

**Comparación de los MDE ASTER y SRTM en el análisis morfométrico de la cuenca del Utcubamba (Perú)****Comparison of ASTER and SRTM MDE in the morphometric analysis of the Utcubamba basin (Peru)**Elgar Barboza Castillo<sup>1\*</sup>, <sup>a</sup>Miguel Enrique Chichiple<sup>1</sup>, <sup>b</sup>Rolando Salas López<sup>1</sup>**RESUMEN**

La caracterización morfométrica es un inventario detallado de los recursos y condiciones biofísicas, socioeconómicas y ambientales de la cuenca. Se trata principalmente de cuantificar las variables que caracterizan la cuenca o unidad hidrográfica para establecer la vocación, posibilidades y limitaciones de sus recursos naturales con el medio ambiente y las condiciones socioeconómicas de las comunidades que lo habitan. El objetivo del presente estudio fue comparar los parámetros morfométricos calculados a partir de los MDE ASTER y SRTM para la cuenca del Utcubamba. Para esto se realizó la delimitación y codificación de las unidades hidrográficas según la metodología Pfafstetter y posteriormente el cálculo de los parámetros de forma, relieve y drenaje de cada subcuenca e intersubcuenca. Se obtuvieron cuatro subcuencas y cinco intersubcuencas para el nivel VI. Además, el análisis estadístico reporta que no existen diferencias significativas entre los valores obtenidos de cada parámetro morfométrico en cada MDE; por lo tanto, será de responsabilidad del investigador o profesional utilizar el tipo de MDE en estudios de morfometría de cuencas hidrográficas.

**Palabras claves:** Hidrología, Pfafstetter, parámetros morfométricos, ArcGIS, río Utcubamba

**ABSTRACT**

The morphometric characterization is a detailed inventory of the biophysical, socioeconomic and environmental resources and conditions of the basin. It is mainly aimed at quantifying the variables that typify the basin or a hydrographic unit in order to establish the vocation, possibilities and limitations of its natural resources with the environment and the socioeconomic conditions of the communities that inhabit it. The objective of the present study was to compare the morphometric parameters calculated from the MDE ASTER and SRTM for the Utcubamba basin. For this, the delimitation and codification of the hydrographic units were carried out according to the Pfafstetter methodology and later the calculation of the shape, relief and drainage parameters of each sub-basin and intersub-basin. Four sub-basins and five intersub-basin were obtained for level VI. In addition, the statistical analysis reports that there are no significant differences between the values obtained for each morphometric parameter in each DEM; therefore, it will be the responsibility of the researcher or professional to use the type of MOU in studies of watershed morphometry.

**Keywords:** Hydrology, Pfafstetter, morphometric parameters, ArcGIS, Utcubamba river

<sup>1</sup>Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. Chachapoyas, Perú

<sup>a</sup>E-mail: mchichiple@indes-ces.edu.pe <sup>b</sup>E-mail: rsalas@indes-ces.edu.pe

\*Autor de correspondencia: ebarboza@indes-ces.edu.pe

## I. INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas se consideran como unidad básica para la planificación y gestión de los recursos hídricos. Por ello es necesario conocer sus límites y sus características morfológicas, ambientales y de la sociedad que las integra (Senisterra *et al.*, 2014; Jumbo, 2015). Durante las últimas décadas las acciones humanas han alterado drásticamente muchas de las funciones ecológicas de los sistemas hídricos (Horacio, 2015), y los ríos en Perú, no son ajenos a esta realidad donde parte de sus cuencas están afectadas por presiones agrícolas, ganaderas, y actividades que afectan directamente e indirectamente a estas (Gómez *et al.*, 2008; García-Huamán *et al.*, 2011; Maicelo *et al.*, 2014). Si a esto se suma la inexistencia del ordenamiento territorial a nivel de cuencas (SUBDERE, 2013), el resultado es la ocupación progresiva del espacio ribereño producto del incremento de suelos con usos urbanos y agrícolas, y la pérdida progresiva de los bosques en las cabeceras de cuencas (Domenech *et al.*, 2008; Alvarenga *et al.*, 2016; Jiang *et al.*, 2016). Por otra parte, un análisis morfométrico constituye uno de los aspectos temáticos más importantes de la ecología de los ríos y permite considerar variables de forma, relieve y red de drenaje, que revelan el comportamiento morfodinámico e hidrológico de un sistema fluvial (Vidal-Abarca *et al.*, 1987; Méndez y Marcucci, 2006; Salas-Aguilar *et al.*, 2011; Cruz *et al.*, 2015). Las características morfométricas de una cuenca hidrográfica constituyen elementos de gran importancia para la evaluación del comportamiento hidrológico y el desarrollo de planes dirigidos al desarrollo sostenible y la gestión integral del recursos hídrico (Villón, 2011; Bentes *et al.*, 2012). El análisis morfométrico en cuencas hidrográficas se aplica de forma universal y en cualquier parte del mundo, siendo este, el punto de partida de investigaciones para generar una idea global sobre el funcionamiento del sistema fluvial, teniendo en cuenta la interrelación agua-aire y agua-sedimento (Moreno y Montoya, 2009). Paralelamente, la aplicación de la tecnología espacial a través de la computación, permite de forma coheren-

te y sistematizada evaluar el funcionamiento del sistema hidrológico, y a su vez estimar, procesar, analizar y almacenar datos descriptivos del sistema (Politi *et al.*, 2016). El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la Teledetección para el análisis de cuencas, subcuencas y microcuencas, y en particular, el análisis de superficies a través de Modelos Digitales de Elevación (MDE) como *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) y *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), destaca por su alta resolución espacial y disponibilidad global, y representa una alternativa para estudios morfométricos a bajo costo y en menor tiempo (Viramontes *et al.*, 2007; Salas-Aguilar *et al.*, 2011; Jumbo, 2015; Cruz *et al.*, 2015). Sin embargo, estos dos MDE presentan algunas limitaciones, como picos o sumideros que afectan la calidad de los mismos (Medeiros *et al.*, 2009).

Existen antecedentes para superar estos problemas; por ejemplo, Wachholz *et al.* (2013) y Rech *et al.* (2011), realizaron la corrección de los datos ASTER y SRTM por medio de la matriz de la función de sumideros de llenado que considera las altitudes de los píxeles vecinos para llenar los "sumideros", suavizando la consistencia en el mapa. Kumar (2005) evaluó las incertidumbres de los MDE en el mapeo de inundación a través de modelos hidrológicos que determinan la profundidad de la inundación superponiendo la información de los MDE en un SIG (Dutta y Herat, 1998). En el presente estudio se realiza una comparación de los MDE ASTER y SRTM en el análisis morfométrico de la cuenca del río Utcubamba, que hasta la fecha no ha sido materia de estudio con respecto a sus características físicas. Así, los objetivos se centraron en (i) delimitar la cuenca del Utcubamba al nivel VI, y (ii) determinar los parámetros morfométricos de la cuenca hidrográfica del Utcubamba a partir de datos DEM ASTER y SRTM.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio

La cuenca del Utcubamba se localiza en el departa-

mento de Amazonas (Perú), entre los 5° 32' 36" y 6° 50' 49" latitud sur, y 72° 22' 49" y 78° 29' 59" longitud oeste, con una superficie de 6 650,07 km<sup>2</sup>, y una longitud de 250 km de cauce principal, aproximadamente (Figura 1). Nace en el cerro Punta de Arena, cercano al caserío Atuen (provincia de Chachapoyas) y desemboca en el río Marañón (pongo Rentema); a lo largo de su recorrido se unen ríos importantes como el Sonche, el Jucusbamba y el Magunchal.

La cuenca tiene como ciudades principales a Leymebamba, Chachapoyas, Luya, Lamud, Pedro Ruiz Gallo, Bagua Grande, Bagua y El Milagro. La altitud máxima es de 4200 m.s.n.m, y la mínima se da en la desembocadura, a 360 m.s.n.m. Se localiza en los ecosistemas de bosques pluviales montaños, con una temperatura promedio anual de 14 °C en la cuenca alta, y bosques estacionalmente secos, en la cuenca media y baja (Linares-Palomino, 2004), con temperaturas promedio anuales de 29 °C de media en su desembocadura. Las precipitaciones oscilan entre 1321 mm anuales en la cabecera de cuenca, y 650 mm en la parte baja de la misma. La estructura arbórea está definida principalmente, por formaciones de *Alnus acuminata*, *Tes-*

*saria integrifolia*, *Inga ornata* y *Salix chilensis*, acompañado por asociaciones de *Phragmites australis* y *Gynerium sagittatum* (Rascón y Corroto, 2014).

### Delimitación y codificación de unidades hidrográficas

El primer paso consistió en obtener la información vectorial y ráster de las bases de datos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) adquiriendo la capa de cuencas hidrográficas nivel 5; del Geoservidor del MINAM se obtuvieron los MDE ASTER (S06W078, S06W079, S07W078 y S07W079); y del Earth Explorer se recibieron los DEM SRTM. Posteriormente se efectuó la corrección de picos o sumideros (zonas sin datos o vacíos) de los MDE ASTER y SRTM mediante estadísticas focales, según la metodología propuesta por Jumbo (2015) (Figura 2).

La delimitación de las unidades geográficas se realizó de manera automática con la herramienta *Arc Hydro Tools* y la extensión *Spatial Analyst* del ArcGIS 10.3 (Medeiros *et al.*, 2009; Rech *et al.*, 2011; Walchholz *et al.*, 2013). Seguidamente, se definió la red de drenaje, y se corrigieron los huecos y solapes de los polígonos a través de reglas topológicas.

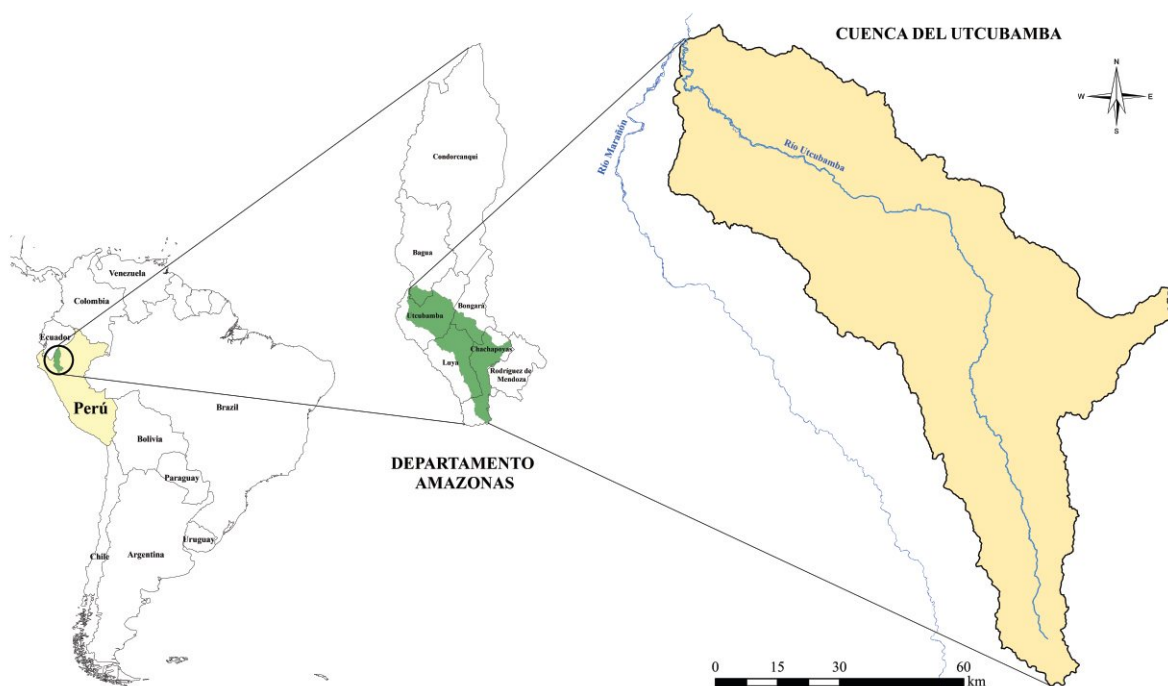


Figura 1. Ubicación de la cuenca del Utcubamba en el departamento de Amazonas.

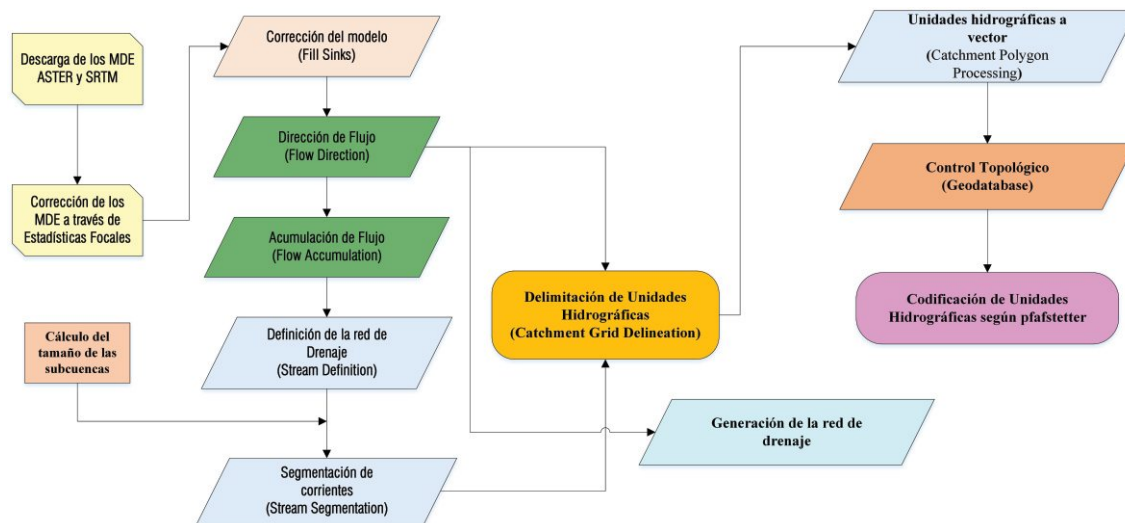


Figura 2. Procedimiento de corrección, delimitación y codificación de las unidades hidrográficas de la cuenca del Utcubamba.

Tabla 1. Metodología adaptada para el cálculo de parámetros morfométricos de las subcuencas e intersubcuencas en la cuenca del Utcubamba.

Aspecto	Parámetro morfométrico	Definición/Fórmula	Referencia
Forma	Área ( $A$ )	Es el área encerrada dentro de las líneas divisorias de agua	Horton (1945)
	Perímetro ( $P$ )	Longitud de división de cuenca que rodea la cuenca	Horton (1945)
	Longitud de la cuenca ( $L_c$ )	Es la medición desde la embocadura hasta el límite de la divisoria paralela al cauce principal	Villón (2011)
	Ancho de la cuenca ( $B$ )	Es la relación entre el área de la cuenca y la longitud de la cuenca	Villón (2011)
	Factor de forma de la cuenca ( $F$ )	$F = \frac{A}{L_c^2}$ , $F$ : Factor de forma, $A$ : Área de la cuenca y $L_c$ : Longitud de la cuenca	Fuentes (2004)
	Coefficiente de compacidad ( $C_c$ )	$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$ $K_c$ : Coeficiente de compacidad, $P$ : Perímetro de la cuenca y $A$ : Área de cuenca	Fuentes (2004)
	Relación de elongación ( $R_e$ )	$R_e = \frac{1.1284 \sqrt{A_c}}{L_c}$ $R_e$ : Relación de elongación, $L_c$ : Longitud de la cuenca y $A_c$ : Área de la cuenca	Schumm (1956)
Relieve	Índice de alargamiento ( $I_a$ )	$I_a = \frac{L_m}{l}$ $I_a$ : Índice de alargamiento, $L_m$ : Longitud máxima de la cuenca y $l$ : Ancho máximo de la cuenca	Fuentes (2004)
	Pendiente media de la cuenca	Tiene una relación importante y compleja con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo, y la contribución del agua subterránea a la escorrentía	Villón (2011)
	Perfil longitudinal del cauce principal	Representa las diferentes elevaciones del fondo del arroyo desde el nacimiento hasta la desembocadura del río	Villón (2011)
Red de drenaje	Pendiente media del cauce	$S = \frac{H}{L}$ $S$ : Pendiente media del cauce, $H$ : Desnivel entre el puntos más alto y bajo del cauce y $L$ : Longitud del cauce	Fuentes (2004)
	Orden las corrientes	Se consideran como corrientes de orden uno aquellas que no tienen ningún tributario; el orden dos a las que tienen tributarios de orden uno; de orden tres, aquellas corrientes con dos o más tributarios de orden dos, etc	Villón (2011)
	Densidad de drenaje	$D_d = \frac{\sum L}{A}$ $D_d$ : Es la densidad de drenaje, $\sum L$ : La suma de la longitud de todos los arrollos dentro de la cuenca, y $A$ : es el área de la cuenca	Horton (1945)
	Densidad de corriente	$D_c = \frac{N_u}{A}$ $D_c$ : Densidad de corrientes, $N_u$ : Número total de cauces de orden $u$ , y $A$ : área de la cuenca	Horton (1945)
	Longitud del cauce principal	Es la longitud curso de agua más largo, medido desde la naciente hasta su desembocadura	Horton (1945)
Red de drenaje	Relación de bifurcación ( $R_b$ )	$R_b = \frac{N_u}{N_u + 1}$ $R_b$ : Número total de cauces con orden $u$ , y $u$ : Número de orden del cauce	Schumm (1956)

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se procedió a codificar las unidades hidrográficas al nivel 6, mediante el método de Pfafstetter, que consistió en seleccionar cuatro subcuencas principales y etiquetar con los dígitos 2, 4, 6 y 8, en el sentido de aguas abajo hacia aguas arriba. Las intersubcuencas (de menor tamaño) se etiquetaron con los dígitos 1, 3, 5, 7 y 9, respectivamente (Ruiz *et al.*, 2008; Alden *et al.*, 2011).

#### Análisis morfométrico

A partir de las subcuencas e intersubcuencas obtenidas en la etapa anterior y el uso de la herramienta SIG (ArcGIS 10.3) se calcularon los parámetros de forma, relieve y red de drenaje (Tabla 1) de manera automatizada a través de la extensión *Hidrology*. La forma de la cuenca es un elemento muy importante que depende de su tamaño, perímetro, longitud y anchura, y a partir de ello se pueden obtener varios índices que caractericen de algún modo la forma de la cuenca. Las variables

de relieve, son estudiadas por ser consideradas las de mayor importancia, de tal modo que, por ejemplo, la pendiente, tiene influencia directa en el tipo de drenaje, forma de los canales, velocidad y tipo de escorrentía, potencial erosivo o de carga de las corrientes, formas de modelado resultantes, características de la infiltración, depósitos en los lechos, etc. Finalmente los resultados obtenidos de cada variable morfométrica fueron sometidos a un análisis estadístico con el software R, con la finalidad de conocer las diferencias significativas con respecto a cada variable calculada y MDE.

#### III. RESULTADOS

Los resultados del procesamiento de los modelos digitales de elevación ASTER y SRTM a través de las estadísticas focales se muestran en la figura 3.

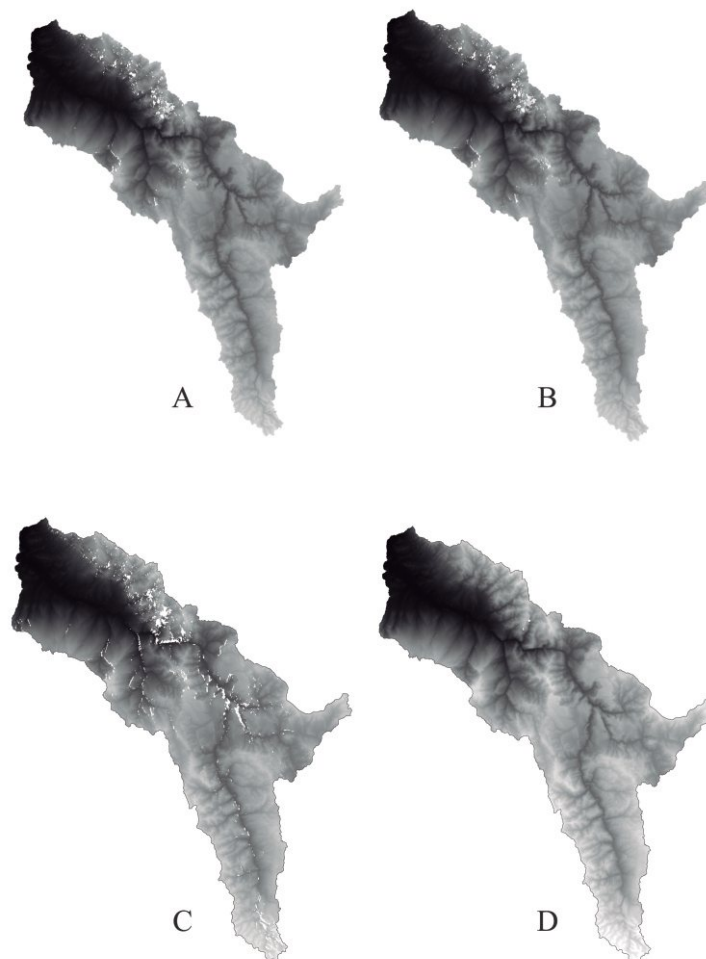
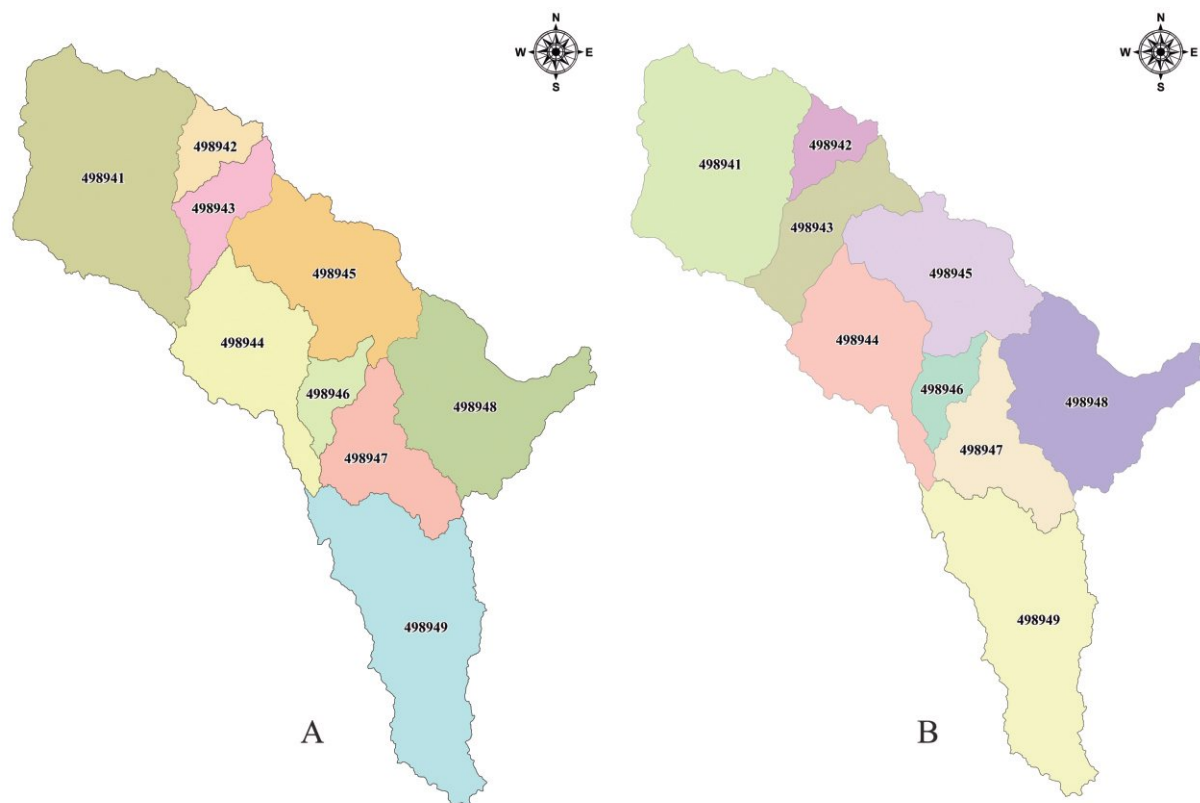


Figura 3. Modelos Digitales de Elevación. a) ASTER sin corregir, b) ASTER corregido, c) SRTM sin corregir, y d) SRTM corregido.





**Figura 4.** Delimitación y codificación de unidades hidrográficas. a) ASTER. b) SRTM.

El resultado del geoprocésamiento a través de *Arc Hydro Tools*, permitió obtener la delimitación de las nueve unidades hidrográficas en formato vectorial, correspondientes a la cuenca del río Utcubamba. Además, se codificó cada una de las subcuencas e intersubcuencas de acuerdo al método Pfafstetter (Figura 4).

#### **Análisis morfométrico de las unidades hidrográficas**

Los resultados del análisis morfométrico se estructuran en tres partes; en la primera se muestran los resultados de los parámetros de forma, seguido por los parámetros de relieve, y finalmente, se presentan los resultados de los parámetros de drenaje de las subcuencas e intersubcuencas.

De acuerdo con la tabla 2, las variables de forma (área, perímetro, longitud de cuenca, factor de forma, coeficiente de compacidad, relación de elongación e índice de alargamiento) no presentan diferencias significativas según la prueba estadística de Kruskal-Wallis. La subcuenca (498941) e intersubcuenca (484949) presentan el mayor área y perímetro en ambos MDE. En cuanto al Coeficiente de compacidad ( $K_c$ ), la mayoría

de los valores obtenidos están entre los rangos de 1,31 a 1,51, lo que significa que las subcuencas e intersubcuencas tienden a una forma de cuenca oblonga (Fuentes, 2004). El índice de alargamiento muestra resultados en un rango de 0,47 a 2,12, que clasifica a las unidades hidrográficas como poco alargadas a muy alargadas. No existe diferencia significativa ( $p=0,4015$ ) entre los resultados obtenidos para las pendientes medias de las unidades hidrográficas.

Los parámetros de la red de drenaje (orden de la cuenca, densidad de drenaje, pendiente media del cauce, longitud del cauce principal y relación de bifurcación) no muestran diferencias significativas en relación a los resultados obtenidos en cada uno de ellos.

#### **Perfil longitudinal del cauce principal**

En la figura 5 se observan los perfiles longitudinales del cauce principal generados para cada unidad hidrográfica (subcuencas e intersubcuencas) de los datos. Por otra parte, en la figura 6 se presentan los perfiles longitudinales del cauce principal de las unidades hidrográficas según los datos obtenidos de los datos SRTM.

Tabla 2. Análisis morfométrico de las subcuencas e intersubcuencas de la cuenca del río Utcubamba

Parámetros de la cuenca	498941	498942	498943	498944	498945	498946	498947	498948	498949	P*									
	ASTER SRTM	ASTER SRTM	ASTER SRTM	ASTER SRTM	ASTER SRTM	ASTER SRTM	ASTER SRTM	ASTER SRTM	ASTER SRTM										
Área de la cuenca (km <sup>2</sup> )	151419	134827	21538	21461	29609	51493	76350	76266	88037	81689	18976	1899	52432	54499	94598	94085	132048	131697	0,8946
Perímetro de la cuenca (km)	19801	17236	7996	7785	10024	13522	16992	15773	17250	15208	8016	8268	13938	14629	17974	1725	22768	22589	0,6272
Ancho máximo (km)	4760	4704	1694	1697	3648	4327	3018	313	3085	3326	1467	1452	2898	2975	4527	4201	3368	3392	0,8253
Longitud de la cuenca (km)	6321	5125	2331	2361	1711	2299	5539	5567	4582	4519	2756	2755	3931	4401	4337	3918	7143	7095	0,9343
Factor de forma (Rf)	0,38	0,51	0,40	0,38	1,01	0,97	0,25	0,25	0,42	0,40	0,25	0,25	0,34	0,28	0,50	0,61	0,26	0,26	0,9076
Coefficiente de compacidad (Kc)	1,42	1,31	1,53	1,49	1,63	1,67	1,72	1,60	1,63	1,49	1,63	1,68	1,70	1,75	1,64	1,57	1,75	1,74	0,6272
Relación de elongación (Re)	0,69	0,81	0,71	0,70	1,13	1,11	0,56	0,56	0,73	0,71	0,56	0,56	0,66	0,60	0,80	0,88	0,57	0,58	0,9082
Índice de alargamiento (Ial)	1,33	1,09	1,38	1,39	0,47	0,53	1,84	1,78	1,49	1,36	1,88	1,90	1,36	1,48	0,96	0,93	2,12	2,09	0,9648
Pendiente media de la cuenca (%)	26,98	24,15	54,45	48,09	45,06	38,31	40,23	38,88	45,51	41,96	30,14	29,36	37,3	31,92	35,75	34,36	39,94	38,46	0,4015
Orden de la cuenca	6	6	4	4	6	6	4	4	6	6	4	4	5	6	5	5	4	4	0,8101
Densidad de drenaje	0,7	0,7	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6913
Densidad de corriente (km/km <sup>2</sup> )	0,39	0,38	0,36	0,32	0,41	0,39	0,38	0,37	0,35	0,35	0,32	0,32	0,41	0,38	0,35	0,35	0,35	0,34	0,3599
Pendiente media del cauce (%)	0,23	0,20	8,82	8,91	0,67	0,80	3,83	3,84	1,52	0,80	4,23	4,25	1,16	1,11	3,07	2,70	2,56	2,39	0,9249

Fuente: Elaboración propia

\* Análisis estadístico

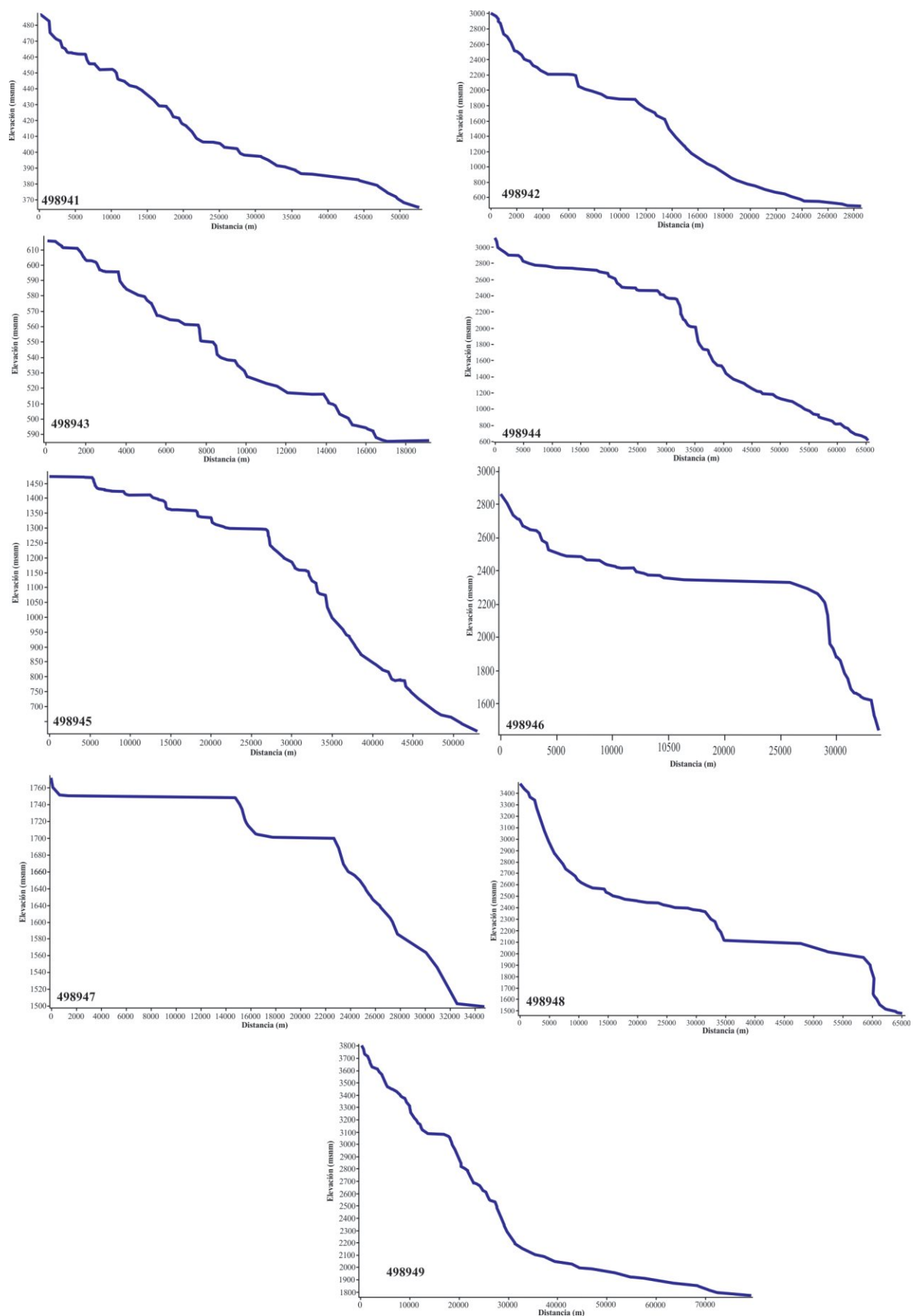


Figura 5. Perfiles longitudinales de las unidades hidrográficas del DEMASTER.



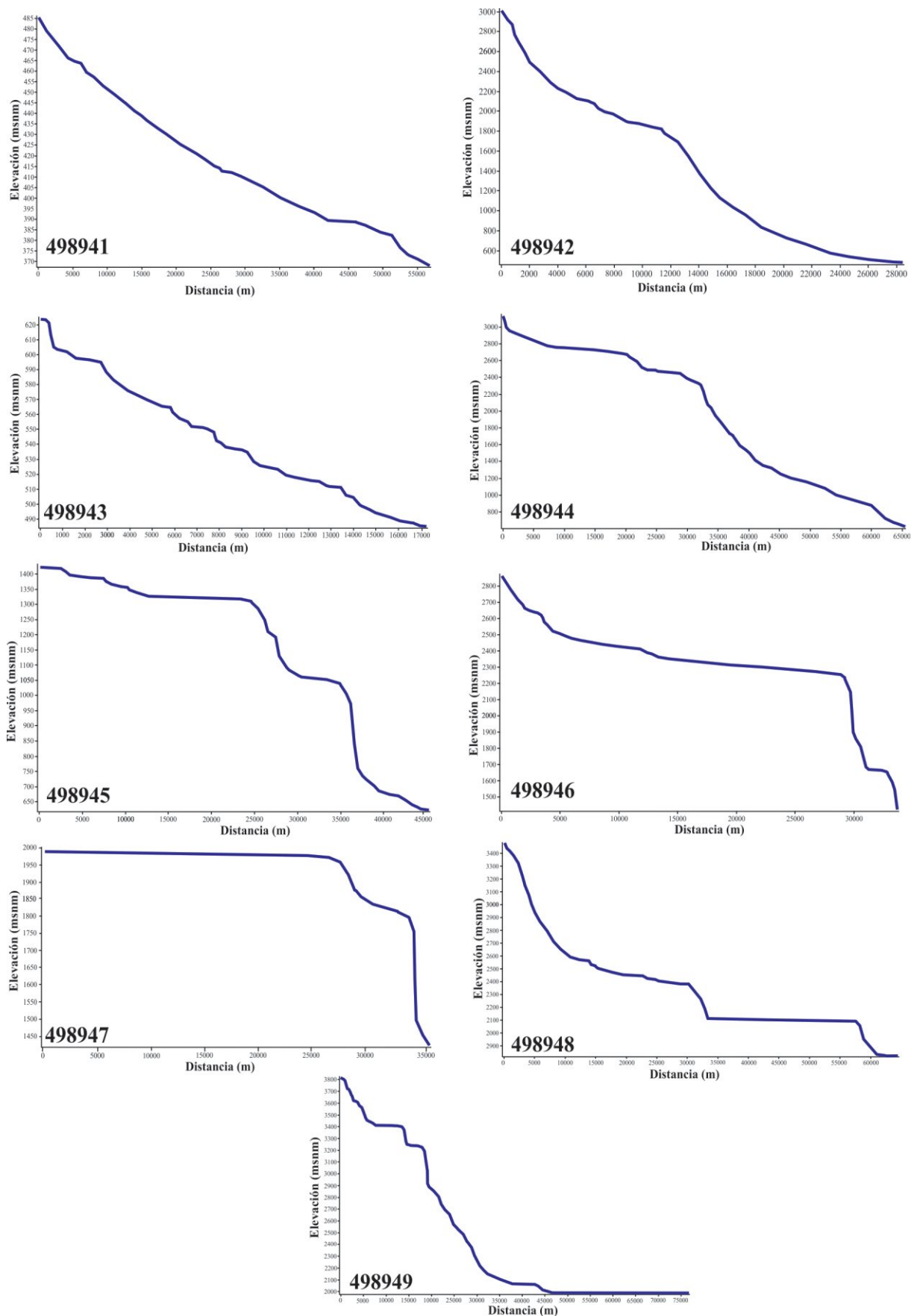


Figura 6. Perfiles longitudinales de las unidades hidrográficas del MED SRTM.

#### IV. DISCUSIÓN

El procesamiento de la información digital a través de los sistemas de información geográfica, en particular el análisis de superficies a través de modelos de elevación digital, representa una alternativa para realizar diversos trabajos, especialmente en estudios morfométricos, y su aplicación puede ayudar a tomar decisiones sobre el manejo de grandes extensiones territoriales donde las cuencas hidrológicas forman parte importante de la dinámica natural y antropogénica (Alden *et al.*, 2011; Salas-Aguilar *et al.*, 2011; Pires y Donizete, 2013; Sinisterra *et al.*, 2014; Cruz *et al.*, 2015).

La delimitación y codificación de las unidades hidrográficas de nivel 6 se obtuvo a partir del código nivel 5, establecido para la cuenca hidrográfica del Utcubamba. Este número de dígitos permite identificar el nivel de delimitación actual, y conforme a las directrices de la metodología de Pfafstetter, se definieron las cuatro unidades tipo subcuenca y las cinco intersubcuencas, resultados similares a los reportados por Crespo *et al.*, 2008 y Jumbo, 2015. La delimitación de cuencas hidrográficas es un paso indispensable si se va a utilizar la tecnología SIG, con el fin de apoyar la planificación en las mismas. Asimismo, el mapa de cuencas resultante de la aplicación del método de Pfafstetter puede tener multitud de aplicaciones tanto a nivel de investigación como a nivel de gestión (Crespo *et al.*, 2008; Medeiros *et al.*, 2009). La obtención de los parámetros, índices morfométricos, y el análisis de características morfométricas son de gran importancia para comprender e interpretar el comportamiento morfodinámico e hidrológico de las cuencas hidrográficas (Strager *et al.*, 2010; Segovia, 2015).

El área de las subcuencas e intersubcuencas no presenta diferencias significativas para ambos datos ASTER y SRTM; según Fuentes (2004), son consideradas de tamaño grande ( $> 103,5 \text{ km}^2$ ), lo que indica que un mayor tiempo de concentración de la cantidad de agua dentro del área y sus escurrimientos puede provocar desalojos por cauces de mayor magnitud (Salas-Aguilar *et al.*, 2011).

En una primera aproximación a la formas de las subcuencas e intersubcuencas se ha utilizado el parámetro de factor de forma para determinar el arreglo geométrico de los ríos tributarios que integran la red hidrográfica (Cruz *et al.*, 2015). Este índice se complementó con el coeficiente de compacidad, la relación de elongación y el índice de alargamiento, datos que sitúan a la cuenca del Utcubamba por encima de 0,26. De acuerdo a Fuentes (2004), estas cuencas e intersubcuencas presentan una tendencia de moderadamente achatada a muy poco achatada. Un valor superior a la unidad proporciona el grado de achatamiento de la cuenca o el de un río principal corto. En consecuencia, la tendencia aspira a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas (Salas-Aguilar *et al.*, 2011).

El coeficiente de compacidad muestra valores superiores a la unidad, lo que indica que las cuencas e intersubcuencas son de forma oblonga, estando menos sujetas a grandes avenidas (Fuentes, 2004). La relación de elongación muestra valores entre 0,56 y 1,13, lo que explica que las subcuencas e intersubcuencas presenten un relieve bajo, a excepción de la intersubcuenca 498943, que presenta un relieve asociado a fuertes pendientes. El índice de alargamiento, a su vez, reporta que las cuencas e intersubcuencas varían de poco alargadas a moderadamente alargadas; esto revela una dinámica de los escurrimientos a través de los cauces, provocando un arrastre y poder erosivo importante, lo que puede generar pérdidas del suelo en las cuencas e intersubcuencas en la parte alta del Utcubamba, y traer consecuencias en la morfología del terreno aguas abajo, datos similares a los obtenidos por Salas-Aguilar *et al.* (2011) y Cruz *et al.* (2015).

En relación a los parámetros de relieve, la pendiente media de las subcuencas e intersubcuencas fluctúa entre el 26,98 y el 48,09 %, lo que exterioriza que el terreno varía de empinado a muy empinado. Según Fuentes (2004), estas características favorecen la escorrentía, lo que da como respuesta mayor velocidad del agua en las corrientes y menor tiempo de concentración. El perfil longitudinal muestra el recorrido del

cauce principal con respecto a la elevación en ambos datos (ASTER y SRTM), generando diferencias para cada subcuenca e intersubcuenca.

Los parámetros de la red de drenaje corresponden a valores orden de la cuenca que oscilan entre 4 y 6, y que según Villon (2011), se situaría en un orden de corriente de media a alta. Asimismo, su mayor orden se relaciona en conjunto con la presencia de controles estructurales del relieve y de mayor posibilidad de erosión (Cruz *et al.*, 2015). La densidad de drenaje a su vez fluctuó en un rango de 0,54 a 0,68, que se puede considerar moderadamente drenada (Salas-Aguilar *et al.*, 2011). Sin embargo, al no tener una estructura fluvial de gran magnitud, la densidad de drenaje de las subcuencas e intersubcuencas también podría repercutir en una capacidad erosiva de los cauces que lo conforman (Horton, 1945). La densidad de corriente reporta intervalos de 0,32 a 0,41; según Villón (2011), esta relación entre número de corrientes y el área drenada no proporciona una medida real de la eficiencia de drenaje, pues puede suceder, que se tengan dos cuencas con la misma densidad de corriente, y estén drenadas en muy diferente forma, lo cual dependerá de la longitud de las corrientes.

## V. CONCLUSIONES

El uso de los Sistemas de Información Geográfica permitió realizar el análisis morfométrico de las subcuencas e intersubcuencas del río Utcubamba. La determinación de los parámetros de forma, relieve y red de drenaje fue de gran importancia para interpretar el comportamiento hidrológico y comprender su incidencia ante la presencia de precipitaciones y máximas avenidas.

La conformación de la red de drenaje en la cuenca del río Utcubamba se encuentra definida en base al potencial dinámico y moderado que tiene para desalojar los escurrimientos en menor tiempo, sobre todo cauces del orden 5 y 6, que junto a la hipsometría, hacen referencia a las extensiones de grandes planicies como el valle del Utcubamba, lo que influye sobre la presencia de varios microclimas dentro de la zona.

Los resultados indican que las imágenes ASTER y SRTM no presentan estadísticamente diferencias significativas con respecto a las variables de forma, relieve y drenaje calculados. Sin embargo, se debe considerar un error adicional en los estudios hidrológicos que dependan de esas variables. Del mismo modo, será de responsabilidad del investigador o profesional utilizar estos criterios en estudios de morfometría de cuencas hidrográficas de cada imagen a utilizar.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alden, A. A., H. A. Soares, R. Viciria, C. C. Alveres y D. D. Da Silva. "Otto-codificação de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM". Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, INPE p.5084. Brasil, 2011.
- Alvarenga, L. A., C. R. de Mello, A. Colombo, L. A. Cuartas y L. C. Bowling. "Assessment of land cover change on the hydrology of a Brazilian headwater watershed using the Distributed Hydrology-Soil-Vegetation Model". *Catena*, 143(2016): 7-17.
- Bentes, D., M. L. Vidotto, R. Bertinatto, G. R. de Souza y E. Pires. "Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio São José, Cascavel, PR". *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, Guarapuava-PR, 5(2012): 7-18.
- Crespo, Á., P. Van Damme y M. Zapata. "Clasificación de Cuencas de Bolivia según la metodología de Pfafstetter Classification of river basins of Bolivia using the method of Pfafstetter". *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental*, 22 (2008): 69-76.
- Cruz, B., F. J. Gaspari, A. M. Rodríguez, F. M. Carrillo y J. Téllez. "Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México". *Investigación y Ciencia*, 23(2015): 26-34.
- Domenech, S., A. Ollero y M. Sánchez Fabre. "Núcleos de población en riesgo de

- inundación fluvial en Aragón: diagnóstico y evaluación para la ordenación del territorio”. *Geographicalia*, 54(2008): 17-44.
- Dutta, D., y S. Herat. “Methodology for flood damage assessment using GIS and Distributed Hydrologic Model ERSDAC, 2003 Aster reference Guide Version 1.0.” Earth Remote Sensing Data Analysis Center. Japan, 1998.
- Fuentes, J. A. “Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del parque nacional pico de Tancitaro”. Instituto Nacional de Ecología. México, 2004
- García-Huamán, F.T., J. T. Torres-Delgado y S. E. Vergara-Medrano. “Calidad ecológica del agua del río Utcubamba en relación a parámetros fisicoquímicos y biológicos. Amazonas, Perú”. *SCIÉENDO*, 14 (2011): 7-19.
- Gómez, W. A., E. G. Gómez, R. P. Abad, L. C. Gamarra, C. C. Carranza y S. I. León. “Valoración de los paisajes naturales y del impacto paisajístico de las cataratas en la cuenca media del río Utcubamba”. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgia y Geográfica*, 11(2008): 68-75.
- Gomes, T. y J. Lobão. “Delimitação de sub-bacias a partir do uso de imagen SRTM/NASA: um estudo da Bacia do Rio Jacuípe-BA”. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, 3841-3848. Brasil, 2009.
- Horacio, J. “Medicina fluvial. Un nuevo paradigma en la conservación y restauración de ríos bajo el enfoque de la geomorfología”. Ed. Jolube, Jaca (España), 2015.
- Horton, R. E. “Erosional development of streams and their drainage basing: Hydrophysical approach to quantitative morphology”. *Geol. Soc. America Bull*, 1(1945): 88-108.
- Jiang, C., D. Li, D. Wang y L. Zhang. “Quantification and assessment of changes in ecosystem service in the Three-River Headwaters Region, China as a result of climate variability and land cover change”. *Ecological Indicators*, 66(2016): 199-211.
- Jumbo, F. A. “Delimitación automática de microcuencas utilizando datos SRTM de la NASA.” *Enfoque UTE*, 6(2015): 81-97.
- Kumar, S. “Analysis of uncertainties in digital elevation models in flood (hydraulic) modelling International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation”. Enschede, The Netherlands and India Institute of Remote Sensing, National Remote Sensing Agency (NRSA) Department of Space, Dehradun. India, 2005.
- Linares-Palomino, R. “Los bosques tropicales estacionalmente secos: I. El concepto de los bosques secos en el Perú”. *Arnoldoa*, 11(2004): 85-102.
- Maicelo, J. L., K. A. Miñano, W. Bardales y S. T. Leiva. “Inventario de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca del río Utcubamba, región Amazonas (Perú)”. *Revista para el Desarrollo Sustentable*, 2(2014): 39-48.
- Medeiros, L. C., N. C. Ferreira y L. G. Ferreira. “Avaliação de modelos digitais de elevação para delimitação automática de bacias hidrográficas”. *Revista Brasileira de Cartografia*, 1(2009): 137-151.
- Méndez, W. y E. Marcucci, E. “Análisis morfométrico de la microcuenca Quebrada Curucutí, Estado de Vargas-Venezuela”. *Revista Geográfica Venezolana*, 47(2006): 29-55.
- Moreno, Y. y B. Montoya. “Caracterización morfométrica de la microcuenca de la quebrada Los Andes, El Carmen de Viboral, Antioquia, Colombia”. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 81(2009): 11-29.
- Pires, C. H. y S. Donizete. “Construção da base Ottopfistetter (1989) para escalas 1:100.000 e 1:50.000”. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de*

- Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçú, PR, Brasil, INPE. Brasil, 2013.
- Políti, E., S. John, S. M. Rowan y E. J. Cutler. "Assessing the utility of geospatial technologies to investigate environmental change within lake systems". *Science of the Total Environment*, 543(2016): 791–806.
- Rascón, J. y F. Corroto. "Diversidad de plantas vasculares en un bosque ribereño tropical estacionalmente seco, Amazonas (Perú)". *Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable* 2(2014): 79-89.
- Rech, M. A., M. Monguilhott, A. C. Miola y E. Sebem. "Determinação de Modelo Hidrográfico de Escoamento para a Microbacia do Arroio Inhamandá a partir de parâmetros morfométricos das imagens dos sensores Aster e SRTM". *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Curitiba, PR, Brasil, INPE p.1341. Brasil, 2011.
- Ruiz, R. R., H. G. Torres y M. N. Aguirre. "Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú". Autoridad Nacional del Agua-Ministerio de Agricultura. Perú, 2008.
- Salas-Aguilar, V. M., C. Pinedo-Álvarez, O. A. Viramontes-Olivas, D. Báez-González y R. M. Quintana-Martínez. "Morfometría de la cuenca del río Nazas Rodeo en Durango, México, aplicando tecnología geoespacial". *Tecnociencia Chihuahua*, 5(2011): 34-42.
- Schumm, S. A. "Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey". *Geological Society of America Bulletin*, 67(1956): 597-646.
- Segovia, L. "Caracterización morfométrica de una cuenca hidrográfica en los andes venezolanos a través de teledetección y SIG". *Academia*, 14(2015): 43-54.
- Senisterra, G. E., A. M. Rodríguez, F. J. Gaspari y M. G. Mazzucchelli. "Aspectos morfométricos de la cuenca alta del arroyo Napaleofú, provincia de Buenos Aires-Argentina". *Revista Geográfica Venezolana*, 55(2014): 287-303.
- Strager, M. P., J. J. Fletcher, J. M. Strager, C. B. Yuill, R. N. Eli, J. Todd Petty y S. J. Lamont. "Watershed analysis with GIS: The watershed characterization and modeling system software application". *Computers y Geosciences*, 36(2010): 970-976.
- SUBDERE (Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo). "Guía análisis y zonificación de cuencas hidrográficas para el ordenamiento territorial". Chile, 2013.
- Villón, M. "Hidrología". 3ra ed. Lima-Perú, 2011.
- Vidal-Abarca, M. R., C. Montes, M. L. Suárez y L. Ramírez-Díaz. "Caracterización morfométrica de la cuenca del río Segura: Estudio cuantitativo de las formas de las subcuencas". *Paneles de Geografía (Física)*, 12(1987): 19-31.
- Viramontes, O. O., L. F. Escoboza, C. A. Pinedo, A. A. Pinedo, V. M. Reyes, J. A. Román y A. Pérez. "Morfometría de la cuenca del río San Pedro Conchos, Chihuahua. *Tecnociencia Chihuahua*, 1(2007): 21-31.
- Walchholz, C., S. Bazílio, S. Costa y E. Mercante. "Delimitação automática da microbacia hidrográfica do Rio das Lontras, a través de dados SRTM". *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Foz do Iguaçú, PR. Brasil, 2013.