE con el software SNAP 8.0 y fue georeferenciado en coordenadas geográficas (WGS84) a través de tecnología SIG. El área de estudio se ubica en la zona UTM: E14. La delimitación automática de la cuenca del río Huitzilac y su red de drenaje se realizó mediante el software Arc/Gis 10.5.1, haciendo uso de la herramienta Hydrology. Los parámetros morfométricos de geometría, relieve y forma fueron obtenidos a partir de un trabajo conjunto entre los SIG e índices y métodos cuantitativos, señalados en la Tabla 1.

Posteriormente, se determinó la curva hipsométrica, empleando curvas de nivel escala 1:50 000 de INEGI (2020). Este parámetro es útil para conocer el relieve de una cuenca de drenaje (altitud, pendiente y orientación) y la distribución de sus elevaciones (Keller & Pinter, 1996; Strahler, 1952; Horton, 1932); asimismo, da cuenta de la influencia de los factores tectónicos, climáticos y el control de la litología sobre la evolución de las cuencas de drenaje (Farhan *et al.*, 2015). Las formas que resultan de las curvas hipsométricas

pueden usarse para deducir sus etapas de evolución geomorfológica. Curvas convexas son características de relieves jóvenes, curvas con forma en “s” o sinusoidales caracterizan a las cuencas en un estado de madurez, y cuencas cóncavas se darán en zonas con relieves peniplanizados en estado de senectud (Strahler, 1952).

Para la construcción de la curva hipsométrica, se seleccionaron intervalos entre curvas de nivel de 200 m, y se calculó el área en cada uno de ellos. Luego se calcularon los coeficientes de altura relativa dividiendo los valores de los límites superiores de cada intervalo entre curvas de nivel entre la altura máxima de la cuenca; y los coeficientes de área relativa dividiendo el área acumulada en cada intervalo entre curvas de nivel entre el área total de la cuenca.

El trabajo se validó con inspecciones o recorridos de campo efectuados durante el periodo 2020-2021, esto con el fin de corroborar la delimitación del parteaguas, la red de drenaje y la susceptibilidad a la erosión e inundaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características fisiográficas de la cuenca.

En el ámbito territorial de la cuenca del río Huitzilac se pueden observar diversas unidades geomorfológicas, edafológicas y litológicas, consecuencia de su ubicación geográfica (INEGI, 2001a; 2001b).

Con base en datos del INEGI (2001b), se identificó que el sistema de toposformas de la cuenca está constituido principalmente por llanura aluvial con lomerío, que abarca el 46% de la superficie total, seguido de meseta basáltica con cañadas (20%), sierra volcánica con estrato volcanes (19%), meseta basáltica con lomerío (12%), sierra compleja (3%), sierra volcánica de laderas escarpadas (1%) y lomerío de aluvión antiguo (1%) (Figura 2).

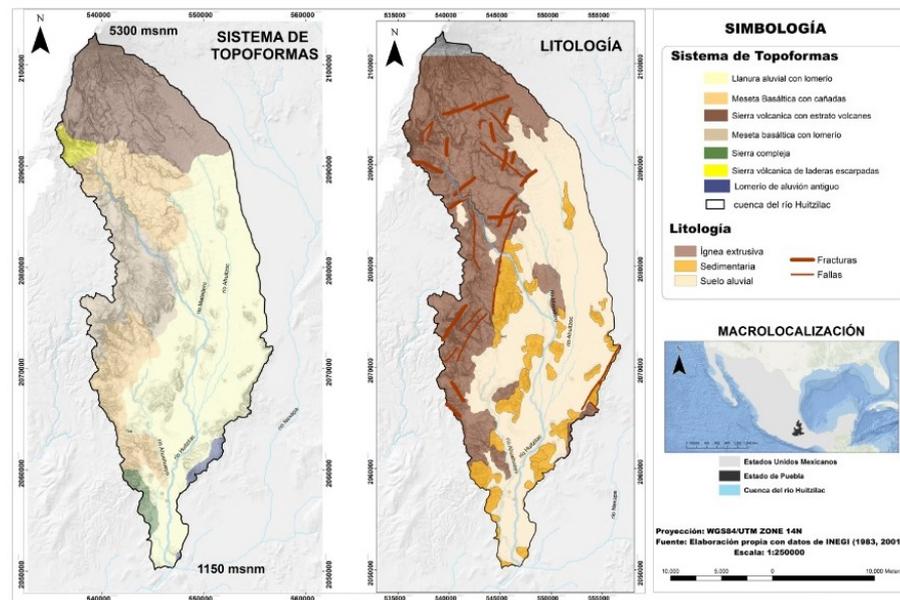


FIGURA 2.
Sistema de toposformas y litología de la cuenca del río Huitzilac.
Elaboración propia con datos de INEGI (2013,2001b).

En la Figura 2 se puede observar que, en los dos tipos de sierra volcánica y meseta basáltica, afloran las rocas ígneas extrusivas compuestas por toba básica, andesita, basalto y brechas volcánicas de la era del Cenozoico (Cuaternario y Neógeno). Además, concentran la mayoría de fallas y fracturas geológicas. Asimismo, es

posible notar que las rocas sedimentarias (calizas, yeso y conglomerado) de la era del Cenozoico y Mesozoico; así como el suelo aluvial se distribuyen principalmente en la llanura aluvial con lomerío.

De igual forma, los suelos predominantes en el ámbito territorial de la cuenca estudiada son el fluvisol éutrico (26%), litosol (23%), feozem háplico (19%), cambisol éutrico (14%) y regosol éutrico (13%) que, de manera conjunta, abarcan el 95% de la superficie total. El 5% restante se distribuye en los suelos de tipo Regosol (calcárico, dístrico), cambisol (cálcico, vértico) y vertisol pélico.

Caracterización morfométrica de la cuenca.

La unidad hidrográfica del río Huitzilac tiene una superficie de aportación de 615 km² con orientación norte-sur. Por su dimensión, se agrupa en la categoría de cuenca, según la clasificación de tamaños de cuenca propuesta por Sánchez, García y Palma (2003). De acuerdo con Campos (1998), el área obtenida corresponde a una cuenca entre “intermedia a grande” (Figura 2 y Tabla 2).

Al igual que en los estudios realizados por Mahala (2019); Chandniha y Kansal (2017); Gaspari et al., (2012); Méndez et al., (2005); Ibisate (2004), los valores del factor de circularidad (0,22), de forma (0,22-0,30), de razón de elongación (0,3) y de compacidad (>1,75) de la unidad hidrográfica estudiada, en conjunto indican una forma alargada con tendencia a una configuración rectangular-oblonga, lo cual es representativo de cuencas emplazadas en relieves montañosos, como lo condiciona la orografía y topografía de la zona de estudio (Figura 2 y Tabla 2).

TABLA 2.
Principales parámetros morfométricos de la cuenca del río Huitzilac.

Parámetro	Magnitud	Interpretación	Referencia
Geometría o Tamaño de la cuenca			
Área	615 km ²	>500 km ² – Cuenca 50 a 500 km ² – subcuenca 30 y 50 km ² – microcuenca	Sánchez, García y Palma (2003)
		500 km ² a 2500 km ² – intermedia - grande	Campos (1998)
perímetro	188,2 km	-	-
Longitud	55 km	-	-
Ancho	11,6 km		
Relieve de la cuenca			
Cota Máxima	5300 msnm	-	-
Cota Mínima	1150 msnm	-	-
Pendiente promedio de la cuenca	16,3 %	12-20 % Relieve accidentado	López (1998)
Forma de la cuenca			
Índice de forma (IF)	0,21	0,22 – 0,30 Alargada	Horton (1945)
Razón de elongación (Re)	0,51	El valor de Rc varía de 0 (muy alargada) a 1 (circularidad máxima)	Strahler (1964)
Índice de compacidad o índice de Gravelius (Kc)	2,13	>1,75 a casi rectangular (alargada)	Mármol (2008)
Factor de circularidad (Rc)	0,22	El valor de Rc varía de 0 (circularidad mínima) a 1 (circularidad máxima)	Strahler (1964)
Red de drenaje			
Número de orden	5	4 a 6 ordenes: Clase alta	Strahler (1957)

Elaboración propia

A partir del análisis conjunto de los parámetros de forma, es posible inferir las características del caudal de una cuenca (Castillo, Díaz & Alonso, 1988). Las cuencas alargadas, de tamaño grande y con un factor de forma bajo, como es el caso de la cuenca estudiada, tienden a presentar caudales máximos bajos y de mayor duración que, aquellas con un índice de forma alto y cuencas pequeñas (Gil, 2011; Chopra *et al.*, 2005; Henaos, 1988; Patton, 1988; Sala & Gay, 1981). En este tipo de cuencas, las lluvias no se encuentran localizadas en forma centralizada en toda su superficie, al contrario, pueden ocurrir diferentes eventos a lo largo de ella, lo cual permite que el agua escurrida tenga diferentes tiempos de llegada al río en el que desemboca, permitiéndole evacuar el agua ya drenada y entrante de forma paulatina, sin generar crecidas repentinas (Gaspari *et al.*, 2012; Henaos, 1988; Patton, 1988; Sala & Gay, 1981). Aunado a lo anterior, el riesgo de inundación en la unidad hidrográfica del río Huitzilac se reduce todavía más, gracias a que el río Huitzilac escurre de forma natural en barrancas con altas paredes que encajonan y controlan el cauce del río.

Si bien Gaspari *et al.*, (2012), Henaos (1988), Patton (1988); Sala y Gay (1981), señalan que en las unidades hidrográficas alargadas es menor el riesgo de inundaciones (debido a que poseen un menor retardo entre el momento de precipitación y el momento de crecida en la desembocadura), esta afirmación es relativa, ya

que ello depende del tamaño o extensión de la tormenta y de la duración e intensidad de la misma (Esper & Perucca, 2014).

Continuando con la interpretación de los parámetros de forma, cabe destacar que, el factor de circularidad (R_c) no solo determina la forma de cualquier cuenca, sino también sus etapas geomorfológicas de desarrollo (Mahala, 2020). Sus valores bajos, medios y altos son indicativos de las etapas jóvenes, maduras y viejas de las cuencas (Sreedevi & Subrahmanyam, 2005). En ese sentido, el R_c de la cuenca del río Huitzilac es bajo (0,22), lo cual no solo indica características alargadas sino también hace referencia a un ajuste geomorfológico maduro y menos características del caudal máximo.

Parámetros de relieve de la cuenca.

El proceso de degradación a que se ve sometida una cuenca hidrográfica, al igual que el caudal máximo de la misma, están muy influenciados por la configuración topográfica, debido a que el poder erosivo se manifiesta en mayor o menor grado de acuerdo a los distintos grados de pendiente (López Cadenas de Llano, 1998; Henaos, 1988). Aún más, el relieve condiciona la génesis y tipología de las crecidas (Gil, 2011). De ahí, la importancia de conocer los parámetros de relieve, como altitud (cota máxima y mínima), pendiente media (PM) y curva hipsométrica.

Los resultados ilustran que la divisoria de la unidad hidrográfica objeto de estudio se encuentra a 5300 msnm (cota máxima), precisamente en la topoforma sierra volcánica con estrato de volcanes, y desemboca en el río Necaxa a una altitud de 1150 msnm (cota mínima), al sur de la misma en la topoforma llanura aluvial con lomerío. Por lo tanto, posee un desnivel máximo de 4150 msnm (Tabla 2).

Al igual que el factor de circularidad, la hipsometría de la cuenca del río Huitzilac sugiere un avanzado grado de desarrollo (madurez), pues exhibe una geometría sinusoidal cóncavo-convexa (forma de S). También indica que es una unidad hidrográfica de pie de montaña, cuyo paisaje original presenta una importante degradación. En la Figura 3 se puede observar que el punto de inflexión se ubica a una altura relativa baja (0,3), lo cual implica un alto grado de evolución del relieve, desde el punto de vista geológico, y una importante degradación del paisaje original. De hecho, se encontró que las diferencias altitudinales más significativas de la cuenca se registran en la parte alta del tramo cóncavo de la curva hipsométrica (entre 2100 a 4200 msnm), por lo que se deduce que en esa área se presenta la mayor erosión, la cual no debe subestimarse.

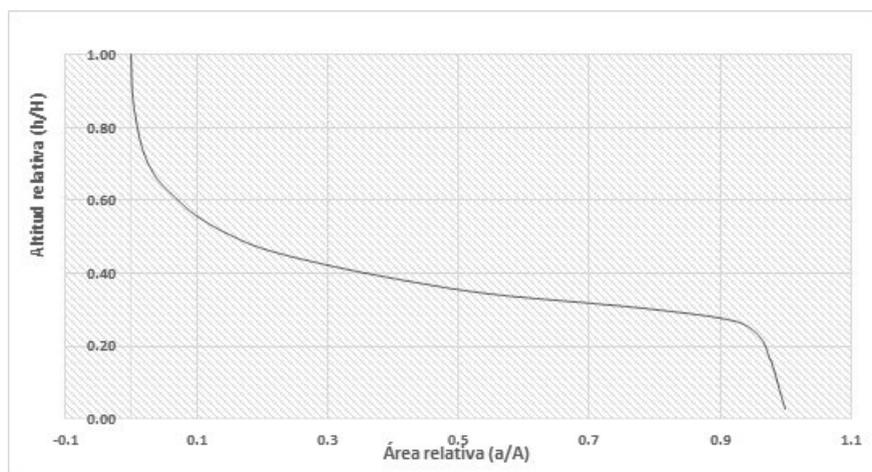


FIGURA 3.
Curva hipsométrica de la cuenca del río Huitzilac.
Elaboración propia

De igual manera, la pendiente media de la cuenca del río Huitzilac (12-20%), remarca su relieve accidentado (compuesto por sierras, cañadas y lomeríos). En coincidencia con lo expresado por Strahler (1964) y Horton (1945), las unidades hidrográficas con este tipo de relieve tienden a responder con mayor celeridad ante las precipitaciones al aumentar los caudales. Para Cruz *et al.*, (2015), entre más pronunciada sea la pendiente, menor será la duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al curso principal (Tabla 2).

Nótese que, la interpretación de los parámetros de relieve corrobora al igual que los valores de forma y tamaño, la baja susceptibilidad de la cuenca del río Huitzilac a las inundaciones. Es oportuno destacar que la información colectada en campo y los recorridos de reconocimiento permitieron ratificar este resultado.

Caracterización morfométrica del río Huitzilac.

El cauce principal de la cuenca estudiada corresponde al río Huitzilac, el cual es de régimen permanente. Nace en Santa Catalina Tepanapa (nombrada como sierra *Tepanatl* en documentos coloniales) (Garavaglia, 1995), en la falda sur-oriental del Volcán Popocatepetl, a una altitud de 4200 msnm (cota mayor), escurre inicialmente en dirección sureste, y a 1,8 km al sur, en las cercanías al poblado de Huaquechula se le une el río Matadero (a 1350 msnm), donde su trayectoria cambia de norte-sur. Posteriormente, es alimentado por margen derecha e izquierda por los tributarios Ahuitzoc y Ahuehuevo respectivamente. Al llegar a la localidad de Atzala, se une con el río Nexapa a una altitud de 1150 msnm (cota menor), donde cambia su rumbo para dirigirse al sur (estado de Guerrero), llamándose ahí Río Tlapaneco (Figuras 4 y 5).

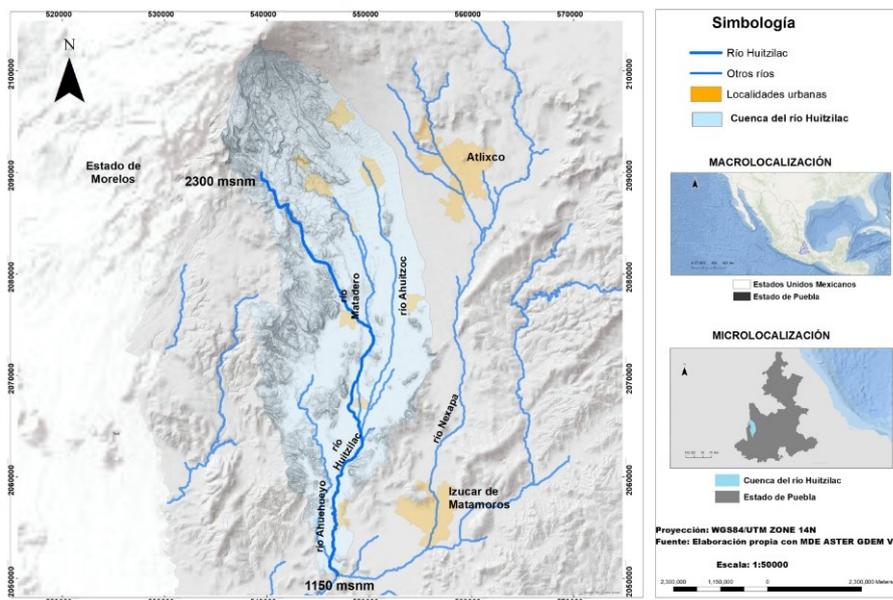


FIGURA 4.
Red hídrica de la cuenca del río Huitzilac.
Elaboración propia con MDE ASTER GEDEM V2



FIGURA 5.
Imágenes del Río Huitzilac Ubicación parte alta del río.
fotografías de los autores.

La longitud del río Huitzilac desde su nacimiento hasta su desembocadura con el río Nexapa es de 50,3 km, que conforme con Fuentes (2004), corresponde a un cauce largo. La longitud total de la red de drenaje de la cuenca es de 882 km con cotas mayor y menor de 2300 y 1150 msnm respectivamente y una pendiente media del cauce principal de 2,3%. Según Senciales (1999) y Campos (1998), una extensa longitud del cauce principal implica una concentración paulatina a lo largo del colector por lo que la energía de la crecida se disipa rápidamente; por el contrario, en un río corto los efectos de la precipitación se hacen sentir más rápidamente. Los resultados de la estructura de la red de drenaje –determinada mediante el Método de Strahler–, indican que el curso principal de la cuenca estudiada es alimentado por una red de corrientes tributarias que le otorgan una magnitud de orden 5 (clase alta), conformada por un total de 1,969 cursos fluviales, de los cuales 1100 (55%) son de primer orden, 393 (36%) de 2do., 198 (18%) de tercer, 180 (16%) de cuarto, y finalmente, un curso indicando el quinto. orden, representado por el río Huitzilac, cuyo cauce alcanza la máxima magnitud dentro del área ocupada por la cuenca (Figura 6). Precisa señalar que, el orden 5 se forma a partir de la intersección con el río Matadero.

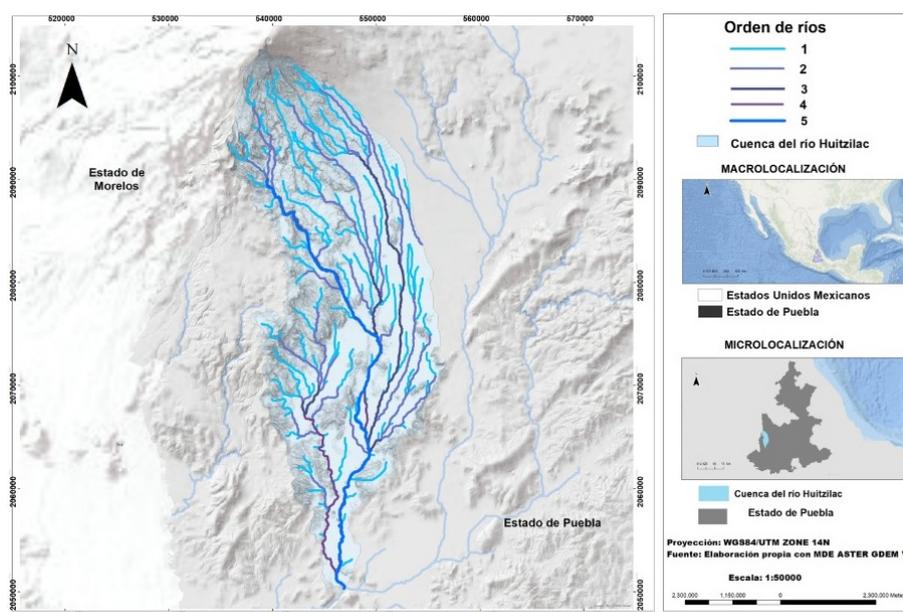


FIGURA 6.
Magnitud de orden HortonStrahler cuenca del río Huitzilac
Elaboración propia con MDE ASTER GDEM V2

Fuente: Elaboración propia con MDE ASTER GDEM V2

Siguiendo los criterios del Método de Strahler (1952), el que la red de drenaje de la cuenca objeto de estudio sea de clase alta, significa que más rápida será la respuesta de la misma frente a una tormenta, evacuando el agua en exceso en menor tiempo.

Los arroyos de primer, segundo y tercer orden son los que predominan en la red de drenaje, los cuales se ubican tanto aguas arriba como en la margen derecha e izquierda del curso principal. Como consecuencia de la gran cantidad de arroyos de orden inferior, aumenta el volumen de agua recibida en el cauce del río Huitzilac a partir de la parte media y baja de la cuenca, específicamente en los poblados de Tlapanalá, Tilapa y Atzala. No obstante, el riesgo de inundación en los lugares citados es nulo, debido a que el cauce escurre de forma natural en una profunda cañada.

Asimismo, conviene señalar que la disminución constante en el número de arroyos en relación con el orden de los arroyos (N_u) (excepto el quinto orden) a lo largo de la cuenca, indica el predominio del relieve erosivo en toda su superficie. Además de las fuertes pendientes, el proceso erosivo en el territorio está condicionado por una litología (sistema de rocas ígneas extrusivas y sedimentarias aluviales) y suelos aluviales (regosol, fluvisol éutrico, litosol; cambisol, feozem háplico y vertisol pélico) sumamente proclives a la erosión.

A partir de la disposición de los cursos de agua se puede ver que la red de la cuenca exhibe un trazado subdendrítico y paralelo (Figura 6). El primero, se presenta tanto en la parte más alta como en la margen izquierda de la misma. Esta tipología se destaca por la presencia de sectores con trazados condicionados por la litología (rocas ígneas extrusivas y sedimentarias). El sistema de drenaje paralelo se observa en el tributario Matadero (ubicado en la margen derecha del cauce principal).

La pendiente del cauce principal determina la velocidad con la que el agua llega a la desembocadura de la cuenca. De hecho, cuanto más pronunciada es la pendiente, menor es la duración de la concentración de escorrentía en los afluentes y el curso principal, por lo que la cuenca reaccionará rápidamente a las lluvias (Baba & Bouanani, 2016). En ese contexto, la pendiente media del río Huitzilac es de 2,3%, misma que puede ser clasificada por López Cadenas de Llano (1998) como suave. Esta condición, contribuiría a mitigar el impacto de una tormenta determinada. El tiempo de concentración es de 3,5 horas en promedio, lo que indica un desplazamiento lento a lo largo de la cuenca y, por tanto, una baja tendencia a la torrencialidad.

CONCLUSIONES.

El análisis morfométrico de la cuenca del río Huitzilac, mostró que se trata de una cuenca montañosa con forma alargada, relieve accidentado y de tamaño intermedio a grande. Es un sistema de quinto orden con un patrón de drenaje principalmente de tipo subdendrítico y paralelo, resultado de la estructura geológica, relieve y tipos de suelos. El análisis hipsométrico y el factor de circularidad ubican a la cuenca en una etapa de madurez.

Por su parte, los parámetros de relieve e hipsométricos sugieren serios problemas de pérdida de la cobertura vegetal y procesos de erosión avanzados en toda la cuenca, condicionados por una litología y suelos dominantes (de tipo aluvial y fluvial) que ofrecen poca resistencia a los procesos erosivos. Por lo tanto, se puede afirmar que las características físicas y respuestas morfodinámicas e hidrológicas de la cuenca del río Huitzilac están determinadas tanto por su tamaño, forma, fuertes pendientes y red de drenaje, así como por su composición geológica y edafológica.

Es por lo anterior, que, resulta importante desarrollar investigaciones a futuro que aporten información actualizada y confiable sobre el grado de erosión existente en la zona de estudio, así como las causas y efectos de este fenómeno hidro-geológico. También es de suma importancia conocer el caudal y calidad del agua del río Huitzilac, con objeto de coadyuvar en la perpetuidad no solo de la corriente referida sino además la prevalencia de los sistemas sociales, naturales y económicos asociados a este bien común.

Conviene destacar, además, la enorme potencialidad del análisis de los parámetros morfométricos para revelar las características hidromorfológicas de la cuenca estudiada; así como la relevancia de los recorridos de verificación de campo para sustentar y enriquecer los resultados alcanzados con el estudio morfométrico.

FINALMENTE, LOS PARÁMETROS DE RELIEVE, FORMA, TAMAÑO Y DRENAJE ATENÚAN LOS EFECTOS Y LA VIGOROSIDAD DE LAS CRECIDAS. ELLO PERMITE INFERIR QUE LA CUENCA DEL RÍO HUITZILAC NO ES SUSCEPTIBLE A LA OCURRENCIA DE INUNDACIONES.

BIBLIOGRAFÍA

- Baba Hamed, K. & Bouanani, A. (2016). Caractérisation d'un bassin versant par l'analyse statistique des paramètres morphométriques: Cas du bassin versant de la Tafna. (Nord-ouest algérien). *Geo-Eco-Trop*, 40 (4), 277-286.
- Bali, Rameshwar, Agarwal, K.K., & Nawaz Ali, S. (2012). Drainage morphometry of Himalayan Glacio-fluvial basin, India: hydrologic and neotectonic implications. *Environmental Earth Sciences* (2012) 66:1163–1174. DOI 10.1007/s12665-011-1324-1
- Becerra Moreno, A. (2005). *Escorrentía, erosión y conservación de suelos*. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México.
- Campos Aranda, D.F. (1998). *Procesos de ciclo hidrológico*. Editorial Universitaria Potosina. Tercera reimpresión.
- Castillo, V., Díaz Segovia, A. & Alonso, S. G. (1988). Quantitative study of fluvial landscapes, case study in Madrid, Spain. *Landscape and Urban Planning*, 16, 201–217.
- Chandniha Surendra, K., & Kansal Lal, M. (2017). Prioritization of sub-watersheds based on morphometric analysis using geospatial technique in Piperiya watershed, India. *Applied Water Science*, 7, 329–338. DOI 10.1007/s13201-014-0248-9.
- Chopra R, Dhiman R.D., & Sharma P.K. (2005) Morphometric analysis of sub-watersheds in Gurdaspur district, Punjab using remote sensing and GIS techniques. *Journal of Indian Society of Remote Sensing*, 33(4), 531–539.
- Cruz Romero, B., Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Carrillo González, F. M. & Téllez López, J. (2015). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia*, 23(64), 26-34.

- Díaz Delgado, C; Mamadou Bâ, K.; Iturbe Posadas, A.; Esteller, M.V.; & Reyna Sáenz, F. (1999). Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: caso del curso alto del río Lerma, Estado de México. *Ciencia Ergo Sum*, 6 (2), 124-134.
- Dourojeanni, Axel C. (2002). *¿Quién gobierna a quién en la gestión del agua?. División de Recursos Naturales e Infraestructura*. Publicación de Las Naciones Unidas. Santiago de Chile.
- Esper Angillieri, M.Y., & Perucca, L. P. (2014). Caracterización morfométrica de la Cuenca del río Seco a propósito de las fuertes precipitaciones de enero de 2013, Departamento Sarmiento, San Juan, Argentina. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66 (2), 235-245.
- Farhan Isa, Y., Ahnbar Dawod, A., Enaba, O. & Al-shaikh, N. (2015). Quantitative Analysis of Geomorphometric Parameters of Wadi Kerak, Jordan, Using Remote Sensing and GIS. *Journal of Water Resource and Protection*, 456-475.
- Faye, C. (2018). Caractérisation d'un bassin versant par l'analyse statistique des paramètres morphométriques : cas du bassin versant de la Gambie (bassin continental Guineo-Sénégalais). *Revue Marocaine de Géomorphologie*, 2, 110- 127.
- Fuentes Junco, J. A. (2004). *Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del parque nacional pico de Tancitaro*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Garavaglia, J. C. & Ciezar Thiériot, L. (1995). Atlixco: l'eau, les hommes et la terre dans une vallée mexicaine (XVe-XVIIe s.), *Annales, histoire, Sciences sociales*, 50 (6), 1309-1349.
- Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, E. G., Denegri, A. G., Delgado, M.I. & Besteiro, S. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *AUGMDOMUS*, 4, 143-158.
- Gaspari, F. J., Senisterra, G. E., Delgado, M. I., Rodríguez Vagaría, A.M. & Besteiro, S. (2009). *Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas*. 1 ed. Editorial Autores.
- Geraldi, A. M., Piccolo, M.C., & Perillo, G. M. E. (2010). Delimitación y estudio de cuencas hidrográficas con modelos hidrológicos. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, 52, 215-225.
- Gil, V. (2011). Geomorfología fluvial de la cuenca del arroyo El Negro, Buenos Aires, Argentina. *Revista Universitaria de Geografía*, 20, 151-169.
- Guerra, F. & González, J. (2002). Caracterización morfométrica de la cuenca de la quebrada la Bermeja, San Cristóbal, estado Táchira, Venezuela. *Geoenseñanza*, 7 (1-2), 88-108.
- 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*, 24, 141-158. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.622>.
- Gravelius, H. (1914): Flusskunde. Goschen Verlagshan dlug Berlin. En Zavoianu, I. (1985): *Morphometry of Drainage Basins*. Amsterdam, Elsevier.
- Henaos Sarmiento, J. E. (1988). *Introducción al manejo de cuencas hidrográficas*. Bogotá: Universidad Santo Tomás. Centro de enseñanza desescolarizada.
- Horton, R. E. (1932). Drainage-basin characteristics. *Transactions*, 13(1), 350-361.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56, 275-370.
- Ibisate, A. (2004): *Las crecidas fluviales en el Zadorra: procesos, riesgos y propuestas de ordenación*. Tesis doctoral.
- INEGI (2001a). Conjunto de datos vectoriales fisiográficos. Continuo Nacional serie I. Provincias fisiográficas. Escala 1:1 000 000.
- INEGI (2001b). Conjunto de datos vectoriales fisiográficos. Continuo Nacional serie I. Sistema topofomas. Escala 1:1 000 000
- INEGI (2013). Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0). ITRF92 época 1988.
- INEGI (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Puebla*.

- INEGI (2020). Conjunto de datos vectoriales de información topográfica E14B52 Atlixco, Escala 1:50 000, Proyección UTM, México.
- Keller, E. & Pinter, N. (1996). *Active tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape*. New Jersey: Prentice Hall.
- López Cadenas de Llano, F. (1998). *Restauración Hidrológica Forestal de cuencas y Control de la Erosión*. Ingeniería Medioambiental, TRAGSATEC, Ministerio de Medio Ambiente. España: Editorial Mundi Prensa.
- Mahala, A. (2020). The significance of morphometric analysis to understand the hydrological and morphological characteristics in two different morpho#climatic settings. *Applied Water Science*, 10 (33), 1-16.
- Maidment, D. R. (1992). *Handbook of Hydrology*. New York: McGraw Hill.
- Mármol, L. (2008). *Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas y Corrección de Torrentes*. Universidad Nacional de Salta. Salta.
- Méndez Gutiérrez, A. G., Corral Rivas, S., Nájera Luna, J. A., Cruz Cobos F. & Pompa García, M. (2021). Análisis morfométrico de la cuenca El Salto, Durango, México. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-11. e641. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.641>
- Méndez, W., Córdova, J. R., & Cartaya, S. (2005). Relaciones morfometría – respuesta hidrológica en La microcuenca de drenaje de la quebrada curucutí (estado Vargas, Venezuela), y su aplicación en la Evaluación de la amenaza por inundaciones. Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Realizado del 05 al 09 de septiembre.
- Meza Rodríguez, M., & Martínez Rivera, L.M. (2010). *Análisis morfométrico de las cuencas de la red Mexlter: estudio de diez cuencas a nivel nacional en México*.
- Miller, V. C. (1957): *A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee*. Office of Naval Research, Geography Branch, Project NR 389-042, Technical Report, 3, Columbia University.
- NASA (2011). ASTER Global Digital Elevation Map V2: disponible en <<https://search.earthdata.nasa.gov/search>.
- Patton, P. C. (1988). Drainage basin morphometry and floods. En Baker, V. R.; Kochel, R. C. & Patton, P.C. (Eds.), *Flood geomorphology*, 51-64. New York, Wiley.
- Romshoo Shakil, A, Shakeel Ahmad, B. & Irfan, R. (2012). Geoinformatics for assessing the morphometric control on hydrological response at watershed scale in the Upper Indus Basin *Journal of Earth System Science*, 121(3), 659–686.
- Sala, M. & Gay, R. (1981). Algunos datos morfométricos de la cuenca del Isábena. *Notes de Geografía Física*, 4, 41-65.
- Sánchez Vélez, A.S, García Núñez, R.M., & Palma Trujano, A. (2003). La cuenca hidrográfica: unidad básica de planeación y manejo de recursos naturales. SEMARNAT, CONAGUA.
- Senciales González, J. (1999). *Redes fluviales. Metodología de análisis*. España: Universidad de Malaga.
- Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bulletin of the Geological Society of America*, 67, 597–646.
- Sreedevi, P. D., Subrahmanyam, K., & Shakeel, A. (2005). The significance morphometric analysis for obtaining groundwater potential zones in structurally controlled terrain. *Environmental Geology*, 47, 412–420.
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric analysis (area-altitude) of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63, 117–142.
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of American Geophysics Union*, 38, 913–920.
- Strahler, A. N. (1964). Quantitative geomorphology of basins and channel networks. En Chow, V.T. (ed.) *Handbook of applied hydrology*. New York: McGraw Hill Book Company, 4-36.
- Témez, J. (1978). *Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Dirección General de Carreteras. Madrid. España. https://www2.mitma.es/recursos_mfom/0610400.pdf
- Choudhari, P.P., Nigam, G.K., Singh, S.K. & Thakur, S. (2018) Morphometric based prioritization of watershed for groundwater potential of Mula river basin, Maharashtra, India. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 2(4), 256-267
- Vidal, A. M.R., Montes, C., Suárez, M. L., Ramírez, D. L. (1987). Caracterización morfométrica de la cuenca del río Segura: Estudio cuantitativo de las formas de las subcuencas. *Papeles de Geografía*, 12, 19-31.

Viramontes Olivas, O. A., Escoboza García, L. F., Pinedo Álvarez, C., Reyes Gómez, V. M., Román Calleros, J. A. & Pérez Márquez, A. (2008). Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua. *Tecnociencia Chihuahua*, I (3), 21-31.

Veltri, M., Veltri, P., & Maiolo, M. (1996). On the fractal dimension of natural channel network. *Journal of Hydrology*, 187, 137-144.