

CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA EN LOS ANDES VENEZOLANOS A TRAVÉS DE TELEDETECCIÓN Y SIG.

A MORPHOMETRIC DESCRIPTION OF A HYDROGRAPHIC BASIN IN THE VENEZUELAN ANDEANS BY REMOTE SENSING AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

Lisbeth Segovia Materano

Resumen

La presente investigación tuvo como finalidad determinar parámetros e índices de forma, de relieve y relativos al sistema de drenaje de la cuenca del río Villegas situada en los andes venezolanos ($9^{\circ}35'49''$ / $9^{\circ}48'38''$ LN y $70^{\circ}07'34''$ / $70^{\circ}19'14''$ LO), mediante la aplicación de los módulos de procesamiento hidrográfico desarrollados en el sistema de información geográfica ILWIS, sobre un modelo de elevación digital (MED), ASTER de 30m de resolución horizontal, representativo de la cuenca. De los resultados se deriva que el área de estudio presume de poca susceptibilidad a las crecidas. Según la curva hipsométrica calculada la cuenca hidrográfica estudiada se encuentra en un estado de senectud, presentando un amplio valle, además es pobremente drenada y la pendiente no favorece la infiltración. La combinación de un MED generado a partir de información teledetectada y SIG conforman instrumentos poderosos para el desarrollo de estudios de morfometría en sistemas hidrológicos complejos, permitiendo la automatización de parámetros, caracterización de relieve y red hidrológica a menor costo y en un tiempo relativamente breve.

Palabras clave: Parámetros morfométricos, índices morfométricos, SIG, DEM, río Villegas, río Tocuyo.

Abstract

In order to determine topographic and drainage related parameters and indices, A study was conducted in Villegas river basin located in the venezuelan andean ($9^{\circ}35'49''$ / $9^{\circ}48'38''$ N and $70^{\circ}07'34''$ / $70^{\circ}19'14''$ W). A DEM (ASTER 30 m) and GIS (ILWIS ® 3.8.1) the DEM Hydro-processing module of this software were used. The results showed that the study area is characterized by a low susceptibility to flood, vulnerability of the degradation owing to intensity of use. Following the calculated hipsaometric curve the basin studied is in a state of senescence, showing a widefloodain which is poorly drainage given its low slope .The combination of remotely sensed dem based data (DEM) and a GIS make powerful tools for developing morphometric studies in hydrological complex systems, allowing the automation of topography parameters, characteristic of terrain and hydrological network at a lower cost and in a relatively short time.

Key Words: Morphometric parameters, Morphometric indices, GIS, DEM, Villegas river, Tocuyo river.

Recibido: 28-05-2014 / **Aprobado:** 14-10-2015

Introducción

La cuenca hidrográfica podría considerarse la unidad territorial básica, González y col. (2013), la definen como una zona de la superficie terrestre donde la precipitación que cae sobre ella, tiende a ser orientada por el sistema de drenajes hacia un mismo punto de salida; Bastidas (2007) señala que la cuenca puede ser analizada como un sistema donde confluyen lo biológico, lo físico y lo económico social. Dadas las características y la importancia considerada por estos autores, es significativa la descripción de su morfometría como una primera instancia del desarrollo de planes para el manejo integral de cuencas.

La cuenca del río Villegas, conjuntamente con la cuenca del río Agua de Obispo, representa según Alvarado y col. (2011) el 2,6% de la cuenca del río Tocuyo en suelo trujillano. El sistema hidrológico río Tocuyo ocupa 1.721.100 ha, por lo que desde el punto de vista de su extensión superficial es considerada la principal cuenca en la vertiente del Caribe venezolano. La cuenca del río Villegas se ubica al noreste del estado Trujillo, comenzando su recorrido entre los páramos Las Palmas y El Morro, a una altitud aproximada de 2550 msnm, para luego unirse aguas abajo con el río Bucare ya en los linderos con el estado Lara.

En el estudio de cuencas hidrográficas la utilización de tecnología geoespacial facilita la estimación y almacenamiento de datos, a la par que hacen que el análisis morfométrico sea coherente y sistematizado, lo que ayuda en el manejo y planeación de los recursos naturales de toda la cuenca a bajo costo y en menor tiempo (Salas-Aguilar y col. 2011). Herramientas metodológicas tales como datos provenientes de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG), permiten realizar la caracterización espacio - temporal de las propiedades morfométricas de las cuencas hidrográficas y de las redes de drenaje (Gaspari y col., 2012).

Los datos e información obtenidos de sistemas satelitales facilitan la generación de modelos de elevación digital (MED); esta capa es descrita por Olaya (2012) como pieza clave del análisis geomorfométrico, ya que es el equivalente digital de la cartografía clásica de elevaciones, tradicionalmente representada mediante curvas de nivel. La combinación de MED derivados de datos e información teledetectada tales como los provenientes del sistema STRM y del ASTER y los SIG, constituyen una técnica poderosa para el estudio de las cuencas hidrográficas.

La obtención de los parámetros e índices morfométricos es de gran importancia para comprender e interpretar el comportamiento morfodinámico e hidrológico de las cuencas hidrográficas, ya que la información generada permite analizar los elementos geométricos básicos del sistema, que ante la presencia de externalidades, interactúan para originar o activar procesos geomorfológicos de vertientes (Domínguez y Gómez-Tagle, 2009). En virtud de lo antes expuesto, la presente investigación tiene como finalidad determinar parámetros e índices morfométricos de la cuenca del río Villegas mediante el uso de Teledetección y SIG.

Materiales y métodos

Área de estudio. La cuenca del río Villegas pertenece desde el punto de vista hidrológico, a la hoya del río Tocuyo, el cual drena sus aguas al mar Caribe. Geográficamente se localiza entre las coordenadas 9°35'49" - 9°48'38" de LN y 70°07'34" - 70°19'14" de LO, con una extensión territorial aproximada de 22.241 ha y elevaciones que varían entre los 520 y los 2631 msnm. Políticamente se sitúa en el municipio Carache del estado Trujillo, Venezuela. La Figura 1 muestra la localización del área de estudio.

Datos y fuentes. Para la elaboración de esta investigación se utilizaron datos e información teledetectada, la cual fue captada mediante el sensor Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

(ASTER por sus siglas en inglés, a bordo del satélite Terra (EOS AM-1). El MED necesario para este estudio fue obtenido gratuitamente del sitio del proyecto ASTER GDEM (METI y NASA, 2011). El procesamiento de la información, así como la georreferenciación, superposición y obtención de datos en esta investigación se efectuó mediante el uso del SIG libre ILWIS® 3.8.1. En la Figura 2, se muestra el MED base para el desarrollo de la investigación.

Caracterización morfométrica de la cuenca. La delimitación de la cuenca del río Villegas y la construcción de su red de drenajes se realizó mediante la utilización del MED descrito anteriormente, cuya resolución horizontal es de 30m aproximadamente. Utilizando la herramienta denominada Procesamiento Hidrológico de Modelos

de Elevación Digital, disponible en el SIG empleado, generando de manera automática el área total ocupada por la cuenca del río Villegas, así como su perímetro.

De igual manera al obtener el sistema de drenaje, mediante la herramienta de cálculo de distancias se midió la longitud tanto del cauce principal como de todos los afluentes, también se dedujo en esta primera etapa, parámetros de elevaciones tanto del punto más alejado del cauce, como la elevación de la salida del mismo y la elevación promedio, siendo estos parámetros de gran importancia para la obtención de índices morfométricos. Cabe destacar que los parámetros son aquellas variables con valores absolutos y los índices resultantes de la combinación de dos o más parámetros, esto de acuerdo a lo establecido

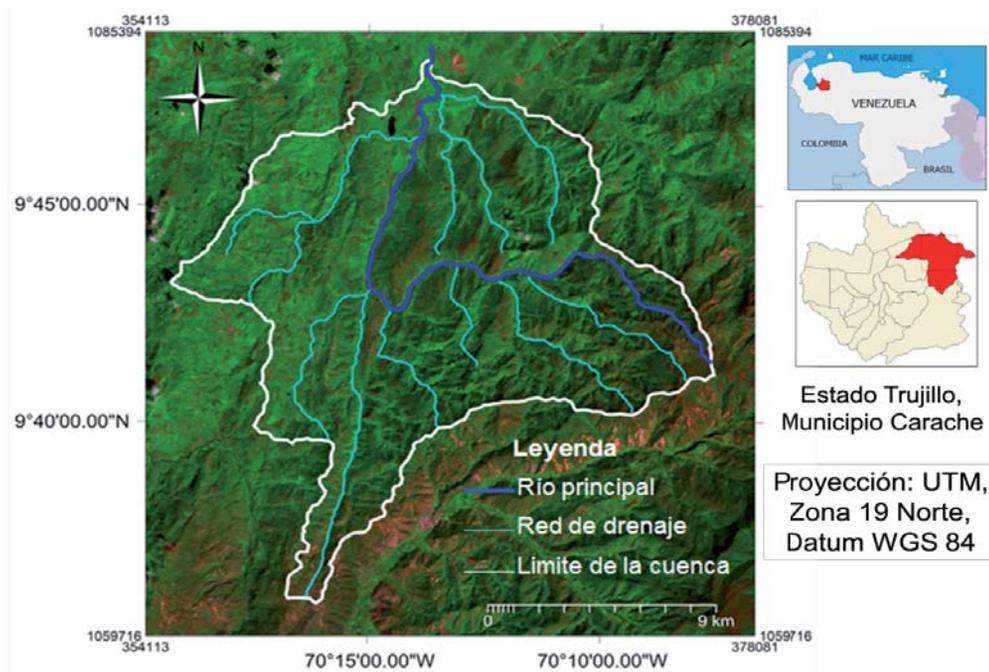


Figura 1. Ubicación relativa, astronómica y político territorial de la cuenca del río Villegas; los límites y la red de drenajes se han superpuesto sobre una composición de bandas (7, 4, 2) de una escena LANDSAT ETM+ (2000), cortesía del Global Land Cover Facility (GLCF) disponible en: <http://glcfapp.glc.fumd.edu:8080/esdi/>

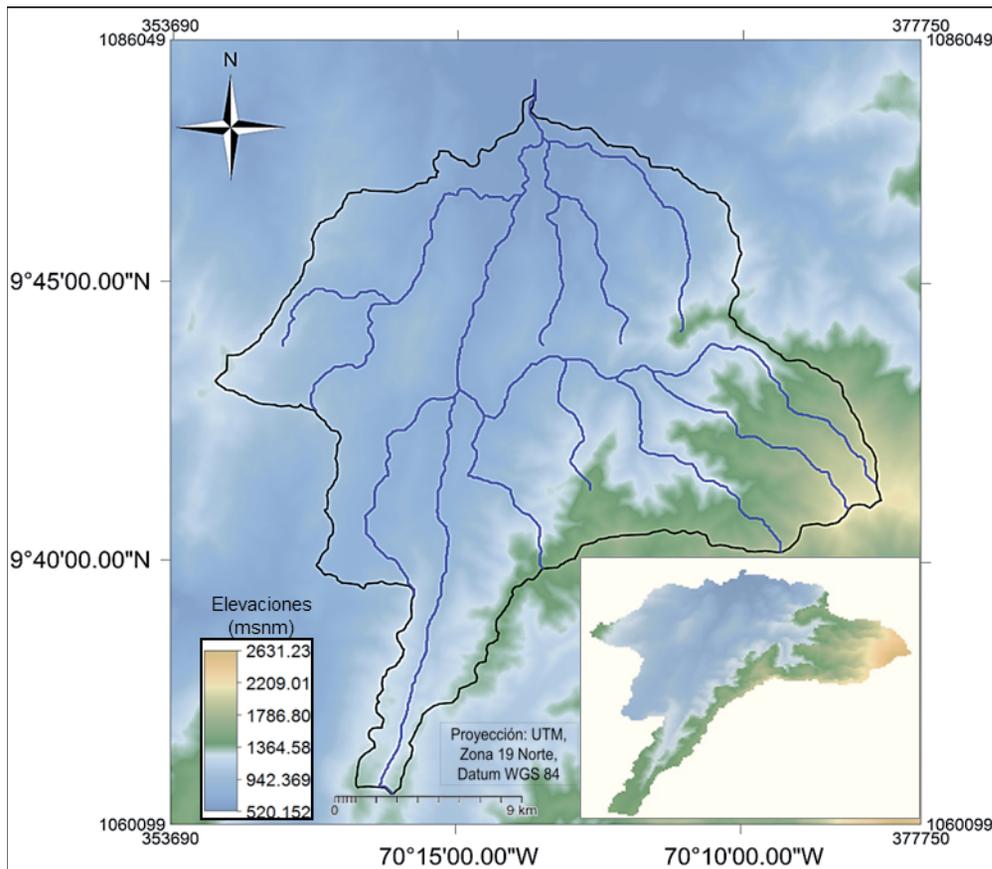


Figura 2. Visualización del MED de la cuenca del río Villegas generado bajo ambiente SIG a partir de datos e información teledetectada del proyecto ASTER GDEM (METI y NASA, 2011) que sirvió de base para el desarrollo de la investigación.

por Romero y López (1987). En la Tabla 1, se muestran los parámetros e índices analizados en este estudio.

Resultados y Discusión

En relación a las características de forma de la cuenca del río Villegas el cálculo del coeficiente de compacidad encontrado fue de 1,59. Este resultado proviene del uso de los parámetros área de la cuenca, la cual es de aproximadamente 222,41 km² y su perímetro, el cual ronda unos 84,35 km. El coeficiente de compacidad hallado permite catalogar al área de estudio como una cuenca de oval ovalada a rectangular oblonga (Fuentes, 2004). Este tipo de forma presupone que es poco susceptible a

las crecidas, debido a que sus aguas escurren en general por un solo curso principal (Gaspari y col, 2012).

Con respecto a la relación de elongación, los resultados arrojan un valor para este índice de 0,55, lo que cataloga a la cuenca como alargada (Viramonte-Olivas y col., 2008), para este cálculo además del parámetro área de la cuenca, se usó la longitud del cauce principal la cual fue de 30.364 m. En cuencas con este tipo de índice, los picos de crecida son menos súbitos, porque los cauces que direccionan el agua son largos y por tanto existe poca susceptibilidad a las crecidas (Delgadillo y Moreno, s.f.).

Tabla 1. Parámetros e índices estudiados, para la Cuenca del Río Villegas.

	Índices (-)/ Parámetro(*)	Descripción	Formula	Requerimientos	Fuente
Características de	-Coeficiente de compacidad (Kc)	Es la relación existente entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia de igual área a la cuenca	$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi Ac}}$	P =perímetro en km, π = número pi, Ac =área de la cuenca en km^2 .	Breña y Jacobo (2006)
	-Relación de elongación (Re)	Relaciona el diámetro de un círculo con igual área que la de la cuenca y la longitud máxima de la misma, entendiéndose ésta como la longitud que expresa el cauce principal del área estudiada	$R = \frac{(1,128)(\sqrt{Ac})}{L}$	Ac =área de la cuenca en km^2 , y L =longitud del cauce principal en km^2 .	Shumm (citado en Viramontes-Olivas, 2008)
Características de Drenaje	Orden de cauces (Horton-Strahler)	Es un sistema de jerarquización que subdivide los diferentes cursos de agua que integran la red de drenaje superficial en fragmentos de cauce, clasificados en función del orden de extensión de los mismos	-----	Mapa de Drenajes de la cuenca	González y col. (2013)
	Densidad de drenajes (Dd)	Es la relación entre la suma de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca con respecto al área de la misma	$Dd = \frac{\sum Lt}{Ac}$	L =longitud de las corrientes en km y Ac =área de la cuenca en km^2 .	Gaspari y col. (2012).
	Pendiente media del cauce (Pcm)	Es la relación existente entre el desnivel altitudinal del cauce y su longitud.	$Pcm = \frac{\sum \Delta h}{L} 100$	Δh =diferencia en elevación entre la salida de la cuenca y el punto más alejado del canal y L =la longitud del canal.	Ibáñez y col. (2011)
	Tiempo de concentración (Tc)	Revela el tiempo teórico que dura una gota de agua en su recorrido, desde la parte más alejada de la cuenca hasta la desembocadura de la misma, luego que el suelo y las microdepressiones cóncavas del relieve se hayan saturado de agua.	$Tc = 0,95 \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385}$	L =es la longitud del cauce principal en km Δh =es diferencia en elevación entre la salida de la cuenca y el punto más alejado del canal en m.	Salas-Aguilar y col. (2011)
	Coeficiente de masividad (Km)	Se refiere a la relación existente entre la elevación media de la cuenca y la superficie ocupada por ésta	$Km = \frac{Amc}{AC}$	Amc =la altitud media de la cuenca en m y Ac = el área de la cuenca en km^2 .	Salas-Aguilar y col. (2011),
Características de Relieve	Curva hipsométrica	Representación gráfica de la distribución de la cuenca por tramos de altitud relativa; dicha curva presenta en las ordenadas, los distintos valores de elevación relativa de la cuenca con respecto al nivel del mar y en las abscisas, la superficie de la cuenca que se halla acumulada en dichas cotas, ya sea en km^2 o en tanto por cien de la superficie total de la cuenca	-----	Reclasificación del MED, en rangos altitudinales	Oñate (2012)
	Pendiente media de la cuenca	Es la media ponderada de las pendientes de toda el área de la cuenca	-----	Mapa de pendientes y mapa de rangos altitudinales reclasificado	Ibáñez y col. (2011)
	Elevación media	Es el promedio de las elevaciones presentes en la cuenca	-----	Estadísticos descriptivos presentes en el histograma de frecuencias derivado del MED de la cuenca del río Villegas	Valtierra y Domínguez (2013)

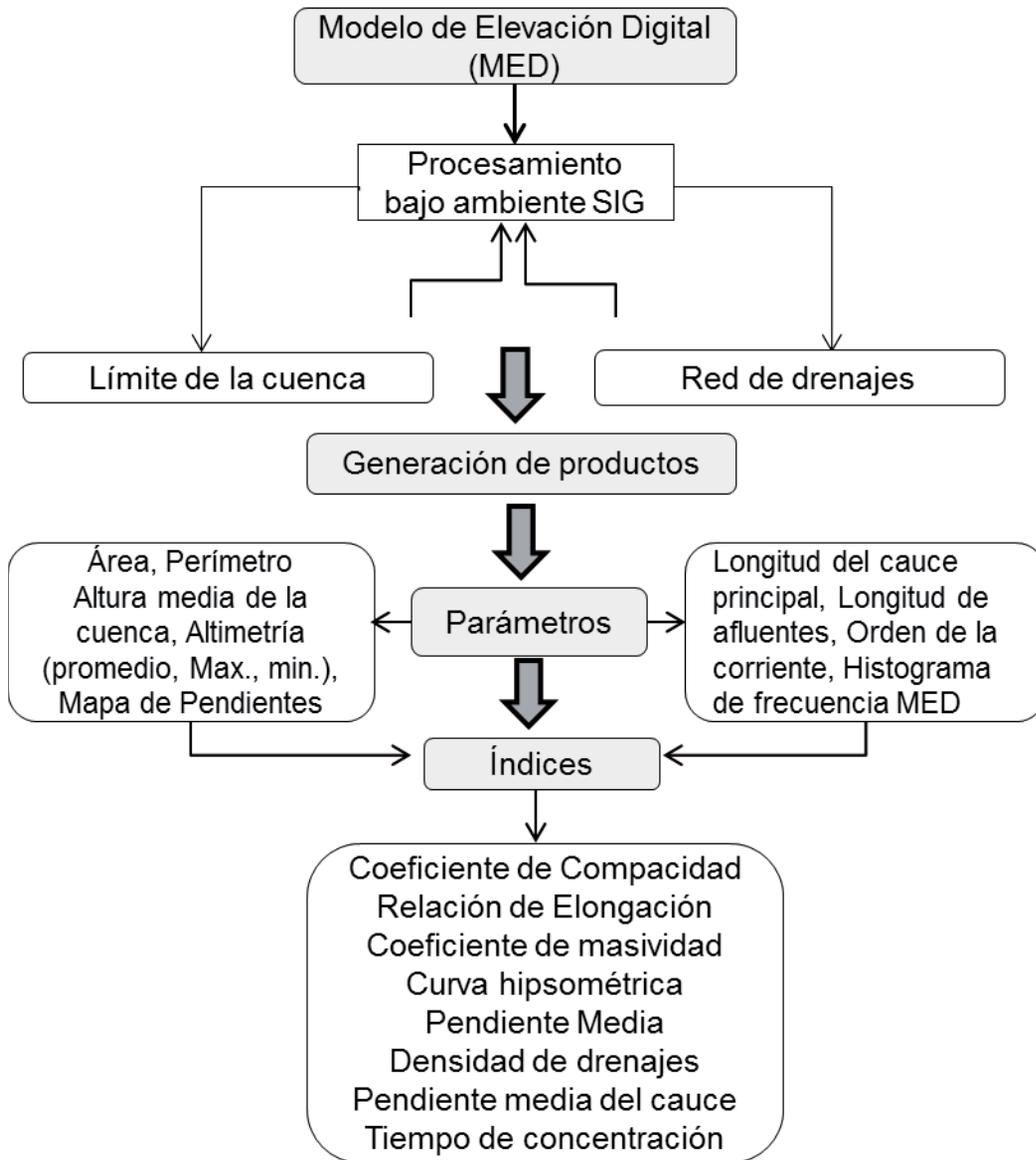


Figura 3. Esquema metodológico para el cálculo y generación de parámetros e índices morfométricos en la cuenca del río Villegas a partir de datos teledetectados y SIG

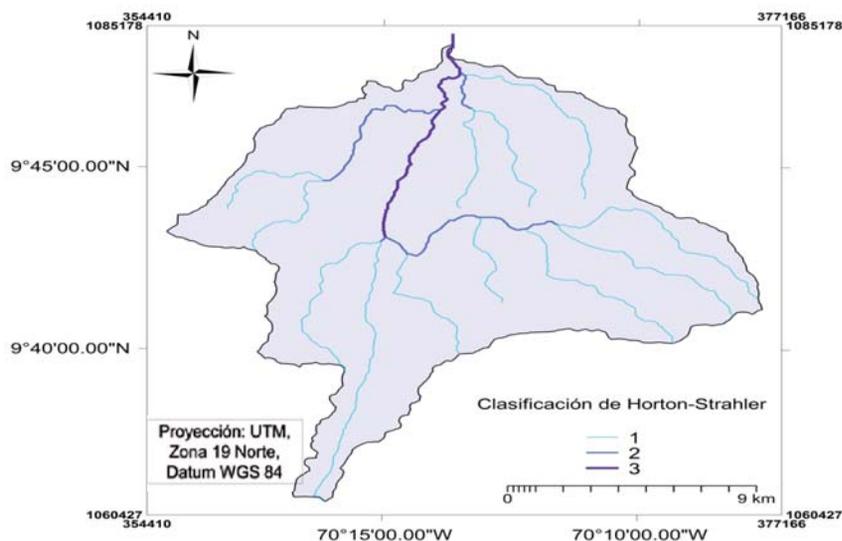
En lo que respecta a los parámetros e índices que tienen que ver con la red de drenaje en el área estudiada, se obtuvo un valor de 3 en el orden de cauces; en este sentido corrientes de mayor orden en la jerarquía de Horton-Strahler corresponderán a una red más densa y comunicada, y por ende, a cuencas de menor tiempo de respuesta hidrológica (González y col., 2013).

Un rango de clase entre 2 y 4 es considerado un orden de clase medio (Fuentes, 2004); estos resultados reflejan una cuenca altamente disectada, que desaloja de manera rápida el agua de una tormenta, además se considera que cuencas con este valor de orden de corriente presentan suelos que se erosionan fácilmente o son relativamente impermeables (Aparicio, 1992).

La Figura 4, exhibe la cuenca del río Villegas y su orden de cauces, identificando con 1 los cursos que fluyen desde altitudes elevadas y con un valor de orden 3 el río o cauce principal, el cual alcanza la máxima dimensión dentro del área ocupada por la cuenca.

La densidad de drenajes encontrada para la cuenca del río Villegas fue de 0,56 km/km², este valor expresa el equilibrio entre el poder erosivo del caudal y la resistencia a la erosión indicada por las características geoecológicas (Gonzales y col., 2013). La pendiente media del cauce principal arrojó un valor de 7%, el cual corresponde de acuerdo a lo propuesto por Fuentes (2004), a una pendiente moderada. Este tipo de desnivel tiende a tener un potencial erosivo bajo (Campos, 1999). En la Figura 5 se observa el perfil longitudinal del río Villegas.

Figura 4. Clasificación de orden de cauces Horton-Strahler para la cuenca del río Villegas.



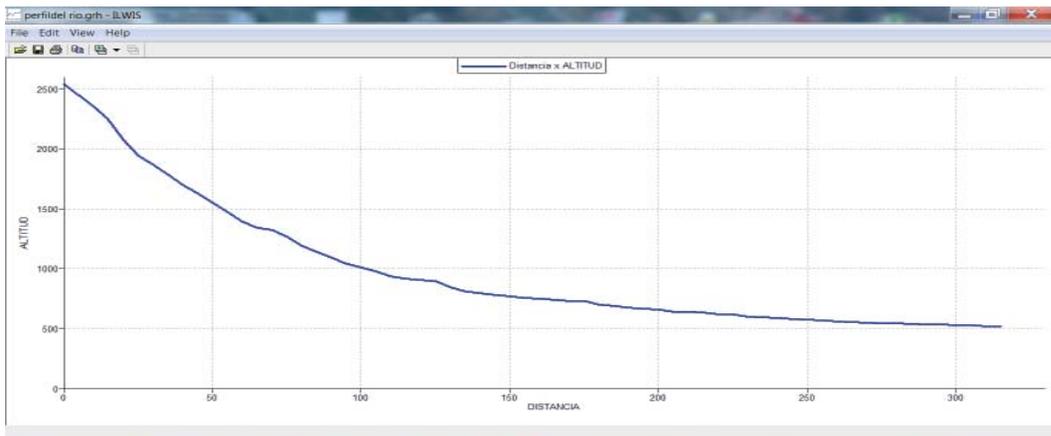


Figura 5. Perfil longitudinal del río Villegas

El valor del tiempo de concentración obtenido para el área de estudio fue de 2,61 horas. Un tiempo de concentración rápido como el encontrado en la cuenca estudiada refleja la poca infiltración y afecta la alimentación de flujo subsuperficial a gran escala (Viramontes-Olivas, 2008).

Valores por debajo de las 40 horas pueden ser considerados como desalojo de agua veloz (Díaz y col., 1999); aunque esta relación no corresponde fielmente a lo que sucede en la realidad, pues en esta intervienen las características fisiográficas, geomorfológicas y geológicas de las cuencas, las condiciones estructurales y texturales de los suelos, la cobertura vegetal y el contenido de materia orgánica, la pendiente general del terreno y también la intensidad de la lluvia (Núñez, 2001).

En lo concerniente a los parámetros e índices relacionados con el gradiente y el relieve de la cuenca estudiada, el coeficiente de masividad encontrado en la cuenca del río Villegas fue de 6,88, lo que es característico de cuencas ubicadas en zonas de montaña (Fuentes, 2004), este índice toma valores altos en cuencas pequeñas que presentan grandes desniveles topográficos, como en el caso de las zonas de montañas y valores bajos en cuencas grandes de topografía suave (Almorox y col., 2010). Las cuencas

ubicadas en zonas montañosas tienden a ser muy vulnerables, tanto por degradación o por intensidad de uso (Ramakrishna, 1997).

La curva hipsométrica en la cuenca estudiada es del tipo cóncava, característica de una cuenca sedimentaria en correspondencia a lo expresado por Strahler citado por (Gaspari, 2012); este tipo de comportamiento en la curva hipsométrica también es denominado como una fase de senectud (Racca, 2007), en esta fase la cuenca presenta la persistencia de remanente de erosión que caracteriza a estadios finales del ciclo geomórfico, si estos remanentes son removidos la curva hipsométrica recupera una posición de equilibrio (Rabassa, 1982).

En esta etapa de senectud, el proceso de ensanchamiento de la planicie de inundación (en este caso el valle) es más importante que el de la profundización (Breña y Jacobo, 2006). Cabe destacar que el estado de vejez en las cuencas hidrográficas tal vez se ve influenciado por el constante efecto del viento, la erosión hídrica, los cambios de la temperatura y la actividad tectónica en las distintas eras geológicas que van desgastando la superficie (Salas-Aguilar y col., 2011). A continuación se muestra, tanto la relación hipsométrica (Tabla 2), como la curva hipsométrica (Fig. 6) generada para la cuenca del río Villegas.

Tabla 2. Relación hipsométrica para la cuenca del río Villegas, resultado de la reclasificación del MED en rangos altitudinales y el porcentaje de superficie acumulada por rango de altitud.

Cota altitudinal (msnm)	Área (m ²)	Superficie acumulada (m ²)	Porcentaje área acumulada
500	87.144	162.829	100,00
700	19.397	75.685	46,48
900	22.027	56.288	34,57
1100	8.932	34.261	21,04
1300	6.453	25.329	15,56
1500	5.659	18.876	11,59
1700	3.769	13.217	8,12
1900	2.438	9.448	5,80
2100	1.974	7.010	4,31
2300	1.785	5.036	3,09
2500	2.091	3.251	2,00
2700	1.160	1.160	0,71

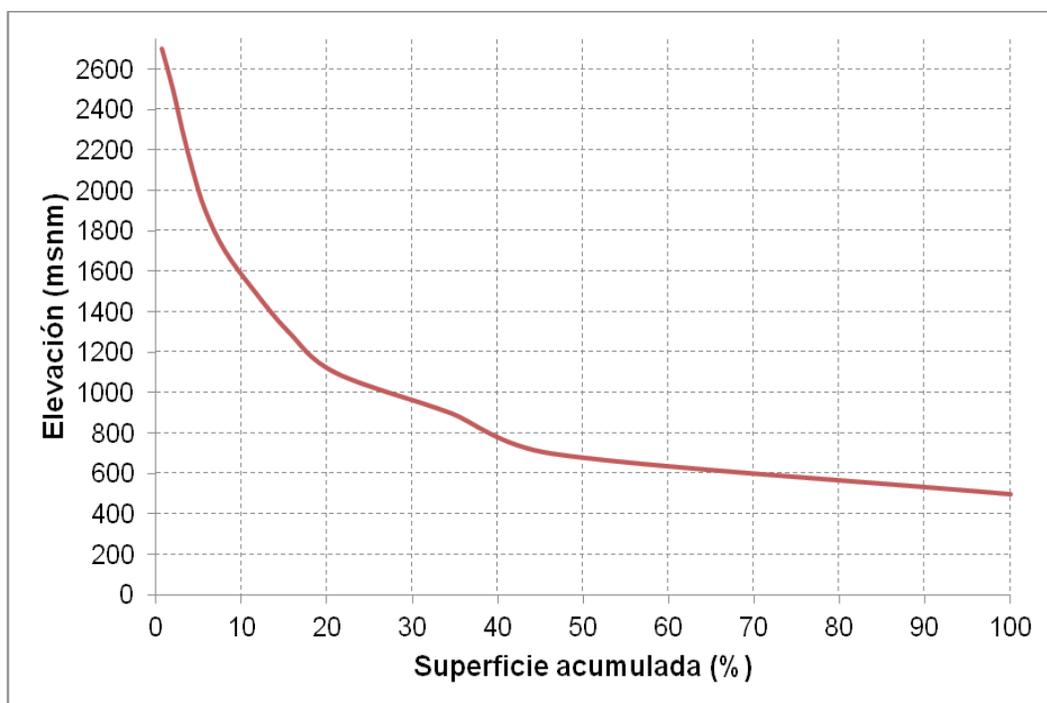


Figura. 6. Curva hipsométrica obtenida para la cuenca del río Villegas.

La pendiente de la cuenca es un parámetro morfológico que tiene una relación importante y compleja con la infiltración del agua en el suelo, y la consecuente contribución a la recarga de agua subterránea, así como también a la ocurrencia de escorrentía. Este parámetro además tiene una importancia directa en relación a las crecidas, ya que controla el tiempo de escurrimiento y la concentración de la lluvia en los cauces de drenaje (Anaya, 2012).

En el caso de la cuenca del río Villegas, la pendiente media fue de un 19,1%, el valor obtenido expresa un relieve accidentado, según la clasificación de pendientes de López (1998), este tipo de pendiente favorece la escorrentía, lo que implica menor oportunidad de infiltración, así como tiempos de concentración cortos, por tanto, menos

posibilidad de recarga de agua subterránea (Bastidas, 2007). En la figura 7, se muestra el Mapa de Pendientes de la cuenca del río Villegas en grados, donde se puede observar que gran parte de la misma posee pendientes entre 15 y 30 grados.

El valor obtenido como elevación media de la cuenca del río Villegas fue de 763 msnm, el resultado de este parámetro incide directamente sobre su distribución térmica y por lo tanto en la existencia de microclimas y hábitats muy característicos de acuerdo a las condiciones locales reinantes, lo cual constituye una base para caracterizar zonas climatológicas y ecológicas presentes en una cuenca hidrográfica (Fuentes, 2004).

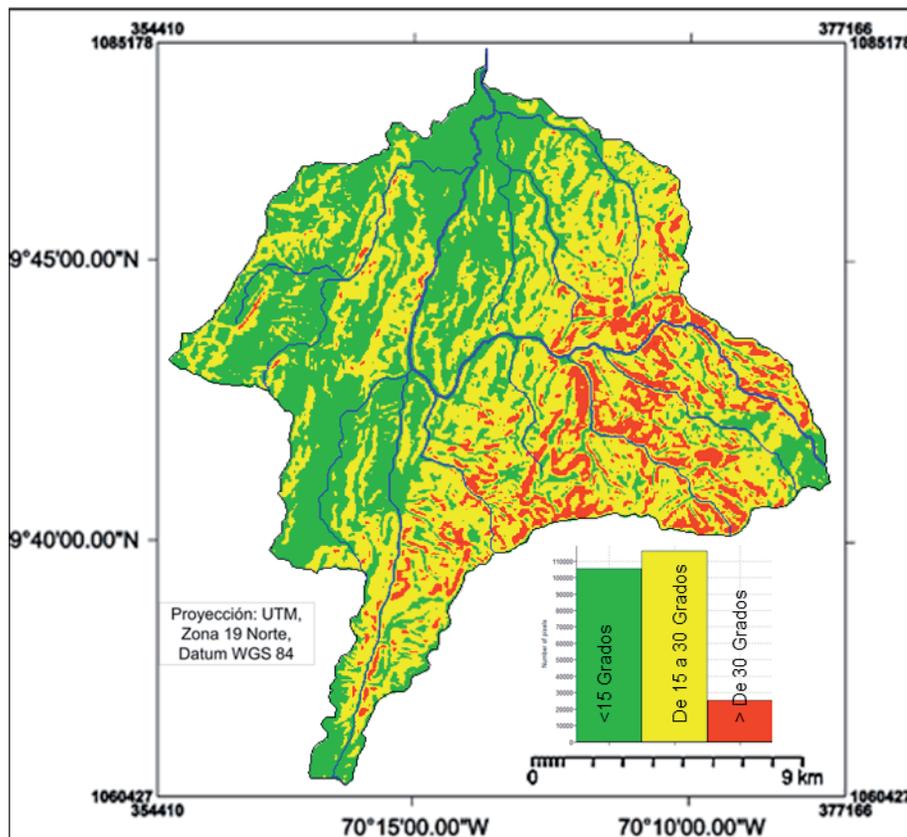


Figura 7. Mapa de Pendientes de la cuenca del río Villegas, en grados.

Conclusiones:

Se logró determinar parámetros e índices morfométricos de la cuenca del río Villegas mediante el uso de Teledetección y SIG; se puede aseverar que la utilización de estas herramientas tecnológicas son de gran ayuda en el estudio morfométrico de cuencas hidrográficas. Concretamente los MED, generados a partir de la captura de información mediante Sensores Remotos, junto con las herramientas de *Procesamiento Hidrológico de MDE* disponibles bajo ambiente SIG, conforman una combinación eficaz para el desarrollo de estudios de morfometría en sistemas hidrológicos complejos.

Por otra parte, la interpretación de los valores obtenidos de índices y parámetros morfométricos debe realizarse con cuidado, puesto que algunos pueden simbolizar características subjetivas. Sin embargo, la información generada aporta una perspectiva general que ayuda a la creación de diversos contextos para prevenir eventualidades y tomar medidas para la conservación de los recursos naturales presentes en las cuencas.

Referencias bibliográficas:

- Almorox J, López F, Rafaelli S. La degradación de los suelos por erosión hídrica. Métodos de estimación. Murcia (España): EDIT-UM; 2010. p 300.
- Alvarado H, Mondragón A, Alonso M. Flora ribereña de la cuenca del río Tocuyo, estados Lara, Trujillo y Falcón, Venezuela. [Documento en línea] 2011 [Citado 16 dic 2013]; [58 pantallas]. Disponible en: <http://pegasus.ucla.edu/investigacion/peces/Pagina%20WEB%20Biodiversidad%20Tocuyo%202011/pdf/Alvarado.%20En%20Prensa.%20Flora%20ribere%C3%B1a%20cuenca%20R%20C3%ADo%20Tocuyo.docx>
- Anaya. Caracterización morfométrica de la cuenca hidrográfica Chinchao, distrito de Chinchao, provincia Huanuco, region Huanuco. [Documento en línea] 2012 [Citado 26 dic 2013]; [16 pantallas]. Disponible en: <http://www.unas.edu.pe/web/sites/default/>

files/web/archivos/actividades_academicas/caracterizacion%20morfometrica%20de%20la%20cuenca%20hidrografica%20chinchao,%20distrito%20de%20chinchao,%20provincia%20de%20huanuco,.pdf

- Aparicio F. Fundamentos de hidrología de superficie. México: editorial Limusa; 1992. p 204.
- Bastidas J. Nociones de hidrografía. Mérida (Venezuela): Universidad de Los Andes, Consejo de Publicaciones; 2007. p 167-173.
- Breña A, Jacobo M. Fundamentos de hidrología superficial. (México): Universidad Autónoma Metropolitana; 2006. p 01-289.
- Campos, A. Proceso de Ciclo Hidrológico. (México): Universidad Autónoma de San Luis Potosí; 1999. p 01-13.,
- Delgadillo A, Moreno A. Hidrología: Morfometría de cuencas. [Documento en línea] s.f. [Citado 27 dic 2013]; [9 pantallas]. Disponible en: <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/MORFOMETR%CDA%20DE%20CUENCAS.pdf>
- Díaz C, Khalidou B, Iturbe A, Esteller M, Reyna F. 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.* 1999; 6 (2): 124-134.
- Domínguez F, Gómez-Tagle A. El análisis morfométrico con sistemas de información geográfica, una herramienta para el manejo de cuencas. [Documento en línea] 2009 [Citado 14 dic 2013]. Disponible en: http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/congresos/Ciudad%20Obregon/RECURSOS_NATURALES/
- Fuentes J. Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del parque nacional Pico de tancítaro. [Documento en línea] 2004 [Citado 03 dic 2013]. Disponible en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/morfometria_pico_tancitaro.pdf

- Gaspari F, Rodríguez A, Senisterra G, Denegri G, Delgado M, Besteiro S. Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. [Artículo en línea] 2012 [Citado 02 ene 2014]; 1 (4):[16 pantallas]. Disponible en: <http://revistas.unlp.edu.ar/index.php/domus/issue/current/showToc>
- González H, Arvizu L, Domínguez M. Uso de herramientas informáticas para la caracterización geomorfológica de cuencas hidrográficas. (Resumen) Memorias del III Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas, 2013. Morelia, México. P 03.
- Ibáñez S, Moreno H, Gisbert J. Morfología de las cuencas hidrográficas. [Documento en línea] 2011. [Citado 12 ene 2014]: [12 pantallas]. Disponible en: <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%C3%ADa%20de%20una%20cuenca.pdf?sequence=1>.
- López F. Hidrológica Forestal de cuencas y Control de la Erosión. Madrid (España): Editorial Mundi Prensa, 1998. p 345-354.
- METI y NASA. (2011). ASTER GDEM [Datos en línea]. Disponible: <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/> [Consulta: 2012, Octubre 18] desarrollado por el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón y la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio de Estados Unidos.
- Núñez J. Manejo y conservación de suelos. San José (Costa Rica): EUNED editorial universidad estatal a distancia; 2001. p 123-134.
- Olaya V. Sistemas de Información Geográfica. [Documento en línea] 2012 [Citado 17 feb 2013]; [478 pantallas]. Disponible en: http://wiki.osgeo.org/wiki/Libro_SIG.
- Oñate F. Hidrología. [Documento en línea] 2012 [Citado 17 dic 2013]; [114 pantallas]. Disponible en: <http://www.fronate.pro.ec/fronate/wp-content/media/hidrologia.pdf>
- Racca, J. Análisis hipsométrico, frecuencia altimétrica y pendientes medias a partir de modelos digitales del terreno. Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología. 2007. 77(1-2): 31-39.
- Rabassa J. Variación regional y significado geomorfológico de la densidad de drenaje en la cuenca del río Sauce Grande, Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 1982. 37 (3):268-284
- Ramakrishna, B. *Estrategia de Extensión para el Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas: Conceptos y Experiencias*. 1997. San José, IICA/GTZ.
- Romero M, López F. Morfometría de redes fluviales: revisión crítica de los parámetros más utilizados y aplicación al alto de Guadalquivir. 1987. Papeles de Geografía Física Número 12: 47-62.
- Salas-Aguilar V, Pinedo-Alvarez C, Viramontes-Olivas A, Baez-Gonzalez A, Quintana-Martines R. Morfometría de la cuenca del río Nazas-Rodeo en Durango, Mexico, aplicando tecnología geoespacial. *Tecnociencia Chiguagua*. 2011; 5 (1): 34-42.
- Valtierra J, Dominguez A. Herramienta para la Caracterización Geomorfológica de Cuencas Hidrográficas. En Tercer Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas, 28 al 30 agosto 2013. [Documento en línea] [Citado 17 dic 2013]; [7 pantallas]. Morelia, Michoacán. México Disponible en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/cong_nal_06/tema_03/16_jose_valtierra.pdf
- Viramontes-Olivas O, Escoboza-García L, Pinedo-Alvarez C, Pinedo-Alvarez A, Reyes-Gómez V, Román-Calleros J, Pérez-Márquez A. Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos. *Tecnociencia Chiguagua*. 2008, 3(1): 21-31.