

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LAS MICROCUENCAS DEL PARQUE NACIONAL TINGO MARÍA, DISTRITO MARIANO DAMASO BERAUN – HUÁNUCO

MORPHOMETRIC PARAMETERS OF THE MICROCUENCAS OF THE TINGO MARÍA NATIONAL PARK, MARIANO DAMASO BERAUN DISTRIC - HUÁNUCO

Luis Oré¹, Edilberto Díaz², Wendy Loarte³

Recepción: 19 de noviembre de 2016

Aceptado: 12 de enero de 2016

Resumen

El propósito de la investigación fue determinar los parámetros morfométricos de las microcuencas Tres de Mayo, Río Oro y Río Colorado; extraídos de las variables derivadas del modelo de elevación de terreno (MET) generadas a partir de las imágenes ASTER, SRTM, y Carta Nacional. La metodología en esta parte del trabajo se basó fundamentalmente en mediciones y cálculos de variables y parámetros morfométricos de las microcuencas del Parque Nacional Tingo María (PNTM): Río Tres de Mayo, Río Colorado y Río Oro y sus redes de drenajes, para lo cual se utilizó como fuente de información los planos topográficos generados por: Carta Nacional (IGN), imagen SRTM, imagen ASTER, imagen de Google earth. De acuerdo a los resultados se obtuvo los parámetros morfométricos del Río Tres de Mayo son: área 50,74 Km²; altitud máxima 2055 msnm y mínima 735 msnm; pendiente media de 34,84 %; pendiente media del perfil longitudinal del cauce principal 9,813%; forma 0,325; longitud del cauce principal de 5,703 Km; tiempo de concentración de 47,1 minutos; y potencial de degradación de 2,097 TM/año. Río Oro son: área 4,76 Km²; altitud máxima 1705 msnm y mínima 686 msnm; pendiente media de 46,647 %; pendiente media del perfil longitudinal del cauce principal 12,102%; forma 0,353; longitud del cauce principal de 3,29 Km; tiempo de concentración de 24,68 minutos; y potencial de degradación de 2,592 TM/año. Y Río Colorado son: área 2,54 Km²; altitud máxima 1704,5 msnm y mínima 1053,8 msnm; pendiente media de 33,05 %; pendiente media del perfil longitudinal del cauce principal 8,23%; forma 0,402; longitud del cauce principal de 1,483 Km; tiempo de concentración de 10,196 minutos; y potencial de degradación de 2,777 TM/año.

Palabras clave: Parámetros morfométricos, tiempo de concentración, potencial de degradación.

Abstract

The purpose of the investigation was to determine the morphometric parameters of the Tres de Mayo, Río Oro and Río Colorado micro-watersheds; extracted from the variables derived from the terrain elevation model (MET) generated from the ASTER, SRTM, and National Chart images. The methodology in this part of the work was based fundamentally on measurements and calculations of variables and morphometric parameters of the micro-watersheds of the Tingo María National Park (PNTM): Río Tres de Mayo, Río Colorado and Río Oro and their drainage networks, for which the topographic maps generated by: National Letter (IGN), SRTM image, ASTER image, Google earth image were used as source of information. According to the results obtained, the morphometric parameters of the Tres de Mayo River are: area 50,74 Km²; maximum altitude 2055 msnm and minimum 735 msnm; average slope of 34,84%; average slope of the longitudinal profile of the main channel 9,813%; 0,325 form; length of the main channel of 5,703 km; concentration time of 47,1 minutes; and degradation potential of 2,097 MT/year. Oro River are: area 4,76 Km²; maximum altitude 1705 msnm and minimum 686 msnm; average slope of 46,647%; average slope of the longitudinal profile of the main channel 12,102%; 0,353 form; length of the main channel of 3,29 km; concentration time of 24,68 minutes; and degradation potential of 2,592 MT/year. And Colorado River are: area 2,54 Km²; maximum altitude 1704,5 msnm and minimum 1053,8 msnm; average slope of 33,05%; average slope of the longitudinal profile of the main channel 8,23%; form 0,402; length of the main channel of 1483 km; concentration time of 10,196 minutes; and degradation potential of 2,777 MT/year.

Key words: Morphometric parameters, concentration time, degradation potential

¹ Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Email: luis21793@hotmail.com

² Exdocente de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Email: edilberto_diazq@hotmail.com

³ Administradora de empresa Consultor Constructor & Auditor Leoc E.I.R.L. Email: wendy_loarte_aliaga@outlook.com.pe

Introducción

La microcuenca hidrográfica actúa como un colector natural, encargada de evacuar parte de las aguas de lluvia en forma de escurrimiento. En esta transformación de lluvias en escurrimiento se producen pérdidas, o mejor, desplazamiento de agua fuera de la cuenca debido a la evaporación y la percolación (12). Para este tipo de estudios no solamente interesa el volumen total a la salida de la microcuenca, sino también su distribución espacial y temporal, para lo cual se necesita tener un buen conocimiento de sus características. El movimiento del agua en la naturaleza es una función compleja en la cual intervienen diversos factores, entre los cuales se pueden resaltar su clima y sus características fisiográficas (12).

Y una de las aplicaciones del trabajo de investigación, es participar como una de las herramientas en el análisis hidrológico del Parque Nacional Tingo María (PNTM), lo cual permite determinar los parámetros de la morfometría de cuenca, microcuencas en el área de estudio (12), (24), (14) y (6) ya que permite establecer parámetros de evaluación del funcionamiento del sistema hidrológico integrado en los centros rurales como son: Tres de Mayo, Río Oro y José Santos Atahualpa, que lindera con el PNTM.

Dicha herramienta sirve también como análisis espacial ayudando en el manejo y planeación de los recursos naturales (11) al permitir, en el marco de una unidad bien definida del paisaje, conocer diversos componentes como el tamaño de la cuenca, la red de drenaje, la pendiente media, el escurrimiento, etc. Dichos componentes pueden ser obtenidos y modelados mediante el uso de sistemas de información geográfica; y, convenientemente combinados con la geomorfología, puede obtenerse un diagnóstico hidrológico útil para la planeación ambiental. En el presente trabajo de investigación se utilizó un modelo de elevación de terreno (MET), a partir de las imágenes: ASTER, SRTM y la Carta Nacional digitalizada por la IGN (empalme 19k); y se derivó del mismo los parámetros que permitieron el estudio morfométrico de las microcuencas del PNTM como son: Río Tres de Mayo, Río Oro y Río Colorado.

Materiales y métodos

Zona de estudio

El presente trabajo se ejecutó en el Parque Nacional Tingo María (SERNANP-PNTM), El PNTM se localiza en la selva central del Perú, en el departamento de Huánuco, provincia de Leoncio Prado, y en los distritos de Mariano Dámaso Beraún y Rupa Rupa (18) y (19).

Tabla 01. Coordenadas del área de trabajo

PUNTO	SUR (UTM)	NORTE 18 L	ALTITUD m.s.n.m
1	386137	8968458	720
2	389874	8969521	680
3	393309	8958542	720
4	392706	8958010	800

La superficie del Parque Nacional Tingo María, es de 4777,80 Ha. Sus límites son: Por el Norte: margen derecha del río Monzón y parte del cerro Cotomono, desde la zona turística Cueva de las Lechuzas; por el Este: con el río Huallaga margen derecha dirigiéndose aguas arriba por los límites de las laderas y pasando por las zonas Brisas del Huallaga, Afilador, Puente Prado, Puente Pérez La Perla, Cueva de las Pavas, Quezada y Tambillo Grande. Por el Sur: Margen izquierda de la quebrada Tres de Mayo desde las inmediaciones de su desembocadura al río Huallaga hasta la catarata Gloriapata. Por el Oeste: Comienza desde la catarata Gloriapata siguiendo la quebrada Tres de Mayo llegando al tragadero del río Perdido, siguiendo aguas arriba hasta el encuentro de las quebradas Santa y Colorada, cruzando en sentido norte hasta llegar a la cumbre y siguiendo el río Oro hasta su llegada al río Monzón.

Las estaciones meteorológicas del José Abelardo Quiñones de la ciudad de Tingo María hasta el año 2016 registran una temperatura máxima media anual de 29,4 °C y una temperatura mínima media anual de 20,3 °C, siendo la temperatura media anual de 24,9 °C. La humedad relativa media anual es cercana al 85%. La precipitación media anual es de 3328,9 milímetros. La época de lluvias comienza en octubre y se prolonga hasta abril. Ecológicamente de acuerdo a la clasificación de zonas de vida o de formaciones vegetales del mundo y el diagrama bioclimático de (9), la zona del PNTM se encuentra en la formación vegetal de bosque muy húmedo Premontano Tropical (bmh-PT) y bosque húmedo Tropical (bh - T). El Parque Nacional Tingo María tiene identificado un Ecosistema de Bosque de Selva Alta (1), y de acuerdo a otra clasificación está ubicado en las Ecorregiones de Yungas Peruanas y de Bosque Húmedo del Ucayali (3).

Los bosques del Parque juegan un rol fundamental en la regulación del ciclo hídrico de seis microcuencas: Monzón – Huallaga; Huallaga – Tres de Mayo; Tres de Mayo – Río Santa; Río Santa – Río Colorado, Río Colorado – Río Oro y Río Oro – Río Bella. Debido al material parental calcáreo del que está compuesto buena parte de la superficie del Parque, su sistema hidrológico presenta características muy particulares. Nos referimos a la presencia de varios tragaderos que reorientan el curso de las aguas hacia una red de ríos subterráneos. Es el caso del río Santa, que

desaparece bajo tierra en un sumidero y abandona su curso normal en la quebrada Tres de Mayo, formando el río subterráneo conocido como río Perdido. El sumidero en el cual el río Santa se pierde en la tierra es conocido como Tragadero del río Perdido (18) y (19).

Método de muestreo

La metodología se basó fundamentalmente en mediciones y cálculos de variables y parámetros morfométricos de las microcuencas del Parque Nacional Tingo María (PNTM): Río Tres de Mayo, Río Colorado y Río Oro y sus redes de drenajes, para lo cual se utilizó como fuente de información los planos topográficos generados por: Carta Nacional (IGN), imagen SRTM, imagen ASTER.

A partir de la cartografía digitalizada generada por la carta Nacional (IGN), imagen SRTM, imagen ASTER, del área de estudio y empleando la herramienta SIG, se calcularon los parámetros morfométricos básicos puntuales, lineales, areales y pendientes de la cuenca y de su red de drenaje.

Otros parámetros se obtuvieron de la lectura directa sobre la base cartográfica original, y otros por medio de las ecuaciones matemáticas que los definen. Cada uno de los parámetros morfométricos medidos y calculados en este estudio para el área de interés se especifican en la Tabla 02.

Para el cálculo de la altura mediana de la microcuenca, se seleccionaron intervalos entre curvas de nivel cada 100 m y se midió el área parcial de cada intervalo expresándolas en porcentajes y luego como área acumulada en porcentaje. Posteriormente, se construyó un gráfico bidimensional representando en el eje x el área acumulada (%) y en el eje y la altura (msnm), a partir del cual se estimó la altura mediana, valor este correspondiente al 50 % de área acumulada. Para el cálculo de la pendiente media se siguió el mismo procedimiento descrito para estimar la altura mediana, sólo que para cada intervalo de curva de nivel se calculó la pendiente media del terreno, promediando varias mediciones realizadas en cada uno de ellos.

Tabla 02. Parámetros morfométricos medidos y calculados para las microcuencas del Parque Nacional Tingo

Variable	Parámetro	Símbolo	Ecuación	Dimensión
Escala de la Microcuenca	Área	A	-	L ² (1)
	Perímetro	P	-	L ⁽²⁾
	Longitud	L	-	L
	Ancho	W	-	L
	Diámetro	D	$D=(4A/\pi)^{1/2}$	L
Gradiente y forma del relieve de la microcuenca	Altura máxima	H	-	L
	Altura mínima	h	-	L
	Altura mediana	H _{md}	-	L
	Relieve máximo	H _b	$H_b = H - h$	L
	Radio del relieve	R	$R = H_b/L$	-
	Pendiente mediana	S _{md}	-	%
	Pendiente media del perfil longitudinal de la corriente principal	S _m	$S_m = \left(\frac{\sum S_{mi}}{m} \right)^2$ S _{mi} ⁽³⁾ , m ⁽⁴⁾	%
Forma de la microcuenca	Concavidad del perfil longitudinal de la corriente principal	C	$C = b/B$ b ⁽⁵⁾ , B ⁽⁶⁾	-
	Curva hipsométrica	Ch	Construcción grafica con los coeficientes de altura relativa (Chr) y área relativa (Car), respectivamente	-
	Elongación	S _e	$S_e = A^{0.5}/L$	-
	Perímetro relativo de crenulación	S _c	$S_c = P^2/A$	-
	Radio de crenulación	R _c	$R_c = L_{cn}/P$ L _{cn} ⁽⁷⁾	-
	Forma	R _f	$R_f = A/L^2$	-
	Coficiente de compacidad	K _c	$K_c = 0,28x(P/A^{0.5})$	-

Variable	Parámetro	Símbolo	Ecuación	Dimensión
Extensión de la red de drenaje	Longitud de la corriente principal	L_{cp}	-	L
	Longitud total de las corrientes	C_t	$C_t = \sum \text{Longitud de las corrientes}$	L
	Densidad de drenaje	D_d	$D_d = C_t/A$	L/L^2
	Coefficiente de mantenimiento del canal	C_{mc}	$C_{mc} = A/ C_t$	L^2/L
Orden y magnitud de la red de drenaje	Orden de la corriente	u	-	-
	Numero de segmentos de la corriente de un orden dado	N_u	-	-
	Relación de bifurcación	R_b	$R_b = N_u / N_{u+1}$	-
	Longitud de la corriente de un orden dado	L_u	-	L
	Longitud total de las corrientes de un orden dado	L_{tu}	$L_{tu} = \sum L_u$	L
	Longitud media de las corrientes de un orden dado	L_{mu}	$L_{mu} = L_{tu}/ N_u$	L
	Longitud media acumulada de las corrientes de un orden dado	L_{mau}	$L_{mau} = L_{mu} + L_{mu+1}$	L
Relación de longitud	R_L	$R_L = L_{mu}/ L_{mu+1}$	-	
Orden y magnitud de la red de drenaje	Índice de alargamiento	I_a	L_m/L	-
	Coefficiente de masividad	K_m	Altura media de la cuenca / área de la cuenca	L/L^2
	Longitud del centroide	L_c	Longitud medida sobre el cauce principal	L
	Coefficiente orográfico	C_o	H^2/A	L^2/L^2
	Potencial de degradación	q_B	$2,65\text{Log}(P/P^*)+0,46\text{Log}(C_0-1,56)$	M/T
Coefficiente de torrencialidad	CT	$CT = N_1/A$ $N_1^{(8)}$	-	

Fuente: (5), (6), (7), (8), (10), (11), (14), (16), (17), (20), (21), (22) y (23). L^2 = areal; (2) L = lineal; (3) S_{mi} = pendiente media de cada intervalo del perfil longitudinal de la corriente principal; (4) m = número de intervalos en que se divide el perfil longitudinal de la corriente principal; (5) b = altura del perfil longitudinal de la corriente principal en su longitud mediana; (6) B = altura de la recta del perfil longitudinal de la corriente principal en su longitud mediana; (7) L_{cn} = longitud de la curva de nivel que corta el mayor número de corrientes de la red de drenaje; (8) N_1 = número de corrientes de orden 1

Para la estimación de la pendiente media del cauce principal de las quebradas: río Tres de Mayo, río Colorado y río Oro, los perfiles longitudinales de estos se subdividió en intervalos de acuerdo al comportamiento sinuoso y en cada uno de ellos se calculó gráficamente su pendiente media, luego con estos valores se calculó la pendiente media de todo el perfil utilizando la ecuación que se indica en el Tabla 01. Para la construcción de la curva hipsométrica se tomaron los mismos intervalos de 100 msnm entre curvas de nivel y los valores de área acumulada.

Resultados y discusión

Microcuenca Río Tres de Mayo

Las magnitudes calculadas para los parámetros correspondientes a la variable escala de la cuenca, cuyas apreciaciones dependen precisamente de la escala de la base cartográfica utilizada para tales mediciones, en conjunto denotan un sistema hidrogeomorfológico de pequeñas dimensiones (Tabla 03), que lo califican bajo la categoría de microcuenca o cuenca pequeña (7). La pequeña área por sí sola de esta microcuenca, supone

menores tiempos de concentración de la escorrentía superficial y mayor susceptibilidad a experimentar crecidas con hidrogramas de picos pronunciados y corta duración (2). Este valor areal también denota que la superficie fuente de contribución a la escorrentía superficial es pequeña, y que en presencia de una tormenta de extensión considerable (4), toda el área se activa y aporta agua, lo que favorece la generación de hidrogramas con las características arriba mencionadas. Además del área, los valores de ancho y longitud de la microcuenca, también sugieren un sistema de drenaje pequeño con mayor

tendencia al crecimiento longitudinal que lateral, lo cual puede interpretarse como una respuesta a la predominancia de la erosión regresiva del curso principal de la quebrada Tres de Mayo, sobre el trabajo erosivo de los cursos de agua que drenan perpendicular y oblicuamente hacia ésta a lo largo de su canal, condicionado por una litología que ofrece poca resistencia a los procesos erosivos, el control de los sistemas de fracturas y la pendiente topográfica local de la vertiente este del Huallaga. Los valores del diámetro y del perímetro de la microcuenca también corroboran las pequeñas dimensiones de este sistema del PNTM.

Tabla 03. Parámetros morfométricos de la microcuenca Río Tres de Mayo

Variable	Parámetros	ASTER	IGN	SRTM	CV (%)
Escala de la Microcuenca	A (Km ²)	50,453	51,263	50,504	0,894
	P (Km)	41,457	42,801	40,252	3,073
	L (Km)	12,821	12,264	12,434	2,280
	W (Km)	9,834	9,321	9,266	3,307
	D (Km)	8,015	8,079	8,019	0,447
Gradiente y forma del relieve de la microcuenca	H (msnm)	2100,000	1900,000	2165,000	6,721
	h (msnm)	800,000	700,000	705,000	7,666
	H _{md} (msnm)	1357,295	1334,355	1355,565	0,947
	H _b (msnm)	1300,000	1200,000	1460,000	9,936
	R	0,101	0,098	0,117	9,878
	S _{md} (%)	33,459	30,192	40,870	15,704
	S _m (%)	9,147	10,951	9,341	10,092
Forma de la microcuenca	C	0,835	0,811	0,922	6,823
	S _e	0,554	0,584	0,572	2,626
	S _c	34,065	35,736	32,080	5,389
	R _c	0,563	0,613	0,562	5,041
	R _f	0,307	0,341	0,327	5,237
	I _a	1,304	1,316	1,342	1,479
	K _m (m/km ²)	26,902	26,030	26,841	1,832
Extensión de la red de drenaje	K _c	1,634	1,674	1,586	2,699
	L _{cp} (Km)	5,585	5,680	5,844	2,295
	C _t (Km)	8,747	10,753	7,276	19,555
	D _d (Km/Km ²)	0,173	0,210	0,144	18,727
	T _c (min)	45,998	50,199	45,102	5,778
	L _c (Km)	2,485	2,642	3,004	9,820
Orden y magnitud de la red de drenaje	C _{mc} (Km ² /Km)	5,768	4,767	6,941	18,677
	u	2,000	3,000	2,000	24,744
	N _u	4,000	7,000	3,000	44,607
	R _b	1,333	3,500	1,500	57,112
	L _u (Km)	1,543	1,087	1,999	29,551
	L _{tu} (Km)	4,750	5,931	3,379	27,253
	L _{mu} (Km)	1,187	0,847	1,126	17,208
	L _{mau} (Km)	1,334	0,519	1,950	56,612
	R _L	0,891	1,635	0,578	52,472
	C ₀ (%)	3,651	3,473	3,638	2,768
	qs (Tn/año)	2,103	2,086	2,102	0,473
CT (1/Km ²)	0,079	0,137	0,059	43,661	

La red de drenaje de la microcuenca de la quebrada Tres de Mayo está constituida por cauces o corrientes de agua de corto recorrido y régimen intermitente con una longitud total de 8,925 Km, con un coeficiente de variación estadística de 19,6% que en conjunto muestran un patrón de drenaje de

tipo subdendrítico (Figura 01). La existencia de sistemas de fracturas (diaclasas y fallas) y los desniveles topográficos entre bloques tectónicos, también ejercen control en la disposición y distribución de las corrientes que conforman la red de drenaje (15). El parámetro más importante en la definición de la extensión de un sistema de drenaje

natural es su densidad que es $0,176 \text{ Km/Km}^2$, con un coeficiente de variación de $18,7\%$, que para el caso que nos ocupa este valor es bajo (Tabla 02), con una textura alta (8). Entre los factores que la controlan en el área, el de mayor peso está representado por la baja susceptibilidad de la litología a los procesos erosivos y el fracturamiento del material. La densidad de drenaje media en esta área indica que la menor parte de la superficie de la microcuenca experimenta escorrentía concentrada, por lo que es de suponer una baja tasa de erodabilidad en toda su extensión, estabilidad morfogénica, gastos sólidos no significativos, hidrogramas de picos bajos y altos tiempos de concentración, condicionados por las características del relieve (pendiente), el tamaño de la microcuenca, y las características (extensión, intensidad y duración de las lluvias) de las

tormentas que las puedan generar. El coeficiente de mantenimiento del canal muestra un valor de $5,825 \text{ Km}^2/\text{Km}$, con un coeficiente de variación estadística de $18,7\%$ medio a alto, lo que significa que por cada kilómetro de cauce existe un área de drenaje promedio de $5,825 \text{ Km}^2$, indicando la no prevalencia de la escorrentía concentrada sobre la escorrentía laminar (13). La microcuenca de la quebrada Tres de Mayo corresponde a un sistema hidrogeomorfológico de orden 3, con un coeficiente de variación estadística de $24,7\%$, siendo esta magnitud de cierta manera un indicador importante de la extensión y ramificación de la red de drenaje, considerando la pequeña superficie del sistema, como de mediana probabilidad a experimentar crecidas con hidrogramas de picos significativos (10)

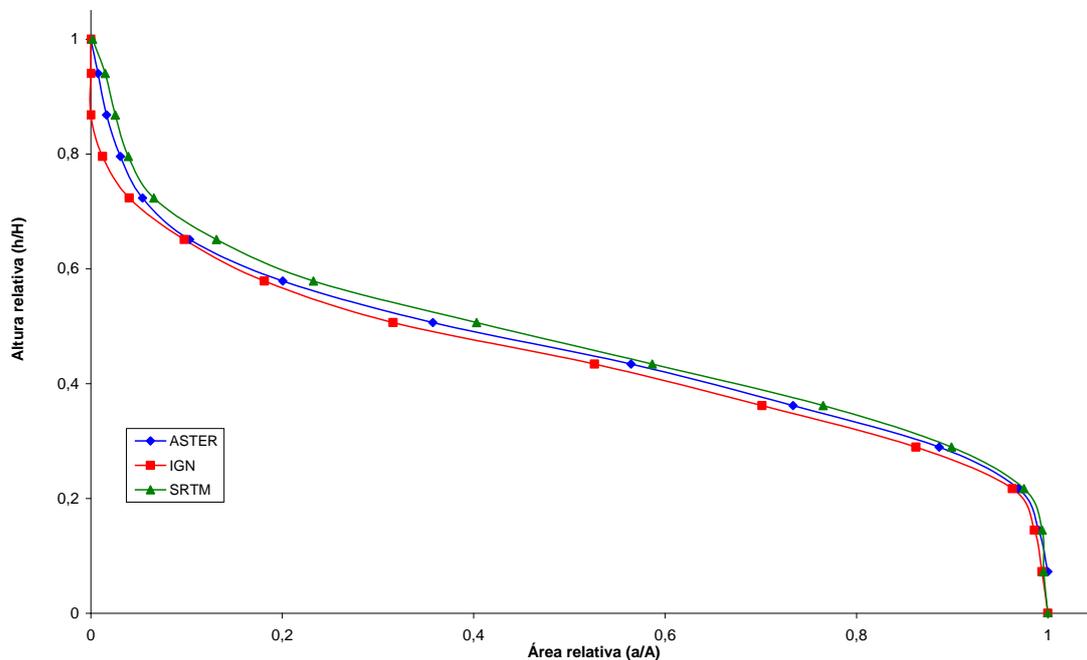


Figura 01. Curva hipsométrica de la microcuenca Tres de Mayo

Microcuenca Río Oro

Las magnitudes calculadas para los parámetros correspondientes a las variables escala de la cuenca, cuyas apreciaciones dependen precisamente de la escala de la base cartográfica utilizada para tales mediciones, en conjunto denotan un sistema hidrogeomorfológico de pequeñas dimensiones (Tabla 04), que lo califican bajo la categoría de microcuenca muy pequeña (7). El área ($4,761 \text{ Km}^2$) por sí sola de esta microcuenca, supone menores tiempos de concentración ($24,67 \text{ min}$) de la escorrentía superficial y mayor susceptibilidad a experimentar crecidas con hidrogramas de picos pronunciados y corta duración (2). Este valor areal también denota que la superficie fuente de contribución a la escorrentía superficial es pequeña, y que en

presencia de una tormenta de extensión considerable (4), toda el área se activa y aporta agua, lo que favorece la generación de hidrogramas con las características mencionadas anteriormente. Además del área, los valores de ancho ($2,44 \text{ Km}$) y longitud ($3,69 \text{ Km}$) de la microcuenca, también sugieren un sistema de drenaje pequeño con mayor tendencia al crecimiento longitudinal que lateral, lo cual puede interpretarse como una respuesta a la predominancia de la erosión regresiva del curso principal de la quebrada Río Oro, sobre el trabajo erosivo de los cursos de agua que drenan perpendicular y oblicuamente hacia ésta a lo largo de su canal, condicionado por una litología que ofrece poca resistencia a los procesos erosivos, el control de los sistemas de fracturas y la pendiente topográfica local ($46,65\%$) de la vertiente este del Río Bella. Los valores del diámetro ($2,46 \text{ Km}$) y del

perímetro (10,07 Km) de la microcuenca también corroboran las pequeñas dimensiones de este sistema.

Tabla 04. Parámetros morfométricos de la microcuenca Río Oro

Variable	Parámetros	ASTER	IGN	SRTM	CV (%)
Escala de la Microcuenca	A (Km ²)	4,638	4,767	4,879	2,532
	P (Km)	9,921	9,869	10,414	2,986
	L (Km)	3,715	3,377	4,003	8,484
	W (Km)	2,343	2,817	2,155	13,992
	D (Km)	2,430	2,464	2,492	1,267
Gradiente y forma del relieve de la microcuenca	H (msnm)	1720,000	1680,000	1715,000	1,278
	h (msnm)	700,000	680,000	679,285	1,713
	H _{md} (msnm)	1104,561	1120,076	1090,237	1,351
	H _b (msnm)	1020,000	1000,000	1035,715	1,757
	R	0,275	0,296	0,259	6,801
	S _{md} (%)	46,376	48,687	44,878	4,114
	S _m (%)	11,003	14,288	11,014	15,646
Forma de la microcuenca	C	0,858	0,865	0,844	1,250
	S _e	0,580	0,647	0,552	8,229
	S _c	21,223	20,432	22,229	4,230
	R _c	0,354	0,323	0,347	4,823
	R _f	0,336	0,418	0,304	16,639
	I _a	1,586	1,199	1,858	21,408
	K _m (m/km ²)	238,155	234,962	223,461	3,328
Extensión de la red de drenaje	K _c	1,290	1,266	1,320	2,113
	L _{cp} (Km)	3,270	3,174	3,454	4,305
	C _t (Km)	4,261	5,270	4,067	14,247
	D _d (Km/Km ²)	0,919	1,106	0,834	14,598
	T _c (min)	24,311	23,581	26,138	5,336
	L _c (Km)	1,101	0,975	1,112	7,163
Orden y magnitud de la red de drenaje	C _{mc} (Km ² /Km)	1,088	0,905	1,199	14,000
	u	2,000	2,000	2,000	0,000
	N _u	2,000	4,000	2,000	43,301
	R _b	2,000	4,000	2,000	43,301
	L _u (Km)	1,026	1,307	0,933	17,878
	L _{tu} (Km)	2,025	3,378	1,561	40,663
	L _{mu} (Km)	1,012	0,844	0,780	13,630
	L _{mau} (Km)	3,249	2,737	3,287	9,933
	R _L	0,453	0,446	0,311	19,770
	C ₀ (%)	26,306	26,317	24,363	4,385
	qs (Tn/año)	2,597	2,597	2,581	0,365
CT (1/Km ²)	0,431	0,839	0,410	43,184	

La red de drenaje de la microcuenca de la quebrada Río Oro está constituida por cauces o corrientes de agua de corto recorrido y régimen intermitente con una longitud total de 4,533 Km, con un coeficiente de variación estadística de 14,25% que en conjunto muestran un patrón de drenaje de tipo subdendrítico (Figura 02). La existencia de sistemas de fracturas (diaclasas y fallas) y los desniveles topográficos entre bloques tectónicos, también ejercen control en la disposición y distribución de las corrientes que conforman la red de drenaje (15). El parámetro más importante en la definición de la extensión de un sistema de drenaje natural es su densidad que es 0,953 Km/Km², con un coeficiente de variación de 14,59%, que para el

caso que nos ocupa este valor es bajo (Tabla 04), con una textura baja (8). Entre los factores que la controlan en el área, el de mayor peso está representado por la baja susceptibilidad de la litología a los procesos erosivos y el fracturamiento del material. La densidad de drenaje media en esta área indica que la mayor parte de la superficie de la microcuenca no experimenta escorrentía concentrada, por lo que es de suponer una baja tasa de erodabilidad en toda su extensión, estabilidad morfogenética, gastos de sólidos no significativos, hidrogramas de picos bajos y altos tiempos de concentración, condicionados por las características del relieve (pendiente), el tamaño de la microcuenca, y las características (extensión,

intensidad y duración de las lluvias) de las tormentas que las puedan generar. El coeficiente de mantenimiento del canal muestra un valor de 1,064 Km²/Km, con un coeficiente de variación estadística de 14,0 % medio a alto, lo que significa que por cada kilómetro de cauce existe un área de drenaje promedio de 1,064 Km², indicando la no prevalencia de la escorrentía concentrada sobre la escorrentía laminar (13). La microcuenca de la

quebrada Río Oro corresponde a un sistema hidrogeomorfológico de orden 2, con un coeficiente de variación estadística de 0,0%, siendo esta magnitud de cierta manera un indicador importante de la extensión y ramificación de la red de drenaje, considerando la pequeña superficie del sistema, así como de mediana probabilidad a experimentar crecidas con hidrogramas de picos significativos (10).

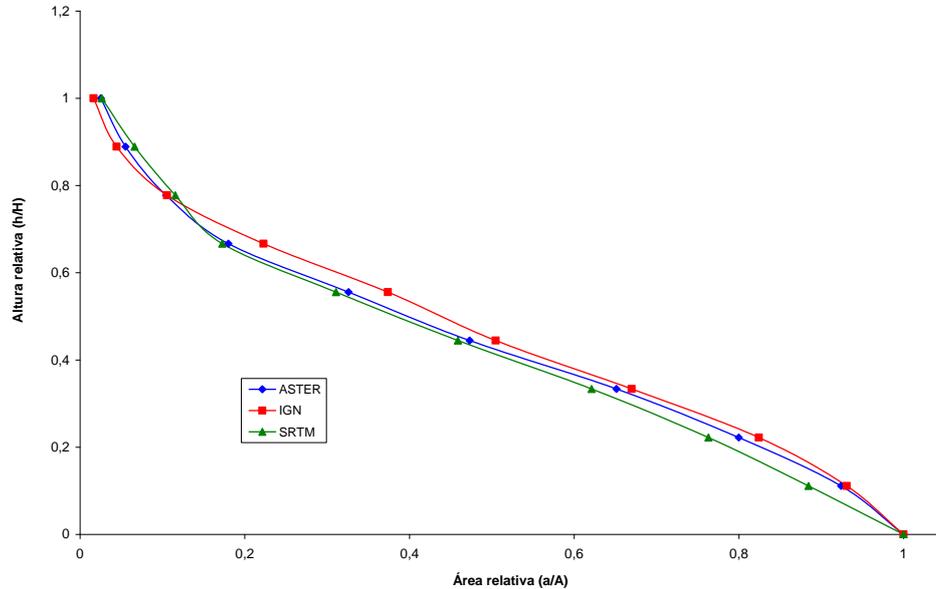


Figura 02. Curva hipsométrica de la microcuenca Río Oro

Microcuenca Río Colorado

Las magnitudes calculadas para los parámetros correspondientes a la variable escala de la cuenca, cuyas apreciaciones dependen precisamente de la escala de la base cartográfica utilizada para tales

mediciones, en conjunto denotan un sistema hidrogeomorfológico de pequeñas dimensiones (Tabla 05), que lo califican bajo la categoría de microcuenca o cuenca muy pequeña (7) del Parque Nacional Tingo María.

Tabla 05. Parámetros morfométricos de la microcuenca Río Colorado

Variable	Parámetros	ASTER	IGN	SRTM	CV (%)
Escala de la Microcuenca	A (Km ²)	2,931	2,165	2,526	15,085
	P (Km)	7,471	7,679	7,223	3,061
	L (Km)	2,552	2,476	2,500	1,534
	W (Km)	2,186	2,027	1,957	5,714
	D (Km)	1,932	1,660	1,793	7,564
Gradiente y forma del relieve de la microcuenca	H (msnm)	1720,000	1680,000	1713,462	1,259
	h (msnm)	1040,000	1044,645	1076,763	1,900
	H _{md} (msnm)	1273,400	1226,546	1268,068	2,042
	H _b (msnm)	680,000	635,355	636,699	3,903
	R	0,266	0,257	0,255	2,452
	S _{md} (%)	34,608	31,396	33,285	4,878
	S _m (%)	8,801	8,884	7,010	12,863
Forma de la microcuenca	C	0,905	0,879	0,912	1,935
	S _e	0,671	0,594	0,636	6,063
	S _c	19,040	27,232	20,652	19,454
	R _c	0,086	0,064	0,085	15,796
	R _f	0,450	0,353	0,404	12,070
	I _a	1,167	1,222	1,278	4,524
	K _m (m/km ²)	434,424	566,499	502,030	13,183
	K _c	1,222	1,461	1,272	9,568

Variable	Parámetros	ASTER	IGN	SRTM	CV (%)
Extensión de la red de drenaje	L_{op} (Km)	1,504	1,590	1,357	7,944
	C_t (Km)	1,941	2,412	1,632	19,699
	D_d (Km/Km ²)	0,662	1,114	0,646	32,907
	T_c (min)	10,044	11,529	9,017	12,384
	L_c (Km)	0,357	0,322	0,385	8,900
	C_{mc} (Km ² /Km)	1,510	0,898	1,548	27,686
Orden y magnitud de la red de drenaje	u	2,000	2,000	2,000	0,000
	N_u	2,000	2,000	2,000	0,000
	R_b	2,000	2,000	2,000	0,000
	L_u (Km)	0,638	0,824	0,642	15,162
	L_{tu} (Km)	1,072	1,730	0,890	35,934
	L_{mu} (Km)	0,536	0,865	0,445	35,934
	L_{mau} (Km)	1,405	1,547	1,187	13,146
	R_L	0,617	1,270	0,600	46,083
	C_0 (%)	55,320	69,484	63,661	11,333
	q_s (Tn/año)	2,752	2,799	2,781	0,849
CT (1/Km ²)	0,682	0,924	0,792	15,124	

La pequeña área (2,541 Km²) con un coeficiente de variación estadística de 15,1% por sí sola de esta microcuenca, supone menores tiempos de concentración (10,196 min, con un coeficiente de variación de 12,4%) de la escorrentía superficial y mayor susceptibilidad a experimentar crecidas con hidrogramas de picos pronunciados y corta duración (2). Este valor areal también denota que la superficie fuente de contribución a la escorrentía superficial es pequeña, y que en presencia de una tormenta de extensión considerable (4), toda el área se activa y aporta agua, lo que favorece la generación de hidrogramas con las características arriba mencionadas. Además del área, los valores de ancho (2,057 Km) y longitud (2,51 Km) de la microcuenca (Tabla 05) también sugieren un sistema de drenaje pequeño con mayor tendencia al crecimiento longitudinal que lateral, lo cual puede interpretarse como una respuesta a la predominancia de la erosión regresiva del curso principal de la quebrada Río Colorado, sobre el trabajo erosivo de los cursos de agua que drenan perpendicular y oblicuamente hacia ésta a lo largo de su canal, condicionado por una litología que ofrece poca resistencia a los procesos erosivos, el control de los sistemas de fracturas y la pendiente topográfica local de la vertiente este del Río Santa. Los valores del diámetro (1,795 Km) y del perímetro (7,457 Km) de la microcuenca también corroboran las pequeñas dimensiones de este sistema. Las alturas en el área están comprendidas desde los 1053,8 msnm (altura mínima), con un coeficiente de variación de 1,9%, que corresponde a la cota en la que desemboca la quebrada Río Colorado directamente al Río Santa, encontrándose al Oeste del Parque Nacional Tingo María, y 1704,5 msnm (altura máxima), con un coeficiente de variación de 1,3%, correspondiente a la cota en la que nace la quebrada Río Colorado, al noroeste del perímetro de la microcuenca Bella. La diferencia entre estas dos alturas define un relieve máximo de 650,7

msnm, con un coeficiente de variación de 3,9%, que sugiere alturas y pendientes significativas favorables a la génesis y activación de procesos erosivos y de transporte de materiales.

La red de drenaje de la microcuenca de la quebrada Río Colorado está constituida por cauces o corrientes de agua de corto recorrido y régimen intermitente con una longitud total de 1,995 Km, con un coeficiente de variación estadística de 19,7% que en conjunto muestran un patrón de drenaje de tipo subdendrítico (Figura 03). La existencia de sistemas de fracturas (diaclasas y fallas) y los desniveles topográficos entre bloques tectónicos, también ejercen control en la disposición y distribución de las corrientes que conforman la red de drenaje (15). El parámetro más importante en la definición de la extensión de un sistema de drenaje natural es su densidad que es 0,807 Km/Km², con un coeficiente de variación de 32,91%, que para el caso que nos ocupa este valor es bajo (Tabla 05), con una textura alta (8). Entre los factores que la controlan en el área, el de mayor peso está representado por la baja susceptibilidad de la litología a los procesos erosivos y el fracturamiento del material. La densidad de drenaje media en esta área indica que la menor parte de la superficie de la microcuenca experimenta escorrentía concentrada, por lo que es de suponer una baja tasa de erodabilidad en toda su extensión, estabilidad morfogénica, gastos sólidos no significativos, hidrogramas de picos bajos y altos tiempos de concentración, condicionados por las características del relieve (pendiente), el tamaño de la microcuenca, y las características (extensión, intensidad y duración de las lluvias) de las tormentas que las puedan generar. El coeficiente de mantenimiento del canal muestra un valor de 1,319 Km²/Km, con un coeficiente de variación estadística de 27,7 % medio a alto, lo que significa que por cada kilómetro de cauce existe un área de drenaje promedio de 1,319 Km², indicando la no

prevalencia de la escorrentía concentrada sobre la escorrentía laminar (13). La microcuenca de la quebrada Río Colorado corresponde a un sistema hidrogeomorfológico de orden 2, con un coeficiente de variación estadística de 0,0%, siendo esta magnitud de cierta manera un indicador importante

de la extensión y ramificación de la red de drenaje, considerando la pequeña superficie del sistema, así como de mediana probabilidad a experimentar crecidas con hidrogramas de picos significativos (10).

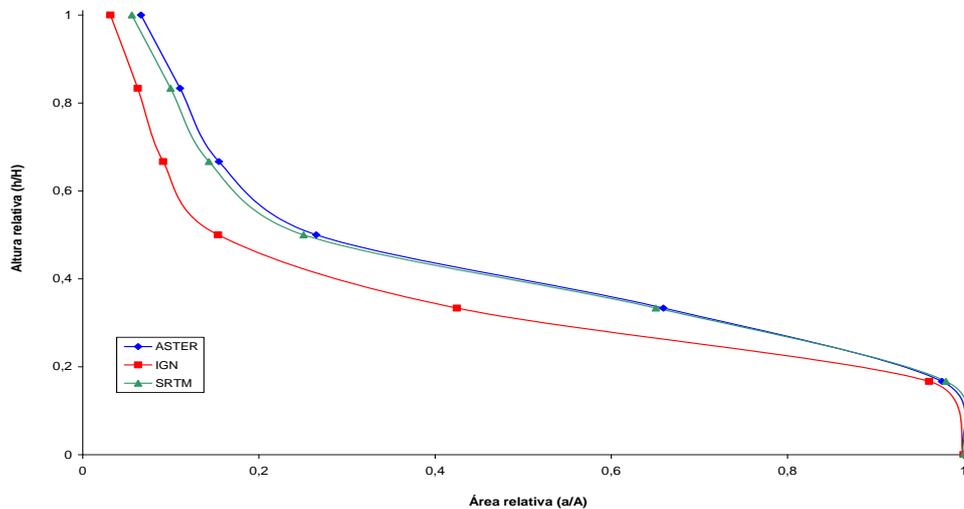


Figura 03. Curva hipsométrica de la microcuenca Río Colorado

Conclusiones

1. Los parámetros morfométricos del Río Tres de Mayo son: área 50,74 Km²; altitud máxima 2055 msnm y mínima 735 msnm; pendiente media de la microcuenca 34,84 %; pendiente media del cauce principal 9,813%; forma 0,325; longitud del cauce principal de 5,703 Km; tiempo de concentración de 47,1 minutos; y potencial de degradación de 2,097 TM/año.
2. Los parámetros morfométricos del Río Oro son: área 4,76 Km²; altitud máxima 1705 msnm y mínima 686 msnm; pendiente media de la microcuenca 46,647 %; pendiente media del cauce principal 12,102%; forma 0,353; longitud del cauce principal de 3,29 Km; tiempo de concentración de 24,68 minutos; y potencial de degradación de 2,592 TM/año.
3. Los parámetros morfométricos del Río Colorado son: área 2,54 Km²; altitud máxima 1704,5 msnm y mínima 1053,8 msnm; pendiente media de la microcuenca 33,05 %; pendiente media del cauce principal 8,23%; forma 0,402; longitud del cauce principal de 1,483 Km; tiempo de concentración de 10,196 minutos; y potencial de degradación de 2,777 TM/año.

Referencias bibliográficas

1. Brack A. Las ecorregiones del Perú. En: Boletín de Lima. 1986; 8(44):57-70.
2. Carmona JH. Balance Hídrico y Clasificación Climática para el Departamento de Caldas. 2002.
3. CDC-UNALM. Análisis del Recubrimiento Ecológico del SINANPE. Ajustado por SERNANP. Lima, Perú; 2006.
4. Fuentes JJ, Bocco G. El Agua: dinámica y análisis regional. En: Velásquez A., Torres A. y Bocco G. (Comps.). Las Enseñanzas de San Juan. Investigación participativa para el manejo integral de recursos naturales. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAP, Gobierno del Estado de Michoacán. México; 2003. 603 p.
5. Gardiner V. Drainage basin morphometry. En: A. Goudie (ed.). Geomorphological Techniques. George Allen & Unwin. Londres. 1981. p. 47-55
6. Gregory, J. K. & Walling, E. D. Drenaje Basin Analysis. The Bath Press. Victoria, Australia; 1985. 451 p.
7. Guevara E, Cartaya H. Hidrología: Una introducción a la ciencia hidrológica aplicada. GUECA. Venezuela, Valencia; 1991. 358 p.
8. Henao, J. Introducción al manejo de cuencas hidrográficas. Universidad Santo Tomás. Colombia, Santafé de Bogotá; 1998. 396 p.
9. Holdridge, L. Ecología Basada en Zonas de Vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José de Costa Rica, 1987. 216 p.
10. Horton R. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin. 1995; 56:275-370.

11. Leopold L, Gordon M, Miller J. Fluvial processes in Geomorphology. W. H. Freeman and Company. USA, San Francisco; 1994. 872 p.
12. Maidment DR. Handbook of Hydrology. McGraw Hill. New York, 1992.
13. Méndez W, Marcucci E. Análisis Morfométrico de la Microcuenca de la quebrada Curucutí, Estado Vargas, Venezuela. [Internet]. 2005. [Acceso junio de 2006]. Disponible en: [http://www.fyl-unex.com/foro/publicaciones/norba/.les/10/p10 .pdf](http://www.fyl-unex.com/foro/publicaciones/norba/.les/10/p10.pdf)
14. Monsalve G. Hidrología en la Ingeniería. Escuela Colombiana de Ingeniería. Santafé de Bogotá, Colombia; 2000. 382 p.
15. Ortiz O. Evaluación hidrológica. HIDRORED – Red Latinoamericana de Micro energía. Editorial ITDG, Perú; 2004.
16. Pastrana S. Análisis topológico de cuencas. [Internet]. Clup Telepolis; 2003. [Acceso junio de 2007]. Disponible en: <http://club.telepolis.com/geografo/geomorfologia/analcuen.htm>
17. Pérez D. s/f. Fundamentos de geomorfología dinámica con énfasis en los procesos fluviales. Venezuela: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Dirección General de Información e Investigación del Ambiente, Dirección de Hidrología; 1977. 70 p.
18. Plan Maestro. Instituto Nacional de los Recursos Naturales. Plan Maestro del Parque Nacional Tingo María. 2002.
19. Plan Maestro. Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. Plan Maestro del Parque Nacional Tingo María. 2017.
20. Senciales J. El análisis morfológico de las cuencas fluviales aplicado al estudio hidrográfico. [Internet]. FYL-UNEX, 1998. [Acceso agosto de 2006]. Disponible en: ([http://www.fyl-unex.com/foro/publicaciones/norba/.les/10/p10 .pdf](http://www.fyl-unex.com/foro/publicaciones/norba/.les/10/p10.pdf), agosto del 2006). 1998.
21. Smith D, Stopp P. The river basin: An introduction to the study of hydrology. Cambridge University Press. Cambridge – Great Britain; 1978. 273 p.
22. Strahler A. Quantitative Geomorphology. En: R. Fairbridge (ed.). The Encyclopedia of Geomorphology. Pennsylvania - USA, Hutchinson & Ross; 1985. p. 898-912.
23. Vélez M, Vélez J. La cuenca hidrográfica. [Internet]. Colombia, Universidad Nacional de Colombia, s/f. [Acceso agosto de 2006]. Disponible en: http://poseidon.unalmed.edu.co/Materias/jivelez/morfometria_cuenca.doc
24. Verstappen HT. Applied Geomorphology. Geomorphological Surveys for Environmental Development. LTC. Enschede, The Netherlands. 1983. 437 p.