




Análisis de los aspectos morfológicos en la subcuenca del río Pallina, municipio de Viacha, departamento de La Paz (Bolivia)

Morphological analysis of the Pallina River sub-basin, Viacha municipality, department of La Paz (Bolivia)

Jorge Gabriel Espinoza Almazán^{1,*}  Carlos López Blanco¹ , Olivia Apaza Quispe¹ 
y Luis Machicado Terrazas¹

¹Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), La Paz, Bolivia.

Resumen

El análisis morfológico de una subcuenca implica examinar diversos factores que influyen en la dinámica hidrológica, la forma del relieve, los procesos de erosión, la red hidrográfica y el uso del suelo. Se realizó un análisis morfológico de la Subcuenca del Río Pallina, en el Municipio de Viacha, Departamento de La Paz, Bolivia, con los objetivos de comprender la estructura hidrográfica, evaluar el relieve y la topografía, determinar la vocación de la cuenca y planificar un manejo sostenible. La metodología fue mixta, utilizando herramientas SIG, con enfoques cualitativos y cuantitativos. Los resultados incluyeron el análisis de los parámetros morfométricos de las subcuencas de los ríos Jacha Jawuira (118,49 km²) y Tujsa Jawuira (350,54 km²), para entender su dinámica superficial. Los parámetros clave para la evaluación fueron: a) parámetros de forma (coeficiente de compacidad, factor de forma, factor de Horton y relación de elongación); b) parámetros de relieve (pendiente media, curva hipsométrica y altitud media); c) parámetros de drenaje (densidad de drenaje, orden de corrientes y relación de bifurcación). Se utilizó información de SIG, digitalización de curvas de nivel y trabajo de campo. Las pendientes varían entre 6,55 % y 11,54 %, con una longitud de la red hídrica de 58,90 km y 275,2 km, y tiempos de concentración de 3,86 y 4,37 horas. Como conclusión, el estudio permitirá mitigar procesos de erosión, mejorar la salud humana, preservar ecosistemas y monitorear la calidad del agua. La información es útil para estudios hidrológicos e hidráulicos en la ordenación y planificación del territorio.

Palabras clave: Curva hipsométrica, sistemas de información geográfica (SIG). manejo de cuencas, parámetros morfométricos, red de drenaje.

Abstract

The analysis of morphological aspects of the Pallina River Sub-basin, Municipality of Viacha Department of La Paz-Bolivia, was carried out, the objectives were: to understand the hydrographic structure, evaluation of the relief and topography, determination of the vocation of the basin and planning for sustainable management, the methodology used considered the paradigm of mixed qualitative and quantitative research with GIS tools, the results allowed us to perform the analysis of the morphometric parameters of the Sub-basins of the Jacha Jawuira (118.49 Km²) and Tujsa Jawuira (350.54 Km²) Rivers, in order to understand their surface dynamics. The most relevant morphometric parameters for the evaluation are grouped into three main categories, each with specific implications for their hydrological and management behavior: a) shape parameters (determine the geometry of the sub-basin and its influence on the hydrological response to rainfall events) compactness coefficient, form factor, Horton factor and elongation ratio, b) relief parameters (related to the potential energy of the terrain and erosive processes) mean slope, hypsometric curve, and average altitude, c) drainage parameters (soil information and the efficiency of the hydrographic network) drainage density, order of currents, and the bifurcation relationship. To this end, quantitative indices and Geographic Information Systems (GIS) were used, digitization of contour lines, the information was complemented with fieldwork, slopes that vary from 6.55 % to 11.54 % respectively, elongated, of intermediate to large size a length of the water network of 58.90 km and 275.2 km, with variable concentration times 3.86 hrs and 4.37 hrs. As conclusions, the study will allow us to mitigate erosion processes, improve human health, preserve ecosystems, and monitor water quality. The information provided by this analysis can be used for the purposes of hydrological and hydraulic studies that may be involved in the management and planning of this territory

Keywords: Hypsometric curve, geographic information systems (GIS). watershed management, morphometric parameters, drainage network.

Recibido: 08/12/2024

Aceptado: 19/03/2025

Publicado: 31/03/2025

*Autor para correspondencia: jorgeargentina788606messi@gmail.com

Cómo citar: Espinoza Almazán, J. G., López Blanco, C., Apaza Quispe, O., & Machicado Terrazas, L. (2025). Análisis de los aspectos morfológicos en la subcuenca del río Pallina, municipio de Viacha, departamento de La Paz (Bolivia). *Revista de Investigaciones*, 14(1), 5-17. <https://doi.org/10.26788/ri.v14i1.6773>

Introducción

Para Riego (2014), la concepción de Manejo Integral de Cuencas (MIC) considera el uso, manejo del agua, suelo, cobertura vegetal y los cauces de una cuenca, mientras que la Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH) prioriza y da énfasis a los aspectos sociales e institucionales de gestión y administración para posibilitar un uso integrado y sostenible de los recursos hídricos.

La cuenca hidrográfica es conceptualizada como “una unidad básica para el análisis ambiental, nos permite conocer y evaluar sus diversos componentes y los procesos que suceden (Bertalanffy, 1975) es una unidad fundamental según (Botelho Rosangela & Soares Silva, 2014). Al ser una unidad geográfica natural con condiciones muy específicas y propias (independencia relativa, límites naturales bien definidos y una dinámica funcional) (Drake & Hogan, 2013), constituyéndose una unidad de planificación (Botelho Rosangela & Soares Silva, 2014), (Braz, 2017), (Cohen & Seanna, 2011) destacan la importancia para la planificación en aspectos de calidad del agua, análisis ambiental, zonificación entre otros.

(Guerra & Rosangela Grrido, 1998), las cuencas hidrográficas y los cuerpos de agua están sometidos a fuertes modificaciones como resultado de los cambios en el uso y cobertura de la tierra. (Moreira et al 2020), la conservación de las cuencas hidrográficas implica un manejo racional con participación de los actores locales.

(Fernandes, 2010) y (Souza Medeiros, Farias da Silva, & Dias, 2012), indican que las prácticas de manejo integrado de cuencas, deben ser planificadas e implantadas con un enfoque integral y participativa, y garantizar un desarrollo sostenible.

La geomorfología estudia de forma integral los procesos y factores influyentes que configuran los paisajes terrestres e interpretación de diferentes factores (erosión, sedimentos, etc (Casali, 2013). El relieve terrestre y la dinámica dan las formas de este, por otra parte la hidrogeología se encarga del estudio de la geodinámica del agua (superficial y subterránea), así como aspectos geológicos y su captación (Hernani & Ramirez, 2012), los procesos

endógenos y exógenos son determinantes para la evolución del “relieve” y en el ciclo hidrológico (Huggett, 2007).

(Verdu, 2003), la determinación de una respuesta hidrológica ante un evento, permite considerar los “parámetros geomorfológicos” considerando la geometría, la red de drenaje y el relieve de una cuenca (Morales Quintero, 2019) por otra parte (Farias 2005), indica que la Cuenca al ser un “área de captación natural de agua de lluvia” que converge a un único punto de salida, está formada por diferentes cursos de agua, siendo el análisis del ciclo hidrológico vital para determinar la cantidad y la calidad (Robleto, 2014).

La caracterización y su análisis definen el “comportamiento” en las Cuencas (Robleto, 2014). (Bonilla, Hurtado, & Jaramillo, 2009), la descripción de tipo cualitativo, y datos cuantitativos coadyuvan a tener un enfoque de la Cuenca para satisfacer las necesidades de los “usuarios” (FAO, 2012). La Subcuenca alberga una gran variedad de recursos naturales y su preservación lograra mejorar la calidad de vida. (Garcia Garcia & Salinas Lopez, 2020). La protección de las fuentes hídricas es vital para su uso y garantizar el “agua segura”. (Cairampoma & Villegas, 2016), estos aspectos destacan la importancia de los parámetros morfométricos de las Cuencas.

La morfometría (medición), se refiere al análisis cuantitativo de la forma y el tamaño, estos parámetros cuantifican su estructura física y territorial, con el fin de establecer las posibilidades y limitaciones de sus recursos naturales, pero también para identificar los problemas presentes y potenciales (Fernandez, 2012), los parámetros morfométricos definen la fisiografía del territorio, los parámetros de forma y tamaño (proporcionan las dimensiones de la cuenca hidrográfica), los parámetros de relieve (analizan aspectos orográficos) y el parámetro de morfometría fluvial (analiza el comportamiento de la red de drenaje (Garcia Garcia & Salinas Lopez, 2020).

Los parámetros morfométricos de una cuenca de drenaje proveen la evidencia para describir el comportamiento hidrológico, influyen los procesos hidrológicos (Pothiraj & Rajagopalan, 2013), (Singh, Gupta, & Singh, 2014), los

geomorfológicos (Povraz, Taskin, & Keles, 2011) y la conservación de suelos y aguas (Asfaw & Workineh, 2019), se destacan los aspectos:

- Área (A), se define como el total de la superficie proyectada sobre un plano horizontal, que contribuye con el flujo superficial (Londoño Arango, 2001) citado por (Dolores Garay & Gabriel Agüero, 2018), donde los límites de la zona de escurrimiento convergen en un mismo punto. (Dolores Garay & Gabriel Agüero, 2018).
- El perímetro de la cuenca (P), es la longitud del parteaguas en proyección horizontal, (Huaman, 2015).
- Razón de elongación, la relación entre el diámetro de un círculo que tenga la misma superficie de la cuenca y la longitud máxima de la cuenca (Jardi, 1985) mencionado por (Shumm, 1956).
- Forma de la cuenca, analizar el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la cuenca hasta llegar a la salida de la misma. (Monzalve Saenz, 1999)
- Coeficiente de compacidad (índice de Gravelius), es la relación entre el perímetro y el de una circunferencia, cuanto más irregular sea la cuenca mayor será su coeficiente de compacidad (Monzalve Saenz, 1999)
- El factor de forma, expresa la relación del área de la cuenca, y un cuadrado de la longitud máxima (Horton, 1945), la longitud axial de la cuenca se mide cuando se sigue el curso de agua más largo desde la desembocadura hasta la cabecera más distante en la cuenca. (Monzalve Saenz, 1999).
- Longitud Axial, es la distancia de una línea recta en proyección horizontal que va desde la salida de la cuenca hasta el parteaguas en su punto más alejado, siendo paralela al cauce principal (Huaman, 2015).
- El ancho medio se obtiene cuando se divide el área por la longitud axial de la cuenca (Ramon & Blanquer, 2011).
- Pendiente promedio de la cuenca, parámetro que controla en buena parte la velocidad con que

se da la escorrentía superficial, contribuyendo la red de drenaje de las cuencas (Monzalve Saenz, 1999) citado por (Huaman, 2015).

- Razón de relieve, establece la relación entre el desnivel de la cuenca y la longitud máxima de la misma. (Romero & Lopez, 1987).
- Curva hipsométrica: representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca. (Huaman, 2015) mencionado por (Lagbein, 1947), representa el relieve de la subcuenca (Monzalve Saenz, 1999).

El estudio morfométrico nos proporciona información para entender el proceso del régimen hidrológico, análisis de riesgos, evaluar la erosión, planificación y manejo de suelos (Da Costa, Dos Santos Galvanin, & Da Silva Neves, 2020).

Los objetivos de la investigación fueron: comprender la estructura hidrográfica, incluyendo la red de drenaje, los órdenes de corrientes, la densidad de drenaje y los patrones de flujo; evaluar el relieve y la topografía, considerando la forma y extensión de la cuenca, así como aspectos como la pendiente, el relieve relativo y la rugosidad del terreno; identificar y establecer las posibilidades y limitaciones de los recursos naturales y el ambiente, junto con los aspectos socioeconómicos de las comunidades locales; y, finalmente, planificar la conservación y su manejo, empleando los datos morfológicos para diseñar estructuras de conservación de suelos y agua, así como para gestionar sosteniblemente los recursos hidrológicos.

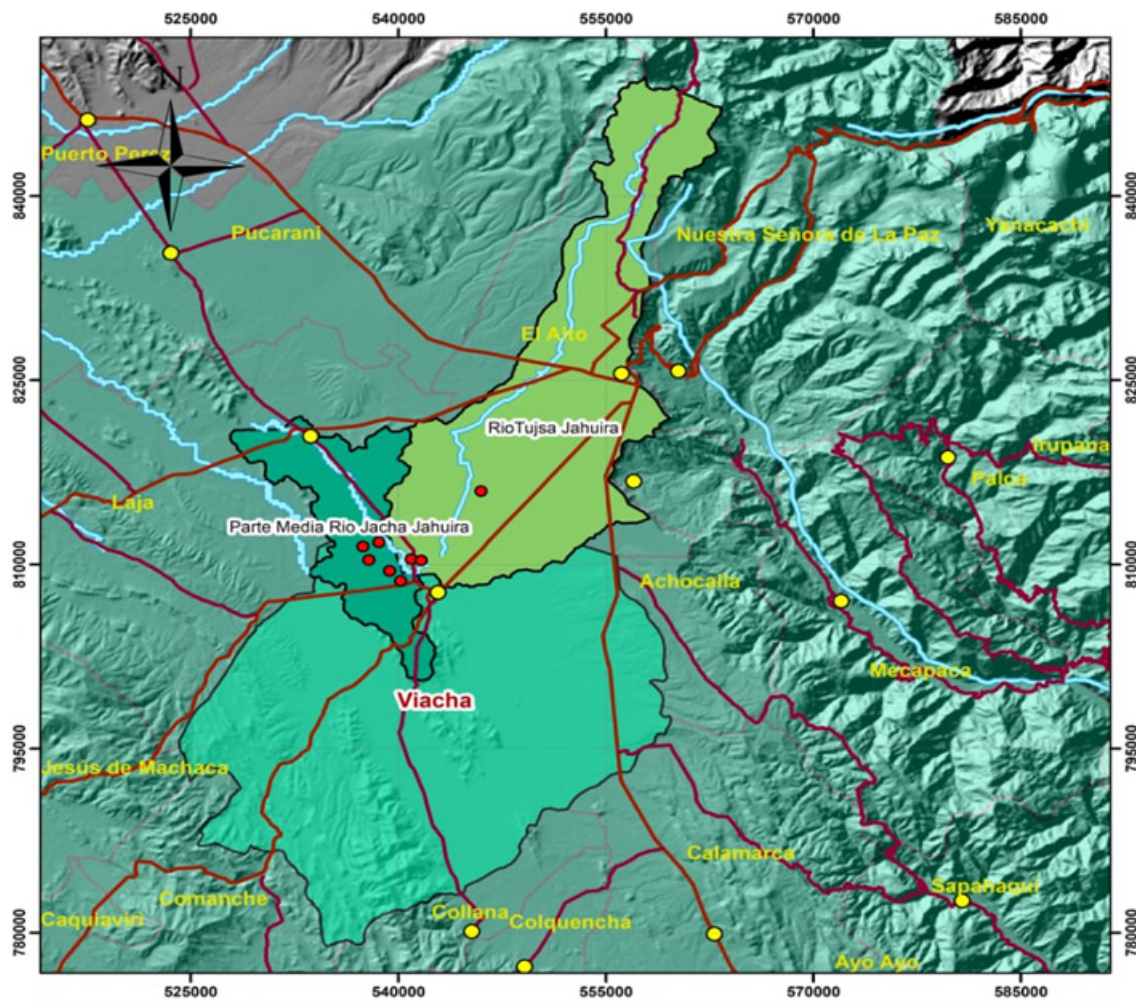
Métodos

Localización, la investigación se realizó en el Municipio de Viacha, área de la Subcuenca del Río Pallina. (Periodo 2022- 2023).

La Subcuenca del Río Pallina se encuentra ubicada en el Departamento de La Paz, forma parte de la cuenca del Río Katari, que desemboca en la bahía de Cohana del Lago Titicaca, se extiende por áreas cercanas a El Alto y Viacha, atravesando diferentes comunidades, los afluentes como el Río Seco, Seque desembocan al Río Pallina.

Figura 1

Ubicación Geográfica de la Subcuenca del Río Pallina (Subcuencas)



El presente estudio utilizó como información base el Modelo Digital de Elevación (MDE), con una cobertura territorial escala 1:20 000 con 30 m de resolución, previo a la delimitación de la cuenca, se realizó la corrección atmosférica del MDE y fue georreferenciado en coordenadas geográficas (WGS84) a través de tecnología SIG. El área de estudio se ubica en la zona UTM.18, se consideró las variables y parámetros (Tabla 1).

La filosofía de Wilber considero el “paradigma” cuantitativo y cualitativo, no representa un conflicto entre paradigmas de investigación, los puntos de vista no difieren (Lakatos, 1978), desde hace 20 años se investiga la forma cualitativa,

confiando haber encontrado la alternativa de lo cuantitativo (Merino, 1995), ambas técnicas pueden ser complementarias y se niega, además, la presencia de variables cualitativas en los fenómeno propio de criterio experimental.

Previo a la delimitación de la cuenca, se realizó la corrección atmosférica y fue georreferenciado en coordenadas geográficas (WGS84), la delimitación y su red de drenaje se realizó mediante el software Arc/Gis 10.5.1, haciendo uso de la herramienta Hydrology. Los parámetros morfométricos de geometría, relieve y forma fueron obtenidos a partir de un trabajo conjunto entre los SIG e índices y métodos cuantitativos. (Tabla 1).

Tabla 1*Parámetros morfométricos calculados para la Subcuenca del Río Pallina*

Variable	Parámetro	Índice/método/programa	Referencia
Geometría o tamaño de la cuenca	Área (A, km ²)	Cargar en ARCGIS la capa vectorial en 3D de la cuenca delimitada, Agregar campos para área, perímetro, cota máxima, cota mínima en la tabla de atributos	
	Perímetro (Pr, Km)		
	Longitud (Lb, Km)		
	Diámetro (D,km)		
Relieve de la cuenca	Cota máxima (msnm)	Calcular geometría	Horton 1932
	Cota mínima (msnm)	Seleccionar la propiedad adecuada en cada campo agregado, así como el sistema de coordenadas y la unidad de medida a utilizar	
	Pendiente media (%S)	$S=(100 (H/L)/A)$ H=distancia vertical entre curvas: L: longitud total de las curvas de nivel. A=Área	
	Curva hipsométrica	ArccGIS 10.5.1. y excel	
	Forma	$R=A/L$ A=área de drenaje de la cuenca L=Longitud	
	Coeficiente de compacidad o índice de gravelius (Kc)	$Kc=0,282*P/ \text{Raíz } A$	
	Razón de elongación (Re)	$Re=1,128*\text{Raíz } A/L$	
	Factor de circularidad (Rc)	$Rc=eA/p^2$	
	Numero de orden (rango)	Una vez definida la red hídrica se trabajó con la herramienta hydrology, para generar el orden de ríos y asignar el número de río en cada una de las ramificaciones y cauce principal	
	Longitud del cauce principal (Lep.km)		
Red de Drenaje	Pendiente media del cauce principal (%)	$S=(Ah/L)*100$	Becerra (2005)
	Tiempo de concentración (T, hrs) $t_c=0,3 (L/S)$		Temer(1978)

Posteriormente, se determinó la curva hipsométrica, empleando curvas de nivel escala 1:50 000, este parámetro es útil para conocer el relieve de una cuenca de drenaje (altitud, pendiente y orientación) y la distribución de sus elevaciones (Keller & Pinter, 1996); (Strahler, 1952), (Horton R., 1952) asimismo, los factores tectónicos, climáticos y el control de la litología sobre la evolución de las cuencas de drenaje (Farhan Isa, Ahnbar Dawod, Enaba, & Al shaikh, 2015), para la construcción de la curva hipsométrica, se seleccionaron intervalos entre curvas de nivel de 200 m, y se calculó el área en cada uno de ellos, parámetro es útil para conocer el relieve de una cuenca de drenaje (altitud, pendiente y orientación) y la distribución de sus elevaciones. (INEGI, 2020).

La recopilación de datos existentes (climáticos, estudios de suelos y aguas), demográficos y actividades existentes y otros de importancia (Sheng, 1992), el análisis biofísico de la cuenca permitió obtener información de (clima, suelo, volumen, calidad del agua, tipo de vegetación, relieve y geología de la cuenca), así como las

interrelaciones entre estas. (Moreno & Renner, 2007), indican que los datos biofísicos es lo más costoso de evaluar y monitorear, al realizar la caracterización en algunos estudios se tiene datos faltantes que afectan su análisis (Faustion & Garcia, 2002).

Las variables de estudio evaluadas fueron:

Estructura hidrográfica (Río principal y afluentes) permitió identificar su origen, trayectoria y puntos de confluencia, la divisoria de aguas y la red de drenaje.

Relieve y topografía, la pendiente media (tiene influencia en la velocidad de escorrentía y erosión, la latitud máxima y mínima, las curvas de nivel nos permiten representar la forma del terreno y su capacidad para retener o escurrir agua.

Vocación de la cuenca, la identificación de las funciones ecológicas (regulación hídrica, biodiversidad y ciclos biogeoquímicos), el potencial económico (uso para la agricultura, actividad

pecuaria, áridos y abastecimiento urbano), el equilibrio antropogénico (compatibilidad entre actividades humanas y resiliencia del ecosistema).

Planificación para un manejo sostenible, el control de escorrentía (implementación de terrazas o zanjas para reducir la erosión eólica e hídrica), la revegetación (forestación con especies nativas y

exóticas, mejora la infiltración y estabiliza el suelo y la gestión integrada o sostenible, considerando aspectos socioeconómicos y políticas públicas.

Las variables consideradas son fundamentales para comprender y gestionar de manera efectiva las cuencas hidrográficas, asegurando su sostenibilidad y equilibrio ambiental.

Tabla 2

Categorización y variables analizadas SubCuenca Rio Pallina

Categoría	Variables	Métodos de Análisis
Hidrología	Caudal, infiltración, evapotranspiración	Modelos de balance hídrico
Topografía	Pendiente, orientación, curvatura	SIG y MDE
Sociambiental	Uso del suelo, densidad poblacional	Encuestas y cartografía
Geométricas	Área, perímetro, longitud del curso mayor	SIG y planimetría
Hídricas	Densidad de drenaje, orden de corrientes	Análisis de la red de drenaje

Resultados

La unidad hidrográfica de la Subcuenca del Río Pallina, presenta 2 Subcuencas, con una superficie de aportación de 118,49 km² y 350 km² se ubica en la categorización de clasificación de tamaños de cuenca (Sanchez et al., 2003), de acuerdo con (Campos, 1998), el área obtenida corresponde a una cuenca entre “intermedia a grande” (Figura 1) (Tabla 2). Los estudios realizados por (Chandniha Suurendra & Kansal Lal, 2017), (Gaspari et al 2012), (Mendez, Cordova, & Cartaya, 2005) y (Méndez et al., 2005); los valores de pendiente 6.55% y 11,54 %; longitud del curso principal 22,07 km y 45,28 km, el tiempo de concentración 3,86 hrs y 4,37 hrs, índice de alargamiento 0,69 y 0,59; factor de coeficiente 0,25 y 0,20; índice de gravelious 1,98 y 2,11 entre los principales valores

en las Subcuencas de Jacha Jawuira y Tujsa Jawuira, (Tabla 3), en conjunto reflejan una forma alargada, con relieves diferentes y aspectos representativos de cada subcuenca.

POMCA (2019), indica que nos muestra la variación del sistema montañoso. La subcuenca del Río Pallina, y las subcuencas corresponden a una cuenca en equilibrio (Harlin, 1984), bajo el supuesto de que esta función, de acuerdo con (Strahler, 1957), relaciona la altitud con el área presenta modificaciones a través del tiempo en la medida que la cuenca sufre los efectos de la erosión, lo cual implica que esta área no presenta gran potencial erosivo y tiende a clasificarse como una cuenca en su fase de madurez (Campos, 1992), (LLamas, 1993).

Figura 2

Curva Hipsométrica Subcuenca A

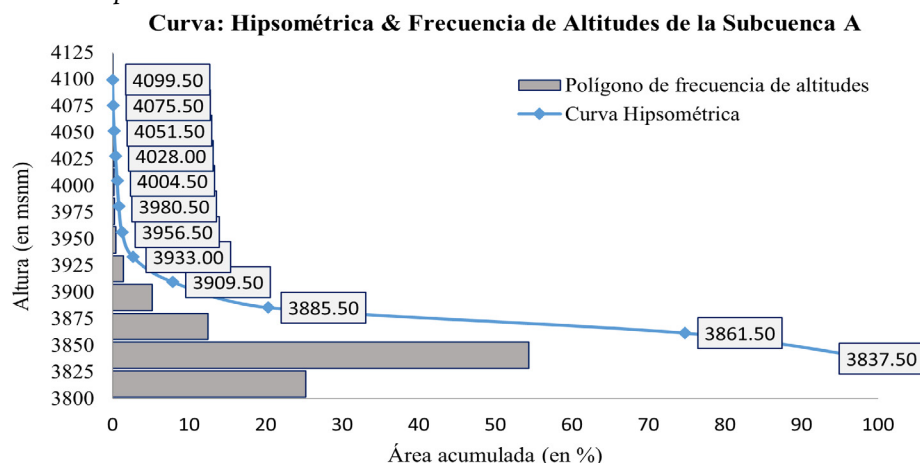


Tabla 3*Parámetros morfométricos de Subcuencas A y B*

Descripción de la superficie	Unidad	Subcuenca A	Subcuenca B
Área	Km ²	118,49	350,54
Perímetro de la cuenca	km	77,13	141,42
Cotas			
Cota máxima	msnm	4110,00	5591,98
Cota mínima	msnm	3830,00	3837
Centroide (WGS_1984_UTM_Zone_16S)			
X centroide	m	567627,6233	583135,43
Y centroide	m	8163437,9274	8178014,7
Z centroide	msnm	3925,64	4481,8149
Altitud			
Altitud media	msnm	3903,00	4151,9572
Altitud más frecuente	msnm	3861,50	3915
Altitud de frecuencia media (1/2)	msnm	3907,54	4304,3426
Pendiente			
Pendiente promedio de la cuenca	%	6,55	11,54
De la Red Hídrica			
Longitud del curso principal	km	22,07	45,28
Orden de la red hídrica	UND	3	4
Longitud de la red hídrica	km	58,90	275,2
Pendiente promedio de la red hídrica	%	1,30	1,69
Parámetros Generados			
Tiempo de concentración	horas	3,86	4,37
Rio		Jacha Jawuira	Rio Tujsa Jawuira
Pendiente del cauce principal	m/m	0,01	0,04

Tabla 4*Parámetros morfométricos de Subcuencas A y B*

Parámetro	Variable	Sub Cuenca A	Sub Cuenca B
Índice de Alargamiento	f	0,69	0,59
Factor de Coeficiente	kf	0,25	0,2
Índice de Gravelious	K	1,98	2,11
Coeficiente de Masividad	cm	0,65	0,21
Relación de elongación	kc	0,57	0,5
Coeficiente orográfico	CO	2536,95	871,91
Pendiente media (%)	pm	6,55	11,54
Pendiente promedio (%)		1,3	1,69

Discusión

Los parámetros morfométricos de cuencas hidrográficas son herramientas cuantitativas imprescindibles para el análisis de aspectos físicos, que influyen en el comportamiento hidrológico, permitiendo analizar y plantear

propuestas de gestión sostenible de cuencas, desde la planificación agrícola y mitigación de riesgos y desastres, nos revela información sobre su forma, relieve y dinámica hidrológica.

La importancia del Análisis Morfológico es importante para:

- El comportamiento hidrológico nos ayuda a entender como la forma y el relieve de una cuenca afectan su respuesta a las precipitaciones, lo cual es crucial para predecir inundaciones y sequías.
- Planificación y gestión, los datos morfológicos son esenciales para planificar infraestructuras hidráulicas y gestionar los recursos hídricos de manera sostenible.
- Tecnologías utilizadas a través del sistema de información geográfica (SIG), nos permiten analizar y visualizar datos topográficos y de drenaje con precisión.
- Modelos digitales del terreno (MDT), facilitan la delimitación de cuencas y el cálculo de parámetros morfométricos.

Los desafíos y limitaciones permiten el análisis de:

- Complejidad del terreno, en áreas con relieve complejo, la delimitación precisa de la cuenca puede ser un desafío.
- Disponibilidad de datos, la falta de datos topográficos detallados puede limitar la precisión del análisis morfológico.

Las dimensiones de las subcuencas son variables con áreas de 118,49 Km² y 350,54 Km² clasificadas como pequeña, ya que el valor oscila entre los 25 y 250 km² según (Campos 1998).

El perímetro (P) fue de 77,13 y 141,42 y una longitud (Lb) paralela al cauce principal de 22,07 y 45,28 km, (Esper Angillieri & Perrucca, 2014), reportan valores similares y lo relacionan con menores tiempos de concentración del escurrimiento superficial y estos valores indican que son susceptibles a crecidas con picos atenuados de variabilidad variable.

En referencia al análisis hipsométrico revela que las Subcuencas se encuentran en una etapa de equilibrio corroborándose con el valor de la integral hipsométrica (0,5) que se encuentra entre el rango de 0,35 y 0,6 (Martínez et al 2017) reportaron un valor similar para la integral hipsométrica y lo relacionaron con una cuenca tectónicamente estable (Kumar & Joshi, 2015).

En relación a los parámetros que describen la forma, el factor de forma (*R_f*) resultó en 0.69 y 0.59, se considera que valores sencillos cercanos a cero una forma alargada (Horton R., 1952), generalmente para este tipo de cuencas se puede afirmar que el flujo superficial de un evento de lluvia presentara avenidas con pico atenuados y de duración larga, en contraste con cuencas circulares cuyas avenidas presentan picos de corta duración (Biswas, Suddhakar, & Desai, 1999). La gestión de cuencas es imprescindible para gestión de riesgos agrícolas como las inundaciones en las cuencas circulares (Abdulkareem, Pradhan, Sulaiman, & Jamil, 2018).

La constante de compacidad nos indica que se trata de una cuenca en forma de oval a oblonga a rectangular-oblonga (Campos, 1992), esta forma de las subcuencas nos indica una menor susceptibilidad a eventos de avenidas, si los flujos laterales incrementan al cauce principal 22.07 Km y 45.8 km respectivamente, que son mínimos debido a la reducida área de captación según (Rios, y otros, 2018). En contraposición si existieran áreas de aporte más grandes que confluyen en la corriente principal podría implicar un riesgo muy alto para las inundaciones, especialmente en áreas de la subcuenca baja.

El análisis del relieve es importante los valores de 2536.95 m y 871 m, tiene un desnivel o diferencia significativo (*R*) 1665.95 m (Sakthivel, Jawarhar-Raj, Akhila, & Omine, 2019), indican valores menores a 400 m, indican un desnivel bajo. Este factor es importante para poder estimar el tiempo de concentración de los escurrimientos y poder comprender las particularidad de las inundaciones (Sreedevi, Subrahmanyam, & Ahmed, 2005). La pendiente de las subcuencas 6.55% y 11.54% considerada baja (Sakthivel, Jawarhar-Raj, Akhila, & Omine, 2019), parámetro útil para medir la inclinación de la cuenca y también es un indicador de la intensidad del proceso de erosión que se produce identificándose principalmente la eólica y la hídrica.

Conclusiones

El área estudiada corresponde a un paisaje montañoso, llanuras con pendientes muy escarpadas y desniveles que le dan un carácter

de riesgo por escorrentía, situación que causa que ante eventos pluviales se pueden presentar avenidas hidrológicas de moderadas a lentas.

Lo anterior se afirma con base en la interpretación de los resultados relacionados con el índice asimétrico que indican que la red de drenaje no es homogénea en toda el área de la cuenca y está menos condicionada a avenidas agresivas, de tal manera que los riesgos de inundaciones asociados a esta cuenca son de mediana a baja intensidad.

El análisis morfométrico de la Subcuenca del Río Pallina, donde se identificaron 2 Subcuencas en los Ríos Jacha Jawuira (118,49 Km²) y Tujsa Jawuira (350,54 Km²), son identificadas como cuencas montañosas, llanuras y presencia de pendientes que varían de 6,55 % a 11,54 % respectivamente, de forma alargada, de tamaño intermedio a grande una longitud de la red hídrica de 58,90 km y 275,2 km, con tiempos de concentración variables 3,86 y 4,37 hrs, es un sistema de 3er y cuarto orden con un patrón de drenaje principalmente de tipo subdendrítico y paralelo, resultado de la estructura geológica, relieve y tipos de suelos diferentes. El análisis hipsométrico y el factor de circularidad ubican a la cuenca en una etapa de madurez "formación". Por su parte, los parámetros de relieve e hipsométricos sugieren serios problemas de pérdida de la cobertura vegetal y procesos de erosión avanzados en toda la cuenca, condicionados por una litología y suelos dominantes (de tipo aluvial y fluvial) que ofrecen poca resistencia a los procesos erosivos. Los aspectos físicos y respuestas morfodinámicas e hidrológicas de la Subcuenca del Río Pallina, están determinadas tanto por su tamaño, forma, fuertes pendientes y red de drenaje, así como por su composición geológica y edafológica. Sus características reflejan una compleja interacción entre factores naturales y antrópicos, recibe aportes de los ríos Seque y Seco, que atraviesan zonas urbanas, transportando estas afluentes aguas contaminadas (Plomo, arsénico, DQO) desde áreas mineras, urbanas y actividad agrícola (uso de fertilizantes y pesticidas que incrementan la concentración de nitratos y fosfatos). La generación de investigaciones a mediano, corto y largo plazo en la zona de estudio para mitigar procesos de erosión, mejorar la salud humana, los ecosistemas acuáticos que presentan degradación, el caudal y calidad del

agua a través de un monitoreo constante para la perpetuidad para futuras generaciones, el análisis de la gestión social e institucional son aspectos relevantes a considerar el enfoque hídrico. Los parámetros morfométricos revelan características hidromorfológicas de la cuenca estudiada; así como la relevancia de los recorridos de verificación de campo para sustentar y enriquecer los resultados alcanzados con el estudio morfométrico. La información aportada por este análisis puede ser utilizada para propósitos de estudios hidrológicos e hidráulicos que puedan involucrarse en la ordenación y planeación de este territorio.

Contribución de los autores

Conceptualización, Espinoza Almazán, J. G. (90%), López Blanco, C. (5%), Apaza Quispe, O. (2.5%), Machicado Terrazas, L. (2.5%); *Curación de datos*, Espinoza Almazán, J. G. (85%), López Blanco, C. (10%), Apaza Quispe, O. (5%), Machicado Terrazas, L. (5%); *Análisis formal*, Espinoza Almazán, J. G. (80%), López Blanco, C. (10%), Apaza Quispe, O. (5%), Machicado Terrazas, L. (5%); *Adquisición de fondos*, Espinoza Almazán, J. G. (100%); *Participación en la investigación*, Espinoza Almazán, J. G. (90%), López Blanco, C. (5%), Apaza Quispe, O. (2.5%), Machicado Terrazas, L. (2.5%); *Metodología*, Espinoza Almazán, J. G. (80%), López Blanco, C. (10%), Apaza Quispe, O. (5%), Machicado Terrazas, L. (5%); *Administración del proyecto*, Espinoza Almazán, J. G. (100%); *Recursos*, Espinoza Almazán, J. G. (70%), López Blanco, C. (10%), Apaza Quispe, O. (10%), Machicado Terrazas, L. (10%); *Software*, Espinoza Almazán, J. G. (80%), López Blanco, C. (10%), Apaza Quispe, O. (5%), Machicado Terrazas, L. (5%); *Supervisión*, Espinoza Almazán, J. G. (70%), López Blanco, C. (10%), Apaza Quispe, O. (10%), Machicado Terrazas, L. (10%); *Validación*, Espinoza Almazán, J. G. (65%), López Blanco, C. (15%), Apaza Quispe, O. (10%), Machicado Terrazas, L. (10%); *Visualización*, Espinoza Almazán, J. G. (80%), López Blanco, C. (10%), Apaza Quispe, O. (5%), Machicado Terrazas, L. (5%); *Redacción—borrador original*, Espinoza Almazán, J. G. (75%), López Blanco, C. (10%), Apaza Quispe, O. (5%), Machicado Terrazas, L. (5%); *Redacción—revisión y edición*, Espinoza Almazán, J. G. (80%), López Blanco, C. (10%), Apaza Quispe, O. (5%), Machicado Terrazas, L. (5%). Todos los autores revisaron y aprobaron la versión final del manuscrito.

Referencias

- Abdulkareem, J., Pradhan, B., Sulaiman, W., & Jamil, N. (2018). Quantification of runoff as influenced by morphometric characteristics in a rural complex catchment. *Earth Systems and Environment*,. doi: <https://doi.org/10.1007/s41748-018-0043-0>
- Asfaw, D., & Workineh, G. (2019). *Quantitative analysis of morphometry on Ribb and Gumara watersheds: Implications for soil and water conservation. International Soil and Water Conservation Research*.
- Bertalanffy, L. (1975). *Teoria Geral dos Sistemas*. Petrópolis: Vozes. Brasil: Vozes.
- Biswas, S., Suddhakar, S., & Desai, V. (1999). Prioritisation of subwatersheds based on morphometric analysis of drainage basin: A remote sensing and GIS approach. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*,. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02991569>
- Bonilla, Hurtado, & Jaramillo. (2009). *La investigación. Aproximaciones a la construcción del conocimiento científico*.
- Botelho Rosangela, G., & Soares Silva, A. (2014). *Bacia hidrográfica e qualidade ambiental.* En *Reflexões sobre a geografia física no Brasil, organizado por Antônio Carlos Vitte y Antônio José Teixeira Guerra*. Rio de Janeiro Brasil.
- Braz, A. (2017). *Geotecnologias aplicadas na análise das implicações entre o uso, cobertura e manejo da terra e a qualidade das águas superficiais: bacias hidrográficas dos córregos Lajeado Amarelo e Ribeirãozinho, Três La-goas/MS.* Tesis de Maestria en Geografia, Univers. Mato Grosso do Sul Brasil.
- Cairampoma, & Villegas. (2016). *El acceso universal al agua potable*. Obtenido de <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechopucp/article/view/1485> 5
- Campos Aranda, D. (1998). *Procesos del ciclo hidrológico*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. S.L.P.Mexico: Libros Editorial de la Editorial Universitaria.
- Campos Aranda, D. (1998). *Procesos de ciclo hidrológico*. Editorial Universitaria Potosina. Tercera reimpresión. Potosi.
- Campos, A. (1992). *Procesos del Ciclo Hidrológico*. 2 ed., México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosi Mexico.
- Casali, N. (2013). *Geomorfología aplicada*, Recuperado el 15 de Enero de 2025, de <http://www0.unsl.edu.ar/~geo/materias/geomorfologia/teorias/20xx/TG1screen.pdf>
- Chandniha Suurendra, K., & Kansal Lal, M. (2017). *Prioritization of sub-watersheds based on morphometric analysis using geospatial technique in Piperiya watershed, India. Applied Water Science*. India.
- Cohen, A., & Seanna, D. (2011). *"The Watershed Approach: Challenges, Antecedents, and the Transition from Technical Tool to Governance Unit."* *Water Alternatives* 4.
- D Agostini, L., & Schilindwein, S. (1998). *Dialética da avaliação do uso e manejo das terras: da classificação interpretativa a um indicador de sustentabilidade*. Florianopolis: UFSC.
- Da Costa, A., Dos Santos Galvanin, E., & Da Silva Neves, S. (2020). *Análise Morfométrica Da Bacia Hidrografica Paraguai*. 35(74) pp. Obtenido de <https://doi-org.una.idm.oclc.org/10.5007/1982-5153.2020v35n74p483>
- Dolores Garay, D., & Gabriel Aguero, N. (2018). *Deñimitacion Hidrografica y Carcterizacion Morfometrica de la Cuenca Rio Anzulon*. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_delimitacion_y_caracterizacion_de_la_cuenca_del_rio_anzulon_1.pdf
- Drake, K., & Hogan, M. (2013). *Watershed Management Guidebook: A Guide to Outcome-Based Watershed Management*.
- Esper Angillieri, M., & Perrucca, L. (2014). *Caracterización morfométrica de la Cuenca*

- del río Seco a propósito de las fuertes precipitaciones de enero de 2013. San Juan, Argentina.
- FAO. (2012). *El Estado de los Recursos de Tierras y Aguas del Mundo para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i1688s.pdf>
- Farhan Isa, Y., Ahnbar Dawod, A., Enaba, O., & Al shaikh, N. (2015). Quantitative Analysis of Geomorphometric Parameters of Wadi Kerak, Jordan, Using Remote Sensing and GIS. *Journal of Water Resource and Protection*.
- Farias, R. (2005). *Apuntes de Hidrología, Universidad de Piura*. Peru.
- Faustion, J., & Garcia, S. (2002). *Manual de Manejo de Cuencas. Visión Mundial Canadá. El Salvador, Nicaragua y Bolivia*, pp 16 –20.
- Fernandes, M. (2010). *Manejo integrado de bacias Hidrográficas: fundamentos e aplicações*. Belo Horizonte Brasil.
- Fernandez, O. (2012). *Caracterización Morfométrica de la Cuenca Hidrográfica Chinchao Distrito de Chinchao*. Lima, Huanuco Region, Peru.
- Garcia Garcia, N. J., & Salinas Lopez, N. F. (2020). *Caracterización Hidrográfica y disponibilidad hídrica en la Unidad Hidrológica en el periodo 2019-2020. Trabajo de Tesis Lic. Geografía*. Managua Nicaragua.
- Gaspari, F., Rodriguez Vagaria, A., Senisterra, E., Denegri, A., Delgado, M., & Besteiro, S. (2012). *Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina*. *AUGMDOMUS*, 4, 143-158. Buenos Aires Argentina.
- Guerra, A., & Rosangela Grrido, M. (1998). *Erosão dos solos." En Geomorfologia do Brasil, organizado por Sandra Baptista Cunha e Antônio José Teixeira Guerra*, 181-227. Río de Janeiro. Bertand Brasil.
- Harlin, J. (1984). *Watershed morphometry and time to hydrograph peak*. *Journal of Hydrology*
- Hernani, T., & Ramirez, J. (2012). *Aspectos Morfométricos y Teóricos de un Embalse Tropical de Alta Montaña Represa La Fe, El Retiro, Colombia*. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*. El Retiro Colombia http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_26/101/511-518.pdf
- Horton. (1945). *Erosional Development of Streams and their Drainage Basins*, *Bulletin of the Geological Society of America*. Estados Unidos.
- Horton, R. (1952). *Drainage-basin characteristics*. *Transactions*.
- Huaman, G. (2015). *Analisis morfometrico e hidrológico de la subcuenca hidrografica Arasá, departamento de Cusco, Perú*. Cusco Peru. Obtenido de <http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/111/004-23-034.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Huggett, R. (2007). *Fundamentals of Geomorphology*. Recuperado el 1 de Marzo de 2025, de http://www.cec.uchile.cl/~fegallar/Fundamentals_of_Geomorphology.pdf
- INEGI. (2020). *Conjunto de datos vectoriales de información topográfica E14B52 Atlitxco, Escala 1:50 000*. Mexico.
- Jardi, M. (1985). *Forma de una cuenca de drenaje. Analisis de las variables Morfometricas que nos la definen*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/39036417.pdf>
- Keller, E., & Pinter, N. (1996). *Active tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape*. New Jersey.
- Kumar, P., & Joshi, V. (2015). Characterization of hydro geological behavior of the upper watershed of River Subarnarekha through Morphometric analysis using Remote Sensing and GIS approach. *International Journal of Environmental Sciences*. doi: <https://doi.org/10.6088/ijes.6049>
- Lagbein. (1947). *Topographic Characteristics of drainage bassins*. Obtenido de <https://pubs.usgs.gov/wsp/0968c/report.pdf>

- Lakatos, I. (1978). *La metodología de los programas científicos de investigación*. Peru.
- LLamas, J. (1993). *Hidrología General, Principios y Aplicaciones*. Vasco Espana.
- Martinez Ramirez, A., Steinich, B., & Tuxpan, J. (2017). Morphometric and hypsometric analysis in the Tierra Nueva Basin, San Luis Potosí. *Environmental Earth Sciences*. doi: <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6766-7>
- Mendez, W., Cordova, J., & Cartaya, S. (2005). *Relaciones morfometría – respuesta hidrológica en La microcuenca de drenaje de la quebrada curucutí (estado Vargas, Venezuela), y su aplicación en la Evaluación de la amenaza por inundaciones*. Brasil.
- Merino, C. (1995). *Investigación cualitativa e investigación tradicional: ¿Incompatibilidad o complementariedad?* Siglo XXI.
- Monzalve Saenz, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. Mexico: Alfaomega.
- Morales Quintero, D. (2019). *Caracterización hidrogeológica y geomorfológica de la cuenca y embalse del parque natural la nitrera Universidad de Antioquia Facultad de Ingeniería Trabajo de Grado Magister en Ingeniería Ambiental*. Medellin Colombia. Recuperado el 1 de Marzo de 2025, de <file:///C:/Users/CALIDAD/Desktop/Produccion%20Intelectual%20JGEA/articulo%20revista%20peru%20parametros%20cuenca/document%205.pdf>
- Moreira Braz, A., Mirandola Garcia, P., Luiz Pinto, A., Salinas Chavez, E., & Ivanilton, J. (2020). Manejo integrado de cuencas hidrográficas: posibilidades y avances en los análisis de uso y cobertura de la tierra*. *Scielo*. Obtenido de <http://scielo.org.co/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S0121-215X2020000100069>
- Moreno, A., & Renner, I. (2007). *Gestión Integral de Cuencas la Experiencia del Proyecto Regional Cuencas Andinas, Centro Internacional de la Papa*. Lima Peru.
- POMCA. (2019). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Sumapaz (cod. 2119), localizada en los Departamentos de Cundinamarca y Tolima*. Obtenido de https://cortolima.gov.co/images/POMCA/POMCA_SUMAPAZ/2DIAGN%C3%93STICO/3.7._Morfometr%C3%ADa.pdf
- Pothiraj, P., & Rajagopalan, B. (2013). A GIS and remote sensing-based evaluation of groundwater potential zones on a hard rock terrain of Vai gai sub-basin. *Arabian Journal of Geosciences*, 2391-2407.
- Povraz, M., Taskin, S., & Keles, K. (2011). Morphometric approach to geomorphologic characteristics of Zeytinli stream basin. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 19 p 322-330.
- Ramon, A., & Blanquer, J. (2011). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%C3%ADa%20de%20una%20cuenca.pdf>
- Riego, M. d. (2014). *Guía para la Elaboración de Proyectos de Gestión Integrada de Recursos Hídricos y Manejo Integral de Cuencas (GIRH/MIC)*. La Paz.
- Rios, J., Mendoza Ramirez, R., Silva Casarin, R., Simuta Champo, R., Reyes Lopez, D., & Pascual Ramirez, F. (2018). Elementos para gestión del agua en la cuenca del lago de Zirahuén. doi: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.418>
- Robleto, J. (2014). *Hidrología y disponibilidad Hídrica. Primer plan de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua*.
- Romero, M., & Lopez, F. (1987). *Morfometría de redes fluviales: Revisión crítica de los parámetros más utilizados y aplicación al Alto Guadalquivir*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Asuncion_Diaz2/publication/28221147_Morfometria_de_redes_fluviales_revision_critica_de_los_parametros_mas_utilizados_y

aplicacion_al_alto_Guadalquivir/links/00463533960bd11d65000000/Morfometria-de-redes-fluviales-re

- Sakthivel, R., Jawarhar-Raj, N., Akhila, P., & Omine, K. (2019). Geo-spatial technique-based approach on drainage morphometric analysis at Kalrayan Hills, Tamil Nadu,. *Applied Water Science*. doi: <https://doi.org/10.1007/s13201-019-0899-7>
- Sanchez Velez, A., Garcia Nunez, R., & Palma Trujano, A. (2003). *La cuenca hidrográfica: unidad básica de planeación y manejo de recursos naturales*. SEMARNAT, CONAGUA. Mexico.
- Sheng, T. (1992). *Manual de Campo para la Orientación de Cuencas Hidrográficas. Estudio y Planificación de Cuencas Hidrográficas, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación*. Roma. pp 25-30- 40.
- Singh, P., Gupta, A., & Singh, M. (2014). Hydrological inferences from water shed analysis for water resources management using remote sensing and GIS techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 111-121 p.
- Souza Medeiros, A.-C., Farias da Silva, M., & Dias, N. (2012). *Gestao de recursos hidricos: o caso da bacia hidrografica Apodi/Mossoro (rn)*. Brasil.
- Sreedevi, P., Subrahmanyam, K., & Ahmed, S. (2005). *The significance of morphometric analysis for obtaining groundwater potential zones in a structurally controlled terrain*. doi: <https://doi.org/10.1007/s00254-004-1166-1>
- Strahler, A. (1952). *Hypsometric analysis (area-altitude) of erosional topography*. Geological Society of America Bulletin.
- Strahler, A. (1957). *Quantitative Analysis of Watershed Morphology*. Transactions of the American Geophysical Union.
- Verdu, J. (2003). *Análisis y modelización de la respuesta hidrológica y fluvial de una extensa cuenca de montaña mediterránea (río Isábena, Pre-Pirineo)*. Recuperado el 2 de Marzo de 2025, de <https://repositori.udl.cat/handle/10803/8233>

