

Aporte Santiaguino



Aporte Santiaguino 15 (1), enero - junio 2022: 57-71

ISSN: 2070 – 836X; ISSN-L: 2616 - 9541

DOI: <https://doi.org/10.32911/as.2022.v15.n1.888>

Website: http://revistas.unasam.edu.pe/index.php/Aporte_Santiaguino



Análisis de la red hídrica de la subcuenca Yanayacu, Ancash-Perú, 2022

Analysis of the water network of the Yanayacu sub-basin, Ancash-Peru, 2022

TORIBIO MARCOS REYES RODRÍGUEZ¹ Y MAXIMILIANO ASIS-LOPEZ¹

RESUMEN

El trabajo de investigación se realizó en la subcuenca del río Yanayacu (Ancash-Perú). Se tuvo como objetivos: realizar la caracterización de la subcuenca del río Yanayacu y la contrastación de las ecuaciones empíricas existentes en la literatura científica relacionadas a la red hídrica. Se emplearon como materiales las cartas digitales 20i Recuay y el software Arcgis 10.8. Las leyes de Horton del número de cauces, de la longitud media de los cauces para un orden dado y la ley de Melton se confirmaron para la subcuenca del río Yanayacu. También se obtuvo una ecuación exponencial para la predicción del número de cauces, total en función del orden del cauce y una ecuación potencial para la predicción de la longitud total de cauces en función del número de cauces total de un orden determinado.

Palabras clave: red hídrica; Horton; Melton; número de cauces; orden de cauces

¹ Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú

©Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Aporte Santiaguino de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite: Compartir - copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato, Adaptar - remezclar, transformar y construir a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente.

ABSTRACT

The research work was carried out in the sub-basin of the Yanayacu River (Ancash - Peru), its objectives were: to characterize the sub-basin of the Yanayacu River and the contrast of the existing empirical equations in the scientific literature related to the water network. The 20i Recuay digital charts and the Arcgis 10.8 software were used as materials. Horton's laws of channel number, mean channel length for a given order, and Melton's law were confirmed for the Yanayacu River sub-basin. Also, an exponential equation was obtained for the prediction of the total number of channels as a function of the channel order and a potential equation for the prediction of the total length of channels as a function of the total number of channels of a given order.

Keywords: water network; Horton; Melton; number of channels; channel order.

INTRODUCCIÓN

En las cuencas se producen las transformaciones de las precipitaciones en escorrentía. La variación espacial y temporal de la escorrentía está supeditada a las características de la cuenca y de las precipitaciones. La interacción entre la escorrentía, el suelo, la geología y la cobertura vegetal configuran la red hídrica de una cuenca.

En las investigaciones realizadas en otros países se han obtenido varias ecuaciones empíricas relacionadas a la red hídrica de una cuenca para realizar las predicciones sobre el comportamiento hidrológico de una cuenca, por lo que es necesario realizar la contrastación de dichas ecuaciones en cuencas del Perú.

Bera, Mukhopadhyay y Das (2018), en la investigación que realizaron en la cuenca del río Adula (India), determinaron que la relación de bifurcación de la cuenca indicada es 5,36; concluyendo

que la litología de la cuenca es uniforme; su textura de drenaje igual a 0,84 con la que concluye que el subsuelo de la cuenca es permeable.

En una investigación realizada en Ardebil (Irán), Moeini et al. (2015) encontraron que existe correlación positiva entre la densidad de drenaje y la tasa de erosión hídrica del suelo de una cuenca.

Por otro lado, McCuen (2005) afirma que el orden de cauces es una medida del grado de ramificación de los cauces de una cuenca. Además, Linsley, Kohler y Paulhus (1988), indican que el orden de cauces de una cuenca es igual al orden del cauce principal. Asimismo, Bras (1990), señala que la razón de bifurcación de los cauces está definida como se indica:

$$R_b = \frac{N_i}{N_{i+1}}$$

Donde R_b representa la razón de bifurcación, N_i representa el número de cauces de orden i , N_{i+1} representa el número de cauces de orden $i+1$.

Bras (1990) refiere que las relaciones de bifurcación varían de 3 a 5 para las cuencas en las cuales las estructuras geológicas no distorsionan el patrón de drenaje. Además, indica que la razón de las longitudes de los cauces varía de 1,5 a 3,5; también define la razón de las longitudes de los cauces como se indica:

$$R_l = \frac{\bar{L}_i}{\bar{L}_{i+1}}$$

Donde R_l representa la razón de las longitudes de los cauces, \bar{L}_i representa la longitud promedio de los cauces de orden i , \bar{L}_{i+1} representa la longitud promedio de los cauces de orden $i+1$

McCuen (2005) indica las leyes de Horton de la red hídrica de una cuenca: Ley del número de cauces

$$N_i = \bar{R}_b^{n-i}$$

Donde N_i representa el número de cauces de orden i , \bar{R}_b representa la razón de bifurcación promedio de los cauces de la cuenca, n representa el orden del cauce principal.

Bras (1990) dedujo la ecuación para predecir el número de cauces total de una cuenca a partir de la ley de número de cauces de Horton:

$$N = \frac{\bar{R}_b^n - 1}{\bar{R}_b - 1}$$

Donde N representa el número de cauces total de la cuenca, \bar{R}_b representa la razón de bifurcación media de la cuenca, n representa el orden de la cuenca.

Ley de las longitudes medias de los cauces

$$\bar{L}_i = \bar{L}_1 R_l^{i-1}$$

Donde \bar{L}_i representa la longitud media de los cauces de orden i , R_l representa la razón de las longitudes de los cauces, \bar{L}_1 representa la longitud media de los cauces de orden 1.

Linsley (1994) define la densidad de drenaje como la razón de la longitud de los cauces por unidad de área:

$$D_d = \frac{L}{A}$$

Donde D_d representa la densidad de drenaje, L representa la longitud total de los cauces, A representa el área de la cuenca.

Según Linsley, Kohler y Paulhus (1988), una densidad de drenaje alta indica una cuenca muy bien drenada que responde rápidamente al influjo de la precipitación, una cuenca con baja densidad de drenaje indica un área pobremente drenada con respuesta hidrológica muy lenta.

Según Udosen et al. (2021), una alta densidad de drenaje indica un material subterráneo impermeable, una vegetación escasa y un relieve montañoso. Además, Dal-Ré (2003) indica que la densidad de drenaje puede variar de 0,5 para cuencas con drenaje pobre hasta 3,0 km/km² para

cuenca con excelente drenaje. Además, Bras (1990) indica que la densidad de drenaje se puede considerar como una escala de longitud.

Linsley, Kohler y Paulhus (1988), indican que la longitud media de flujo de superficie puede aproximarse con la ecuación:

$$L_m = \frac{1}{2D_d}$$

Donde L_m representa la longitud media de flujo de superficie, D_d representa la densidad de drenaje.

Según Bras (1990) la densidad de cauces se define como la razón del número de cauces total por unidad de área de la cuenca:

$$D_c = \frac{N}{A}$$

Donde D_c representa la densidad de corrientes, N representa el número total de los cauces, A representa el área de la cuenca.

Según Bras (1990), la densidad de cauces varía de 2,38 a 8,83; a mayor densidad de cauces, el subsuelo es más resistente, la vegetación es más escasa y la permeabilidad de las formaciones rocosas es más baja. Además, indica la ley de Melton que relaciona la densidad de cauces y la densidad de drenaje:

$$D_c = 0,694D_d^2$$

Donde D_c representa la densidad de cauces, D_d representa la densidad de drenaje.

La razón de torrencialidad de una cuenca se define como la razón del número de cauces de primer orden al área de la cuenca, es decir, se expresa como:

$$R_t = \frac{N_1}{A}$$

Donde R_t representa la razón de torrencialidad, N_1 representa el número de cauces de primer orden, A representa el área de la cuenca.

Pratim y Jyotiprava (2019), indican que la textura de drenaje depende de la vegetación, el clima, el tipo de roca y suelo, la capacidad de infiltración y el relieve. Se define como el número total de cauces por unidad de longitud del perímetro de la cuenca, la textura de drenaje se puede clasificar en cinco clases, como muy gruesa (<2), gruesa (2-4), moderada (4-6), fina (6-8), muy fina (>8).

Por lo antes mencionado, a partir de las ecuaciones empíricas relacionadas a la red hídrica, se pueden hacer inferencias del comportamiento hidrológico de una cuenca. Así se tubo los objetivos de la investigación: 1) Caracterizar la subcuenca del río Yanayacu. 2) Determinar los parámetros más importantes de la red hídrica de la subcuenca del río Yanayacu. 3) Contrastar las ecuaciones empíricas relacionadas a la red hídrica en la subcuenca del río Yanayacu.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar el trabajo de investigación se emplearon la carta nacional digital 20i Recuay descargada de la página web del Ministerio de Educación del Perú, el software ArcGis 10.8, y una laptop Lenovo Intel core 5i.

El procedimiento seguido para la investigación:

- 1) Delimitación de la subcuenca del río Yanayacu de la carta nacional digital 20i Recuay y el software Arcgis 10.8.
- 2) Identificación de las zonas de vida en la subcuenca del río Yanayacu con el software Argis 10.8 y el mapa digital ecológico del Perú.
- 3) Identificación de las formaciones geológicas en la subcuenca del río Yanayacu con el software Argis 10.8 y el mapa geológico 20 i Recuay.
- 4) Determinación de la red hídrica empleando el método de Strahler y utilizando como insumos el software Arcgis 10.8 y la carta nacional digital 20i Recuay.
- 5) Estimación de los parámetros de la red hídrica más importantes en la subcuenca del río Yanayacu.
- 6) Contrastación de las ecuaciones relacionadas a la red hídrica de una cuenca con los datos recolectados para la subcuenca del río Yanayacu.

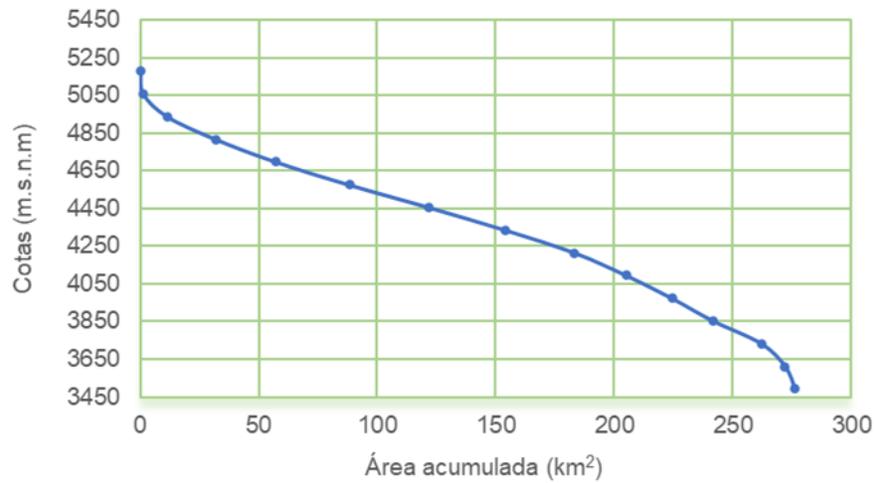


Figura 2. Curva hipsométrica de la subcuenca del río Yanayacu

En la figura 3 se indica el mapa de zonas de vida en la subcuenca del río Yanayacu, identificándose las siguientes zonas de vida: bosque muy húmedo montano tropical (0,378 km²), nival tropical (21,77 km²), tundra pluvial alpino tropical (21,99 km²), bosque húmedo montano tropical (69,77 km²), páramo pluvial subalpino tropical (162,51 km²).

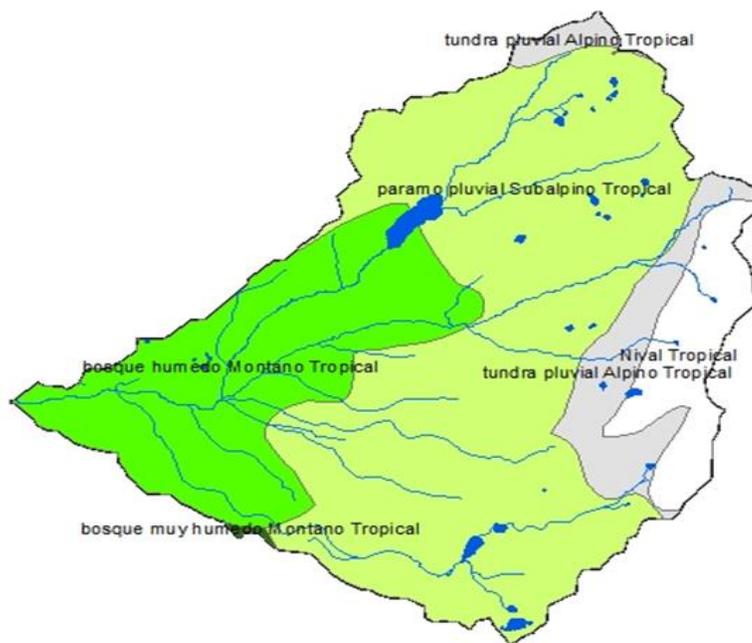


Figura 3. Mapa ecológico de la subcuenca del río Yanayacu

En la figura 4 se indican las formaciones geológicas más importantes en la subcuenca del río Yanayacu: Q-mo1 (105,42 km²); formación Chicama, Js-chic (23,57 km²); batolito de la Cordillera Blanca, granodiorita, tonalita, Nm cb/gd,to (77,92 km²); depósitos aluviales, gravas y arenas mal seleccionadas, Qh-al (20,91 km²); cuaternario holoceno glacio fluvial, Qh-gf (16,0 km²) y otras formaciones geológicas (33,32 km²).

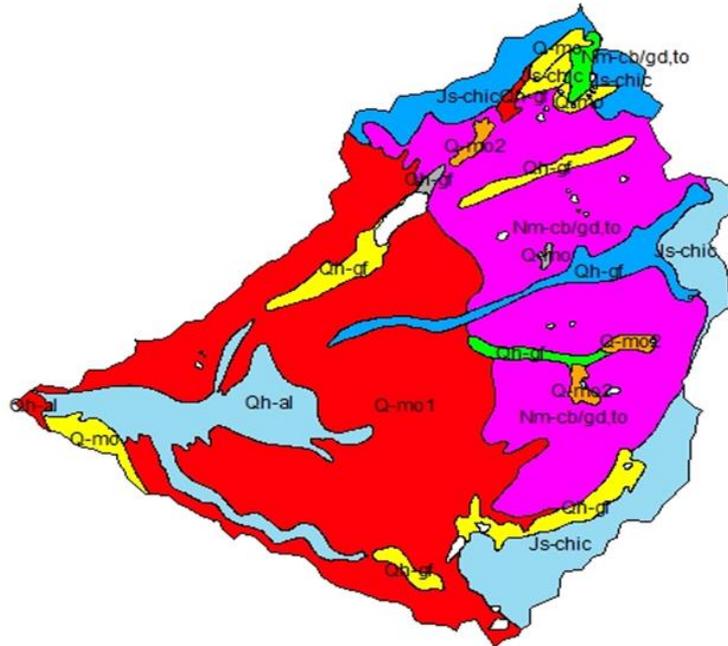


Figura 4. Mapa geológico de la subcuenca del río Yanayacu

Parámetros de drenaje de la subcuenca del río Yanayacu

En la tabla 1 se indican la longitud de cauces, área, perímetro, número de cauces, números de cauces de orden 1, densidad de drenaje, densidad de cauces, razón de torrencialidad y la razón de textura.

Tabla 1. Densidad de drenaje, densidad de cauces, razón de torrencialidad y textura de drenaje de la subcuenca del río Yanayacu.

L	A	P	N	N ₁	D _d	D _c	R _t	T _d
km	km ²	km	cauces	cauces	km/km ²	cauces/km ²	cauces/km ²	cauces/km
142,11	276,4	79,00	50,00	34,00	0,514	0,181	0,123	0,633

La red hídrica y el orden de cauces según el método de Strahler de la subcuenca del río Yanayacu se indica en la figura 5.

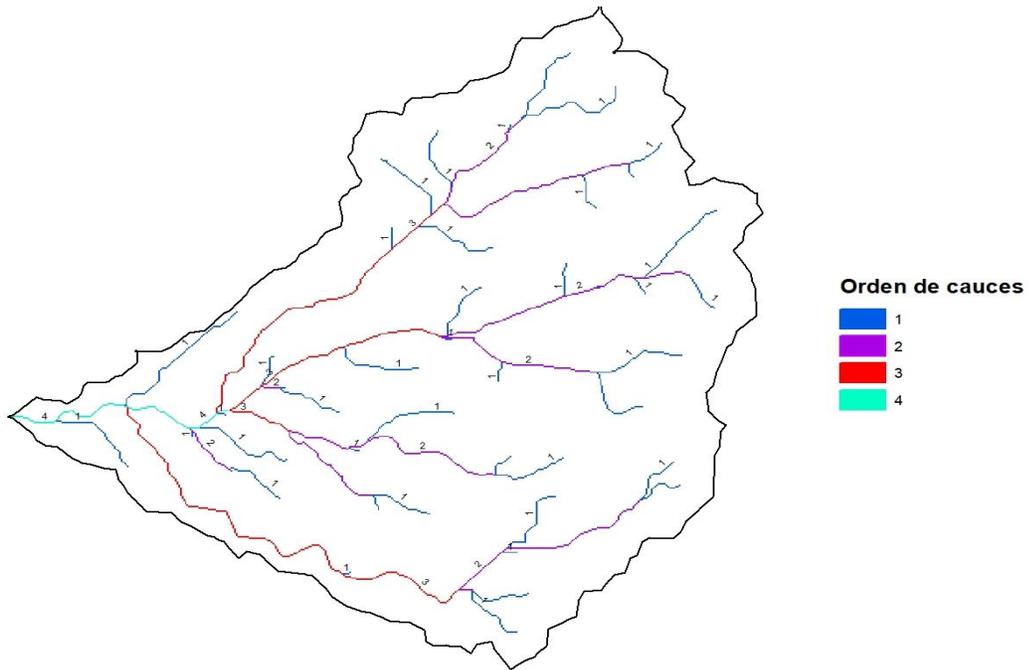


Figura 5. Número de orden de los cauces de la subcuenca del río Yanayacu

Contrastación de las leyes de red hídrica en la subcuenca del río Yanayacu

En la tabla 2 se indica el número de cauces observados y predichos mediante la ley del número de cauces de Horton y por medio del modelo exponencial para la subcuenca del río Yanayacu.

Tabla 2. Número de cauces observados y predichos en la subcuenca Yanayacu

i	N _i	R _b	N _i	
			Horton	Exponencial
1	34		35,30	35,39
2	11	3,09	10,76	11,10
3	4	2,75	3,28	3,48
4	1	4,00	1,00	1,09
Total	50		50,3	51,1
Promedio		3,28		
R ²			0,999	1,000

El modelo exponencial que relaciona el número de cauces y el número orden de cauces en la subcuenca del río Yanayacu:

$$N_i = 112,77 \exp(-1,159i)$$

$$R^2 = 0,999$$

Donde N_i representa el número de cauces de orden i , el orden de cauces está representada por i , R^2 representa el coeficiente de determinación.

En la tabla 3 se indican el orden de cauces, número de cauces de orden i , la longitud total y promedio de los cauces observados de orden i y las longitudes medias y totales predichas según la ley de longitud de cauces de Horton y la ecuación potencial.

Tabla 3. Longitud total y promedio de los cauces observados y predichos en la subcuenca del río Yanayacu.

i	N_i	L_i km	L_i media km	R_i	L_i media (km)	
					Horton	Potencial
1	34	74,86	2,20		2,20	76,00
2	11	44,42	4,04	1,83	3,52	35,80
3	4	15,15	3,79	0,94	5,64	18,23
4	1	7,68	7,68	2,03	9,02	7,23
Media				1,60		
R^2					0,888	0,972

La relación entre la longitud total de cauces de orden i y el número total de cauces de orden i para la subcuenca del río Yanayacu, está dada por la ecuación:

$$L_i = 7,233N_i^{0,667}$$

$$R^2 = 0,972$$

Donde L_i representa la longitud total (km) de cauces de orden i , N_i representa el número de cauces de orden i , R^2 representa el coeficiente de determinación.

La ley de Melton se confirma para la subcuenca del río Yanayacu

$$D_c = 0,694D_d^2$$
$$D_c = 0,181 \text{ cauces}/\text{km}^2$$

DISCUSIÓN

Los parámetros de red hídrica más importantes de la subcuenca del río Yanayacu son: densidad de drenaje, $D_d = 0,514 \text{ km}/\text{km}^2$; densidad de cauces, $D_c = 0,181 \text{ cauces}/\text{km}^2$, razón de torrencialidad, $R_t = 0,123 \text{ cauces}/\text{km}^2$, textura de drenaje, $T_d = 0,633 \text{ cauces}/\text{km}$.

La razón de bifurcación media de la subcuenca del río Yanayacu es igual a 3,28, que está en el rango indicado por Bras (1990), quien indica que las relaciones de bifurcación varían de 3 a 5 para cuencas en las cuales las estructuras geológicas no distorsionan el patrón de la red hídrica.

La razón de la longitud media de los cauces de la subcuenca del río Yanayacu es igual a 1,60 y está dentro del rango indicado de 1,5 a 3,4 por (Bras,1990).

La densidad de drenaje de la subcuenca del río Yanayacu es igual a $0,514 \text{ km}/\text{km}^2$, Dal-Ré (2003), indica que la densidad de drenaje puede variar de 0,5 para cuencas con drenaje pobre, hasta $3,0 \text{ km}/\text{km}^2$ para cuencas con excelente drenaje; se infiere que la subcuenca del río Yanayacu tiene un drenaje pobre.

La densidad de cauces de la subcuenca del río Yanayacu es igual a $0,183 \text{ cauces}/\text{km}^2$. Sin embargo, según Bras (1990), la densidad de cauces varía de 2,38 a 8,83; se infiere que el subsuelo de la cuenca es muy permeable y tiene buena cobertura vegetal.

La textura de drenaje de la subcuenca del río Yanayacu es igual a $0,633 \text{ cauces}/\text{km}$, según la clasificación indicada por Pratim y Jyotiprava (2019), la textura de drenaje de la subcuenca indicada es gruesa, es decir, tiene alta permeabilidad.

La ley del número de cauces de Horton y la ecuación exponencial hallada para la subcuenca del río Yanayacu tienen buen potencial predictivo porque los coeficientes de determinación son significativos, tal como se indican en la tabla 2.

La ecuación exponencial que relaciona el número de cauces de orden i , y el número de orden correspondiente, es la que se indica:

$$N_i = 112,77 \exp(-1,159i)$$
$$R^2 = 0,999$$

La ecuación exponencial indica que cuando aumenta el número de orden de los cauces, el número de cauces de orden i disminuye.

La ley de Horton de las longitudes medias de los cauces y la ecuación potencial hallada se confirman porque los coeficientes de determinación son significativos, tal como se indican en la tabla 3.

La ecuación potencial hallada, que relaciona la longitud total del número de cauces de orden i , y el número de cauces de orden i , es la que se indica:

$$L_i = 7,233N_i^{0,667}$$
$$R^2 = 0,972$$

La ecuación potencial indica que cuando aumenta el número de cauces de orden i , la longitud total de cauces de orden i también aumenta.

Finalmente, la ley de Melton fue corroborada para la subcuenca del río Yanayacu.

$$D_c = 0,694D_d^2$$

Donde D_c representa la densidad de cauces y D_d representa la densidad de drenaje.

CONCLUSIONES

Las leyes de Horton del número de cauces, de la longitud media de los cauces para un orden de cauces dado y la ley de Melton se confirmaron para la subcuenca del río Yanayacu. Sin embargo, se requieren someter a falsación en otras cuencas. Las ecuaciones exponencial y potencial encontradas para el número de cauces de orden i y la longitud total de cauces de orden i , son válidas para la subcuenca del río Yanayacu. Se recomienda realizar la contrastación de estas ecuaciones para otras cuencas o subcuencas.

Ecuación exponencial:

$$N_i = 112,77 \exp(-1,159i)$$

$$R^2 = 0,999$$

Donde N_i representa el número de cauces de orden i , el número de orden de cauces está representada por i , R^2 representa el coeficiente de determinación.

Ecuación potencial:

$$L_i = 7,233N_i^{0,667}$$

$$R^2 = 0,972$$

Donde L_i representa la longitud total (km) de cauces de orden i , N_i representa el número de cauces de orden i , R^2 representa el coeficiente de determinación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bera, A.; Mukhopadhyay, B. y Das, D. 2018. Morphometric analysis of Adula river basin in Maharashtra, India GIS and remote sensing technique. *Geo-spatial Data in Natural Resources*, 13-35. < <http://www.gathacognition.com/site/showpdf/chapter/96> >

- Bras, R. 1990. *Hydrology*. Editorial: Addison - Wesley Publishing Company.
- Dal-Ré, R. 2003. *Pequeños embalses de uso agrícola*. Madrid: Ediciones Mundi – Prensa.
- McCuen, R. 2005. *Análisis y diseño hidrológico*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Mocini, A.; Zarandi, N.; Pazira, E.; et al. 2015. The relationship between drainage density and erosion rate: a study of five watersheds in Ardebil Province, Iran. *WWI Transactions on Ecology and the Environmental: 107*. <doi:10.2495/RM150121>
- Linsley, R.; Kohler, M.; Paulhus, J. 1988. *Hidrología para ingenieros*. México: McGraw – Hill.
- Pratim, P.; Jyotiprava, Ch. 2019. Morphometric analysis of Katra Watershe of Eastern Ghats: A GIS approach. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences: Vol 7, N.º 3: 1651- 1665*.
- Udosen, Ch.; Udoidiong, O.; Etok, A.; et al. 2021. Morphometric analysis of Lower Enyong Creek basin in South Eastern Nigeria; its implications for applied studies. *Global Journal of Pure and Applied Sciences: 25, 311-320*. < <https://www.ajol.info/index.php/gipas/article/view/217515> >

Fecha de recepción: 26/02/22

Fecha de aceptación: 11/04/22

Correspondencia:

tmreyes2@gmail.com