

## Hidrología.

### Capítulo 5. Delimitación de una cuenca con ArcGIS

**Sleyther Arturo De La Cruz Vega**

[sdelacruz@unab.edu.pe](mailto:sdelacruz@unab.edu.pe)

Universidad Nacional de Barranca  
Perú, Barranca

**Cristian Milton Mendoza Flores**

[cmendozaf@unjfsc.edu.pe](mailto:cmendozaf@unjfsc.edu.pe)

Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión  
Perú, Huacho

**Pablo Adrián Pezo Morales**

[ppezo@unab.edu.pe](mailto:ppezo@unab.edu.pe)

Universidad Nacional de Barranca  
Perú, Barranca

**Kevin Arturo Ascoy Flores**

[kascoy@ucv.edu.pe](mailto:kascoy@ucv.edu.pe)

Universidad Cesar Vallejo  
Perú, Callao

**Teresa Marianella Gonzales Moncada**

[tgonzales@ucv.edu.pe](mailto:tgonzales@ucv.edu.pe)

Universidad Cesar Vallejo  
Perú, Callao

**Hans Mejía Guerrero**

[hmejiag@ucv.edu.pe](mailto:hmejiag@ucv.edu.pe)

Universidad Cesar Vallejo  
Perú, Callao

#### RESUMEN

Las cuencas hidrográficas son muy importantes porque facilitan la recolección de los recursos hídricos de agua dulce y se considera un elemento esencial dentro del ciclo de la vida. El presente trabajo se realizó con la finalidad de determinar las características de la cuenca Pallasca, Ancash, Perú. La metodología es de tipo básica, descriptiva. La población y muestra es toda el área de la cuenca en estudio. Los principales resultados

muestran que la cuenca tiene una área de 418, 58 m<sup>2</sup>, la forma de la cuenca según el programa es de un ancho de 20.23 km y largo de 30.1 km , el punto más bajo de la cuenca Z1=1800 msnm en esta altitud se encuentra el punto de salida o punto de aforo y la última fila Z14 = 4400 msnm se encuentra el punto más alto de la cuenca, la altitud con mayor presencia es de 4000 msnm con un 26.57% y la de menor presencia es de 1800 con 0.46% y la pendiente de toda la cuenca es de 0.064.

**Palabras clave:** cuenca; delimitación; ríos; hidrología; agua.

## **Hydrology. Delineating a watershed with ArcGIS**

### **Chapter 5.**

#### **ABSTRACT**

Watershed are very important because they facilitate the collection of freshwater hydric resources and are considered an essential element in the cycle of life. The present work was carried out with the purpose of determining the characteristics of the Pallasca watershed, Ancash, Peru. The methodology is basic, descriptive. The population and sample is the entire area of the watershed under study. The main results show that the watershed has an area of 418.58 m<sup>2</sup>, the shape of the watershed according to the program is 20.23 km wide and 30.1 km long, the lowest point of the watershed Z1=1800 masl in this area. altitude is the exit point or gauging point and the last row Z14 = 4400 masl is the highest point of the watershed, the altitude with the greatest presence is 4000 masl with 26.57% and the lowest presence is 1800 with 0.46% and the slope of the entire watershed is 0.064.

**Keywords:** watershed; delimitation; rivers; hydrology; water.

Artículo recibido: 05 febrero 2022  
Aceptado para publicación: 28 febrero 2022  
Correspondencia: [sdelacruz@unab.edu.pe](mailto:sdelacruz@unab.edu.pe)  
Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

## **1. INTRODUCCIÓN**

Perú se considera uno de los 20 países más ricos del mundo en agua dulce. Pero, este recurso se usa naturalmente de manera desigual en el territorio y no necesariamente en lugares con mayores necesidades.

Actualmente, se reconoce como un nivel internacional de que la piscina es la principal administración del agua, es una unidad territorial preferencial del enfoque integrado para administrar los recursos hídricos.

En este capítulo de libro se presenta las características que tiene una cuenca desde la determinación del área de influencia, la forma de la cuenca identificando su longitud y ancho, su curva hipsométrica necesarios para determinar el punto más alto y más bajo o aforo, las distribuciones de altitudes en toda el área, la altitud media, la altitud más frecuente, la altitud de frecuencia media, factor de forma de la cuenca, índice de gravelious, el índice de pendiente y la pendiente de toda la cuenca.

El conocimiento de las características de las cuencas permite determinar su comportamiento hidrológico frente a situaciones climatológicas, asimismo permite conocer los caudales de diseño, el escurrimiento máximo, la dirección de los ríos y prever como este puede afectar a los habitantes de su influencia.

## **2. DESARROLLO**

### **La cuenca**

Una cuenca hidrológica es una zona de la superficie terrestre donde las gotas de lluvia caen sobre ella y tienden a fluir hacia el mismo punto de salida a través del sistema actual. Es decir, se trata de una especie de embudo territorial en el que el agua fluye desde una altura hasta un punto común. (Agua, s.f.)

Es un área geográfica física, que está separada por terrenos o características geológicas que permiten determinar la dirección general de su drenaje, donde interactúan en un proceso constante y dinámico, los subsistemas biológicos, físico y la socio-economía. (Gómez, 2020 )

Las cuencas son áreas naturales en los que todos los procesos sociales y ambientales están estrechamente relacionados entre sí. (SEMARNAT, 2013)

Las cuencas se utilizan a menudo como una unidad de planificación de recursos hídricos. Sin embargo, es importante recordar que las cuencas hidrológicas de los ríos principales a menudo incluyen ríos de menor dimensión. (Vásconez & et al., 2019)

### Tipos de cuenca

- Exorreicas o abiertas: vierten sus aguas al océano.
- Endorreicas o cerradas: vierten sus aguas a las lagunas y/o lagos.

Arreicas: generalmente sus aguas se evaporan o se llegan a infiltran en el suelo.

### Área de la cuenca hidrográfica

El área de una cuenca está determinada por el espacio delimitado por la curva perimetral (P). Esta línea suele estar definida por una interpretación fotográfica aérea, donde se pueden ver relieves o un mapa topográfico basado en las curvas de nivel que se muestran. Este es quizás el factor más importante en la relación entre el flujo y las características morfológicas. (Ibáñez, Moreno, & Gisbert, 2011)

Debido a que la forma de la cuenca es demasiado irregular, no es posible calcular el área del canal utilizando una fórmula geométrica. *Sin embargo, se calcula de la siguiente manera:*

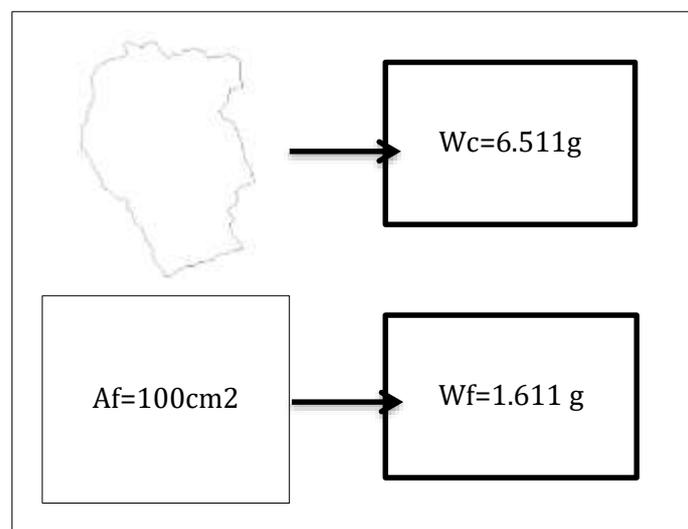
*Método manual:* Para poder calcular el área de la cuenca considerar lo siguiente:

Dibujar la cuenca dentro de la cartulina que tenga una densidad uniforme, cuya área a calcular es  $A_c$  y peso calculado en la balanza es de  $W_c = 6.511$  gramos.

Dibujar con la misma escala 1/100 una figura cuadrada de 5x5cm cuya área a calcular es  $A_f$  y peso calculado en la balanza es de  $W_f = 1.611$  gramos.

Obteniendo el peso  $W_c$  de la cuenca, y  $W_f$  peso de la figura procedemos a sacar los cálculos con la regla de tres. (Ver Fig. 01)

**Figura 1.** Área de la cuenca a calcular



Regla de tres: 
$$\frac{Ac}{Wc} = \frac{Af}{Wf} \dots\dots\dots(1)$$

**Donde:**

- Af = Área del cuadrado, en cm<sup>2</sup>
- Ac = Área de la cuenca a calcular, en cm<sup>2</sup>
- Wf = Peso del cuadrado, en gramos
- Wc = Peso de la cuenca, en gramos

Despejando Ac área de la cuenca en (1)

$$Ac = \frac{Af * Wc}{Wf} \dots\dots\dots(2)$$

Remplazando los datos en (2)

$$Ac = \frac{100cm^2 * 6.511g}{1.611g} = 404.16cm^2$$

Sabemos que está en la siguiente escala 1:100,000:

$1m = 100,000m$
$100cm = 100,000m$
$1cm = 1000m$
$1cm = 1km$

Elevando al cuadro se obtiene el siguiente resultado:

$$1cm^2 = 1km^2$$

$$Ac = 404.16cm^2 \rightarrow Ac = 404.16km^2$$

La cuenca hidrográfica de Pallasca posee una Área de 404.16 .km<sup>2</sup>, recordando que la cuenca tiene clasificación por el tamaño, la cuenca de Pallasca es una cuenca grande porque tiene una área mayor a 100 km<sup>2</sup>

*Método con programa Arcgis:* Para poder calcular el área de la cuenca considerar lo siguiente:

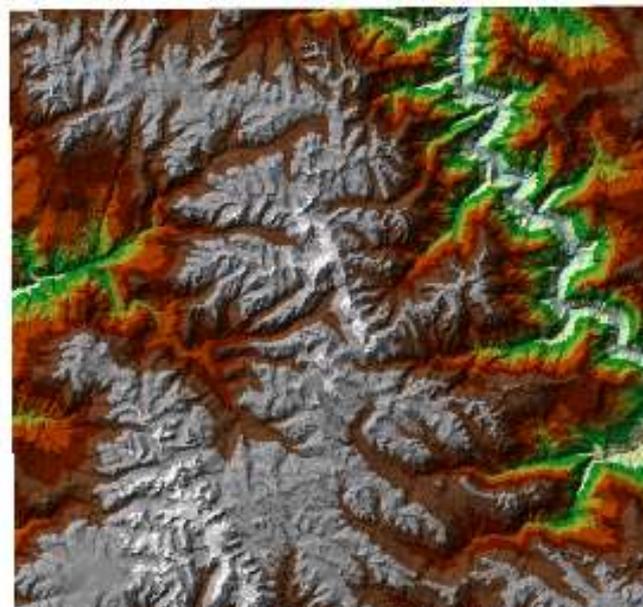
Descargamos la carta nacional de trabajo de la página de MINEDU (<http://sigmed.minedu.gob.pe/descargas/#>) en el caso de estudio, fue la carta 17-h. (Ver Fig. 2)

**Figura 2.** Carta Nacional 17-h Pallasca

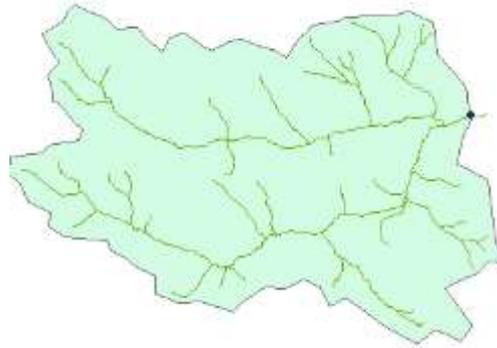


Generamos las curvas de nivel, generamos las capas TIN, convertimos TIN a Raster, convertimos Raster a RasterFill, determinamos la dirección de flujo, creamos el punto de aforo, delimitamos la cuenta y obtenemos el área. (Ver Fig. 3 y 4)

**Fig. 3.** Creación de capa TIN de la cuenca.



**Figura 4.** Determinación de área de la cuenca

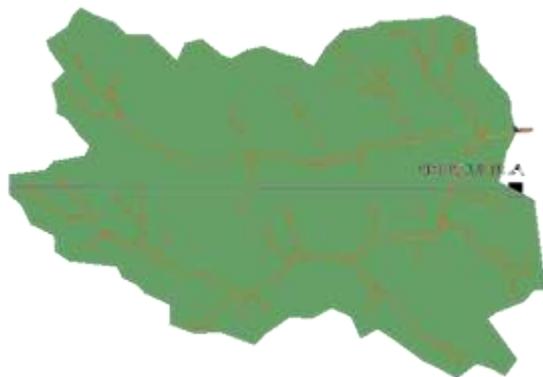


El área de la cuenca encontrada mediante el programa es de 418, 58 m<sup>2</sup>

**Forma de la cuenca hidrográfica:**

La forma de la cuenca se representa por su longitud establecido por la distancia horizontal medida entre su desembocadura hasta el punto aguas arriba del río principal y el ancho de la cuenca determinado mediante la relación entre el área y su longitud de cuenca. (Lux, 2016) (Ver Fig. 5)

**Figura 5.** Forma de la cuenca



$Ancho = 20.23cm \times \frac{1km}{1cm}$	$Largo = 30.1cm \times \frac{1km}{1cm}$
$\rightarrow B = 20.23Km$	$\rightarrow L = 30.1Km$

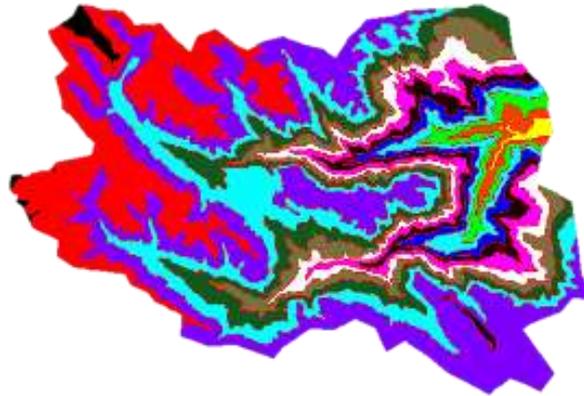
La forma de la cuenca según el programa es de un ancho de 20.23 km y largo de 30.1 km

**Curva hipsométrica de la cuenca**

La curva hipsométrica se determina con la finalidad de conocer la distribución de su relieve, reconociendo las altitudes centrales que presenta. (Guerra & Gónzales, 2022)

Para realizar cálculos, se consideró la información de las áreas parciales, la superficie total y el perímetro obtenido por el software ArcGIS (Ver Fig. 6 y tabla 1)

**Fig. 6. Áreas parciales de la cuenca**

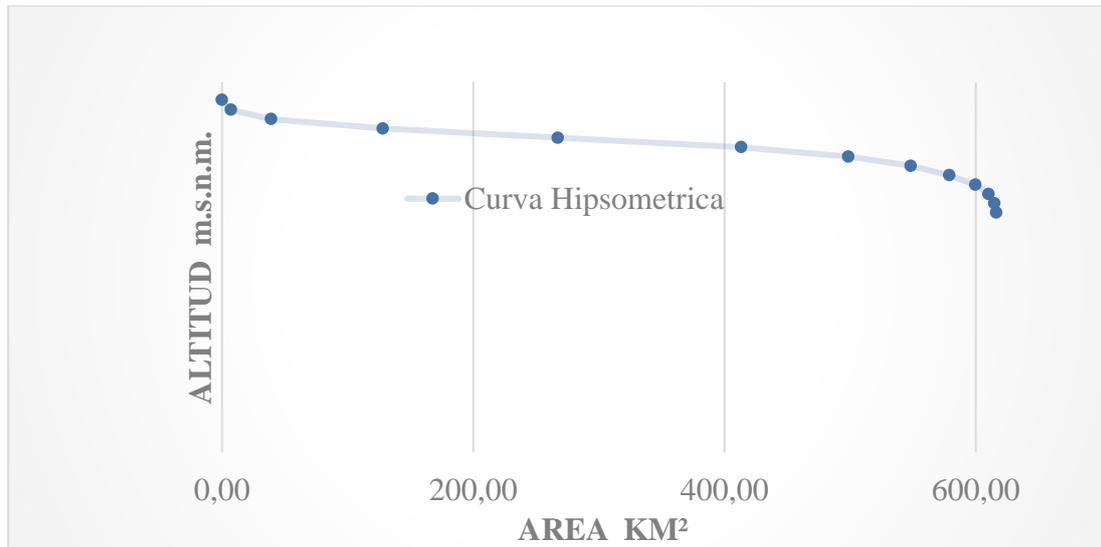


**Tabla 1. Datos necesarios para la generación de curva hipsométrica**

Altitud (msnm)	Áreas Parciales (km <sup>2</sup> )	Áreas Acumuladas (km <sup>2</sup> )	Áreas que quedan sobre las altitudes (km <sup>2</sup> )	% Total	% total quedan sobre la altitud	Elevación Media (msnm)	Altitud Media (msnm)
<b>1800</b>	1.926	1.926	416.613	0.460	99.539		0.0
<b>2000</b>	5.338	7.264	411.275	1.275	98.264	1900	10142.2
<b>2200</b>	8.437	15.701	402.838	2.0158	96.248	2100	17717.7
<b>2400</b>	10.991	26.692	391.847	2.626	93.622	2300	25279.3
<b>2600</b>	11.829	38.521	380.018	2.826	90.796	2500	29572.5
<b>2800</b>	16.068	54.589	363.95	3.839	86.957	2700	43383.6
<b>3000</b>	19.061	73.650	344.889	4.554	82.403	2900	55276.9
<b>3200</b>	22.517	96.167	322.372	5.379	77.023	3100	69802.7
<b>3400</b>	30.926	127.093	291.446	7.389	69.634	3300	102055.8
<b>3600</b>	40.652	167.745	250.794	9.712	59.921	3500	142282.0
<b>3800</b>	66.970	234.715	183.824	16.000	43.920	3700	247789.0
<b>4000</b>	111.185	345.900	72.639	26.565	17.355	3900	433621.5
<b>4200</b>	67.175	413.075	5.464	16.049	1.305	4100	275417.5
<b>4400</b>	5.464	418.539	0.000	1.305	0.000	4300	23495.2
<b>Total</b>	<b>418.539</b>			<b>100</b>			<b>1475835.9</b>

Los cálculos necesarios para construir la curva hipsométrica de determinan interceptando las columnas (1) vs (4), de la Tabla 1. (Ver Fig. 7)

**Figura 7. Grafico estadístico de la curva hipsométrica**



En la columna de altitud la primera fila se encuentra el punto más bajo de la cuenca Z1=1800 msnm en esta altitud se encuentra el punto de salida o punto de aforo y la última fila Z14 = 4400 msnm se encuentra el punto más alto de la cuenca

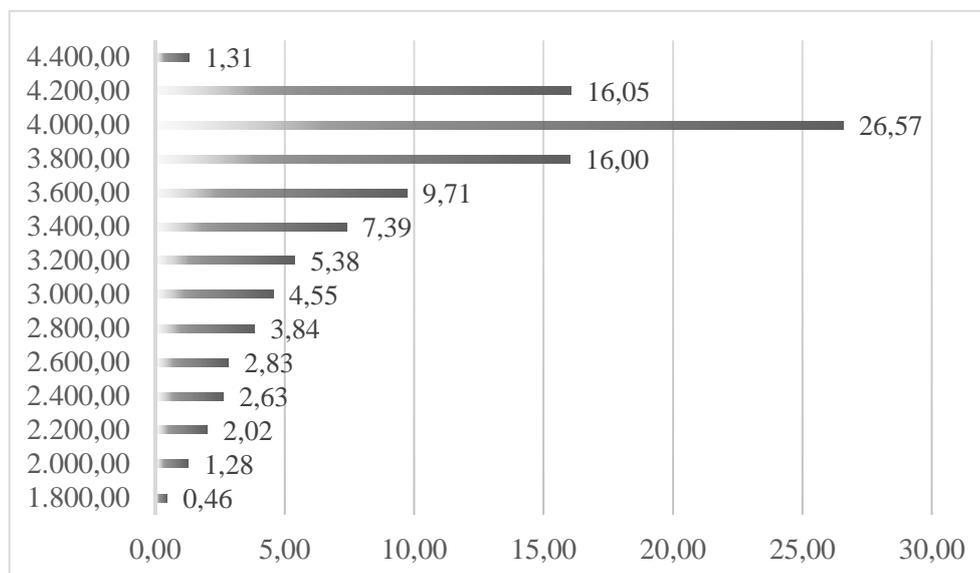
La curva hipsométrica muestra su porcentaje de área en Km<sup>2</sup> existente por encima de una cota determinada.

### Frecuencia de altitudes

La frecuencia de altitudes representa el área drenada, por lo que varía en función de la altura de la superficie de la cuenca. También podría verse como la variación media del relieve de la subcuenca. (Ramirez & et al., 2015)

La grafica de distribución en porcentaje de las superficies ocupadas por diferentes altitudes. (Ver Fig. 8)

**Figura 8.** Frecuencia de altitudes



La altitud con mayor presencia es de 4000 msnm con un 26.57% y la de menor presencia es de 1800 con 0.46%

### Altitudes características:

#### *Altitud media*

Se define como la ordenada media de la curva hipsométrica, donde el 50% del área de la cuenca, se sitúa encima de esa altitud y el 50% se encuentra por debajo de ella

$$Z_{cg} = 3600 \text{ msnm}$$

#### *Altitud más frecuente*

Se considera como el valor máximo en porcentaje de frecuencia de su histograma de altitudes resulta un valor aprox. de 3800 a 4000 msnm.

#### *Altitud de frecuencia media*

Es la altitud que corresponde al punto de abscisa media de la curva de frecuencia de altitudes. De manera numérica su elevación media se determina por la ecuación ( Ver tabla 2)

$$Em = \frac{\sum(axe)}{At} = \frac{1475835.9}{418.539} = 3526.16 \text{ msnm}$$

**Tabla 2. Datos necesarios para la elevación media**

COTA (msnm)				
Mínimo	Máximo	Promedio (E)	Áreas parciales (a)	(a) x (e)
1800	2000	1900	5.338	10142.2
2000	2200	2100	8.437	17717.7
2200	2400	2300	10.991	25279.3
2400	2600	2500	11.829	29572.5
2600	2800	2700	16.068	43383.6
2800	3000	2900	19.061	55276.9
3000	3200	3100	22.517	69802.7
3200	3400	3300	30.926	102055.8
3400	3600	3500	40.652	142282
3600	3800	3700	66.97	247789
3800	4000	3900	111.185	433621.5
4000	4200	4100	67.175	275417.5
4200	4400	4300	5.464	23495.2
<b>Suma:</b>			$At = 418.539$	$\sum(axe) = 1475835.9$

## Índices representativos

### Factor de forma de la cuenca (F)

Es una variable que permite determinar su elongación de una cuenca. (Jardí, 1985)

Indica su relación su longitud y ancho promedio.

$$F = \frac{\text{ancho}}{\text{longitud}} = \frac{B}{L} = \frac{20.4 \text{ km}}{29.6 \text{ km}} = 0.68$$

### Índice de gravelious

Indica su relación entre el perímetro equivalente de una circunferencia y el perímetro de la cuenca, teniendo una misma área de cuenca.

$$k = 0.28x \frac{P}{\sqrt{A}} = 0.28x \frac{102.06 \text{ m}}{\sqrt{418.539 \text{ m}^2}} = 1.40 \text{ Adimensional}$$

Teniendo en cuenta los principios de gravelious:

Si  $k=1$  la cuenca será de forma circular

$k > 1$  la cuenca será alargada

El valor que se obtuvo fue mayor que uno lo cual la cuenca hidrográfica de Pallasca tiene una forma alargada, reduce las posibilidades de que sean cubiertas en su totalidad por una tormenta, lo que afecta el tipo de respuesta que se presenta en el río.

### Rectángulo equivalente

La cuenca se considera de manera hidrológica que tiene características con un rectángulo de igual área y perímetro. (Villodas, 2008)

### Cálculos de los lados l y L del rectángulo

#### Lado mayor

$$L = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K} \right)^2} \right] = \frac{1.40\sqrt{418.539}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{1.40} \right)^2} \right] = 40.91 \text{ m}$$

#### Lado menor

$$l = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K} \right)^2} \right] = \frac{1.48\sqrt{418.539}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{1.40} \right)^2} \right] = 10.23 \text{ m}$$

La longitud del lado mayor del rectángulo es igual a 40.91 m y su longitud del lado menor del rectángulo es 10.23 m.

### **Longitudes para cada subarea de la cuenca**

Dividiendo cada área parcial, entre el lado menor  $l = 11.31\text{m}$  del rectángulo equivalente se obtiene (ver Tabla 03).

$$L01 = \frac{1.926}{10.23} = 0.19\text{km} \quad L02 = \frac{5.338}{10.23} = 0.52\text{km} \quad L03 = \frac{8.437}{10.23} = 0.82\text{km}$$

$$L04 = \frac{10.991}{10.23} = 1.07\text{km} \quad L05 = \frac{11.829}{10.23} = 1.16\text{km} \quad L06 = \frac{16.068}{10.23} = 1.57\text{km}$$

$$L07 = \frac{19.061}{10.23} = 1.86\text{km} \quad L08 = \frac{22.517}{10.23} = 2.20\text{km} \quad L09 = \frac{30.926}{10.23} = 3.02\text{km}$$

$$L10 = \frac{40.652}{10.23} = 3.97\text{km} \quad L11 = \frac{66.97}{10.23} = 6.55\text{km} \quad L12 = \frac{111.185}{10.23} = 10.87\text{km}$$

$$L13 = \frac{67.175}{10.23} = 6.57\text{km} \quad L14 = \frac{5.464}{10.23} = 0.53\text{km}$$

**Tabla 3.** Longitudes para subarea de cuenca.

Áreas parciales		Longitudes equivalentes		
<b>A01</b>	1.926	L01=	0.19	Km
<b>A02</b>	5.338	L02=	0.52	Km
<b>A03</b>	8.437	L03=	0.82	Km
<b>A04</b>	10.991	L04=	1.07	Km
<b>A05</b>	11.829	L05=	1.16	Km
<b>A06</b>	16.068	L06=	1.57	Km
<b>A07</b>	19.061	L07=	1.86	Km
<b>A08</b>	22.517	L08=	2.20	Km
<b>A09</b>	30.926	L09=	3.02	Km
<b>A10</b>	40.652	L10=	3.97	Km
<b>A11</b>	66.97	L11=	6.55	Km
<b>A12</b>	111.185	L12=	10.87	Km
<b>A13</b>	67.175	L13=	6.57	Km
<b>A14</b>	5.464	L14=	0.53	Km
<b>At</b>	418.539	L=	40.9	Km

### Índice de pendiente

Villón (2004) indica que es la ponderación establecida entre sus pendientes y su tramo recorrido por el río, teniendo en consideración su lado mayor del rectángulo equivalente. Utilizando esta característica, se puede conocer la granulometría dentro del cauce. Reflejando el relieve de la cuenca. Se obtiene mediante esta ecuación ecuación: (ver Tabla 03).

$$I_p = \sum_{i=2}^n \left[ \sqrt{\beta(a_i - a_{i-1})} \right] * \frac{1}{\sqrt{L}} = 1.17 * 0.14 = 0.16$$

**Tabla 4.** Determinación de índice de pendiente

Altitud (msnm)	Areas Parciales (Km <sup>2</sup> )	ai-a(i-1)	βi	I=√βi (ai-a(i-1))
1800	1.926		0.00460172	0
2000	5.338	0.2	0.01275389	0.050505226
2200	8.437	0.2	0.02015822	0.063495223
2400	10.991	0.2	0.0262604	0.072471231
2600	11.829	0.2	0.0282626	0.075183242
2800	16.068	0.2	0.03839069	0.087624982
3000	19.061	0.2	0.04554175	0.09543768
3200	22.517	0.2	0.05379905	0.103729503
3400	30.926	0.2	0.07389037	0.121565099
3600	40.652	0.2	0.09712834	0.139375998
3800	66.97	0.2	0.16000898	0.17889046
4000	111.185	0.2	0.26565027	0.230499577
4200	67.175	0.2	0.16049878	0.179164049
4400	5.464	0.2	0.01305494	0.051097821
<b>Total</b>	418.539			1.449040089

### Pendiente de la cuenca

En muchas ocasiones solo se necesita determinar la pendiente media del cauce principal, pero para estudios más profundos se calcula su pendiente media de toda la superficie de la cuenca. (Viessman & Lewis, 1995)

La pendiente de la cuenca, se relaciona ampliamente con las infiltraciones, las escorrentías superficiales, las humedades del suelo y las contribuciones del agua subterránea.

**Método del criterio del rectángulo equivalente.**

De esta manera obtenemos la pendiente de la cuenca, considerando su pendiente media del rectángulo equivalente, es decir:

$$S_c = \frac{H}{L}$$

Dónde:

Sc=Pendiente de la cuenca

H=Desnivel total en km.

L=Lado mayor del rectángulo equivalente en km.

$$S_c = \frac{4.4 - 1.8}{40.91} \rightarrow \boxed{SC = 0.064} \text{ Respuesta}$$

### 3. ACTIVIDAD DE REFORZAMIENTO:

- 1.- ¿Por qué es importante una cuenca?
- 2.- ¿Cuántas cuencas existen en el Perú?
- 3.- ¿Qué determina la forma de la cuenca?
- 4.- ¿Cómo ayuda el ArcGIS a determinar las características de la cuenca?
- 5.- ¿Qué es el rectángulo equivalente?
- 6.- ¿Qué es la frecuencia de altitudes?
- 7.- ¿Qué es el factor de forma de la cuenca?
- 8.- ¿Para qué sirve el índice de Gravelious?
- 9.- ¿Para qué sirve la pendiente de la cuenca?

### 4. LISTA DE REFERENCIAS

- Agua, I. M. (s.f.). *¿Qué es una cuenca?* Obtenido de <https://www.gob.mx/imta/articulos/que-es-una-cuenca-211369>
- Gómez, G. (2020). *Caracterización de una cuenca: principios y métodos*. Mexico.
- Guerra, F., & Gónzales, J. (2022). Caracterización morfométrica de la cuenca de la quebrada La Bermeja, San Cristóbal, Estado. *Geoenseñanza*, 88-108.
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2011). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Valencia.
- Jardí, M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Analisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*, 41-68.

- Lux, B. (2016). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*. Guatemala.
- Ramirez, A., & et al. (2015). La caracterización morfométrica de la subcuenca del Río Moctezuma, Sonora: ejemplo de aplicación de los sistemas de información geográfica. *Revista de geografía agrícola*, 27-43.
- SEMARNAT. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. Mexico.
- Vásconez, M., & et al. (2019). *Cuencas hidrográficas*. Ecuador.
- Viessman, W., & Lewis, G. (1995). *Introduction to Hydrology*. Estados unidos: Harper Collins.
- Villodas, R. (2008). *Hidrología*. Argentina.
- Villon, M. (2004). *Hidrología*. Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica.