

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



TESIS

**Morfometría de la Microcuenca Razuhuilca utilizando
Sistemas de Información Geográfica– 2024**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero en Gestión Ambiental

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Ciencias del Medio Ambiente

AUTOR

Mendoza Colos, Manuel

ASESOR

Dr. Tulio Celestino Paytan Montañez

HUANTA- PERÚ
2025

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

TESIS MANUEL

AUTOR

MANUEL MENDOZA COLOS

RECuento DE PALABRAS

19042 Words

RECuento DE CARACTERES

107914 Characters

RECuento DE PÁGINAS

115 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

10.7MB

FECHA DE ENTREGA

Jan 22, 2025 5:32 PM GMT-3

FECHA DEL INFORME

Jan 22, 2025 5:34 PM GMT-3**● 11% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 9% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Firmado digitalmente por
PAYTAN
MONTAÑEZ Tulio
Celestino FAU
20574653798 soft
Fecha: 2025.09.23
19:41:51 -05'00'

MORFOMETRÍA DE LA MICROCUENCA RAZUHUILCA UTILIZANDO SISTEMAS
DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA– 2024

Autor

Mendoza Colos, Manuel

Asesor

Dr. Tulio Celestino Paytan Montañez



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA
Creada por Ley N° 29658

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO"

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL**

En Huanta, mediante la plataforma virtual de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta con enlace (<https://meet.google.com/qrc-gxpa-onk>), a los 18 días del mes de setiembre de 2025, siendo las 15:30 horas, se dio inicio al acto académico de sustentación de tesis con la presencia de los jurados:

Dr. Jorge Luis Lozano Rodríguez
Dra. Karina Milagros Ordoñez Ruiz
Mtro. Rubén Ñaupari Molina

Presidente
Primer miembro
Segundo miembro

Se procedió a dar lectura a la Resolución de Vicepresidencia Académica N° 071-2025-CO-UNAH, en la que señala fecha, modalidad, hora y designación de jurado evaluador para la sustentación de tesis del Bachiller **Manuel Mendoza Colos**, con la tesis titulada "MORFOMETRIA DE LA MICROCUENCA RAZUHUILCA UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRÁFICA-2024"; asesorado por el Dr. Tulio C. Paytan Montañez, para optar el Título profesional de: Ingeniero en Gestión Ambiental.

Observaciones:

.....
.....
.....

Terminada la sustentación se procedió a la formulación de preguntas por los miembros del jurado evaluador, las mismas fueron defendidas y absueltas por el tesista. Acto seguido se procedió a calificar con el resultado siguiente:

Cum laude ()
Bueno ()
Aprobado ()
No aprueba ()

Con la calificación de **Quince**..... (15)

Siendo las **16:40 horas** se da por finalizada el acto académico de sustentación de tesis pasando a firmar los miembros del jurado evaluador.



Dr. Jorge Luis Lozano Rodríguez

DOCENTE ORDINARIO ASOCIADO

Dr. Jorge Luis Lozano Rodríguez
PRESIDENTE



Dra. Karina Milagros Ordoñez Ruiz

DOCENTE ORDINARIO PRINCIPAL

Dra. Karina Milagros Ordoñez Ruiz
PRIMER MIEMBRO



Msc. Ing. Rubén Ñaupari Molina

661E-220

Mtro. Rubén Ñaupari Molina
SEGUNDO MIEMBRO

DEDICATORIA

A mi madre Julia Colos Tineo, por su apoyo incondicional y por el afecto infinito que siempre he recibido; quien con su fuerza, valor, motivación y ejemplo fue mi primer paradigma de vida.

A mis amigos y maestros de la UNAH, con quienes hemos compartido aventuras, experiencias y anécdotas inolvidables en estos 5 años.

A ti, que partiste sin despedirte, se me están terminando las excusas y el otoño empieza a arrancar las primeras hojas del árbol que plantaste.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Autónoma de Huanta, mi segundo hogar, por el financiamiento de esta tesis a través del fondo concursable FOCAM, aprobado con la Resolución de vicepresidencia de investigación N°059-2024-UNAH. El apoyo institucional fue valioso y fundamental para materializar esta investigación que espero contribuya al desarrollo académico y científico de toda la comunidad universitaria.

A mi Familia; mi madre Julia Colos Tineo, mis hermanos Félix, Dionisia y a mi sobrina Valeria Rojas, quienes fueron el motor principal durante estos 5 años en la universidad.

A mi asesor de tesis, Dr. Tulio C. Paytan Montañez, por la paciencia y amabilidad con la que me ha apoyado en todo el proceso de la elaboración de esta investigación; sus conocimientos y experiencia fueron imprescindibles para enriquecer esta investigación.

A la Ing. Milagros por su apoyo en todo el proceso de la elaboración y corrección del borrador de la presente investigación; su atención a los detalles y su disposición para compartir su experiencia fueron de gran ayuda para alcanzar la calidad esperada.

A mi amigo Bach. Eder Kevin Arango Escalante por acompañarme en la toma de muestra *in situ* dentro de la microcuenca; su entusiasmo y compañerismo fueron una fuente inagotable de motivación para concluir la investigación.

Al responsable de Vicepresidencia de Investigación de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta, Ing. Patricio Ceras Zambrano por su valiosa colaboración en la toma de muestras, así como por facilitar el acceso y uso de los equipos necesarios para el desarrollo de esta investigación. Su apoyo técnico y logístico ha sido fundamental para garantizar el éxito de esta investigación.

RESUMEN

Este estudio se enfocó en el cálculo de los parámetros morfométricos de forma, relieve y drenaje de la microcuenca Razuhuilca, en la provincia de Huanta, región de Ayacucho utilizando Modelos de Elevación Digital (DEM) descargados del portal USGS y el software ArcGIS 10.8 con la herramienta *Hydrology*, además de Microsoft Excel y R Studio.

La microcuenca tiene un área de 79.24 km², perímetro de 69.68 km, y alturas máxima y mínima de 4873 y 2285 msnm, respectivamente. En cuanto a su forma, los valores obtenidos permitieron clasificarla como alargada, ya que presenta un factor de forma 0.32, índice de circularidad de Miller 0.21, coeficiente de compacidad 2.16, relación de elongación 0.64 y índice de alargamiento de 2.87. Respecto al relieve, los resultados mostraron que la microcuenca puede considerarse medianamente accidentada con una pendiente suave, esto se evidenció mediante índice de pendiente de 8.61%, pendiente media 8.13% y altitud media de frecuencias de 3588.87 msnm. Por otro lado, el análisis de drenaje permitió clasificar la microcuenca como de capacidad moderada, con una densidad de drenaje 1.56 km/km², orden de ríos 4, frecuencia de drenaje de 5.7 arroyos/km², relación de bifurcación de 4.52 y coeficiente de torrencialidad 2.99.

Se clasificó la microcuenca de acuerdo al orden de los ríos en unidades mínimas de respuesta hidrológica llamadas quebradas y de acuerdo a las curvas de nivel en alta, media y baja; así mismo se compararon los parámetros morfométricos donde la parte media alta predomina la mayor pendiente, poca vegetación y menor tiempo de concentración; además la parte media resalta por presentar mayor erosión y por su forma circular aproximada; en contraste, la parte baja presenta mayor tiempo de concentración y pendientes suaves con predominio de llanuras y la presencia de diferentes cultivos como tuna, maíz, alfalfa entre otros.

Palabras clave: *Microcuenca; Parámetros morfométricos; sistemas de información geográfica.*

ABSTRACT

This study focused on the calculation of the morphometric parameters of shape, relief and drainage of the Razuhuilca micro-basin, in the province of Huanta, Ayacucho region, using Digital Elevation Models (DEM) downloaded from the USGS portal and the ArcGIS 10.8 software with the hydrology tool, in addition to Microsoft Excel and R Studio.

The micro-basin has an area of 79.24 km², a perimeter of 69.68 km, and maximum and minimum heights of 4873 and 2285 masl, respectively. Regarding its shape, the values obtained allowed it to be classified as elongated, since it has a shape factor of 0.32, Miller circularity index of 0.21, compactness coefficient of 2.16, elongation ratio of 0.64, and elongation index of 2.87. Regarding the relief, the results showed that the micro-basin can be considered moderately rugged with a gentle slope, this was evidenced by a slope index of 8.61%, an average slope of 8.13% and an average frequency altitude of 3588.87 masl. On the other hand, the drainage analysis allowed the micro-basin to be classified as having a moderate capacity, with a drainage density of 1.56 km/km², a river order of 4, a drainage frequency of 5.7 streams/km², a bifurcation ratio of 4.52 and a torrential coefficient of 2.99.

The micro-basin was classified according to the order of the rivers in minimum hydrological response units called (gullies) and according to the contour lines in high, medium and low; likewise, the morphometric parameters were compared where the upper middle part predominates with a greater slope, little vegetation and a shorter concentration time; In addition, the middle part stands out for presenting greater erosion and its approximate circular shape; In contrast, the lower part presents a longer concentration time and gentle slopes with a predominance of plains and the presence of different crops such as tuna, corn, alfalfa, among others.

Keywords: *Microbasin; Morphometric parameters; Geographic Information Systems.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS	XIV
INTRODUCCIÓN	XVI
I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	18
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	18
1.2. Formulación del problema de investigación.....	20
1.3. Justificación.....	20
1.4. Objetivos.....	21
II. MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes del problema.....	22
2.2. Bases teóricas.....	24
2.2.1. Microcuenca.....	24
2.2.2. Sectores de la microcuenca.....	25
2.2.3. Delimitación de una microcuenca hidrográfica.....	26
2.2.4. Morfometría de la microcuenca.....	26
2.2.5. Parámetros Generales de la microcuenca.....	27
2.2.6. Parámetros de forma.....	27
2.2.7. Parámetros de relieve.....	32
2.2.8. Parámetros de drenaje.....	35
2.2.9. Rectángulo equivalente.....	42
2.2.10. Curva hipsométrica.....	43
2.2.11. Histograma de frecuencias.....	44
2.2.12. Los SIG en la evaluación morfométrica de las microcuencas hidrográficas.....	45
2.2.13. Tipos de datos en un SIG.....	46
2.2.14. Imágenes satelitales.....	47
2.3. Definición de términos.....	48
III. METODOLOGÍA	49
3.1. Tipo y nivel de investigación.....	49
3.2. Diseño de investigación.....	50
3.3. Operacionalización de variables.....	51
3.4. Población y muestra.....	52

3.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	52
3.6. Confiabilidad de las herramientas.....	53
3.7. Métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos.....	54
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
4.1. Proceso de la delimitación de la microcuenca y las quebradas.....	56
4.2. Resultados morfométricos y discusión.....	67
4.2.1. Parámetros generales de la microcuenca.....	67
4.2.2. Parámetros de forma.....	68
4.2.3. Parámetros de relieve.....	69
4.2.4. Parámetros de drenaje.....	72
4.3. Resultados morfométricos de las quebradas.....	74
V. CONCLUSIONES.....	83
VI. RECOMENDACIONES.....	85
VII. REFERENCIAS.....	86
VIII. ANEXOS.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Esquema de una microcuenca hidrográfica.....</i>	25
Figura 2 <i>Esquema de comparación de factor de forma.....</i>	28
Figura 3 <i>Esquema de comparación del índice de circularidad de Miller.....</i>	29
Figura 4 <i>Esquema del número de Orden de los ríos.....</i>	36
Figura 5 <i>Esquema de Strahler para edad del río.....</i>	44
Figura 6 <i>Histograma de frecuencias altimétricas.....</i>	45
Figura 7 <i>Datos Ráster procesados en un SIG.....</i>	46
Figura 8 <i>Representación de datos vectoriales un SIG.....</i>	47
Figura 9 <i>Diseño de la metodología de investigación.....</i>	50
Figura 10 <i>Flujograma de la delimitación de la microcuenca Razuhuilca.....</i>	54
Figura 11 <i>Selección del área de interés.....</i>	56
Figura 12 <i>Generación de DEM del área de interés.....</i>	57

Figura 13 <i>DEM descargado del área de interés</i>	57
Figura 14 <i>Nuevo proyecto en ArcGIS con coordenadas UTM</i>	58
Figura 15 <i>Obtención de la dirección de flujo con la herramienta Flow Direction</i>	59
Figura 16 <i>Obtención del flujo acumulado con la herramienta Flow accumulation</i>	60
Figura 17 <i>Obtención de la Red hídrica con la herramienta Raster Calculator</i>	61
Figura 18 <i>Determinación del punto de aforo</i>	62
Figura 19 <i>Generación de la microcuenca Razuhuilca</i>	62
Figura 20 <i>Cálculo de la información básica de la microcuenca</i>	63
Figura 21 <i>Reclasificación de archivo ráster de la microcuenca Razuhuilca</i>	63
Figura 22 <i>Cálculo de los parámetros morfométricos de la microcuenca</i>	64
Figura 23 <i>Obtención de la pendiente de la microcuenca</i>	65
Figura 24 <i>Clasificación de la microcuenca y la obtención de las quebradas</i>	66
Figura 25 <i>Cálculo de las Quebradas de la parte alta, media y baja</i>	66
Figura 26 <i>Curva hipsométrica de la microcuenca Razuhuilca</i>	71
Figura 27 <i>Polígono de Frecuencias altimétricas</i>	72
Figura 28 <i>Perfil longitudinal del cauce del río principal</i>	74
Figura 29 <i>Comparación de los Parámetros morfométricos de las quebradas</i>	76
Figura 30 <i>Caja de bigotes de los parámetros morfométricos de las quebradas</i>	77
Figura 31 <i>Comparación de parámetros por quebrada</i>	78
Figura 32 <i>Comparación de parámetros por valores</i>	79
Figura 33 <i>Ecuación de la pendiente del río principal en cada quebrada</i>	80
Figura 34 <i>Curva hipsométrica de las quebradas</i>	81
Figura 35 <i>Polígono de frecuencias en cada quebrada</i>	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Clasificación según las áreas</i>	27
Tabla 2 <i>Rango aproximado a considerar del factor de forma de Horton</i>	28
Tabla 3 <i>Rango aproximado a considerar del índice de Miller</i>	29
Tabla 4 <i>Clase de valores para coeficiente de compacidad o Gravelius</i>	30
Tabla 5 <i>Clase de valores para relación de elongación</i>	31
Tabla 6 <i>Clasificación del índice de alargamiento</i>	31
Tabla 7 <i>Cuadro de clasificación de la microcuenca según su pendiente</i>	33
Tabla 8 <i>Clase de pendiente del cauce (%)</i>	34
Tabla 9 <i>Tabla para el orden de corriente del río</i>	36
Tabla 10 <i>Tabla de rangos aproximados para evaluar la densidad de drenaje</i>	37
Tabla 11 <i>Tabla para clasificar de acuerdo al tiempo de concentración</i>	40
Tabla 12 <i>Tabla para clasificar la frecuencia de drenaje</i>	41
Tabla 13 <i>Tabla para clasificar la relación de bifurcación</i>	41
Tabla 14 <i>Tabla para clasificar el coeficiente de torrencialidad</i>	42
Tabla 15 <i>Resultados de la información general de la microcuenca</i>	67
Tabla 16 <i>Resultados de los parámetros morfométricos de forma</i>	68
Tabla 17 <i>Resultados de los parámetros morfométricos de relieve</i>	70
Tabla 18 <i>Resultados de los parámetros morfométricos de drenaje</i>	73
Tabla 19 <i>Tiempo de concentración por diferente método</i>	73
Tabla 20 <i>Resultados morfométricos de las quebradas de la microcuenca Razuhuilca</i>	75

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 <i>Matriz de consistencia</i>	96
Anexo 2 <i>Mapa de ubicación de la microcuenca Razuhuilca</i>	97

Anexo 3 <i>Proceso de delimitación de la microcuenca Razuhuillca</i>	98
Anexo 4 <i>Proceso de delimitación de la microcuenca Razuhuillca</i>	99
Anexo 5 <i>Mapa de pendiente de la microcuenca</i>	100
Anexo 6 <i>Mapa del orden de ríos de la microcuenca</i>	101
Anexo 7 <i>Mapa de elevación de la microcuenca</i>	102
Anexo 8 <i>Mapa de ubicación de los centros poblados</i>	103
Anexo 9 <i>DEM de cada una de las quebradas de la microcuenca</i>	104
Anexo 10 <i>Flujo de acumulación de las quebradas de la microcuenca</i>	105
Anexo 11 <i>Flujo de dirección de las quebradas de la microcuenca</i>	106
Anexo 12 <i>Orden de ríos de las quebradas de la microcuenca</i>	107
Anexo 13 <i>TIN de las quebradas de la microcuenca</i>	108
Anexo 14 <i>Pendiente de las quebradas de la microcuenca</i>	109
Anexo 15 <i>Script en R Studio de la comparación de los parámetros morfométricos</i>	110
Anexo 16 <i>Script en R Studio del diagrama de cajas y bigotes</i>	111
Anexo 17 <i>Script en R Studio de la comparación por quebradas</i>	112
Anexo 18 <i>Script en R Studio de la comparación de parámetros según su valor</i>	113
Anexo 19 <i>Perfil longitudinal del río principal en cada quebrada</i>	114
Anexo 20 <i>Polígono de frecuencias en línea</i>	114
Anexo 21 <i>Trabajo dentro de la microcuenca en la parte alta Q1</i>	115
Anexo 22 <i>Trabajo en la microcuenca en la parte alta Q1</i>	116
Anexo 23 <i>Trabajo en la microcuenca en la parte media Q3</i>	117
Anexo 24 <i>Trabajo en la microcuenca en la parte baja Q4, Q5 y Q6</i>	118
Anexo 25 <i>Trabajo de campo en la parte llana de la microcuenca</i>	119
Anexo 26 <i>Trabajo de campo en la Q6</i>	120

INTRODUCCIÓN

Conocer la morfometría de una microcuenca hidrográfica, se basa principalmente en el cálculo de sus parámetros morfométricos (Álvarez et al., 2021), pues la morfometría tiene relevancia ya que permite considerar las variables de forma, relieve y red de drenaje (Ramírez, 2013), las cuales inciden en el comportamiento y la capacidad de respuesta hidrológica que tiene ante cambios medioambientales (Shah et al., 2022). En la actualidad, el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se ha vuelto relevante debido a la precisión y su buena capacidad para procesar datos geoespaciales (Bezerra et al., 2022); debido a esto, cada vez más investigadores que trabajan con los softwares como ArcGIS y QGIS hacen uso de datos geoespaciales para evaluar el comportamiento de una microcuenca hidrográfica (Hernández, 2022). Estas herramientas permiten delimitar y calcular la morfometría de una microcuenca de acuerdo con la topografía del terreno, permitiendo identificar las redes de drenaje y su escurrimiento, además de ayudar en la comprensión e interpretación en el funcionamiento del sistema hidrológico (Álvarez, et al., 2021).

La presente investigación titulada "Morfometría de la Microcuenca Razuhuilca utilizando Sistemas de Información Geográfica – 2024" surge por la necesidad de generar datos morfométricos precisos sobre sus características de forma, relieve y drenaje de los que actualmente se carece. Para ello, se ha planteado los siguientes objetivos específicos: a) Delimitar la microcuenca Razuhuilca mediante el uso del software ArcGIS 10.8; b) calcular los parámetros morfométricos de forma, relieve y drenaje que presenta la microcuenca Razuhuilca y c) Comparar los parámetros morfométricos de la parte alta, media y baja de la microcuenca Razuhuilca; siendo esta microcuenca de gran relevancia para la población de Huanta en el abastecimiento del recurso hídrico. En este sentido, esta investigación adopta metodologías propuestas por expertos como Harinath & Raghu, (2013) y Da Silva & Ferreira,

(2019), quienes destacan la utilidad de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la caracterización eficiente de microcuencas. Además, el estudio de los sectores alta, media y baja de la microcuenca Razuhuilca que permite un enfoque segmentado que profundiza en la comprensión de las variaciones morfométricas internas.

El uso del software ArcGIS 10.8 no solo ha facilitado la delimitación precisa de la microcuenca, sino que ha permitido identificar patrones hidrológicos como el tiempo de concentración, el factor de forma, la pendiente, el coeficiente de torrencialidad, entre otros. Según López, (2015), conocer la morfometría de una microcuenca es clave para evaluar la susceptibilidad a eventos extremos, como inundaciones y sequías, y para planificar estrategias de conservación ambiental basadas en datos científicos. En el marco de este trabajo de investigación, se ha generado datos morfométricos precisos de la microcuenca Razuhuilca, siendo un insumo valioso para la toma de decisiones en la gestión ambiental.

Finalmente, el presente trabajo de investigación tiene las siguientes partes: el problema de investigación, donde se toca la realidad problemática, formulación del problema de investigación, así como el objetivo; continuando con el marco teórico, donde se describe los antecedentes y una teoría sólida para entender el tema en cuestión; seguido por la metodología, donde se describen las herramientas utilizadas y el diseño de investigación así como el tipo y nivel de investigación; también se presentan los resultados y discusión, donde se describe el proceso de la delimitación y el cálculo de los parámetros utilizando Microsoft Excel y la generación de los gráficos comparativos con R Studio; seguido por las conclusiones, donde encontrará las conclusiones por cada objetivo planteado; a continuación están las recomendaciones, donde se abarcan los puntos clave; finalizando con las referencias y anexos donde se encontrarán los diferentes mapas, los códigos de R Studio y la evidencia fotográfica.

I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad problemática

El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) a nivel mundial se ha convertido en una práctica remota indispensable para evaluar y analizar la morfometría del terreno (Del Águila & Mejía, 2021). Las imágenes satelitales que se obtiene desde diferentes plataformas geoespaciales a nivel global han crecido exponencialmente durante los últimos años en el ámbito ambiental (Dos Santos et al., 2021), muchos investigadores de diferentes partes del mundo utilizan el sensoramiento remoto como una alternativa confiable en el estudio geomorfológico (Souza et al., 2021).

La aplicación de los SIG en cuencas, subcuencas y microcuencas hidrográficas, también ha revolucionado a nivel de América Latina, permitiendo obtener información precisa y actualizada con menor inversión de tiempo y recursos (Guevara et al., 2019). Gracias a los avances en SIG, es posible comprender mejor cómo interactúan los elementos físicos de una microcuenca, lo que facilita la toma de decisiones en su manejo y conservación (Castilla, 2013). Además, el análisis morfométrico mediante SIG ha sido destacado en los países de América del Sur debido a la Cordillera de los Andes (Álvarez et al., 2021). En Perú, muchas microcuencas carecen de estudios detallados sobre sus características físicas y su comportamiento hidrológico (Guerrero, 2023), esto limita la capacidad de planificar estrategias efectivas de conservación. Del Águila & Mejía, (2021) señalan que, aunque en el país se utilizan los SIG desde hace varios años, aún existe un vacío en un estudio más específico que son las microcuencas. Asimismo Bustamante, (2019) sostiene que, aún hay áreas en la región que enfrentan dificultades para implementar estas tecnologías debido a la falta de acceso a datos confiables y personal capacitado.

Dentro de la región de Ayacucho, el uso de Sistemas de Información Geográfica ha tomado un papel fundamental en el análisis de recursos naturales y gestión ambiental (Mendoza, 2023). Estudios recientes han utilizado SIG en temas de morfometría, análisis de cambio en cobertura vegetal, vulnerabilidad ambiental y el impacto del cambio climático en microcuencas claves de la región (Marcelo, 2023). Sin embargo, la microcuenca Razhuillca, ubicada en la provincia de Huanta, es de gran relevancia por el suministro de agua en la zona, pero a pesar de su importancia, existe un vacío de información actualizada sobre sus características morfométricas de forma, relieve y drenaje. Este vacío de información detallada y actualizada dificulta la implementación de estrategias adecuadas para su conservación (Oré, 2016).

En este contexto, se propuso realizar un análisis morfométrico de la microcuenca Razhuillca utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG), este estudio se basó en el uso de imágenes satelitales descargadas desde el portal United States Geological Survey (USGS) y en el software ArcGIS 10.8 para delimitar la microcuenca y a su vez clasificar en parte alta, media y baja. Esto permitió calcular parámetros claves como la forma, el relieve y la red de drenaje, generando información valiosa sobre cómo son las características morfológicas que define esta microcuenca. Este enfoque no solo proporcionó una mejor comprensión de su morfometría, sino que también podrá contribuir al diseño de estrategias sostenibles para su conservación en el futuro.

Por todo lo mencionado anteriormente, este estudio ayudará a llenar los vacíos de información existentes y será una herramienta esencial para tomar decisiones más informadas. Al comprender mejor las características morfométricas de la microcuenca, se podrán implementar soluciones específicas que mitiguen la erosión y garanticen la sostenibilidad de los recursos hídricos a largo plazo.

1.2. Formulación del problema de investigación

1.2.1. Interrogante general

¿Qué características morfométricas de forma, relieve y drenaje presenta la microcuenca Razhuillca mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica?

1.2.2. Interrogantes específicas

- ¿Es delimitable la microcuenca Razhuillca mediante el uso del software ArcGIS?
- ¿Qué características morfométricas de forma, relieve y drenaje presenta la microcuenca Razhuillca?
- ¿Es comparable las características morfométricas de la parte alta, media y baja de la microcuenca Razhuillca?

1.3. Justificación

La caracterización morfométrica de una microcuenca es fundamental para el desarrollo de estrategias de gestión sostenible, ya que permite entender las dinámicas hidrológicas y geomorfológicas de una microcuenca (Barboza, 2017). La microcuenca Razhuillca, ubicada en el distrito de Huanta, desempeña un papel crucial en el suministro de recursos hídricos para la población local, la agricultura y los ecosistemas circundantes. Sin embargo, en la actualidad, esta microcuenca carece de estudios morfométricos detallados que proporcionen una comprensión completa de sus características físicas y su comportamiento hidrológico.

Es crucial generar datos precisos sobre la forma, el relieve y la red de drenaje de la microcuenca Razhuillca y comparar en la parte alta, media y baja ya que estos factores influyen directamente en la disponibilidad y calidad del agua, así como en la capacidad de la microcuenca para responder a eventos meteorológicos extremos, como lluvias intensas o sequías prolongadas (Oré, 2016). Una comprensión detallada de estos

aspectos no solo ayudará a revelar el comportamiento morfológico de la microcuenca, sino que también será esencial para prever y mitigar posibles riesgos ambientales, como inundaciones y deslizamientos de tierra, que podrían afectar a las comunidades y ecosistemas locales.

Este estudio tiene como objetivo calcular y comparar la morfometría de la parte alta, media y baja de la microcuenca Razuhuillca, mediante la aplicación de herramientas SIG con la finalidad de generar información detallada para crear una base de datos actualizada y comprender el comportamiento de la microcuenca de acuerdo a su morfometría que facilite la toma de decisiones en la gestión ambiental sostenible, promoviendo así un uso más eficiente y consciente de los recursos hídricos y contribuyendo al desarrollo sostenible de la región.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Caracterizar los parámetros morfométricos de forma, relieve y drenaje que presenta la microcuenca Razuhuillca mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica.

1.4.2. Objetivos específicos

- Delimitar la microcuenca Razuhuillca mediante el uso del software ArcGIS 10.8
- Calcular los parámetros morfométricos de forma, relieve y drenaje que presenta la microcuenca Razuhuillca.
- Comparar los parámetros morfométricos de la parte alta, media y baja de la microcuenca Razuhuillca.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

Según Asfaw & Workineh (2019), en su artículo “Quantitative analysis of morphometry on Ribb and Gumara watersheds: Implications for soil and water conservation” resalta la importancia de utilizar las imágenes satelitales para analizar las características morfológicas de dos cuencas hidrográficas Gumarra y Ribb. Se ha utilizado ASTER (DEM) con resolución espacial de 30 m descargado del sitio web USGS y para calcular los diferentes parámetros morfológicos se ha utilizado ArcGIS 10.4 y Excel para los cálculos. Se ha intentado generar parámetros morfométricos que tengan en cuenta la red de drenaje de la cuenca, la geometría, la textura del drenaje y las características del relieve junto con características hipsométricas.

Según Rivas y Moreno (2019) en su investigación titulada "Delimitación hidrográfica y caracterización morfométrica de la cuenca del río Metica", el uso de SIG ha demostrado ser crucial en el modelado de cuencas hidrográficas. Mediante una serie de procesos dentro el software ArcGIS con el complemento “Hydrology”. El uso de los SIG permitió la delimitación automática de cuencas y subcuencas a partir de DEM. Esta metodología generada en ArcGIS ofreció datos exactos y significativos gracias a la base de datos satelitales que proporciona las diferentes páginas web en línea. De acuerdo al autor los resultados que se tiene luego de procesar los datos son invaluable y muy confiables para la toma de decisiones relacionadas con la gestión del recurso hídrico, proporcionando un fundamento sólido para la planificación, gestión y conservación de la zona en estudio.

Según Hernández (2022) en su artículo titulado "Caracterización morfométrica de la cuenca del río Huitzilac, Puebla, México", el estudio se centra en analizar los parámetros morfométricos del río Huitzilac y también aborda su red de drenaje con la finalidad de entender cuál es la dinámica superficial de la cuenca. En esta evaluación se utilizaron como

referencia los índices cuantitativos relacionados directamente con los SIG. Entre los hallazgos destacados se encuentra que la cuenca abarca una superficie de 615 km², clasificándola como de tamaño "intermedio a grande". Los valores relacionados al parámetro de forma, elongación y compacidad indican una configuración estirada con forma rectangular-oblonga. El sistema de drenaje es de quinto orden y muestra un patrón predominantemente dendrítico-sudendrítico. Con respecto a la curva hipsométrica y al factor de circularidad que se está evaluado en esta etapa demuestran un equilibrio referente o madurez, sugiriendo un posible potencial erosivo especialmente en las áreas altas de la cuenca, un aspecto que no debe pasarse por alto.

Según Steve & Benavides (2017) en su investigación titulada "Obtención de una cuenca hidrográfica mediante el uso de un software comercial ArcGIS y el uso de un software libre SAGA. Caso de estudio municipio de Porcesito, Antioquia", durante este estudio el uso del software ArcGIS se destaca por su calidad y funcionalidad superior. Este software garantiza resultados detallados que permiten realizar análisis complejos, precisos y exactos, además de ofrecer procesos visuales avanzados. En cuanto al análisis de indicadores para la determinación de cuencas, ArcGIS es considerado el más adecuado. Una de las ventajas más significativas de ArcGIS sobre otros softwares es su sólido soporte técnico, disponible todos los días con respuestas rápidas y eficientes. Además, las aplicaciones de ArcGIS se actualizan de forma continua para ayudar y compensar las múltiples necesidades de la población y del mercado. Este trabajo resalta la importancia de los SIG, resaltando específicamente el software ArcGIS, para el estudio y comprensión de las cuencas hidrográficas.

Según Álvarez et al. (2021) en su artículo de investigación titulada "Morfometría de la subcuenca hidrográfica del río Páez, Cartago, Costa Rica", el análisis morfométrico que se realizó en la subcuenca se llevó a cabo recurriendo a los SIG, que actualmente es considerado

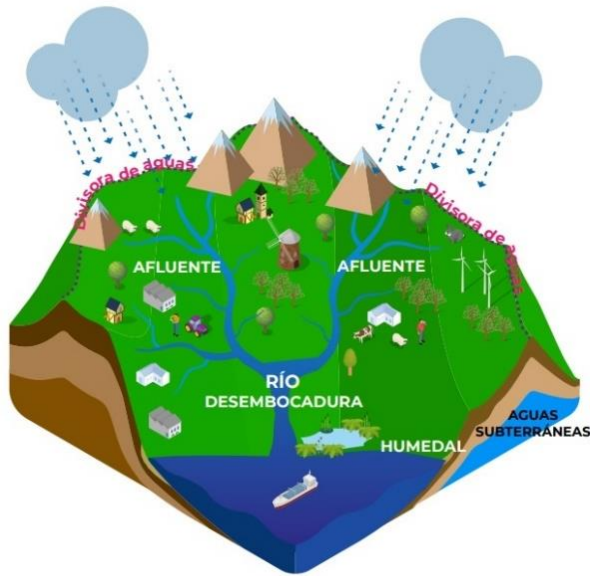
el método más preciso y utilizado. Inicialmente, los elementos para analizar la cuenca fueron obtenidos de la página de USGS como DEM, permitiendo determinar variables como la forma, la red de drenaje y de relieve de la cuenca hidrográfica. Siendo el objetivo principal de esta investigación establecer los parámetros morfométricos para la planificación de actividades y el adecuado manejo de la subcuenca del río Páez en Cartago. Se determinó que la subcuenca presenta una superficie total de 28.34 km² y su respectiva periferia fue de 47.4270 km. Se determinó que está dispuesta por un total de 22 microcuencas, con factor de forma 0.1171 que muestra una forma alargada de la subcuenca, y un coeficiente de compacidad 2.4942 que muestra una subcuenca elongada. Además, se observó que la curva hipsométrica es de tipo cóncava, donde la diferencia de altitudes se encuentra entre los 3315 m y los 980 m. El parámetro de pendiente promedio fue del 29.3%. Este análisis detallado proporciona información fundamental para entender la dinámica de la subcuenca del río Páez, lo cual es decisivo para la gestión segura y sostenible de sus recursos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Microcuenca

Una microcuenca es una unidad hidrográfica pequeña dentro de una cuenca y que presenta las mismas características morfométricas de una cuenca, pero en escala más pequeña (Reyes et al., 2010). Es el espacio territorial donde toda el agua superficial, como la lluvia y la escorrentía, converge hacia un único punto de salida, generalmente un arroyo o un pequeño río, que luego alimenta un río más grande o una cuenca hidrográfica mayor.

Las microcuencas son esenciales en la dinámica hidrológica regional y la gestión ambiental debido a su tamaño manejable y características específicas. Dentro de una microcuenca, se encuentran componentes como ríos menores, arroyos y humedales, que contribuyen a la hidrología general de la cuenca mayor (Bezerra et al., 2022).

Figura 1*Esquema de una microcuenca hidrográfica**Nota.* Reyes et al., (2010)

2.2.2. Sectores de la microcuenca

Las partes de una microcuenca hidrográfica utilizando el criterio de altura son:

a) Parte alta

Corresponde al origen de ríos y arroyos, siendo el área donde se recolecta la mayor cantidad de agua que fluye hacia la cuenca. Esta región debe considerarse como una "zona de reserva" debido a su importancia en la conservación de especies naturales que contribuyen al almacenamiento de agua (W. Dos Santos et al., 2019).

b) Parte media

Caracterizada generalmente por pendientes pronunciadas, esta zona cumple un rol esencial en el flujo del agua. Es común que aquí se encuentren manantiales, además de ser áreas propensas a la erosión y con potencial para el aprovechamiento energético (Alves et al., 2019).

c) Parte baja

Constituye el área donde se depositan los sedimentos. En esta región, los cauces principales desembocan en el río receptor (Bezerra et al., 2022)

2.2.3. Delimitación de una microcuenca hidrográfica

Según Souza et al. (2021), la delimitación de una microcuenca hidrográfica implica identificar correctamente la línea divisoria de aguas o mejor conocido como el parteaguas, que es una curva cerrada que conecta los puntos más altos del terreno. Esta línea se extiende desde el punto donde se inicia la captación de las aguas superficiales hasta el lugar donde estas se descargan. Conocida también como línea de flujo neutro, esta define el perímetro de la microcuenca, y el área encerrada por esta línea representa la proyección en el eje x del área de la microcuenca (p. 8).

Realizar esta delimitación manualmente puede ser extremadamente laborioso. No obstante, las herramientas de SIG como ArcGIS y otros softwares que permiten realizar esta tarea de manera automática y eficiente, facilitando el estudio de su morfometría.

2.2.4. Morfometría de la microcuenca

La morfometría se centra en estudiar los parámetros que describen las características físicas de una microcuenca, como su forma, relieve y la red de drenaje, mediante la asignación de valores numéricos calculados de acuerdo a la ecuación de cada parámetro. Este análisis, según Lacerda et al. (2019), no solo proporciona una descripción detallada de la microcuenca, sino que también permite entender su comportamiento hidrológico. Por ejemplo, factor de forma de Horton (K_f) y la relación de circularidad (R_c) ofrecen información sobre la compactación y la forma general de la microcuenca, lo cual influye en cómo el agua se acumula y fluye. Además, la densidad de drenaje (D_d) indica la

eficiencia con que la red de drenaje de la microcuenca canaliza el agua hacia los ríos principales y, finalmente, hacia los cursos de agua más grandes, en ese sentido cada uno de los parámetros morfométricos revelan la forma del comportamiento de la microcuenca.

2.2.5. Parámetros Generales de la microcuenca

a) Área (A)

El área de la microcuenca es posiblemente el atributo más relevante tanto desde el punto de vista morfométrico como hidrológico. Se determina a partir de la divisoria de aguas, lo que permite establecer su extensión, expresada en kilómetros cuadrados (Reyes et al., 2010).

Tabla 1

Clasificación según las áreas.

ÁREA (Km^2)	Nombre
< 5	Unidad
5 – 20	Quebrada
20 – 100	Microcuenca
100 – 300	Subcuenca
>300	Cuenca

Nota. Tomado de “Guía básica para caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas” por Reyes et al., (2010)

b) Perímetro (P)

Corresponde a la distancia total de la divisoria topográfica, medida desde el punto de salida de la cuenca o un punto específico de interés en el cauce (Sahu et al., 2017)

2.2.6. Parámetros de forma

a) Factor de forma de Horton (Kf)

Este parámetro se encarga de medir la elongación de una microcuenca, debido que la forma de la microcuenca influye considerablemente en el tiempo de concentración del agua, especialmente en situaciones de flujo máximo (Sellers et al., 2017). Este factor se

obtiene dividiendo el área de la microcuenca entre el cuadrado de la longitud del cauce principal.

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$Kf = \frac{A}{Lc^2} \quad (1)$$




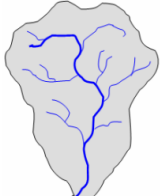
Donde:

A: Área de la microcuenca (km^2)

Lc: Longitud del cauce principal (km)

Figura 2

Esquema de comparación de factor de forma

Factor de forma (Ff)	0 - 0,25	0,25 – 0,50	0,50 – 0,75	0,75 – 1
	Estrecha	Alargada	Amplia	Ancha
$Ff = \left(\frac{A}{Lc^2} \right)$ <p>Ff= Factor de forma de Horton A= Área de la cuenca (m2) Lc= Longitud del cauce principal (m)</p>				
Producción sostenida de caudales	bajo	moderado	alto	Muy alto
Potencial a crecientes	bajo	moderado	alto	Muy alto

Nota. Tomado de Chow, (1994), citado por Ramírez et al., (2013)

En la siguiente tabla, se ve la categorización del factor de forma de Horton:

Tabla 2

Rango aproximado a considerar del factor de forma de Horton

Factor de forma (valores aproximados)	Forma de microcuenca
0 – 0,25	Estrecha
0,25 – 0,5	Alargada
0,5 – 0,75	Amplio
0,75 – 1	Ancha

Nota. Tomado de Chow, (1994), citado por Sellers et al., (2017).

b) Índice de circularidad de Miller (Ic)

Esta razón de circularidad de Miller se calcula dividiendo la superficie (A) de la microcuenca multiplicado por 4π y con el perímetro de la microcuenca al cuadrado (Aumassanne et al., 2018).

Se calcula con la siguiente ecuación:

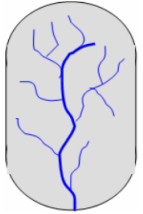
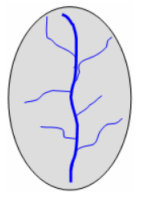
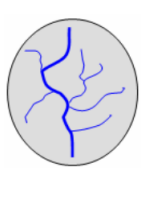
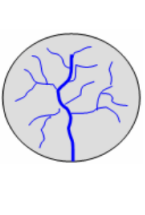
$$Ic = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (2)$$

Donde:

A: Área de la microcuenca (Km^2), P: Perímetro de la microcuenca (Km)

Figura 3

Esquema de comparación del índice de circularidad de Miller

Índice de Circularidad de Miller (Ic)	0 - 0,25	0,25 - 0,50	0,50 - 0,75	0,75 - 1
	Oblonga	Ovalada	Oval	Circular
$Ic = \left(\frac{4\pi A}{P^2} \right)$ <p>Ic= Índice de circularidad de Miller A= Área de la cuenca (m²) P= Perímetro de la cuenca (m)</p>				
Producción sostenida de caudales	Muy alto	alto	moderado	bajo
Potencial a crecientes	bajo	moderado	alto	Muy alto

Nota. Tomado de Chow, (1994), citado por Ramírez et al., (2013)

En la siguiente tabla, se puede ver cómo se asigna la forma a una cuenca de acuerdo con la categorización de índice de Miller:

Tabla 3

Rango aproximado a considerar del índice de Miller

Índice de circularidad de Miller	Forma de microcuenca
0 - 0,25	Oblonga
0,25 - 0,5	Ovalada
0,5 - 0,75	Oval
0,75 - 1	Circular

Nota. Tomado de Miller, (1953), citado por Ramírez et al., (2013)

c) Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius (Kc)

Este parámetro describe la forma y extensión de la cuenca, influyendo directamente en el comportamiento de la esorrentía y, en consecuencia, en la dinámica y configuración del hidrograma generado por una precipitación (Ramírez et al., 2021). Es un índice adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca con el de un círculo hipotético cuya área es equivalente a la de la cuenca (Almaw et al., 2017).

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

Donde:

P: Perímetro de la microcuenca (*km*)

A: Área de la microcuenca (*Km²*)

Tabla 4

Clase de valores para coeficiente de compacidad o Gravelius

Kc	Forma	Interpretación Ambiental
1,0 – 1,25	Casi redonda a oval redonda	Alta tendencia a inundación
1,25 – 1,50	Oval redonda a oval oblonga	Mediana tendencia a inundación
1,50 – 1,75	de Oval oblonga a rectangular oblonga	Baja tendencia a inundación
> a 1,75	Alargada	Cuencas propensas a la conservación

Nota. Adaptado de Villela (1997), citado por Cerignoni & Rodríguez, (2015).

d) Relación de elongación (Re)

Esta relación es adimensional y se calcula dividiendo el diámetro de un círculo de igual superficie (A) que la microcuenca y la longitud de la misma (Viramontes et al., 2017).

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$Re = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{Lc} \quad (4)$$

Donde:

A: Área de la microcuenca (km^2)

Lc: Longitud del cauce principal (km)

Tabla 5

Clase de valores para relación de elongación

Relación de elongación	Forma
< 0.5	Muy alargada
0.5 – 0.8	Alargada
≈ 1	Casi circular

Nota. Adaptado de Strahler (1957), citado por Sellers et al., (2017)

e) Índice de alargamiento (I_a)

Este parámetro se determina dividiendo la longitud de la microcuenca por su ancho máximo. Si el valor resultante es significativamente mayor que uno, la microcuenca se clasifica como alargada. En cambio, si el valor es menor a uno, la microcuenca se considera achatada (Baldeon, 2016; Alves et al., 2019)

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$I_a = \frac{Lm}{l} \quad (5)$$

Donde:

Lm: Longitud máxima de la microcuenca (km)

l: Ancho máximo de la microcuenca (km)

Tabla 6

Clasificación del índice de alargamiento

Rango de I_a	Clases de alargamiento
0 – 1,4	Poco alargamiento
1,5 – 2,8	Moderadamente alargado
2,9 – 4,2	Muy alargada

Nota. Tomado de Campos, (1992), citado por (Cañibano et al., 2016).

2.2.7. Parámetros de relieve

Los parámetros relacionados con el relieve son especialmente relevantes, ya que tienen un impacto mayor que los parámetros de forma en la respuesta hidrológica. En términos generales, un mayor relieve o pendiente acelera la generación de escorrentía, reduciendo el tiempo necesario para que esta ocurra (López & Patiño, 2017).

a) Índice de la pendiente (I_p)

El índice de pendiente pondera las diferencias de altitud en función del área relativa entre las cotas de nivel, proporcionando una representación más realista de la pendiente promedio de una microcuenca.

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$I_p = \sum_{i=1}^n \sqrt{\beta_i(a_i - a_{i-1})} \frac{1}{\sqrt{L}} \quad \beta_i = \frac{A_i}{A_t} \quad (6)$$

I_p : Índice de pendiente, que representa una medida ponderada de la pendiente.

n : Número de curvas de nivel existentes en el rectángulo equivalente, incluyendo los extremos: $a_1, a_2, \dots, a_n =$ cotas de las “n” curvas de nivel en (km).

β_i : Fracción de la superficie total de la cuenca comprendida entre las cotas $a_i - a_{i-1}$.

L : Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (km).

b) Pendiente media de la microcuenca (S)

Es uno de los principales parámetros que caracteriza el relieve de una cuenca hidrográfica, tiene relación con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al flujo en los cauces (Guerra & Gonzáles, 2002; Tipán, 2018). La pendiente media de la cuenca se puede determinar con el método de Alvord, que utiliza la siguiente ecuación (Ramírez et al., 2021)

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$S = 100 \frac{\sum Li \cdot E}{A} \quad (7)$$

Donde

Li : Longitud de cada una de las curvas de nivel (km)

E : Equidistancia de las curvas de nivel (km)

A : área de la microcuenca (Km^2)

Tabla 7

Cuadro de clasificación de la microcuenca según su pendiente

Pendiente media (%)	Tipo de relieve
< 5	Suave
5 – 12	Medianamente accidentado
12 – 18	Accidentado
18 – 24	Fuertemente accidentado
24 – 32	Muy fuertemente accidentado
32 – 44	Escarpado
> 44	Muy escarpado

Nota. Adaptado de Pérez, (1979), citado por Salazar, (2019)

a) Pendiente media del cauce principal (S_m)

La pendiente media del cauce se calcula considerando el desnivel topográfico presente a lo largo del cauce principal y su longitud total, expresándose en porcentaje. Un incremento en la pendiente implica un aumento en la velocidad del flujo de agua a través de la red hidrográfica, lo que incrementa la susceptibilidad de la microcuenca a procesos de erosión y transporte de materiales (Gaspari et al., 2015; Steve & Benavides, 2017)

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$S = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{s_1}} + \frac{1}{\sqrt{s_2}} + \frac{1}{\sqrt{s_3}} \dots \frac{1}{\sqrt{s_n}}} \right]^2 \quad (8)$$

Donde

n : Número de cotas equidistantes

$s_1, s_2, s_3 \dots s_n$: Pendiente por cada desnivel

Tabla 8

Clase de pendiente del cauce (%)

Rango de Pendiente	Clases
< 10	Suave
10 – 30	Moderado
> 30	Fuerte

Nota. Adaptado de Pérez, (1979), citado por (Balden, 2016)

c) Desnivel altitudinal de la microcuena (G)

Este parámetro es la resta entre la cota más alta y la cota más baja que presenta la microcuena. Este parámetro relaciona la disponibilidad del agua y el movimiento del agua a lo largo de la microcuena (Steve & Benavides, 2017). En tal sentido, significa que de este parámetro dependen el tipo de suelo que se forma, la cobertura vegetal que presenta, los microclimas que se forma en toda la microcuena, así como otras características del territorio.

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$G = C_M - C_m \quad (9)$$

Donde

C_M : Cota más alta de la microcuena

C_m : Cota más baja de la microcuena

d) Altitud media simple (H_{ms})

Se calcula como la semisuma de la cota más baja con la cota más alta de la microcuena.

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$H_{ms} = \frac{C_M + C_m}{2} \quad (10)$$

Donde

C_M : Cota más alta de la microcuenca

C_m : Cota más baja de la microcuenca

Este va a tener directa injerencia en la presencia de microclimas en toda la microcuenca y también al hábitat ya que esto depende de la altitud y condiciones climáticas.

e) Altitud de frecuencia media (A_m)

Numéricamente la altitud de frecuencia media de la microcuenca se obtiene con la siguiente ecuación:

$$A_m = \frac{\sum a_i \cdot c_i}{A} \quad c_i = \frac{c_i + c_{i-1}}{2} \quad (11)$$

Donde:

A_m = Altitud de frecuencia media (m)

a_i = superficie entre cota más baja y la cota más alta

c_i = altura entre cota más baja y la cota más alta (m)

A = superficie total de la microcuenca (Km^2)

2.2.8. Parámetros de drenaje

Estos parámetros representan el sistema de jerarquía de los cauces, que va desde los pequeños surcos hasta los ríos, que al confluir unos con otros se forma un colector principal de toda la cuenca (Camino et al., 2018).

b) Orden de corrientes (O)

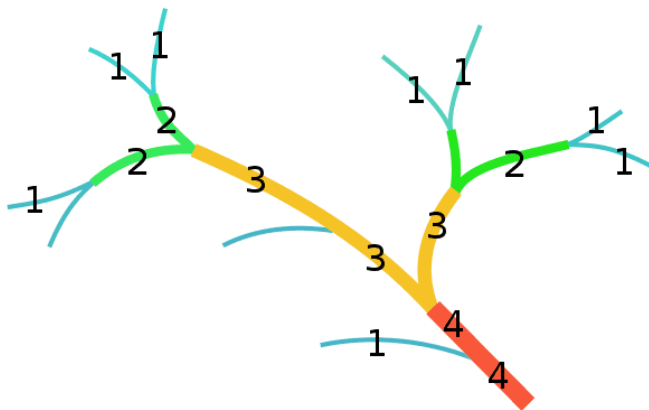
Este índice representa el nivel de ramificación o bifurcación de una cuenca, tomando en cuenta el orden de las corrientes (Ibáñez et al., 2018). A medida que el número de

orden aumenta, también lo hace el potencial erosivo, el transporte de sedimentos y la escorrentía directa en comparación con otra cuenca de igual tamaño. Además, un orden de cuenca más elevado indica un mayor desarrollo de su sistema fluvial (Álvarez et al., 2021)

- Primer orden: La corriente no presenta tributarios.
- Segundo orden: Se llega formar por la confluencia de la unión de dos cauces de primer orden.
- Tercer orden: Se llega a formar por la confluencia del primer y segundo orden.

Figura 4

Esquema del número de Orden de los ríos



Nota. Adaptado de Strahler (1957), citado por Reyes et al., (2010),

Tabla 9

Tabla para el orden de corriente del río

Rango de ordenes	Clases de orden
1 – 2	Baja
2.1 – 4	Media
4.1 – 6	Alta

Nota. (Reyes et al., 2010).

c) Densidad de drenaje (Dd)

La densidad de drenaje es un indicador clave para comprender la complejidad y el desarrollo del sistema hidrográfico de una cuenca. Generalmente, un valor elevado de este parámetro sugiere una mayor estructuración de la red fluvial o un mayor potencial de erosión. Se calcula relacionando la suma total de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan en la cuenca con su área total (Ramírez et al., 2015).

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$Dd = \frac{\sum L}{A} \quad (12)$$

Donde:

L: Distancia total de corrientes (*km*)

A: Área total de la microcuenca en (*km*²)

La densidad está vinculada con la topografía que tiene la microcuenca y también con la litología, siendo su principal función la capacidad que tiene para vaciar un volumen específico de agua. Valores más altos se con suelos de mayor pendiente, mientras que superficies con pendientes ligeras o estarían relacionados con la baja susceptibilidad a la erosión o poca posibilidad de erosión y de densidad de drenaje baja.

Tabla 10

Tabla de rangos aproximados para evaluar la densidad de drenaje

Clasificación de la densidad de red de drenaje			
Rango (<i>km/km</i> ²)	Clase	Rango (<i>km/km</i> ²)	Clase
Clasificación según Junco (2004)		Clasificación según Delgadillo y Pérez (2008)	
0,1 – 1,8	Baja	< 1	Baja
1,9 – 3,6	Moderada	1 – 2	Moderada
3,7 – 5,6	Alta	2 – 3	Alta
		> 1	Muy alta

Nota. Horton (1945), Strahler (1957) y França (1968), citado por Cerignoni & Rodrigues, (2015).

d) Tiempo de concentración (*T_c*)

Es considerado como el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la microcuenca hasta el punto de salida. Para su cálculo se pueden emplear diferentes fórmulas que se relacionan con otros parámetros propios de la microcuenca. En la literatura se encuentran numerosas expresiones para determinar el tiempo de concentración T_c de las cuencas hidrográficas, desarrolladas por diferentes autores para diferentes regiones del mundo. A continuación, se presenta un resumen de las ecuaciones utilizadas en el presente estudio y tomadas de diferentes fuentes (Chow et al., 1994; Ramírez, 2015; Sahu et al., 2017; Torcivia et al., 2022)

California Culvert (1942)

$$T_c = \left(0.87 \frac{L_c^3}{H} \right)^{0.385} \quad (13)$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración (horas).

H: Diferencia de las cotas de la microcuenca (m).

L_c : Longitud del cauce principal (km)

Témez (1978)

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L_c}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (14)$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración (horas).

L_c : Longitud del cauce principal (km).

S: Pendiente media del cauce principal (H/Lc)

H: Diferencia de cotas del cauce principal (m)

Kirpich (1942)

$$T_c = 0.066 \left(\frac{L_c}{\sqrt{S}} \right)^{0.77} \quad (15)$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración (horas).

L_c : Longitud del cauce principal (km).

S : Pendiente media del cauce principal (H/Lc)

H : Diferencia de cotas de la microcuenca (m)

Scs-Ranser

$$T_c = 0.97 \left(\frac{L_c^3}{H} \right)^{0.385} \quad (16)$$

Donde:

T_c : es el tiempo de concentración (horas).

H : Diferencia de cotas del cauce principal (pies).

L_c : Longitud del cauce principal (km)

V.T. Chow

$$T_c = 0.8773 \left(\frac{L_c^{1.5}}{\sqrt{S}} \right)^{0.64} \quad (17)$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración (horas).

L_c : Longitud del cauce principal (km).

S : Diferencia de cotas del cauce principal (msnm.)

Giandotti

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L_c}{25.3\sqrt{L_c S}} \quad (18)$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración (horas).

A : es el área de la cuenca (Km^2).

L_c : Longitud del cauce principal (km).

S : Pendiente promedio del cauce principal (m/m).

Clark

$$T_c = 0.335 \left(\frac{A}{\sqrt{S}} \right)^{0.593} \quad (19)$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración (horas).

S : Pendiente promedio del cauce principal (m/km).

A : Área de la cuenca (km^2).

Passini

$$T_c = 0.108 \left(\frac{AL_c}{\sqrt{S}} \right)^{1/3} \quad (20)$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración (horas).

L_c : Longitud del cauce principal (km).

S : Pendiente promedio del cauce principal (m/m).

A : Área de la cuenca (km^2).

Tabla 11

Tabla para clasificar de acuerdo al tiempo de concentración

Rango de T_c	Clases
< 40	Muy rápido
40 - 80	Moderado
> 80	Muy lento

Nota. Tomado de Fuentes, (2004), citado por Cerignoni & Rodrigues, (2015).

e) Frecuencia de drenaje (Fd)

Este parámetro se calcula al dividir el número de cursos de agua que se forma entre la superficie total drenada por la microcuenca (Verdugo, 2017). Determinar este número ayuda a estimar la probabilidad que tiene una gota de agua en ingresar al cauce en un lapso de tiempo determinado dentro de la microcuenca.

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$Fd = \frac{Nc}{A} \quad (21)$$

Donde:

Nc : # de cauces totales de la microcuenca

A : Superficie total de la microcuenca (km^2)

Tabla 12

Tabla para clasificar la frecuencia de drenaje

Rango	Clases
< 2	Baja
2 – 5	Moderada
6 – 10	Alta
>10	Muy alta

Nota. Adaptado de Verdugo, (2017)

f) Relación de Bifurcación (Rb)

La relación es la división entre la jerarquía de cada uno de los arroyos en relación al número de orden inmediata superior del río (Steve & Benavides, 2017).

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$Rb = \frac{N_n}{N_{n+1}} \quad (22)$$

Donde:

Rb = razón de bifurcación de la microcuenca

N_n : # de cauces de un orden dado

N_{n+1} : # de cauces del orden inmediato superior

Tabla 13

Tabla para clasificar la relación de bifurcación

Rango	Clases
< 3	Baja
3 – 5	Moderada
> 5	Alta

Nota. Adaptado de Steve & Benavides, (2017)

g) Coeficiente de torrencialidad (Ct)

Se determina dividiendo el número de causas (arroyos) con la superficie total de la microcuenca. Siendo que un valor alto sugiere un mayor nivel de torrencialidad en la microcuenca (G. Barboza et al., 2019).

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$C = \frac{\# \text{ de causas de orden 1}}{\text{área de microcuenca (km}^2\text{)}} \quad (23)$$

Refleja la capacidad que tiene para descargar y su respectiva estructura de una microcuenca. Los cauces de primer orden son especialmente significativos debido a su capacidad erosiva. Así, valores más altos indican una mayor propensión a la torrencialidad y mayor vulnerabilidad a la erosión, mientras que valores más bajos señalan menor propensión a la torrencialidad, pero mayor fragilidad a la erosión y tiempos de concentración más cortos (Ramírez, 2015).

Tabla 14

Tabla para clasificar el coeficiente de torrencialidad

Rango	Clases
< 0.5	Baja
0.5 – 1	Moderada
> 1	Alta

Nota. Adaptado de Lacerda et al., (2019).

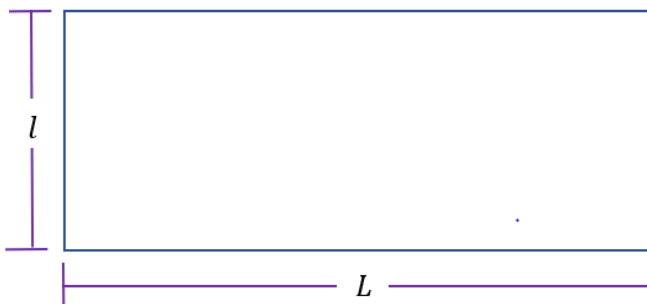
2.2.9. Rectángulo equivalente

El concepto de rectángulo equivalente se refiere a una herramienta geométrica utilizada para simplificar la representación de una cuenca hidrográfica. Consiste en transformar la forma compleja e irregular de una cuenca en un rectángulo que mantiene las mismas dimensiones básicas de área y perímetro. Los lados del rectángulo son definidos por

parámetros clave como las curvas de nivel, donde los lados menores corresponden a las primeras y últimas curvas. Esta técnica facilita el análisis y la caracterización morfométrica al reducir la complejidad del sistema hidrográfico (Aumassanne et al., 2018).

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$L = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right) \quad y \quad l = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right) \quad (24)$$



Donde:

L : Lado mayor del rectángulo

l : Lado menor del rectángulo

K : Coeficiente de compacidad o índice de Gravelious

A : Área de la microcuenca

2.2.10. Curva hipsométrica

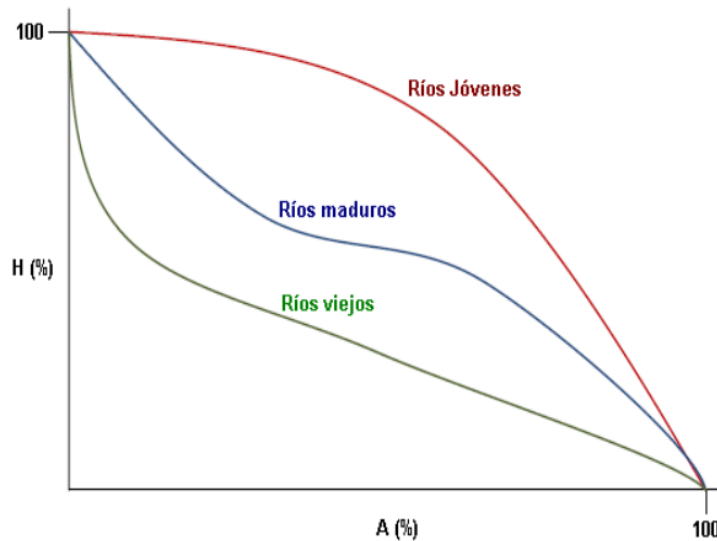
Representa gráficamente la variación de altitud que se presenta en una microcuenca y se obtiene a partir de un plano topográfico, tomando los valores del área en porcentaje que están por debajo de una determinada altura (López, 2015). En las cuencas pueden presentarse diferentes tipos de curva hipsométrica debido a su evolución (edad del río), que permite definir características fisiográficas:

- Cuencas con ríos jóvenes: presentan gran potencial erosivo.
- Cuencas con ríos maduros: se encuentran en estado de equilibrio.

- Cuencas con ríos viejos: son sedimentarias.

Figura 5

Esquema de Strahler para edad del río



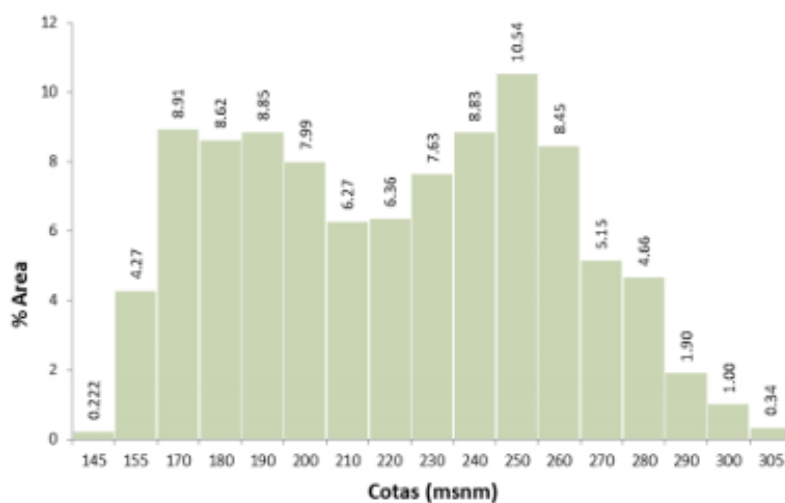
Nota. (Aguilar & Naranjo, 2018).

La forma de la curva hipsométrica y también el de histogramas de frecuencia dan información muy relevante de la edad de los ríos, diferenciándose en sus gráficas.

2.2.11. Histograma de frecuencias

Es la representación de la superficie de una cuenca, expresada en kilómetros cuadrados o en porcentaje, distribuida entre diferentes niveles altimétricos. La marca de clase corresponde al promedio de las alturas dentro de cada intervalo (Dos Santos et al., 2019). Con estos niveles se puede construir un histograma, un diagrama de barras que proporciona la misma información que la curva hipsométrica, pero con un enfoque gráfico distinto, permitiendo visualizar la variación altitudinal de la cuenca (Castilla, 2013; Zhicay, 2020).

Se realiza este análisis para entender el proceso geomorfológico, como la erosión o sedimentación, dentro de la microcuenca. Además, ayuda a identificar zonas vulnerables que deben ser priorizados, siendo una información clave en la planificación territorial y la gestión sostenible de recursos naturales.

Figura 6*Histograma de frecuencias altimétricas**Nota.* (Sellers et al., 2017).

2.2.12. Los SIG en la evaluación morfométrica de las microcuencas hidrográficas

Los SIG son herramientas de alto impacto y se han convertido en vitales para la evaluación de cuencas, subcuencas y microcuencas hidrográficas debido a su facilidad en la manipulación de datos obtenidos de diferentes páginas web (Barboza et al., 2019). Su uso permite la caracterización morfométrica detallada, completa y ayuda para una interpretación más precisa del comportamiento de una microcuenca (Ginesta et al., 2022). Los resultados obtenidos mediante el análisis con los SIG son resultados de alta calidad que serían difíciles de obtener de forma manual (Ginesta et al., 2022).

En el contexto del manejo de microcuencas, los SIG no se limitan solo a la morfometría, sino que también abarcan aspectos como fisiografía, erosión del suelo, capacidad de suelos, geomorfología, transporte de sedimentos, gestión hidráulica, deforestación, modelado hidráulico, balance hídrico, impacto ambiental y poblacional, entre otros. Estos aspectos hacen de las microcuencas unidades esenciales para la organización y gestión de recursos naturales (Martínez, 2023).

ArcGIS es un ejemplo prominente de SIG que facilita la recopilación, gestión, procesamiento, análisis y compartición de información geoespacial de manera efectiva (Sahu et al., 2017). Permite la creación de mapas basados en datos geográficos y su accesibilidad a través de páginas web, computadoras con buena capacidad y dispositivos móviles adecuados (Capoane & Alencar, 2020). Los SIG son utilizado ampliamente a nivel global por empresas, entidades gubernamentales, instituciones educativas y otros sectores, ArcGIS se destaca por su robustez en el manejo de información geoespacial y su capacidad de procesar información de datos muy grandes y colaborar en la toma de decisiones informadas en gestión ambiental (Da Silva et al., 2021).

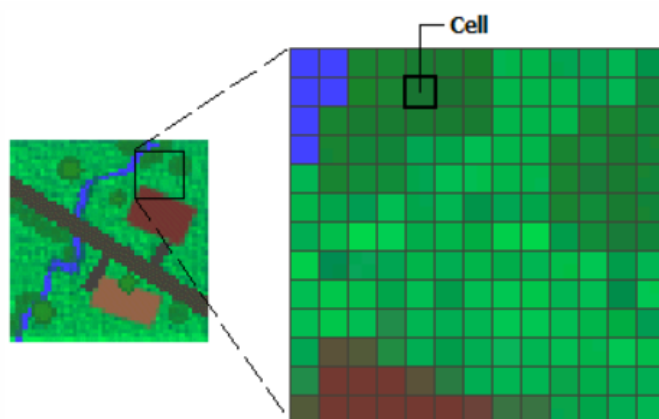
2.2.13. Tipos de datos en un SIG

a) RASTER

Los datos raster en los SIG consisten en una cuadrícula de píxeles, donde cada píxel tiene un valor único que representa información del mundo real (Ginesta et al., 2022). Son ampliamente utilizados para diversos análisis espaciales debido a su capacidad para representar fenómenos geoespaciales como elevación, cobertura del suelo, y más. Sin embargo, presentan la limitación de la pixelación visible al acercarse la imagen, lo cual puede afectar la claridad y precisión de los datos en escalas detalladas

Figura 7

Datos Ráster procesados en un SIG



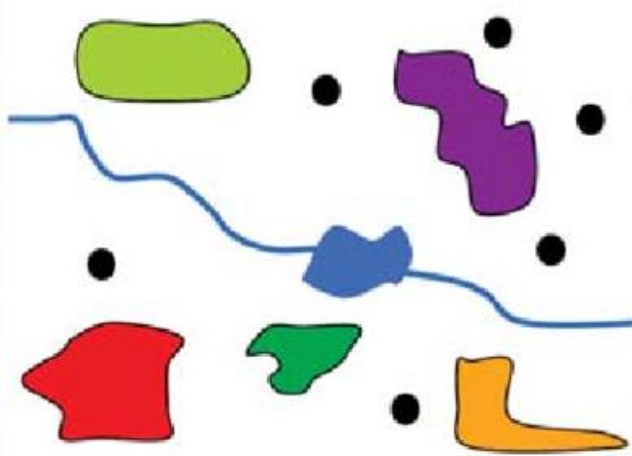
Nota. Morales, 2016.

b) VECTORIAL

Los datos vectoriales en los SIG al contrario de los datos raster, no llegan a pixelear, en otras palabras, al acercarse a la imagen estos datos no pierden su forma y su composición está por puntos, líneas y polígonos (Rajasekhar et al., 2020).

Figura 8

Representación de datos vectoriales un SIG



Nota. Morales, 2016.

2.2.14. Imágenes satelitales

a) LANDSAT

El sistema Landsat es una serie de satélites desarrollados por Estados Unidos para observar la superficie terrestre con alta precisión (Díaz, 2012). Utiliza sensores remotos multiespectrales, como el MSS (Multispectral Scanner) que captura imágenes en cuatro bandas espectrales: azul, rojo, verde e infrarrojo, con una resolución de hasta 80 metros. Además, incluye el sensor TM (Thematic Mapper) que detecta siete bandas: verde, rojo, azul, infrarrojo cercano, dos infrarrojos medios y una térmica, con una resolución de hasta 30 metros (Díaz, 2018).

b) ASTER GDEM

La NASA y el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón (METI) colaboraron para desarrollar un Mapa Topográfico Digital Global utilizando datos del

instrumento radiométrico ASTER dentro del satélite TERRA. Este mapa proporciona una representación detallada de la elevación del terreno en todo el mundo, con puntos de medición cada 30 metros (Díaz, 2012).

Los puntos que indican la elevación se muestran con colores que varían desde el púrpura (para altitudes más bajas) hasta el blanco (para altitudes más altas), reflejando la altura tomando como punto de referencia el mar. Esta herramienta cartográfica es esencial para estudiar y comprender a fondo la topografía global.

2.3. Definición de términos

TM: Es un sensor utilizado en el programa LANDSAT para la observación de la tierra.

Red hidrográfica: Es un método organizado y jerarquizado de cursos de agua que asegura el drenaje dentro de una microcuenca.

Afluentes: Son flujos de agua, conocidos como los tributarios, que desembocan en un río principal debido a su caudal, longitud o área.

Bifurcación: Describe la separación o división de cursos de agua en ramificaciones.

Microcuenca: Unidad hidrográfica que conserva las características de una cuenca cuyos límites se establecen a partir del parteaguas.

Sistema de Información Geográfica (SIG): Herramienta que facilita la captura, almacenamiento, estudio y visualización de datos geoespaciales, utilizada en la delimitación y evaluación de la microcuenca hidrográficas.

Morfometría: Es un método empleado para analizar y estudiar las diferentes variables que presenta determinada área de interés para el estudio.

DEM: Representación digital de la elevación del terreno que se utiliza en el análisis topográfico de cuencas, subcuencas y microcuencas hidrográficas.

Corrección de errores: La presencia de depresiones y picos espurios en el DEM pueden llevar a errores en la delineación. Es esencial aplicar técnicas de corrección como el "relleno de depresiones".

Algoritmos de análisis hidrológico: ArcGIS 10.8 incluye herramientas avanzadas para la delineación de cuencas, como la herramienta de "*Hydrology*" que utiliza algoritmos de flujo y acumulación de flujo para identificar límites de cuencas.

Parteaguas: Línea imaginaria que separa dos cuencas hidrográficas adyacentes. Determina la dirección en la que fluye el agua dentro de una cuenca.

Escorrentía: Movimiento del agua superficial que ocurre cuando la precipitación excede la capacidad de infiltración del suelo.

Erosión: Proceso que consiste en un desgaste progresivo del suelo, transporte y depósito de materiales que son arrastrados debido a la escorrentía superficial, sobre todo en superficies con poca vegetación.

Pendiente: Relación entre la variación que existe entre la distancia horizontal con la vertical; este resultado se suele expresar generalmente en porcentajes, pero también se puede expresar como un ángulo.

Método Strahler: Método que consiste en obtener el orden de jerarquía de los ríos donde cada río o arroyo sin tributarios se clasifica como de primer orden; mientras que dos ríos de igual orden se unen, forman un río de orden superior.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

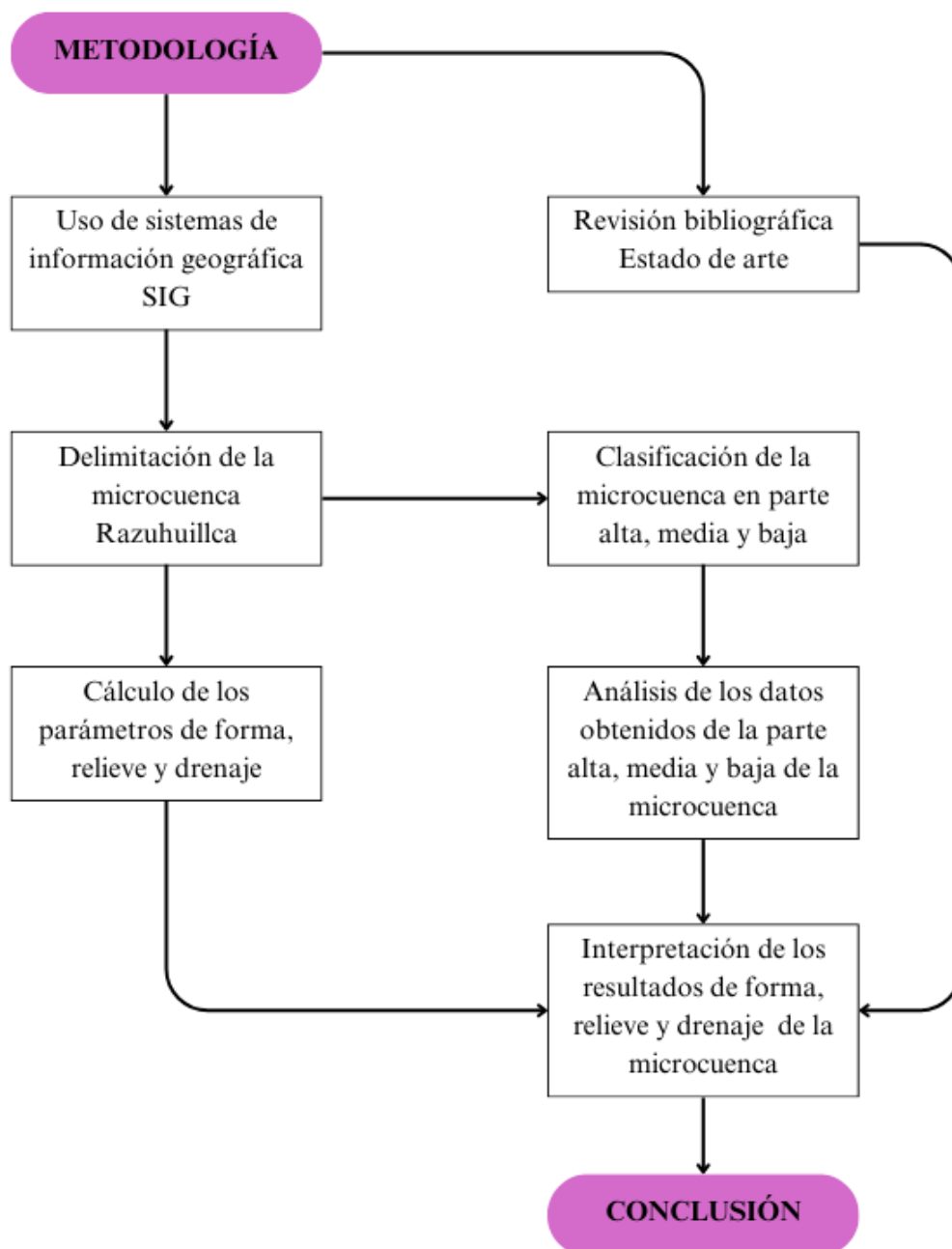
El tipo de investigación para la presente investigación fue básico y de nivel descriptivo debido a que se detallan las características de los parámetros morfométricos (Hernández et al., 2014).

3.2. Diseño de investigación

Este estudio tuvo un enfoque de diseño no experimental, ya que las variables no fueron manipuladas deliberadamente. Se investigarán los fenómenos en su entorno natural, centrándose en la descripción y análisis de su impacto en un determinado momento (Hernández et al., 2014).

Figura 9

Diseño de la metodología de investigación



3.3. Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Subdimensiones	Unidad	Instrumento
Parámetros morfométricos	La evaluación morfométrica de una microcuenca consiste en el estudio de variables que se encuentran relacionados con el área, relieve y drenaje; utilizando los SIG que ayudan a conocer y evaluar las características físicas para planificar su gestión ambiental adecuada (Martínez, 2019)	Los métodos empleados son basados en el uso de los Sistemas de Información Geográfica SIG (Muñoz, 2020)	Información General	Área	km ²	Software ArcGis
				Perímetro	km	
				Longitud Máxima	km	
				Ancho Máximo	km	
			Parámetros de forma	Longitud del cauce principal	km	
				Factor de forma de Horton (Kf)	-	
				Índice de circularidad de Miller (Ic)	-	
				Coefficiente de compacidad (Kc)	-	
				Relación de elongación (Re)	-	
				Índice de alargamiento (Ia)	-	
				Índice de pendiente de la microcuenca	%	
				Pendiente de la microcuenca	%	
				Pendiente media del cauce principal (Sm)	%	
				Desnivel altitudinal de la microcuenca (G)	m.s.n.m.	
			Parámetros de Relieve	Altitud media simple (Hms)	msnm	
				Altitud media de frecuencia (Am)	msnm	
				Orden de corrientes (O)	-	
				Densidad de drenaje (Dd)	km/km ²	
				Tiempo de concentración (T _C)	min	
				Frecuencia de drenaje (Fd)	-	
Parámetros de drenaje	Relación de Bifurcación (Rb)	-				
	Coefficiente de torrencialidad (Ct)	-				

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

El área total de la microcuenca Razhuillca de la provincia de Huanta.

3.4.2. Muestra

Los modelos de elevación digital (DEM) descargados desde la web de USGS.

3.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.5.1. Fase de pre campo

En esta fase se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de artículos, tesis y libros relacionados con el tema de interés, "Morfometría de una microcuenca", utilizando diversas fuentes confiables. Entre estas se incluyeron plataformas académicas reconocidas como Scopus desde la página web: (<https://www.scopus.com>), Scimago (<https://www.scimagojr.com>), Dimensions (<https://www.dimensions.ai>), así como repositorios nacionales como Renati (<https://renati.sunedu.gob.pe>) y Alicia (<https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/>). Además, se exploraron repositorios digitales de diversas universidades y bibliotecas especializadas, lo que permitió recopilar información actualizada y relevante. Este proceso de revisión bibliográfica facilitó no solo la comprensión integral del tema, sino también la identificación de enfoques metodológicos y resultados clave en estudios previos.

3.5.2. Fase de campo

En esta fase se realizó un recorrido de reconocimiento del área de estudio desde la desembocadura hasta la parteaguas de la microcuenca, observando la afluencia de ríos, observando el cambio de pendiente del terreno; se utilizó Dron, GPS, clinómetro, cinta métrica de 100 m y un cuaderno de campo para recoger las principales características

de la zona de estudio; se realizó la verificación *in situ* de la pendiente, erosión y vegetación de la parte baja, media y alta de la microcuenca.

3.5.3. Fase de gabinete

En esta fase se identificó el área de estudio en Google Earth pro, se delimitó y se descargó el DEM del área de estudio desde la página de USGS <https://earthexplorer.usgs.gov/>, luego se utilizó el Software ArcGis 10.8 y la herramienta Hydrology para realizar la delimitación de la microcuenca, se calculó los parámetros morfométricos de forma, relieve y drenaje utilizando ecuaciones matemáticas y una tabla de Excel; finalmente los datos obtenidos se analizó con el software de R Studio y se comparó los parámetros morfométricos de la parte alta, media y baja de la microcuenca Razuhuilca.

3.6. Confiabilidad de las herramientas

La delimitación de las cuencas, subcuencas y microcuencas hidrográficas utilizando herramientas SIG tiene mayor aprobación en la mayoría de países del mundo, para conocer y estudiar la morfometría de la microcuenca de forma remota (Dourado et al., 2020). La delimitación de microcuencas utilizando ArcGIS 10.8 es confiable si se siguen buenas prácticas en la preparación y análisis de datos (Dos Santos et al., 2019). Según estudios diversos, la combinación de DEM de alta calidad y la utilización correcta de las herramientas de ArcGIS permite obtener resultados precisos y consistentes en la delimitación de microcuencas (Smichowski & Contreras, 2022).

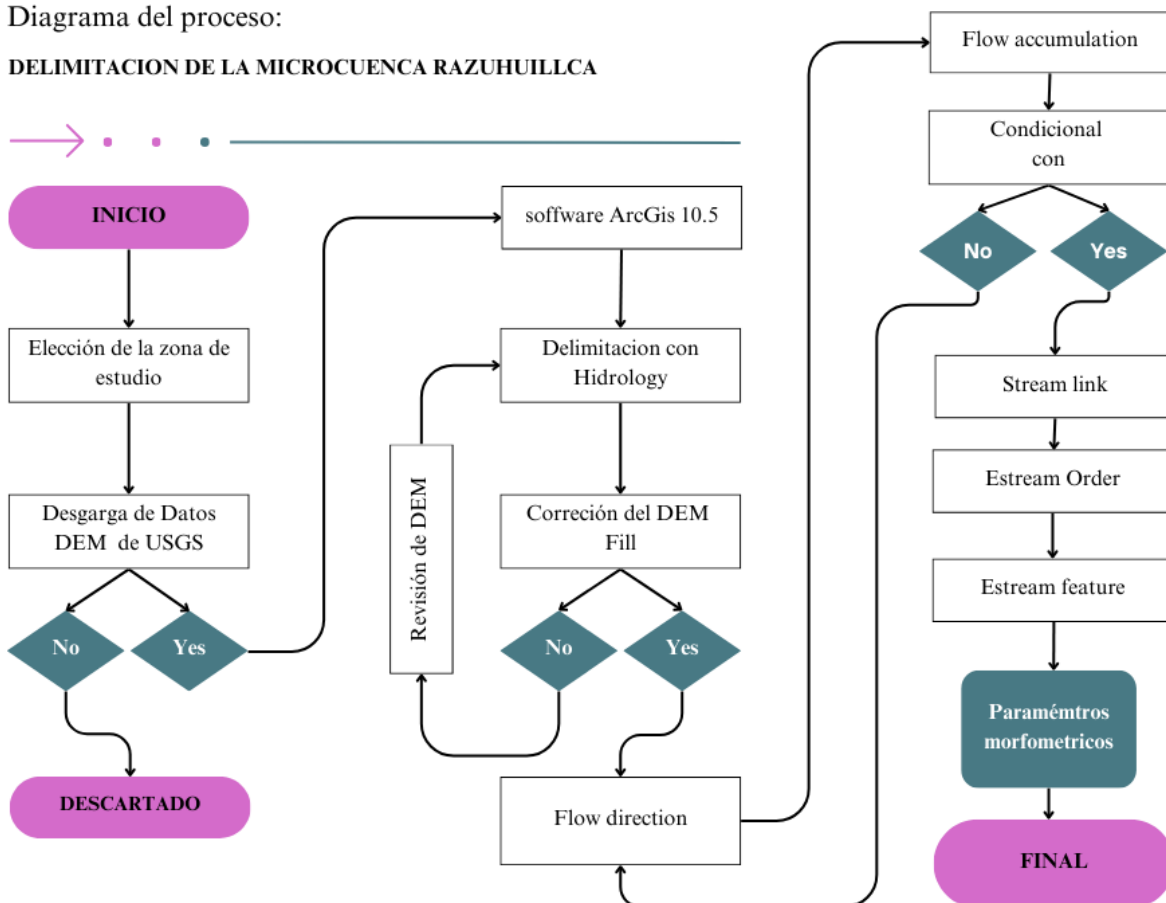
3.7. Métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos

Figura 10

Flujograma de la delimitación de la microcuenca Razuhuillca

Diagrama del proceso:

DELIMITACION DE LA MICROCUENCA RAZUHUILLCA



Pasos	Estructura metodológica de Sistema de información Geográfica (SIG)
Descarga de los Modelos de elevación digital (DEM)	Se descargó los DEM para la presente investigación desde la página web de USGS, los cuales fueron seleccionados de acuerdo a su resolución: Entity ID: <i>SRTM1S13W075V3</i> , Publication Date: <i>2014-09-23 00:00:00-05</i> , Resolution: <i>1-ARC</i> .
Corrección del DEM	Se corrigió el DEM en el software ArcGis 10.8 y la herramienta hydrology aplicando: <i>ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Hydrology/Fill</i>

Obtención de Flow Direction	<p>El DEM corregido se utilizó para obtener el flujo de dirección basado en el recorrido de una gota de agua dentro de una celda o píxel, comparando la elevación de dicho píxel con las elevaciones del terreno de las ocho celdas vecinas:</p> <p><i>ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Hydrology/Flow Direction</i></p>
Obtención de Flow Accumulation	<p>Con el Flow Direction obtenido se creó una matriz de flujo acumulativo para cada píxel o celda y se calculó el número total de celdas que fluyen hacia cada píxel:</p> <p><i>ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Hydrology/Flow Accumulation</i></p>
Red de drenajes y clasificación método de Strahler	<p>Se calculó la red de drenaje utilizando el flow accumulation y la condicional con:</p> <p><i>ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Map algebra/Raster Calculator</i></p> <p>Red hídrica=con (Flow accumulation>400,1).</p> <p>Luego se calculó el orden de los ríos utilizando el Raster y la red hídrica generado:</p> <p><i>ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Hydrology/Stream Order</i></p>
Delimitación de la microcuenca Razuhuilla	<p>Se delimitó la microcuenca con la función Watershed, que utiliza el Flow direction y el punto de aforo que identifica todas las celdas que contribuyen al flujo hacia dicho punto:</p> <p><i>ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Hydrology/Watershed</i></p>
Cálculo del área y el perímetro	<p>Para calcular el área y perímetro se utilizó la función <i>Calculate Geometry</i>, que toma valores asociados con la elevación y el área designada por los atributos de la función Watershed.</p>
Cálculo de los parámetros de forma, relieve y drenaje.	<p>Para el cálculo de los parámetros morfométricos se utilizaron las ecuaciones descritas en cada parámetro y una tabla de Excel, además de interpretar el resultado de acuerdo a la tabla de clasificación en cada parámetro.</p>
Clasificación de la microcuenca en alta, media y baja.	<p>Se clasificó la microcuenca Razuhuilla utilizando las curvas de nivel en parte alta, media y baja; así mismo utilizando el orden de ríos se generó seis unidades mínimas de respuesta hidrológica quebradas, dos en la parte alta, 1 en la parte media y tres en la parte baja.</p>

Comparación de parámetros de la parte alta, media y baja. Luego de generar los parámetros morfométricos de cada una de las quebradas en la parte alta, media y baja, se ha utilizado el software R Studio para generar gráficos entre diferentes parámetros y luego interpretar.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Proceso de la delimitación de la microcuenca y las quebradas

4.1.1. Descarga de los Modelos de elevación digital (DEM)

Para descargar un Modelo de Elevación Digital (DEM), se registra en la página United States Geological Survey (USGS) <https://earthexplorer.usgs.gov/>, en esta plataforma se generó un área de estudio desde donde se descargó el DEM del área de interés lo cual fue seleccionado de acuerdo a la disponibilidad y su resolución: **Entity ID: SRTMIS13W075V3**, **Publication Date: 2014-09-23 00:00:00-05**, **Resolution: 1-ARC**.

Figura 11

Selección del área de interés

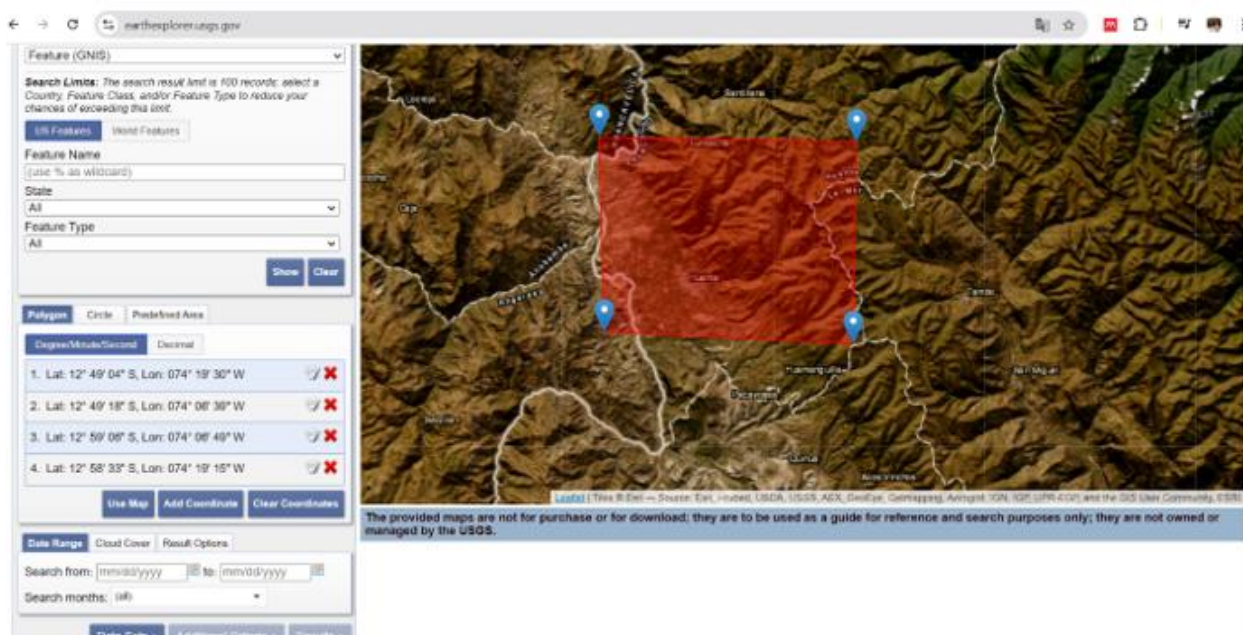
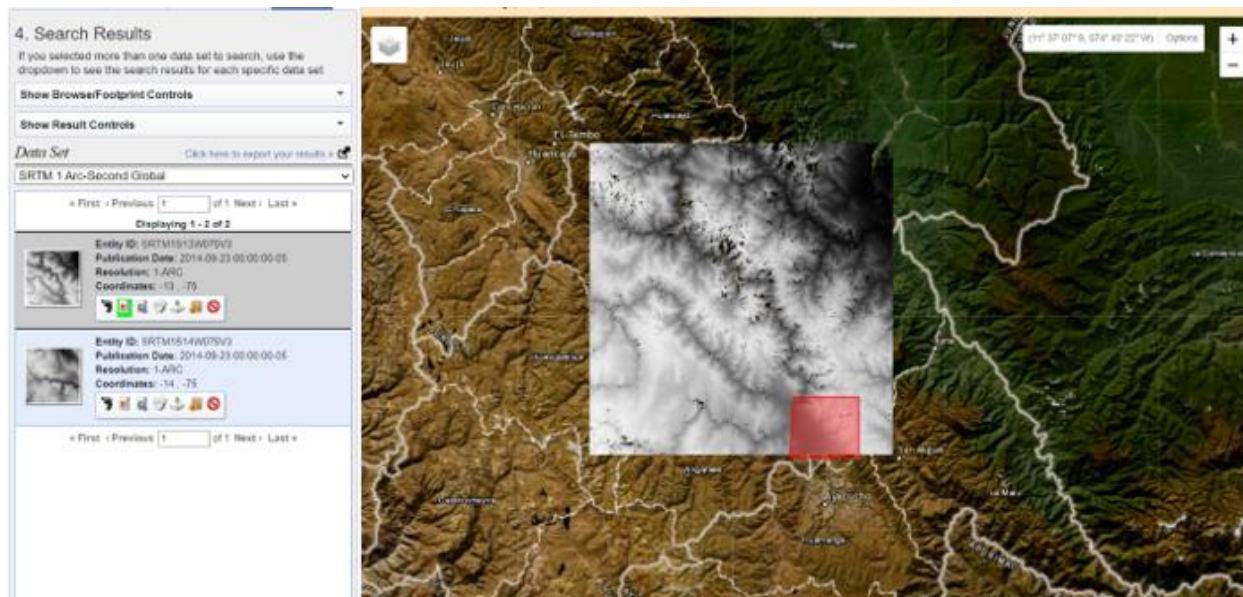
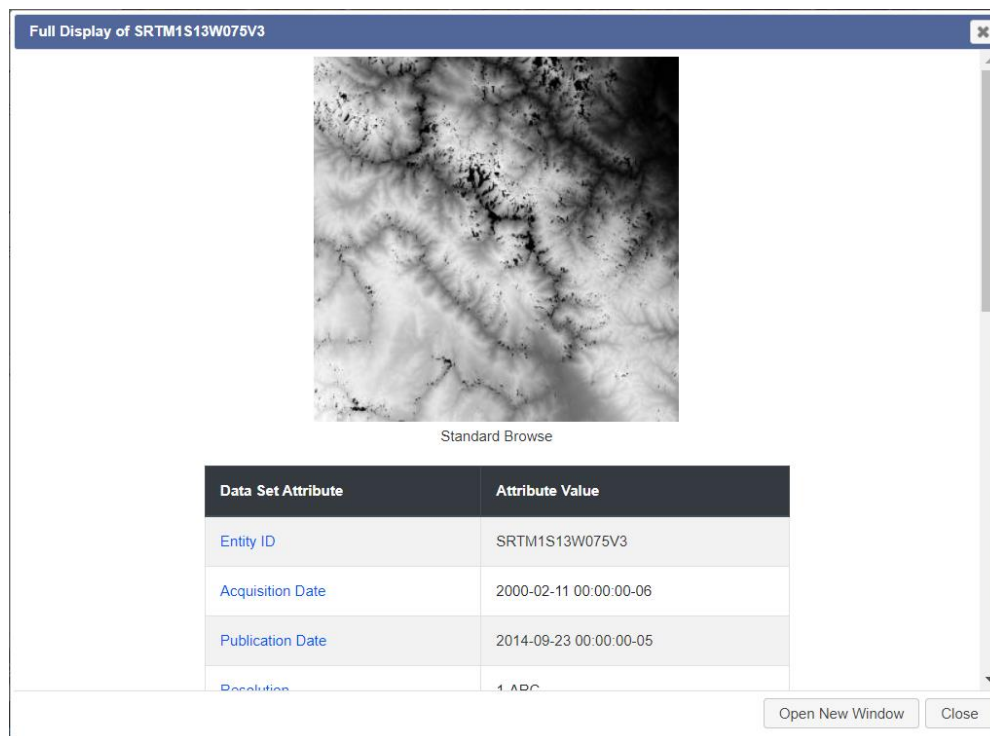


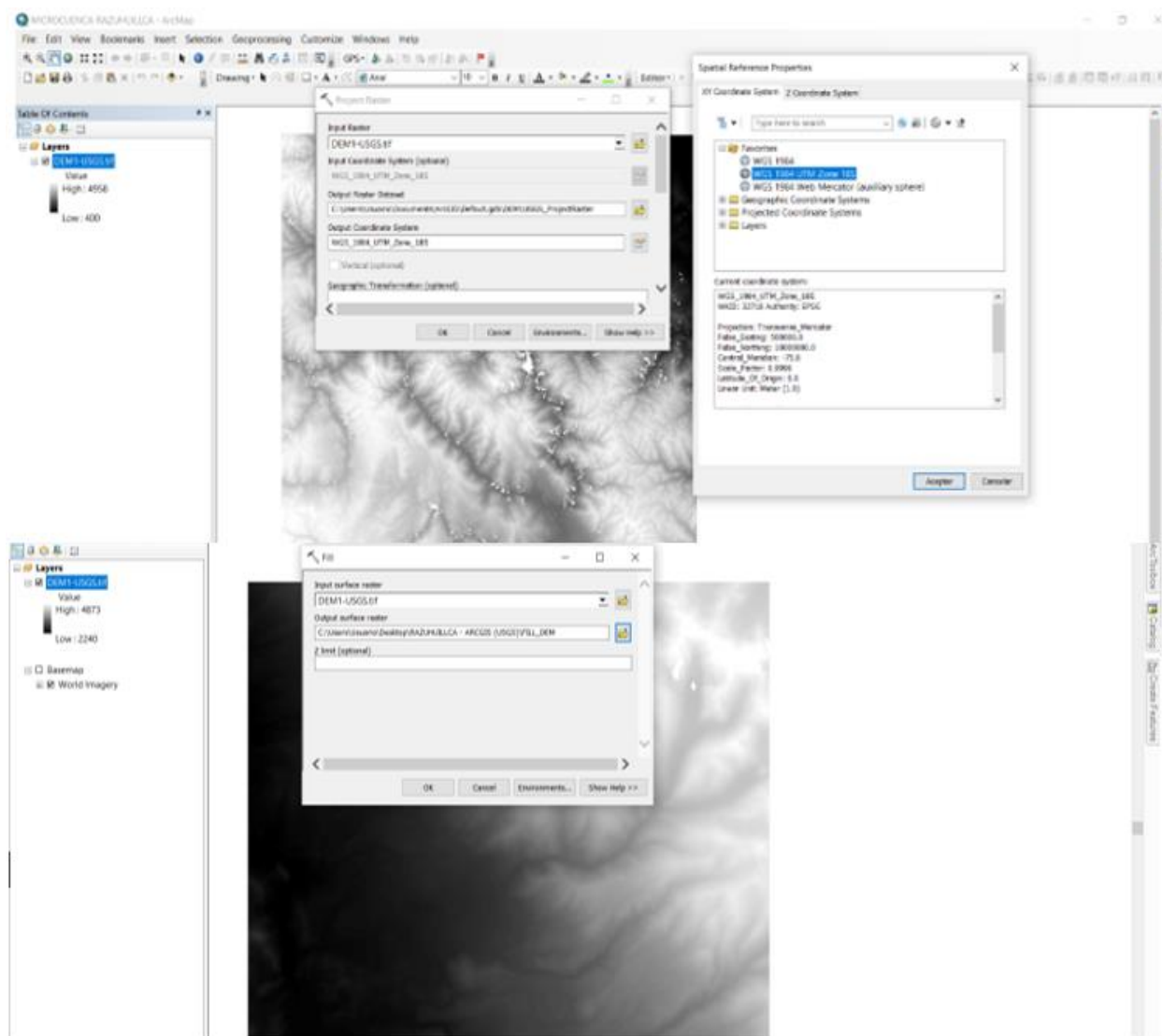
Figura 12*Generación de DEM del área de interés***Figura 13***DEM descargado del área de interés*

4.1.2. Corrección del DEM en el software ArcGIS

Se creó un nuevo proyecto en ArcGIS 10.8. Antes de iniciar el trabajo, se definió la proyección en el sistema UTM: WGS_1984_UTM_Zone_18S. El DEM descargado fue recortado para ajustarlo al área de interés y, posteriormente, se utilizó la herramienta *Fill* (*ArcToolbox* > *Spatial Analyst Tools* > *Hydrology* > *Fill*) para eliminar depresiones o irregularidades en el modelo de elevación digital. Esto garantiza la continuidad del flujo hídrico.

Figura 14

Nuevo proyecto en ArcGIS con coordenadas UTM

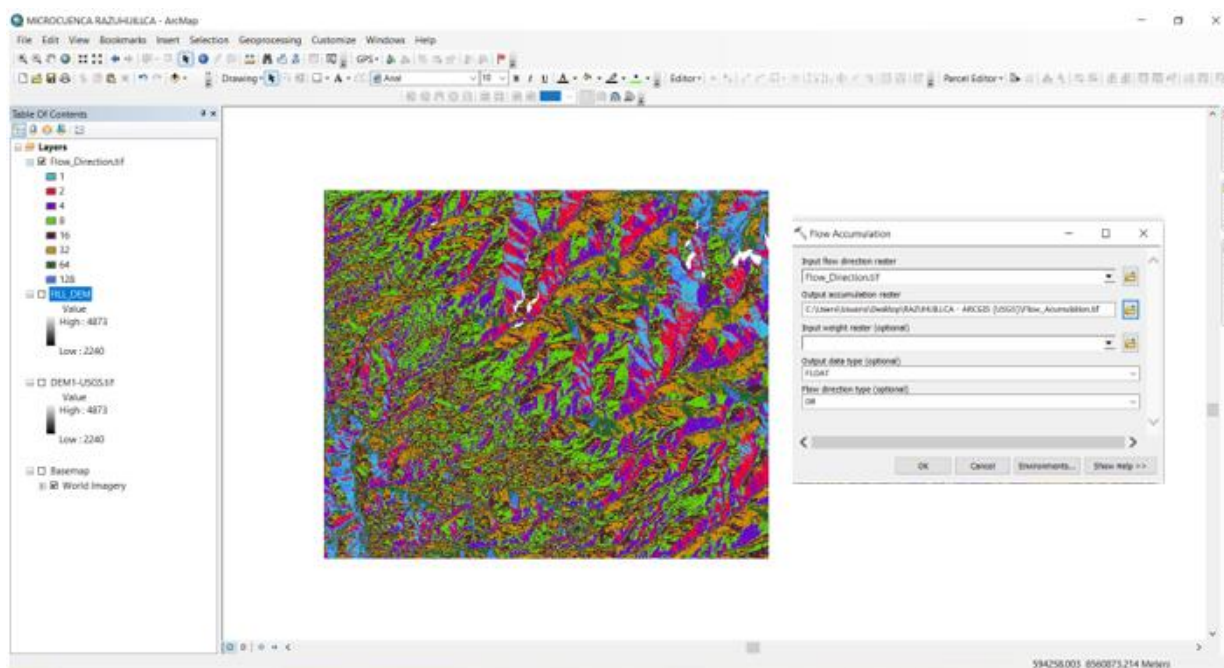


4.1.3. Obtención de Flow Direction

Luego de obtener el DEM corregido, se procedió a calcular la dirección del flujo utilizando la herramienta **Flow Direction** ubicada en *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow Direction*. Este proceso se realiza aplicando el modelo de flujo D8 (Deterministic Eight-Node), que asigna a cada celda del raster corregido una dirección de flujo hacia la celda vecina con el menor valor de elevación.

Figura 15

Obtención de la dirección de flujo con la herramienta Flow Direction

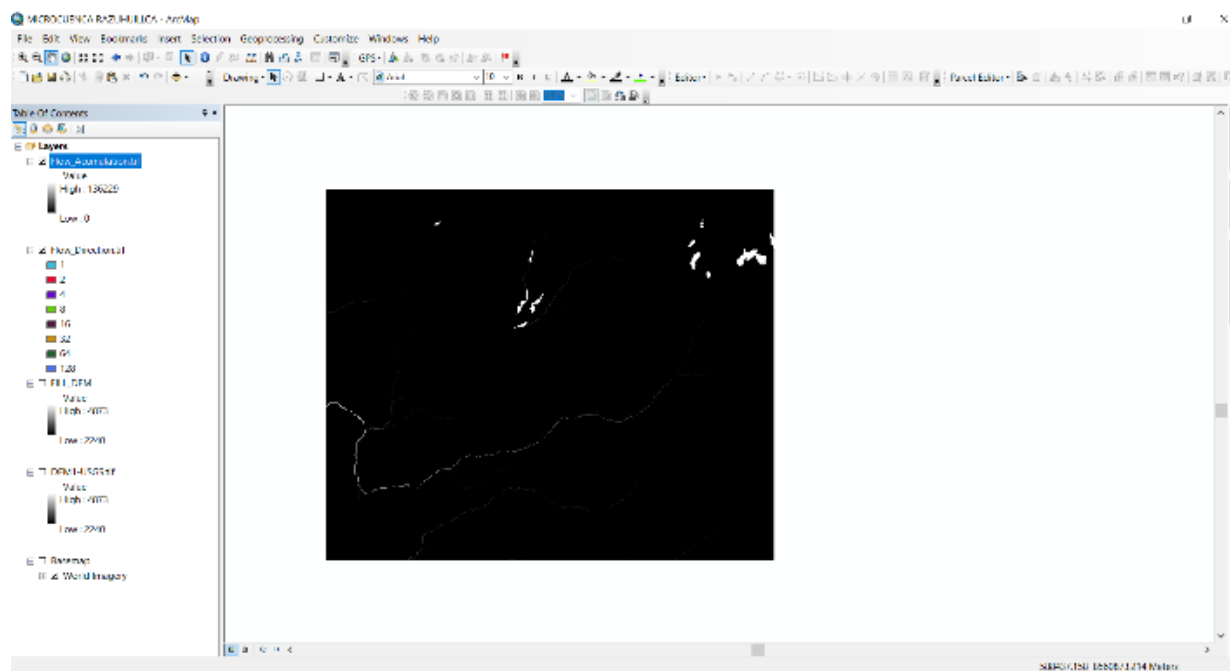


4.1.4. Obtención de Flow Accumulation

Con la dirección de flujo obtenida, se procedió a calcular la acumulación de flujo utilizando la herramienta **Flow Accumulation**, ubicada en *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow Accumulation*. Este proceso permite determinar la cantidad de flujo acumulado que converge hacia cada celda del raster, para verificar las áreas de mayor concentración de agua.

Figura 16

Obtención del flujo acumulado con la herramienta Flow accumulation



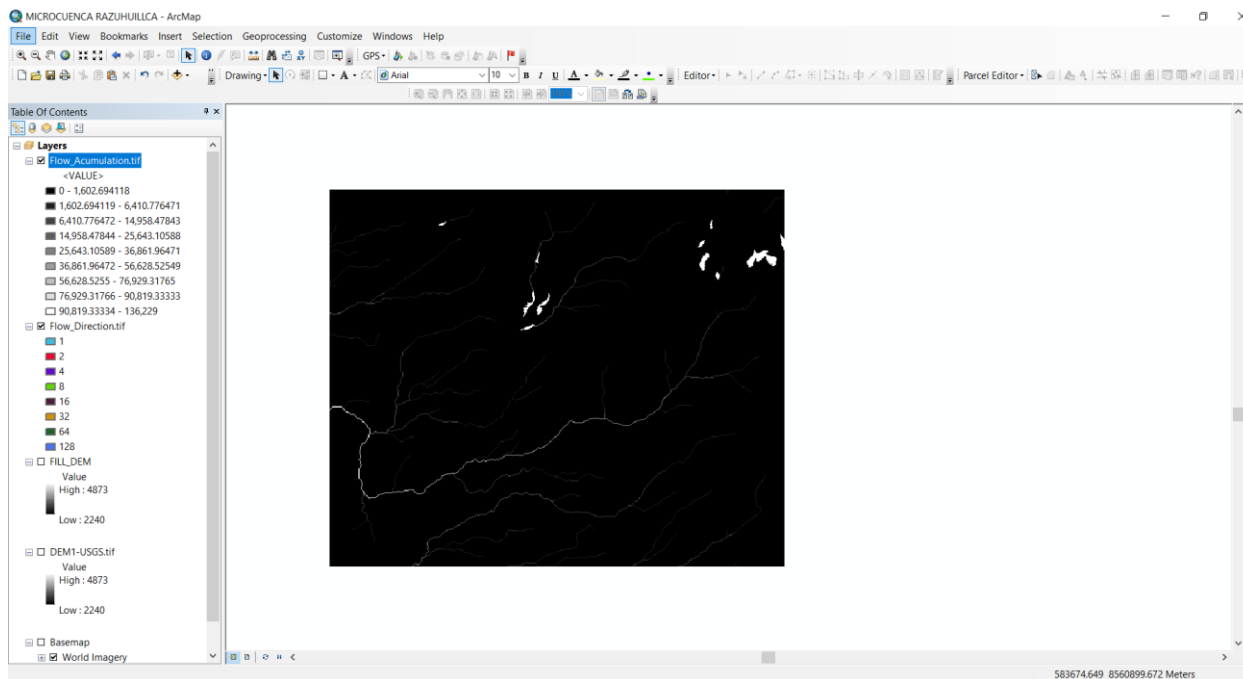
4.1.5. Red de drenajes y clasificación método de Strahler

Luego de obtener el flujo acumulado, se procedió a la generación de la red de drenaje empleando la herramienta condicional "Con" en *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator*. Para ello, se utilizó la expresión: Red hídrica = Con (Flow Accumulation > 400, 1), donde las celdas con un valor de acumulación mayor a 400 fueron clasificadas como parte de la red de drenaje, asignándoles un valor de 1, mientras que el resto recibió un valor nulo.

Posteriormente, se calculó el orden de los ríos utilizando la herramienta Stream Order, ubicada en *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Stream Order*. Este análisis permitió clasificar los cursos de agua según el método de ordenamiento de ríos seleccionado, proporcionando una jerarquización de la red de drenaje.

Figura 17

Obtención de la Red hídrica con la herramienta Raster Calculator



4.1.6. Delimitación de la microcuenca Razuhuilca

Para la delimitación de la microcuenca, se identificó el punto de aforo de la red hídrica, el cual se utilizó como referencia para generar un punto en el raster. A continuación, empleando la herramienta **Watershed**, ubicada en *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Watershed*, se delimitó la extensión de la microcuenca, determinando las áreas que drenan hacia el punto de aforo.

Posteriormente, se generó el archivo vectorial (Shapefile) de la microcuenca utilizando la herramienta **Raster to Polygon**, localizada en *ArcToolbox > Conversion Tools > From Raster > Raster to Polygon*. Este paso transformó la delimitación raster en un polígono vectorial

Figura 18

Determinación del punto de aforo

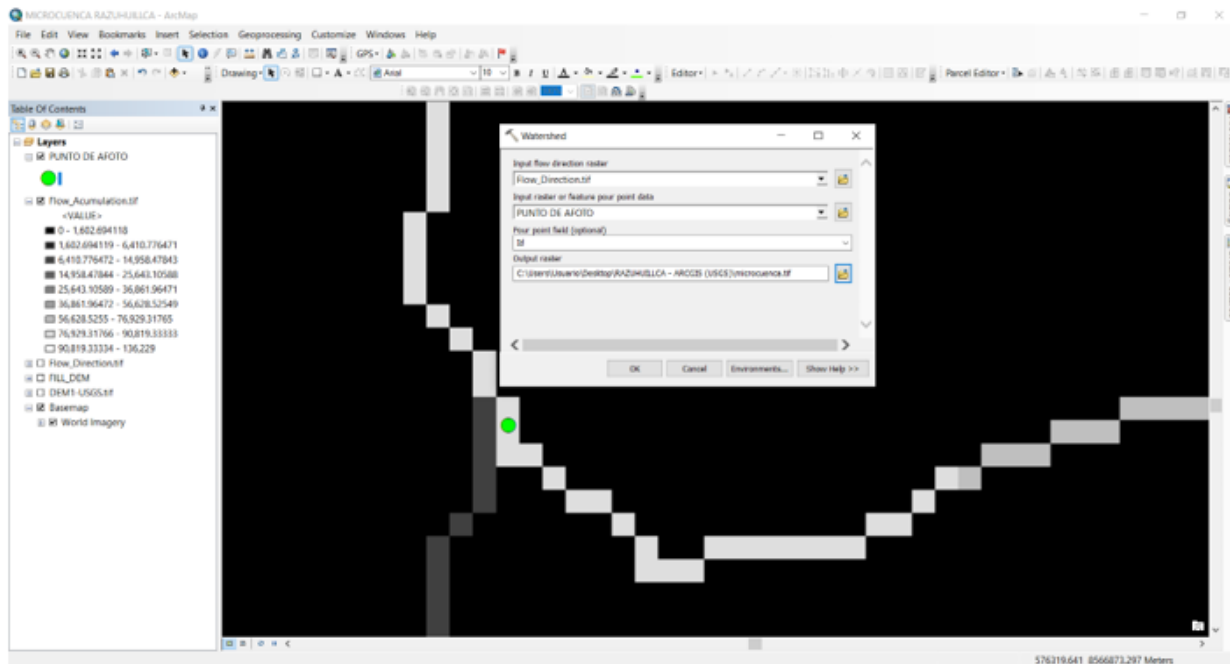
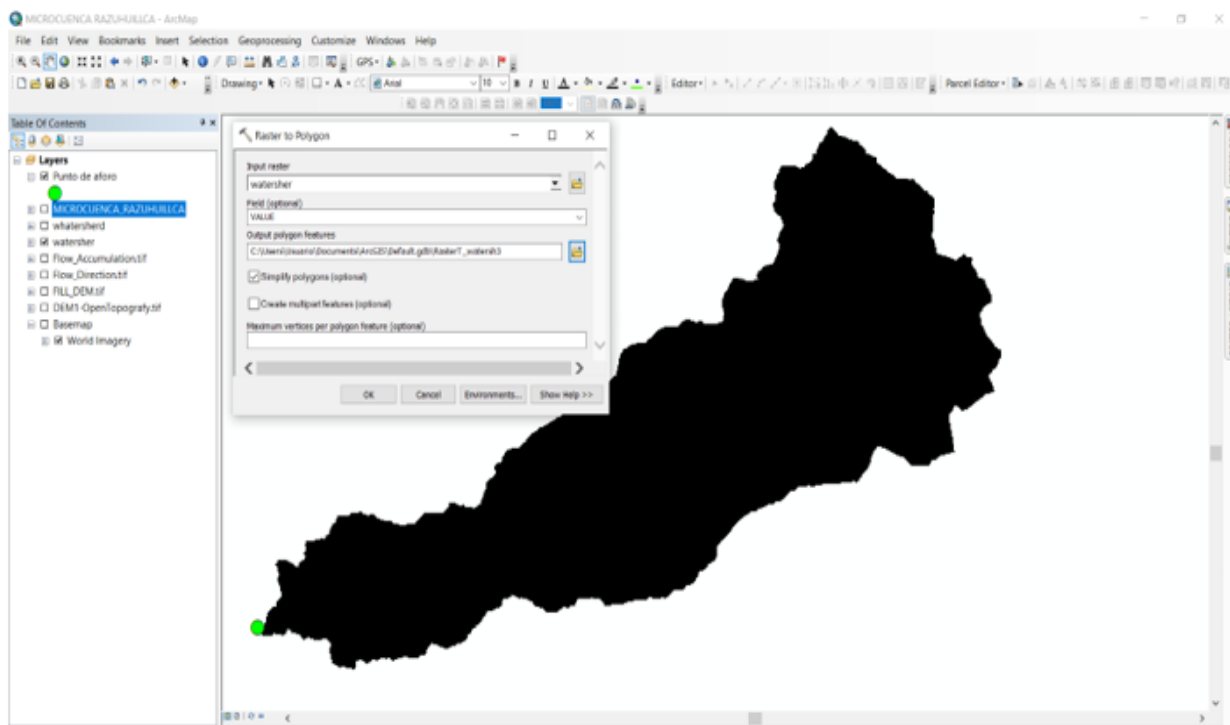


Figura 19

Generación de la microcuencia Razuhuilca

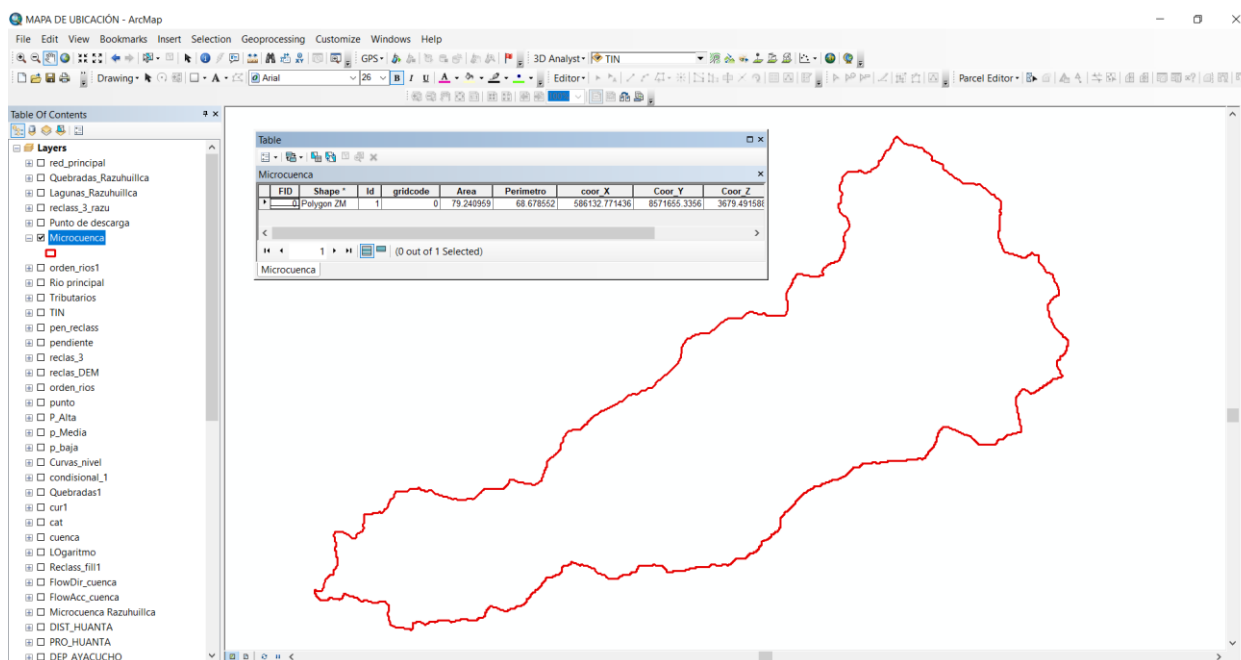


4.1.7. Cálculo del área y el perímetro

Con el Shapefile generado de la microcuenca, se calcularon el área, el perímetro, las coordenadas en X y las coordenadas en Y utilizando la herramienta *Calculate Geometry*. Además, se calcularon la longitud máxima y el ancho máximo empleando la herramienta *Measure*.

Figura 20

Cálculo de la información básica de la microcuenca

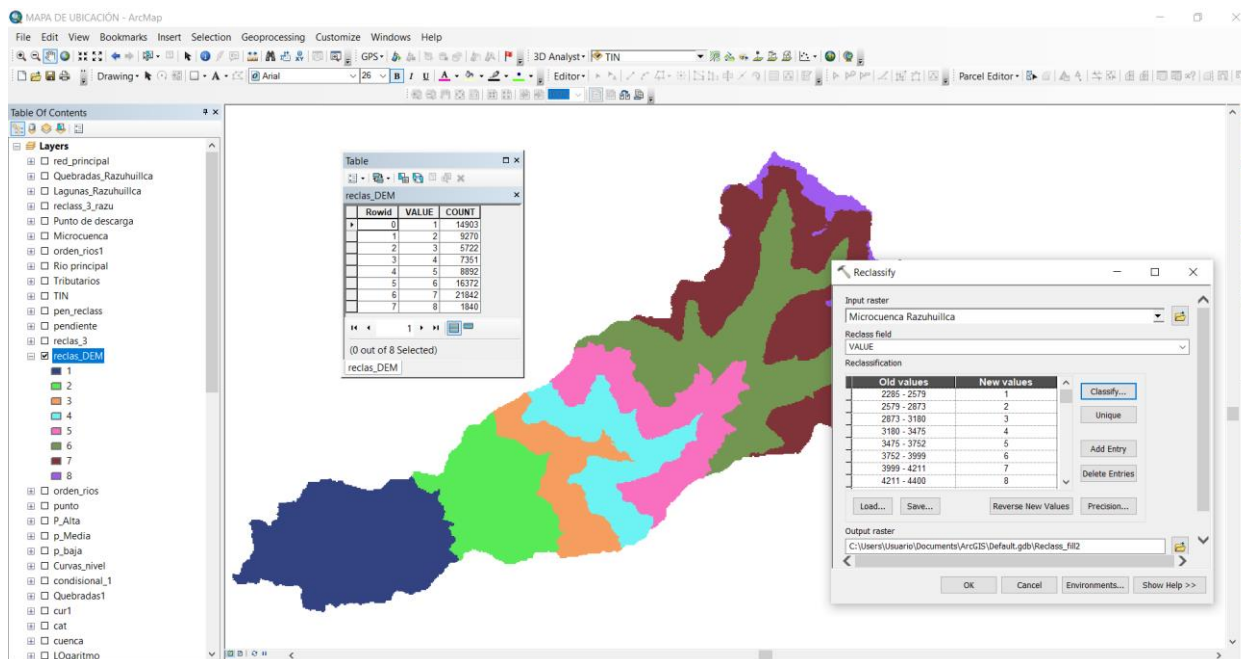


4.1.8. Reclasificación del archivo Ráster

Se utilizó el DEM generado anteriormente, el cual fue reclasificado para interpretarlo de manera adecuada como archivo ráster. Para ello, se siguió la ruta *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify*. Posteriormente, se ingresaron los datos y se configuraron los rangos de valores en intervalos iguales.

Figura 21

Reclasificación de archivo ráster de la microcuenca Razuhuilca

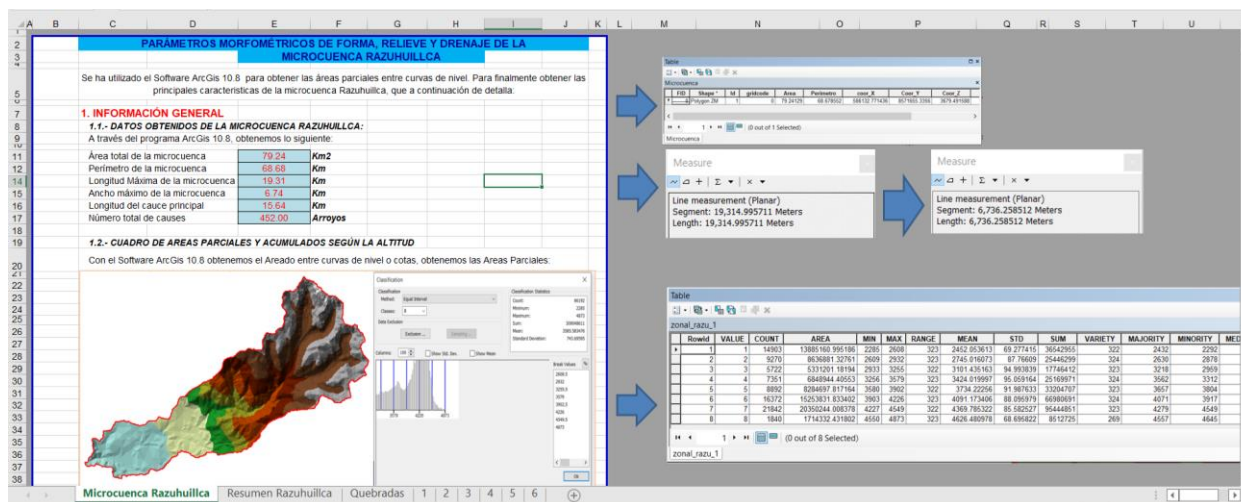


4.1.9. Cálculo de los parámetros de forma, relieve y drenaje.

Luego de calcular la información básica de la microcuenca como son el área, perímetro, longitud del cauce principal, longitud máxima y ancho máximo; se procedió a calcular los parámetros morfométricos de forma, relieve y drenaje para lo cual se utilizó un archivo Excel y las fórmulas de cada parámetro descrito en el ítem 2.2.5, 2.2.6, 2.2.7 y 2.2.8

Figura 22

Cálculo de los parámetros morfométricos de la microcuenca

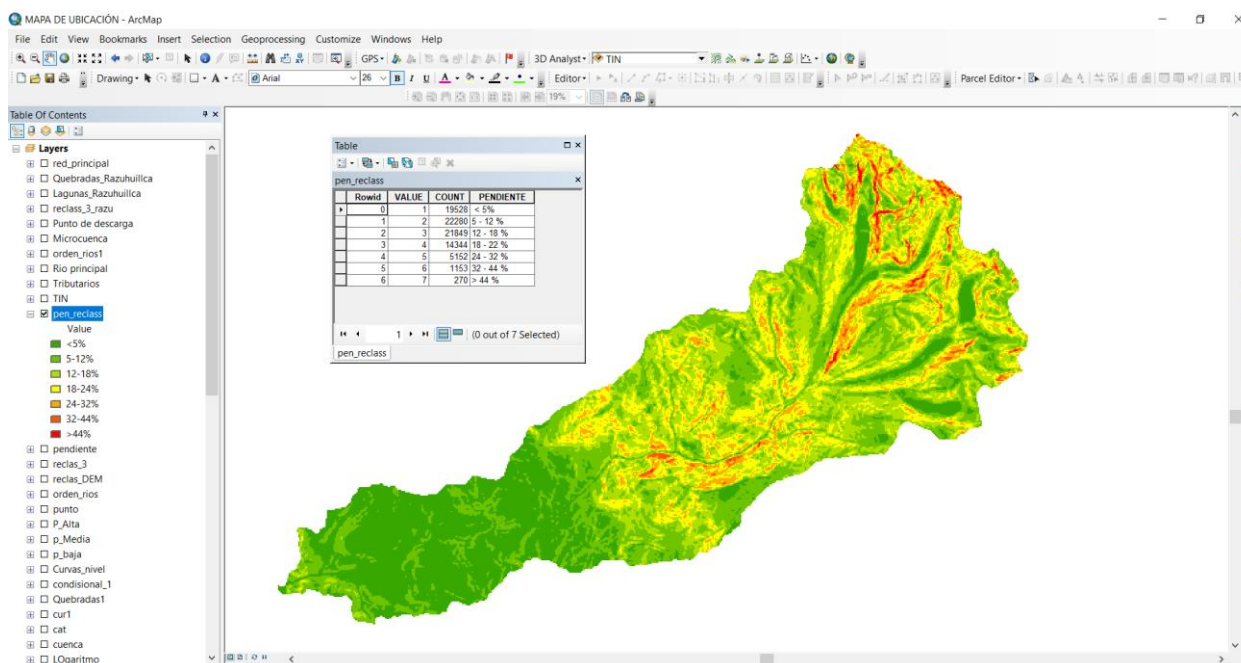


4.1.10. Generación de la pendiente dentro de la microcuenca

Se utilizó la herramienta *3D Analyst Tools > Raster Surface > Slope* para calcular el valor de la pendiente en porcentaje. Posteriormente, la pendiente se reclasificó en siete clases, de acuerdo con la Tabla 7. Para extraer información estadística, se empleó la herramienta *Zonal Statistics as Table* siguiendo la ruta *ArcToolbox > Zonal*.

Figura 23

Obtención de la pendiente de la microcuenca

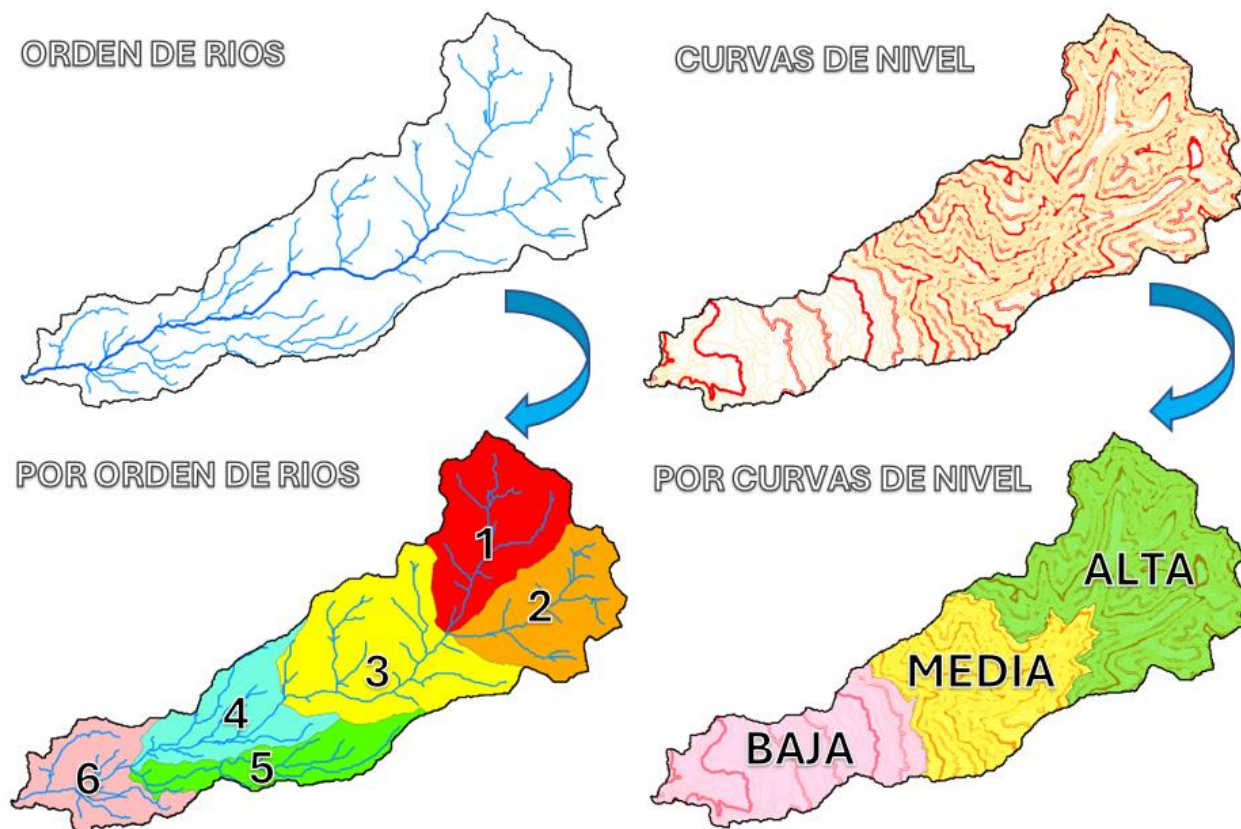


4.1.11. Clasificación de la microcuenca en alta, media y baja y la generación de las quebradas.

La clasificación de la microcuenca en la parte alta, media y baja se ha realizado teniendo en cuenta las curvas de nivel que la parte baja va de 2285 hasta 3000 msnm., la parte media que va de 3000 hasta 3980 msnm y la parte alta de 3980 hasta 4873 msnm. además de eso, con la red de drenaje generado también se generó las unidades mínimas de respuesta hidrológica más conocido como “Quebradas” teniendo en cuenta el orden de ríos.

Figura 24

Clasificación de la microcuenca y la obtención de las quebradas

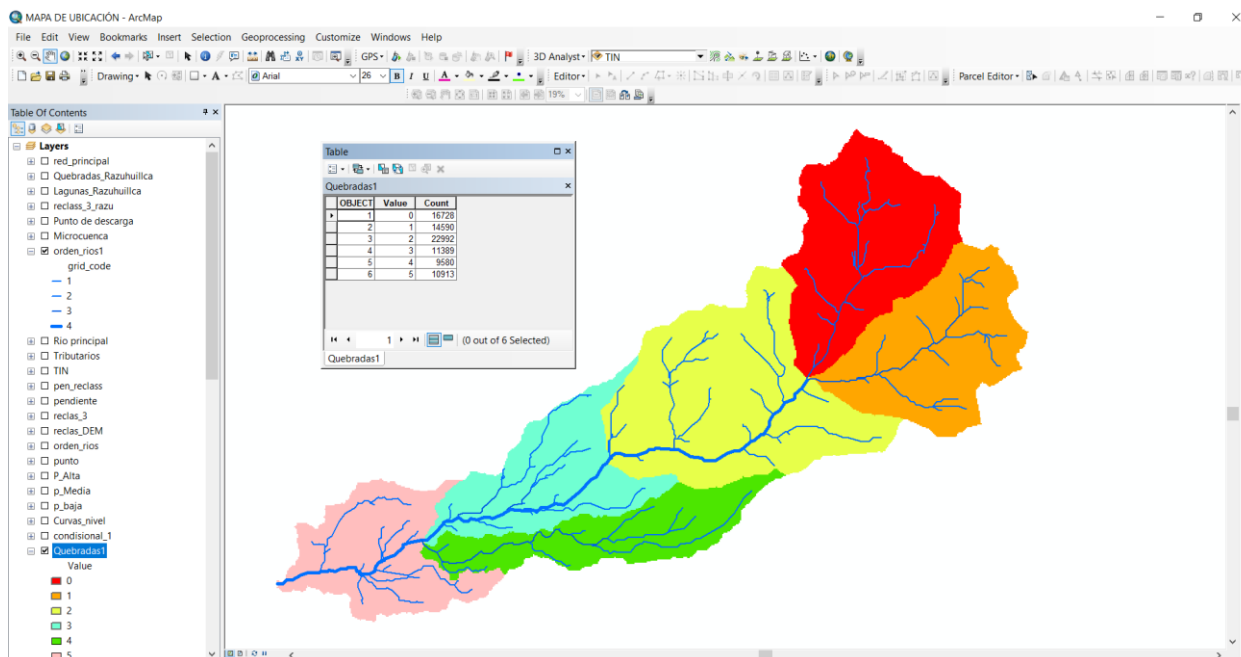


4.1.12. Cálculo de los parámetros morfométricos de cada quebrada en la parte alta, media y baja de la microcuenca.

El proceso del cálculo de los parámetros morfométricos utilizando las herramientas de hydrology de las Quebradas fue similar al de la microcuenca, generando el DEM, Flow Accumulation, Flow Direction, Pendiente, entre otros. Para el cálculo de los parámetros también se utilizó las ecuaciones de cada parámetro y un archivo Excel.

Figura 25

Cálculo de las Quebradas de la parte alta, media y baja.



4.2. Resultados morfométricos y discusión

4.2.1. Parámetros generales de la microcuenca

En la siguiente Tabla, se muestra los resultados de parámetros generales calculados para la microcuenca Razuhuillca.

Tabla 15

Resultados de la información general de la microcuenca

Microcuenca	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud del cauce principal (km)	Largo (km)	Ancho (km)
Razuhuillca	79.24	69.68	15.64	19.31	6.74

La microcuenca Razuhuillca presenta un área de 79.24 km², de acuerdo a la Tabla 1 (clasificación según las áreas) establecido por Jiménez et al., (1986) y Reyes et al., (2010) se considera a esta unidad hidrográfica como una “Microcuenca”. El perímetro de la microcuenca es de 69.68 km; mientras que la longitud del cauce principal alcanza los 15.64 km, lo que indica una cuenca con un sistema fluvial relativamente extenso (Serrão et al., 2019). En cuanto a las dimensiones de la

cuenca, el largo es de 19.31 km y el ancho de 6.74 km, lo que sugieren Cañibano et al., (2016); Ramón et al., (2018); Barboza et al., (2019) y Shah et al., (2022) una forma alargada, característica que puede influir en los patrones de escorrentía y tiempos de concentración.

4.2.2. Parámetros de forma

El factor de forma fue de 0.32, lo cual indica que la microcuenca es alargada (ver Tabla 2) y es considerada por Sellers et al., (2017), como una microcuenca con mayor tendencia a la conservación del medio ambiente. El índice de circularidad de Miller, con un valor de 0.21 clasificado como oblonga (ver Tabla 3) es considerado por Chow, (1994); Ramírez, (2018), indican que el flujo de agua se distribuye lentamente, reduciendo los picos repentinos en el caudal y minimizando el riesgo de inundaciones severas. El coeficiente de compacidad o Gravelius de 2.16 confirma la morfología alargada (ver Tabla 4) y de acuerdo a Montoya et al., 2009; Souza et al., 2021, el tiempo de concentración es prolongada y disminuye la probabilidad de inundaciones repentinas. Por otro lado, la relación de elongación, con un valor de 0.64 clasificado como alargada (ver Tabla 5) que, de acuerdo a Viramontes et al., (2017), presenta una morfología irregular caracterizada por porciones accidentadas y una longitud mayor que su ancho, lo que genera un drenaje más disperso y tiempos de concentración extendidos. El índice de alargamiento de 2.87, clasificado como muy alargado (ver Tabla 6) de acuerdo a Balden, (2016); Alves et al., (2019), refuerzan que el tiempo de concentración es prolongada. En la Tabla 16, se presenta un resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 16

Resultados de los parámetros morfométricos de forma

Nº	Parámetros de Forma	Unidad	Valor	Clasificación
1	Factor de forma de Horton (Kf)	Adimensional	0.32	Alargada
2	Índice de circularidad de Miller (Ic)	Adimensional	0.21	Oblonga

3	Coefficiente de compacidad o Gravelius (Kc)	Adimensional	2.16	Alargada
4	Relación de elongación (Re)	Adimensional	0.64	Alargada
5	Índice de alargamiento (Ia)	Adimensional	2.87	Muy alargada

Los parámetros de forma indican que la microcuenca Razuhuillca se caracteriza por su clasificación "alargada", lo que resulta en un tiempo de concentración más prolongado desde la zona alta hasta la baja. Según los estudios de Sellers et al., (2017); Alves et al., (2019), una microcuenca alargada tiene un mayor tiempo de concentración, presenta un menor riesgo de inundación frente a eventos de precipitación en comparación con una microcuenca redonda de igual superficie; así mismo Ramírez & Alfaro, (2018) destaca que, durante épocas de precipitación, las cuencas alargadas tienden a tener mejor respuesta hidrológica debido a que mantiene el agua acumulada durante un período más prolongado.

4.2.3. Parámetros de relieve

El índice de pendiente de 8.61% y la pendiente media de 8.13% ubican a la microcuenca en la categoría de medianamente accidentada (ver Tabla 7), de acuerdo a Capoane & Alencar, (2020) Bezerra et al., (2022), expresa que a una mayor pendiente corresponde una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al curso principal, evidentemente favoreciendo a la escorrentía superficial; en esta microcuenca cabe destacar que algunas partes de la microcuenca presentan pendientes accidentadas con una pendiente que varía entre 24 % a 32% , estos datos fueron verificados en campo (ver anexo 23, fotos g y h); además el parteaguas de la microcuenca presenta una pendiente mayor a 44% lo que se clasifica como muy escarpado, siendo el acceso a esta zona casi imposible.

Por otro lado, las características altimétricas, como la altitud media de frecuencias de 3588.87 msnm y la altura media simple de 3579 msnm, que de acuerdo a Shah et al., (2022),

sugiere que la microcuenca se encuentra predominantemente en un área de medianamente montañosa, esto se pudo constatar en campo que la parte media y baja de la microcuenca presenta regular densidad de árboles (ver anexo 24, foto e, f, g y h). Además, el desnivel altitudinal de 2588 m s.n.m, resalta la marcada variación de elevaciones en la microcuenca, que, de acuerdo a Chopra et al., (2005); Montoya et al., (2009); Verdugo, (2017); Ramón et al., (2018), que la diferencia altitudinal mayor a los 2000 m s.n.m se asocia a una diversidad de condiciones topográficas que afectan tanto los patrones de drenaje como el comportamiento hidrológico. En la Tabla 17, se presenta un resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 17

Resultados de los parámetros morfométricos de relieve

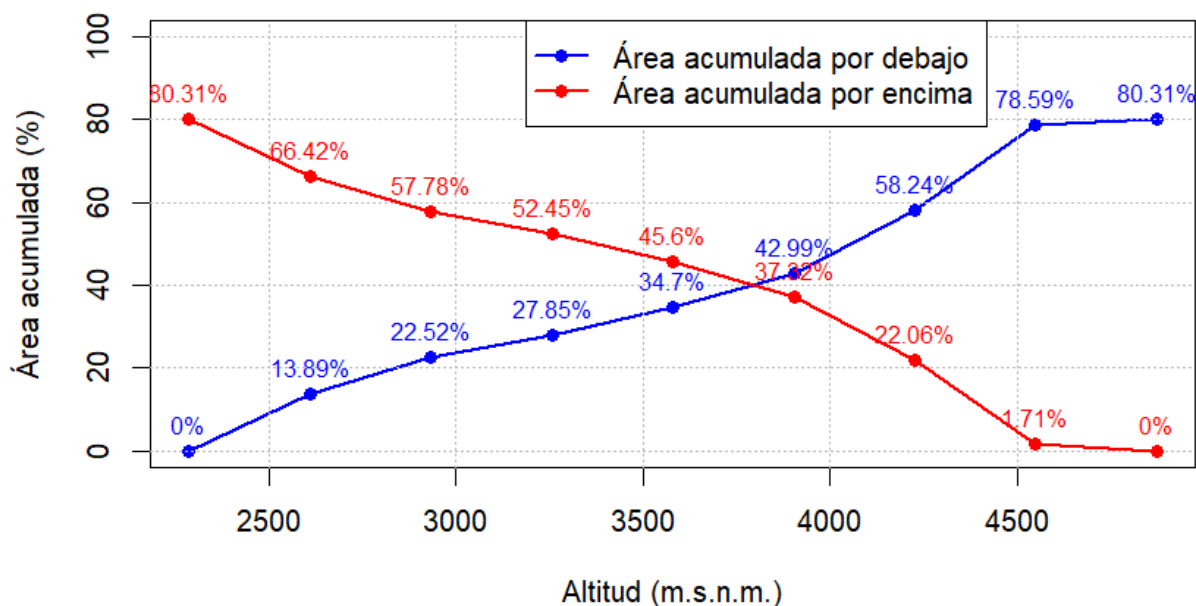
Nº	Parámetros de Relieve	Unidad	Valor	Clasificación
1	Índice de pendiente de la microcuenca (%)	%	8.61	Medianamente accidentado
2	Pendiente de la microcuenca (%)	%	8.13	
3	Pendiente media del cauce principal (Sm)	%	7.83	Suave
4	Desnivel altitudinal de la microcuenca (G)	msnm.	2588	-----
5	Altitud media simple (Hms)	msnm.	3579	-----
6	Altitud media de frecuencia (Am)	msnm.	3588.87	-----

La curva hipsométrica de la microcuenca, representada en la Figura 26, muestra características que, al compararse con las curvas descritas por Strahler (ver Figura 5), indican que esta microcuenca corresponde a un río en etapa de madurez. Esta etapa intermedia se caracteriza por un estado de equilibrio, reflejando en un balance entre los procesos de erosión y sedimentación.

Según Moresco & Silca, (2016), las microcuencas en etapas de madurez suelen presentar una mayor estabilidad geomorfológica, lo que las convierte en áreas clave para la planificación de actividades agrícolas y de conservación.

Figura 26

Curva hipsométrica de la microcuenca Razuhuilca



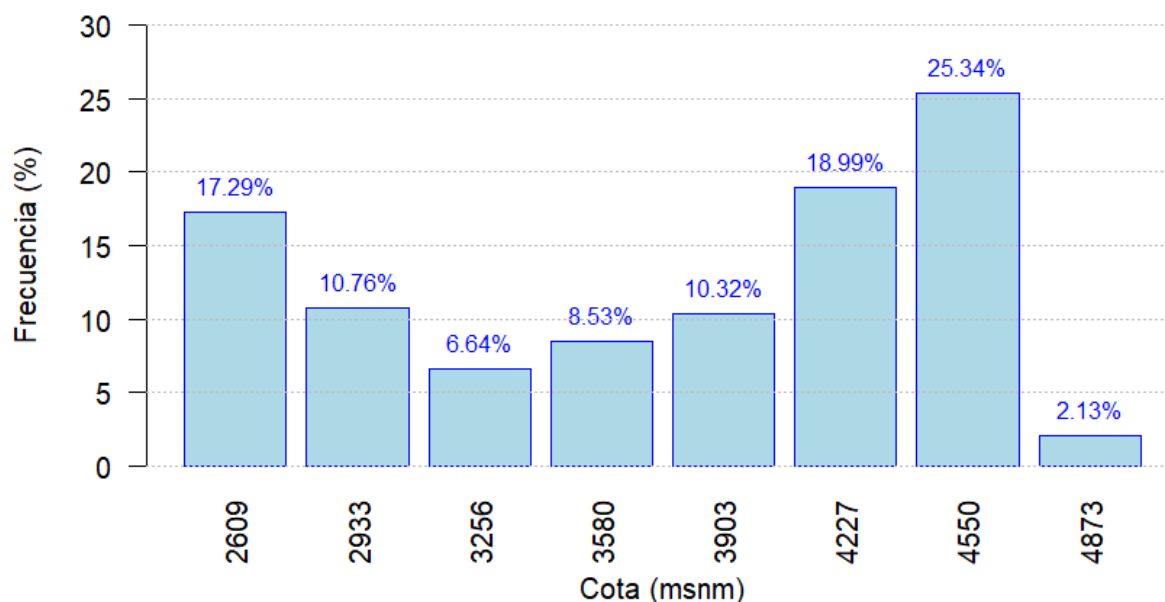
Asimismo, la pendiente del cauce principal es suave, con un 7.83%, lo que provoca un flujo lento alimentado por numerosos afluentes. Según Kanhaiya et al., (2019), cuando un río alcanza la etapa de madurez, su sección transversal se amplía, se forman pequeñas planicies de inundación y comienzan a desarrollarse meandros. Estas características de formación de pequeñas planicies y la formación de meandros aún no se puede observar con total claridad dentro de la microcuenca, pero en la parte baja se puede ver el inicio de esta formación (ver anexo 25, fotos f, g y h), donde se identifican condiciones similares que confirman esta etapa de desarrollo.

Utilizando los mismos datos se generaron el histograma de la microcuenca figura 27, con el método mencionado (Ver Figura 6). Con las figuras de la curva hipsométrica y el polígono de frecuencias altimétricas, se pudo determinar, que en la parte media y alta de la microcuenca (3000 a 4873 msnm) se presenta una pendiente fuertemente accidentado; mientras que en la parte baja de 2285 a 3000 msnm la pendiente es suave (ver anexo 25, foto d), Gualdrón et al., (2022) menciona cuando se presenta estas condición, existe la presencia de pequeñas llanuras,

efectivamente estas pequeñas llanuras se puede ver en la parte baja Pampa de Maynay, Pampachacra, kinrapa y Viruviru.

Figura 27

Polígono de Frecuencias altimétricas



4.2.4. Parámetros de drenaje

La longitud total de la red hídrica fue medido a través de la suma total de las corrientes, resultando ser 124,01 km, valor utilizado para el cálculo de la densidad de drenaje de la microcuenca. La microcuenca tiene una densidad de drenaje de 1,56 km de río por Km^2 , clasificada como moderada según Delgadillo et al., (2008) (ver Tabla 10), según Oré, (2010); Ramón et al., (2018) y Gualdrón et al., (2022) para esta densidad de drenaje sugieren un equilibrio geomorfológico e hidrológico. El orden de ríos 4 corresponde a clase media (ver Tabla 9). La frecuencia de drenaje de 5.7 arroyos/ km^2 es considerada moderada (ver Tabla 12), según Moresco & Silca (2016) está asociado a un drenaje denso con suelos poco permeables, vegetación moderada y pendientes pronunciadas. Por otro lado, la relación de bifurcación de 4.52, clasificada como moderada (Ver Tabla 13) y el coeficiente de torrencialidad 2.99 clasificado como Alta (ver Tabla

14), según lo que menciona Rivas et al., (2019) estos valores reflejan una estructura de drenaje de alta torrencialidad con un proceso de erosión alto en los cauces de orden 1 y con tiempo de concentración más prolongado con transporte de sedimentos. En la Tabla 18, se presenta un resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 18

Resultados de los parámetros morfométricos de drenaje

N°	Parámetros de Drenaje	Unidad	Valor	Clasificación
1	Orden de corrientes (O)	Adimensional	4.00	Media
2	Densidad de drenaje (Dd)	km/km ²	1.56	Moderada
3	Tiempo de concentración (Tc)	min	70.26	Moderado
4	Frecuencia de drenaje (Fd)	arroyos/km ²	5.70	Moderada
5	Relación de Bifurcación (Rb)	Adimensional	4.52	Moderada
6	Coficiente de torrencialidad (Ct)	Adimensional	2.99	Alta

El tiempo de concentración promedio en la tabla 19 fue de 70.26 minutos utilizando diversos métodos en el cálculo, como California Culvert, Témez y Kirpich. Se clasifica como moderado según los criterios descritos en la Tabla 11. Esta clasificación concuerda con los parámetros establecidos por Dos Santos et al., (2019).

Tabla 19

Tiempo de concentración por diferente método

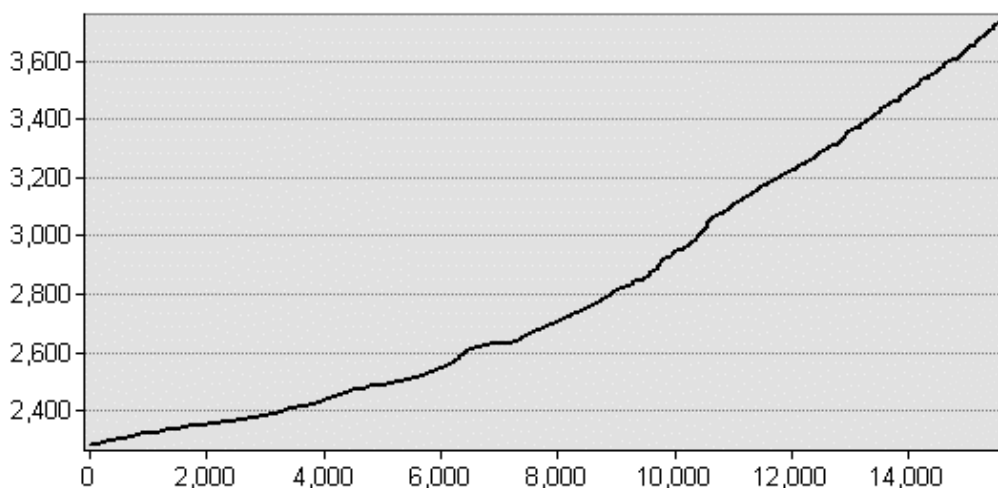
Método	Tiempo (min)	Promedio
California Culvert	66.12	
Témez	61.34	
Kirpich	65.79	
Scs-Ranser	53.16	
V.T. Chow	71.41	70.26
Giandotti	87.08	
Clark	69.78	

Passini	87.42
---------	-------

En la Figura 28 se presenta el perfil longitudinal del río principal, se observa pendientes pronunciadas en la zona media de la microcuenca, donde está ubicada la catarata de Huancayooc. En contraste, la parte baja presenta pendientes más suaves, con altitudes que varían entre 2285 msnm y 3000 msnm. En esta última zona, gran parte de la superficie está destinada a actividades agrícolas (ver anexo 25, fotos d y h) como el cultivo de maíz, tuna, alfalfa, tara y otras especies. Finalmente, el cauce principal desemboca como un afluente en la subcuenca del río Cachi.

Figura 28

Perfil longitudinal del cauce del río principal



4.3. Resultados morfométricos de las quebradas

En la Tabla 20, se presenta el resultado de los parámetros morfométricos de las unidades mínimas de respuesta hidrológica de la microcuenca Razuhuilca denominados Quebradas, siendo Q1, Q2 que están ubicadas en la parte alta, Q3 que está ubicado en la parte media y Q4, Q5 y Q6 en la parte baja. Se calculó los parámetros de área (A), perímetro (P), factor de forma (Kf), índice de circularidad o Razón de Miller (Ic), coeficiente de compacidad o Gravelius (Kc), relación de

elongación (Re), pendiente (S), densidad de drenaje (Dd), tiempo de concentración (Tc), frecuencia de drenaje (Fd), relación de bifurcación (Rb) y coeficiente de torrencialidad (Ct), utilizando las ecuaciones correspondientes para cada parámetro.

Tabla 20

Resultados morfométricos de las quebradas de la microcuenca Razuhuilla

Clasif.	Nº	A	P	Kf	Ic	Kc	Re	S	Dd	Tc	Fd	Rb	Ct
Alta	Q1	15.68	17.46	0.73	0.64	1.24	0.96	17.95	1.14	29.98	4.30	4.52	2.82
	Q2	13.69	16.81	0.60	0.60	1.28	0.88	14.21	1.28	30.04	4.34	4.34	2.13
Media	Q3	21.42	21.99	0.98	0.56	1.33	1.12	19.19	1.36	24.21	5.93	5.00	3.13
	Q4	10.61	19.86	0.39	0.34	1.71	0.70	15.87	2.01	32.11	7.54	5.34	2.83
Baja	Q5	8.92	21.26	0.30	0.25	1.99	0.61	15.04	2.00	25.60	3.48	2.62	1.91
	Q6	10.17	18.89	0.77	0.36	1.66	0.99	3.74	1.81	35.56	6.39	4.52	4.03

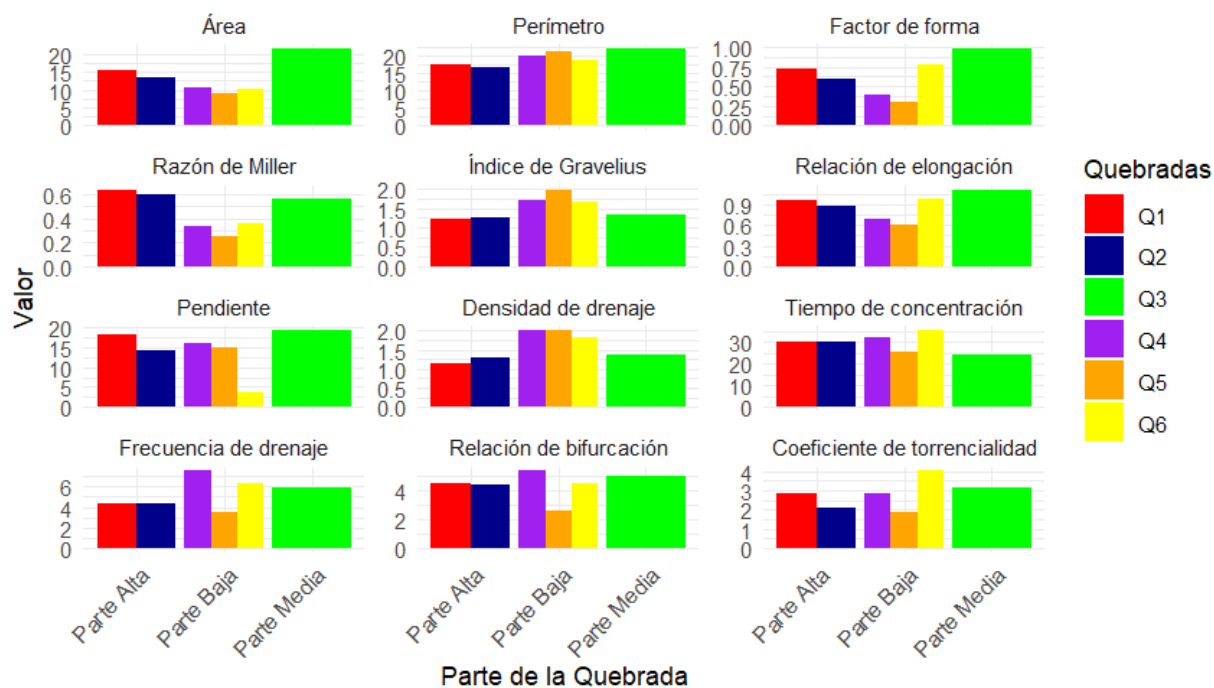
En la Figura 29, se presenta una comparación de los parámetros morfométricos en las partes alta, media y baja de las quebradas. La parte alta se caracteriza por valores mayores en área y perímetro, pero menores en factor de forma, densidad de drenaje y tiempo de concentración (ver Anexo 21, foto e). Estos indicadores reflejan una zona con mayor fragmentación, rápida escorrentía y un terreno más abrupto, consistente con los hallazgos de Montoya, (2009). La parte media destaca por presentar el valor más elevados en índice de circularidad y relación de elongación que, de acuerdo a Esper et al., (2016); Machado et al., (2011) esto evidencia una mayor complejidad en la red de drenaje y un desarrollo más elongado de la quebrada, lo que sugiere que es el sector más complejo desde el punto de vista morfométrico. Además, las observaciones *in situ* confirmaron una mayor incidencia de procesos erosivos (ver Anexo 23, fotos d y e) y una forma casi circular en esta sección.

Por último, la parte baja muestra valores intermedios en casi todos los parámetros analizados. Sin embargo, esta zona se distingue por presentar la pendiente más baja 3%

considerado suave, también un mayor tiempo de concentración y una mayor frecuencia de drenaje, lo que indica una transición hacia un área de menor energía y un flujo más controlado (ver Anexo 25, fotos a y b).

Figura 29

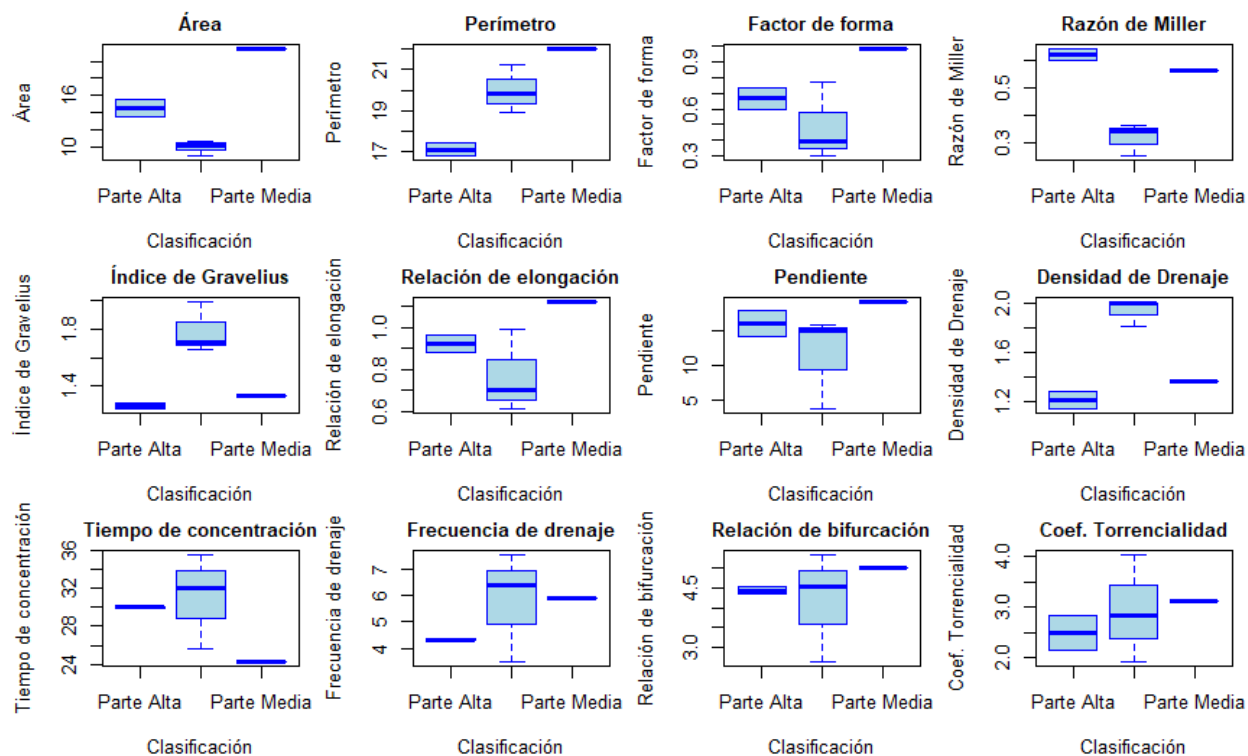
Comparación de los Parámetros morfométricos de las quebradas



En la Figura 30, se muestra el diagrama de cajas y bigotes, donde se refuerza el análisis comparativo entre los parámetros morfométricos de las diferentes partes de la quebrada donde los valores de área y perímetro son más elevados en la parte media alta en comparación con la parte baja (ver Anexo 24, fotos a y h). Además, el factor de forma y la razón de Miller también son más altos en la parte media, lo que sugiere una forma más circular de esta sección, de acuerdo con las observaciones de Viramontes et al., (2017).

Figura 30

Caja de bigotes de los parámetros morfométricos de las quebradas



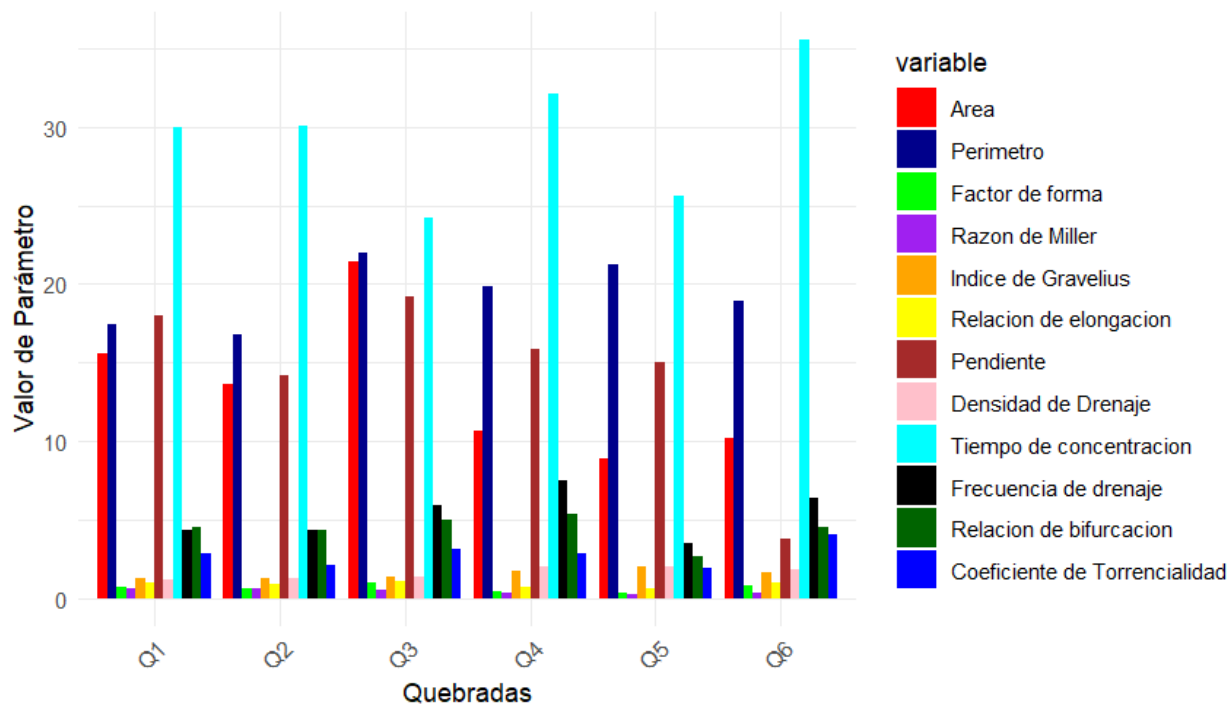
En la figura 31, el índice de Gravelius indica una mayor irregularidad en la parte media (ver Anexo 23, foto a), mientras que la pendiente y la densidad de drenaje son significativamente mayores en la parte alta y media (ver Anexo 21, fotos d y e). Según Gaspari et al., (2015), estos valores más elevados implican un mayor grado de erosión en estas zonas. Además, los parámetros de frecuencia de drenaje, relación de bifurcación y coeficiente de torrencialidad muestran variaciones menores entre las distintas partes de la quebrada. Estos resultados son similares con los estudios de Montoya, (2009); Machado et al., (2011) y Viramontes et al., (2017), quienes destacan que, a pesar de las diferencias en otros parámetros, los parámetros mencionados tienden a mantenerse más estables en diferentes partes de la microcuenca.

Por otro lado, el índice de Gravelius alcanza su máximo valor en la Q5 este valor de acuerdo a Shagui et al., (2021) refleja una forma más irregular y menos eficiente para la escorrentía

superficial. Mientras en cuanto a la pendiente, la Q6 destaca por tener la pendiente más baja donde el tiempo de concentración es mucho mayor que de acuerdo a Ramírez et al., (2015) está asociada con terrenos planos y mayor acumulación de sedimentos (ver anexo 26, fotos e, f, g y h)

Figura 31

Comparación de parámetros por quebrada

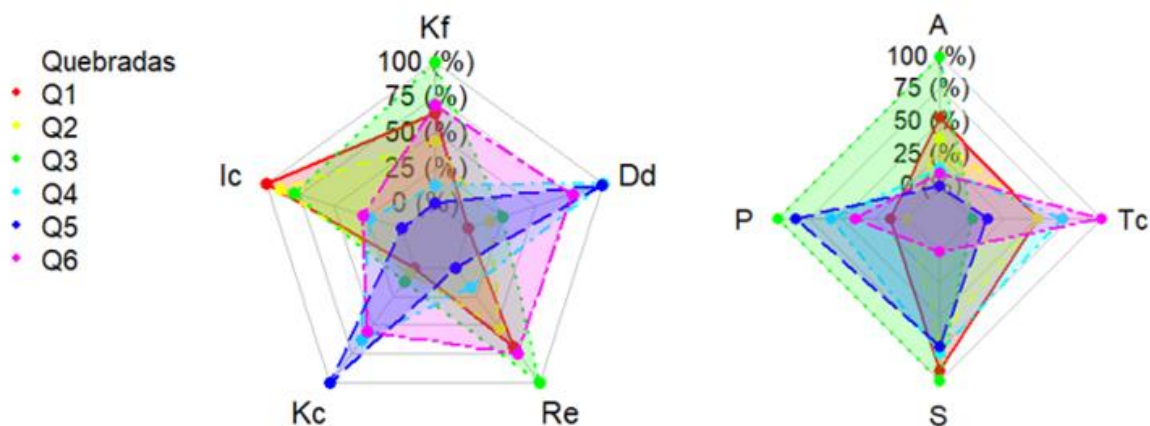


En la figura 32, los parámetros como el factor de forma (Kf), la densidad de drenaje (Dd), la relación de elongación (Re), el índice de Gravelius (Kc) y el índice de Miller (Ic) muestran valores más concentrados, cercanos al 25 %, en todas las quebradas y de acuerdo a los estudios realizados por Del Aguila & Mejía, (2021) sugiere que la microcuenca tiene una respuesta hidrológica buena frente a eventos de precipitación extrema, con buena capacidad para drenar el agua sin generar acumulaciones significativas. Además, un estudio similar realizado por Barboza et al., (2019) en las subcuencas de Brasil, sugiere que podría reducir considerablemente la probabilidad de inundaciones en casos de eventos extremos de precipitación.

Por otra parte, la pendiente 19.19 % en la parte media de la microcuenca combinado con alta susceptibilidad de erosión del suelo y la poca densidad vegetal representa un riesgo alto en la formación de escorrentía repentina; En un estudio realizado por Moresco & Silca, (2016) sugiere que para terrenos con pendiente pronunciada, poca vegetación y susceptibles a la erosión es necesario implementar estrategias preventivas de forestación o estabilización del suelo, que no solo reduzcan la erosión sino también mejoren la infiltración.

Figura 32

Comparación de parámetros por valores



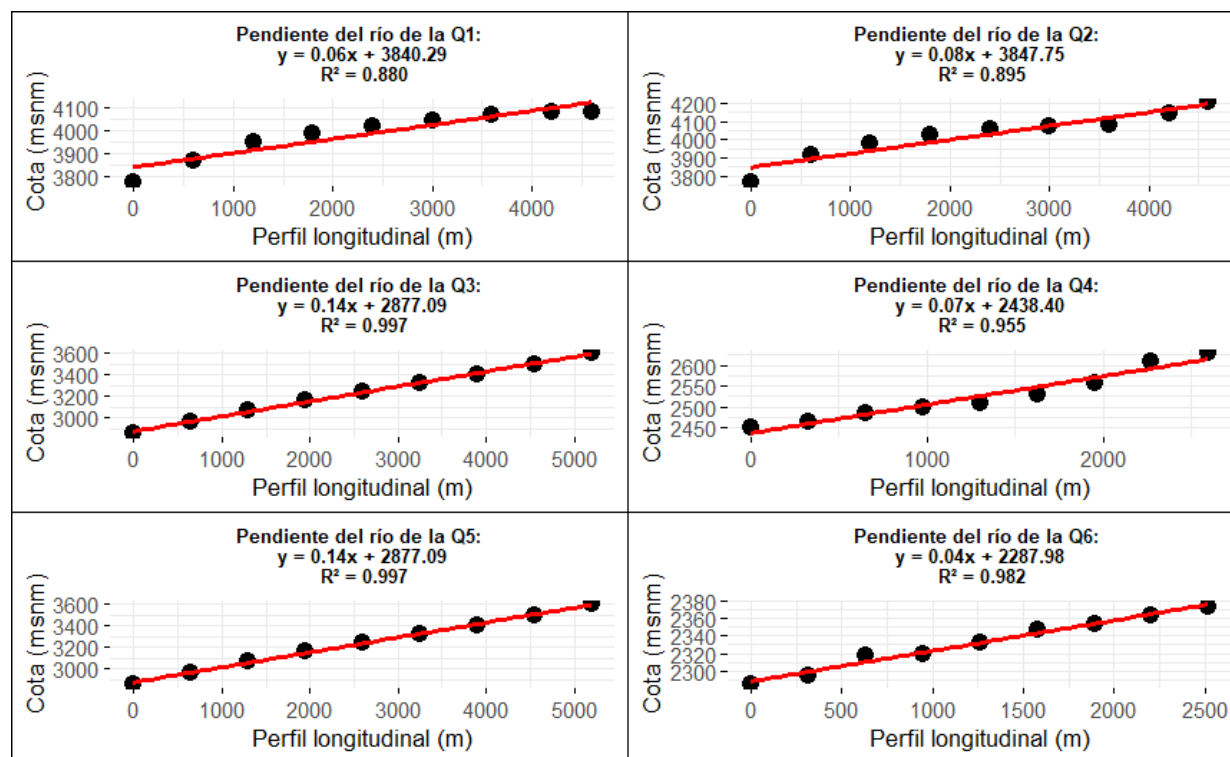
En la figura 33, la pendiente del río principal en cada una de las quebradas muestra una relación lineal entre la distancia recorrida y la altitud, con R^2 que oscilan entre 0.880 y 0.997, indicando una alta correlación. La pendiente promedio de cada quebrada varía entre 0.04 y 0.14 m/m, una investigación similar realizada por Ramírez, (2013) relaciona este tipo de terrenos con fallas geológicas y cambios abruptos en el relieve, como cataratas o zonas rocosas, que son características comunes en regiones montañosas o zonas accidentadas. También, Ramírez et al., (2021), relaciona las pendientes pronunciadas, como las de quebrada Q3, están relacionadas a procesos de erosión activa, transporte de sedimentos y un escurrimiento más rápido, mientras que

pendientes menores, como en la Q6, favorecen la infiltración y reducen el transporte de sedimentos.

Las quebradas con pendientes pronunciadas como en la Q3 y Q5 están vinculadas a zonas con suelos poco permeables y vegetación escasa, lo que concuerda con los estudios de Del Aguila & Mejía, (2021). Por otro lado, las pendientes moderadas observadas en las quebradas Q1 y Q2, sugieren un equilibrio geomorfológico con procesos de erosión y sedimentación más balanceados, como lo indica Ramírez et al., (2015).

Figura 33

Ecuación de la pendiente del río principal en cada quebrada

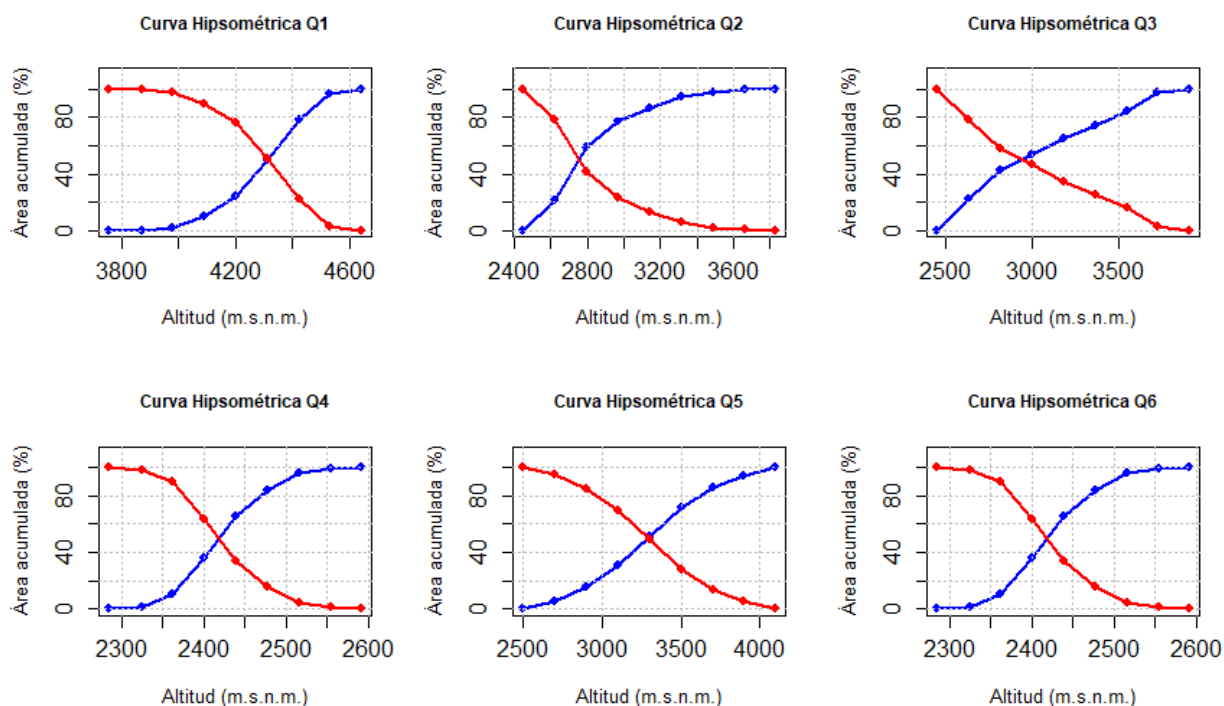


En la figura 34, las curvas hipsométricas presentadas para las quebradas muestran la relación entre el área acumulada y la altitud, lo que permite interpretar las etapas de desarrollo geomorfológico de la microcuenca. Según Strahler, (1957) las curvas hipsométricas reflejan el grado de erosión y el equilibrio topográfico de la microcuenca.

La curva hipsométrica de la quebrada Q2 destaca por su forma convexa que se aproxima a su etapa de vejez geomorfológica, en la que los procesos de erosión y sedimentación están en relativo equilibrio, esto concuerda con lo descrito por Ramírez, (2013) donde las curvas hipsométricas próximos a su vejez permiten una mayor retención de suelos y sedimentos, favoreciendo el desarrollo vegetativo. El análisis conjunto de estas curvas indica que la microcuenca está en una etapa de madurez como se observa en cada curva hipsométrica de las quebradas salvo la Q2 y la Q3 que tienden más a una etapa de vejez. de evolución geomorfológica.

Figura 34

Curva hipsométrica de las quebradas

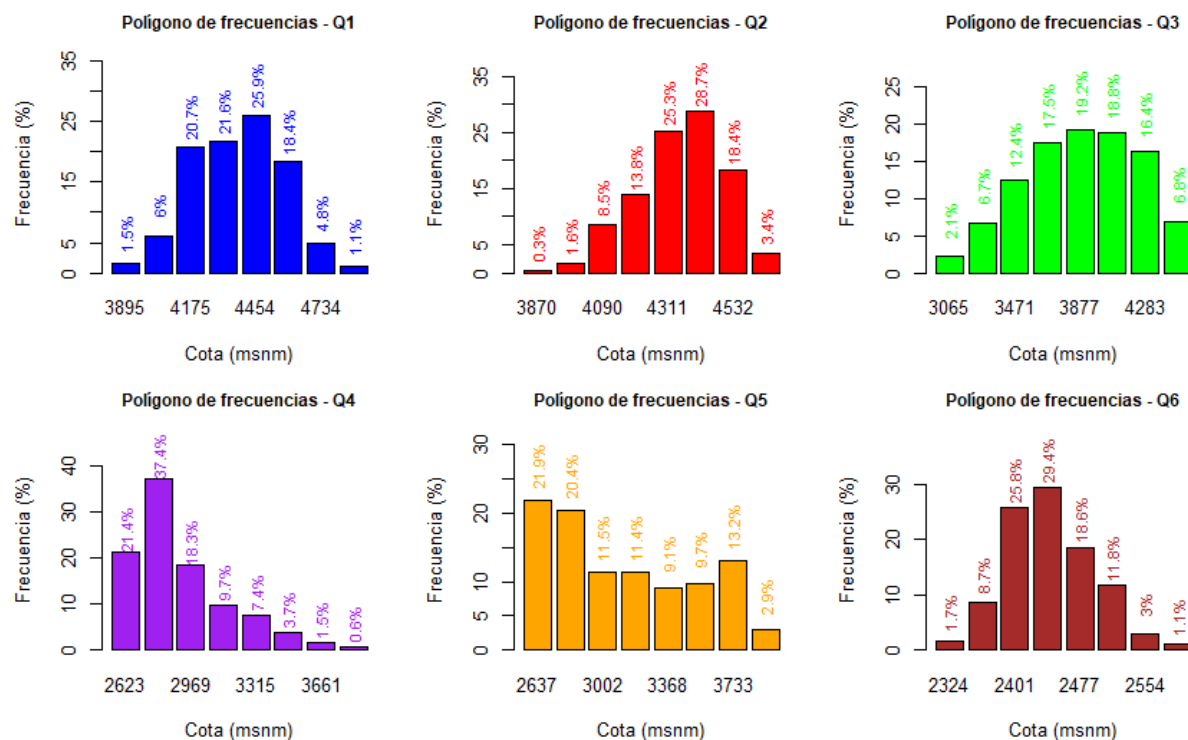


En la figura 35, Las áreas de la parte alta, muestran una mayor concentración de frecuencias en cotas intermedias concentrando pendientes pronunciadas con cierta estabilidad en el terreno y presentando equilibrio entre la erosión y sedimentación que permite que el suelo actúe como un

amortiguador natural. Según las investigaciones de López et al., (2015) en esta zona es común encontrar suelos más delgados y una vegetación menos densa. En términos prácticos, la parte alta funciona como una especie de zona de recarga hídrica, almacenando agua y sedimentos antes de que estos sean transportados hacia las áreas más bajas. Esta dinámica coincide con investigaciones de Gaspari et al., (2015) que destaca el papel regulador de las partes altas en microcuencas montañosas. Las quebradas Q1 y Q2 destacan por presentar una mayor variabilidad en las frecuencias, mientras que las partes bajas presentan áreas acumuladas más regulares, según las investigaciones de Verdugo, (2017) está relacionado con la presencia de terrazas aluviales o llanuras.

Figura 35

Polígono de frecuencias en cada quebrada



V. CONCLUSIONES

- Se delimitó la microcuenca Razuhuillca utilizando el software ArcGIS 10.8 y la herramienta “hydrology” a partir de Modelos de Elevación Digital (DEM) descargados de USGS Earth Explorer que permitió una definición precisa de los límites hidrográficos, resultando un área total de 79.24 km², con un perímetro de 69.68 km y alturas máxima y mínima de 4873 y 2285 msnm, respectivamente.
- Se calculó los parámetros morfométricos de forma donde el factor de forma fue 0.32, índice de circularidad de Miller 0.21, coeficiente de compacidad o Gravelius 2.16, la relación de elongación 0.64 y índice de alargamiento 2.87. Estos valores determinaron que la microcuenca Razuhuillca es alargada donde el tiempo de concentración es prolongada y la microcuenca tiene una respuesta rápida frente a altas precipitaciones reduciendo considerablemente las posibilidades de inundación.
- Se calculó los parámetros de relieve donde el índice de pendiente fue 8.61%, pendiente media de 8.13%, Pendiente media del cauce principal 7.83%, altitud media de frecuencias de 3588.87 msnm, altura media simple de 3579 msnm y desnivel altitudinal de 2588 msnm. Estos valores de relieve determinan a la microcuenca Razuhuillca como medianamente accidentado donde la parte media alta prevalece por presentar pendientes pronunciadas y escasa cobertura vegetal. Además, la curva hipsométrica mostró que la formación de la microcuenca se encuentra en una etapa de madurez donde la erosión y el transporte de sedimentos es regularmente estable.
- Se calculó los parámetros de drenaje donde la densidad de drenaje fue 1.56 km/Km², orden de ríos 4, frecuencia de drenaje 5.7 arroyos/km², relación de bifurcación de 4.52, coeficiente de torrencialidad 2.99 y tiempo de concentración 70.26 min. Estos valores determinaron que

el drenaje de la microcuenca es moderado donde la respuesta hidrológica frente a precipitaciones fuertes es buena reduciendo en gran medida el riesgo de inundaciones en la parte baja. además del perfil longitudinal de la red de drenaje presenta una pendiente suave, con altitudes que varían entre 2285 msnm y 3000 msnm que desemboca en la subcuenca del río Cachi.

- Se comparó los parámetros morfométricos de la parte alta, media y baja de la microcuenca Razhuillca donde la parte alta se caracteriza por presentar un área y perímetro relativamente mayores, pero menores en factor de forma, densidad de drenaje y tiempo de concentración, mientras que la parte media se destaca por presentar el valor más elevados en índice de circularidad y relación de elongación, presentando la mayor complejidad en su red de drenaje y la parte baja se caracteriza por presentar valores intermedios en casi todos los parámetros analizados. Además, el factor de forma de la quebrada Q3 se aproxima a circular, el mayor tiempo de concentración y coeficiente de torrencialidad se da en la quebrada Q6, mientras que la mayor y la menor pendiente respectivamente se registró en la quebrada Q3 y Q6. Finalmente, las curvas hipsométricas se encuentran en la etapa de madurez con la excepción de la quebrada Q2 que tiende a una etapa de vejez.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda volver a calcular los parámetros morfométricos de la microcuenca utilizando diferente software de Sistema de Información Geográfica (SIG) como QGis, ArcGIS PRO, IDRISI selva, GeoDA, entre otros que puedan ayudar a verificar o comprobar los datos obtenidos y utilizar con confianza en las futuras investigaciones en la misma línea.
- Se recomienda utilizar los datos generados en la presente investigación para realizar la planificación en las diferentes estrategias de conservación y manejo sostenible de la microcuenca en el abastecimiento del recurso hídrico, además de fomentar prácticas de conservación del suelo y forestación en áreas con pendientes pronunciadas para reducir la erosión y mejorar la infiltración de agua.
- Realizar charlas y capacitaciones para los diferentes centros poblados dentro de la microcuenca, pero en especial para los centros poblados que se encuentran más próximos a la red principal que son Chula, Maraypata, Huancayocc, Uyuvirca, Huanza y Chacco quienes deben tener conciencia sobre la importancia de la morfometría y cómo este se relaciona frente a eventos extremos; además de participar de forma activa en los diferentes planes de conservación propuestas por diferentes instituciones locales.

VII. REFERENCIAS

- Aguilar, J., & Naranjo, L. (2018). *Elaboración de la base de información hidrometeorológica de la cuenca del río Guayas para el procesamiento con el modelo hydraccess ante inundaciones*. <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/129462cf-18c6-434f-95a1-2ce7b5a29827/content>
- Alencar, K., Parodi, M., Zimmermann, E., Rodrigues, D., & De Araujo, K. (2021). Caracterización morfométrica de la cuenca del Salado Bajo, Región de Atacama, Chile. *Investigaciones Geográficas*, 62, 90. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2021.64574>
- Almaw, A., Yasuda, H., Shimizu, K., Haregeweyn, N., & Woldearegay, K. (2017). Quantitative analysis and implications of drainage morphometry of the Agula watershed in the semi-arid northern Ethiopia. *Applied Water Science*, 7(7), 3825-3840. <https://doi.org/10.1007/s13201-017-0534-4>
- Alvarez Jiménez, M., Ramírez-Granados, P., Alfaro-Jiménez, K., Solís-Torres, L. D., & Castro-Solís, J. (2021). Morfometría de la subcuenca hidrográfica del río Páez, Cartago, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(67), 147-168. <https://doi.org/10.15359/rgac.67-2.5>
- Asfaw, D., & Workineh, G. (2019a). Quantitative analysis of morphometry on Ribb and Gumara watersheds: Implications for soil and water conservation. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(2), 150-157. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.02.003>
- Asfaw, D., & Workineh, G. (2019b). Quantitative analysis of morphometry on Ribb and Gumara watersheds: Implications for soil and water conservation. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(2), 150-157. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.02.003>

- Aumassanne, C., Gaspari, F., Bege, M., Sartor, P., Oricchio, P., & Di Bella, C. (2018). Morfometría de la cuenca del río Colorado, Argentina. *Boletín geográfico. Año XL, 40(1)*, 13-29. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/176787>
- Baldeon, L. (2016). *Modelamiento hidrológico de la subcuenca del río Achamayo*. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4588>
- Barboza, E., Enrique, M., & Salas, R. (2017). Comparación de los MDE ASTER y SRTM en el análisis morfométrico de la cuenca del Utcubamba (Perú). *Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. Chachapoyas, Perú, 3*, 86-98. <https://revistas.untrm.edu.pe/index.php/INDES/article/view/136/201>
- Barboza, G., Queiroz, L., Novaes, A., Rocha, O., & Farias, V. (2019). Caracterização morfométrica: estudo de caso da bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos, Paraíba, Brasil. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, 10(2)*, 362-376. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.002.0030>
- Bezerra, J., Cezar, A., Cardoso, A., Bastos, L., Bezerra, J., & Albuquerque, G. (2022). Caracterização Morfométrica e Uso e Ocupação do Solo em Bacia Hidrográfica do Semiárido Pernambucano. *Volume 15, Issue 1, Pages 429 - 442, 15(1)*, 429-442. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p429-442>
- Bustamante, F. (2019). Regionalización morfométrica adimensional de cuenca hidrográfica Chamaya, con fines de transferencia de información hidrológica. *Universidad Nacional de Cajamarca*. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3395>

- Camino, M., Juliana, M., Cionchi, J., Del Río, J., López, A., & De Marco, S. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Revista Universitaria de Geografía*, 27(1).
<https://www.redalyc.org/journal/3832/383257036005/html/>
- Cañibano, A., Sastre, P., & D'Andrea, R. (2016). Área y perímetro para la caracterización de formas. *SUMAT*, 83, 25-2.
https://revistasuma.fespm.es/sites/revistasuma.fespm.es/IMG/pdf/s83-25-area_y_perimetro.pdf
- Capoane, V., & Alencar, D. (2020). Evaluation of geomorphometric parameters derived from altimetric models of different sources and resolutions: A case study of the córrego lajeado watershed, campo grande, ms. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(2), 674-690.
<https://doi.org/10.26848/RBGF.V13.2.P674-690>
- Cerignoni, F., & Rodrigues, V. (2015). Análisis morfométrico de la microcuenca «C» núcleo Cunha, São Paulo, Brasil. En *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For* (Vol. 41).
- Chow, V. (1994). *Hidrología Aplicada*.
https://www.academia.edu/105588091/Ven_Te_Chow_Hidrologia_Aplicada
- Da Silva, G., & Ferreira, V. (2019). Use and occupation of soil and trends scenarios of flows in the Paranaíba River basin - Brazil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(1), 139-159.
<https://doi.org/10.26848/RBGF.V12.1.P139-159>
- Del Águila, S., & Mejía, A. (2021). Morphometric characterization of two high Andean basins of Peru using Geographic Information Systems. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 12(2), 1-20.
<https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2021-02-12>

Díaz, F. (2018). *Prospección de aguas subterráneas usando imágenes landsat 8 y áster GDEM mediante el método de árbol de decisiones en el cuadrangulo 15 G - San Marcos - Cajamarca.*

https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1845?utm_source=chatgpt.com

Díaz, K. (2012). *Análisis de los sistemas LANDSAT ETM+ y terra ASTER como método de prospección de yacimientos epitermales.*

https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/2137/0260_Diaz.pdf?utm_source=chatgpt

Dos Santos, A., Bezerra, A., Do Nascimento, A., De Souza, L., Da Silva, J., & Moura, G. (2021). Morphometric characterization and land use and occupation in a watershed in the semiarid of pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(2), 1036-1043.

<https://doi.org/10.26848/RBGF.V14.2.P1036-1043>

Dos Santos, W., Alves, W., Perini, A., Santiago, D., Balbino, M., & Botelho, B. (2019). Análise do uso da terra, da cobertura vegetal e da morfometria da bacia do Ribeirão Douradinho, no sudoeste de Goiás, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(3), 1093-1113.

<https://doi.org/10.26848/RBGF.V12.3.P1093-1113>

Dourado, A., Dos Santos, E., & Alves, S. (2020). Análise morfométrica da bacia hidrográfica Paraguai/Jauquara, Mato Grosso - Brasil. *Geosul*, 35(74), 483-500.

<https://doi.org/10.5007/1982-5153.2020v35n74p483>

Esper, M., Espejo, K., Perucca, L., & Rothis, M. (2016). *Morfometría de cuencas como base en la evaluación de la susceptibilidad/peligrosidad por aluviones, caso de estudio: Cuenca del río del agua, San Juan, Argentina.* 4, 513-519.

<https://www.scielo.org.ar/pdf/raga/v73n4/v73n4a05.pdf>

Gaspari, F., Martín, A., Vagaría, R., Alejandro, F., & Medina, M. (2015). *Manejo de cuencas hidrográficas herramientas de sistemas de información geográfica.*

file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Manejo_de_cuencas_hidrograficas_Herramientas_de_si.pdf

Ginesta, C., Rios, N., & Esper, M. (2022). Morphometric characterization of the Talacasto river basin, Central Precordillera, San Juan, Argentina. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 74(1).

<https://doi.org/10.18268/BSGM2022v74n1a300921>

Gualdrón, A., Villate, J., Torres, D., Molina, J., & Reyes, C. (2022). Determinación de los parámetros morfométricos en cuencas empleando Sistemas de Información Geográfica.

Determinación de los parámetros morfométricos en cuencas empleando Sistemas de Información Geográfica. <https://doi.org/10.19053/9789586606769>

Guerrero, J. (2023). Análisis morfométrico adimensional en la sierra de las cuencas hidrográficas Pachitea y Perené, con fines de transferencia de información hidrológica. *Universidad Nacional de Cajamarca.*

<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5848>

Guevara, R., Olgún, J., Mancilla, O., & Barreto, O. (2019). ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO AYUQUILA, JALISCO-MÉXICO. *GeoFocus*,

2019(24), 141-158. <https://doi.org/10.21138/GF.622>

Harinath, V., & Raghu, V. (2013). Morphometric Analysis using Arc GIS Techniques A Case Study of Dharuvagu, South Eastern Part of Kurnool District, Andhra Pradesh, India. *International*

Journal of Science and Research, 2(1), 2319-7064. <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2>

Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M., Méndez, S., & Mendoza, C. (2014). *Metodología de la investigación.* <https://goo.su/JgS2tfX>

Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2018). *Morfología de las cuencas hidrográficas*.

<https://riunet.upv.es/handle/10251/10782>

Kanhaiya, S., Singh, B., Singh, S., Mittal, P., & Srivastava, V. (2019). Morphometric analysis, bedload sediments, and weathering intensity in the Khurar River Basin, central India.

Geological Journal, 54(1), 466-481. <https://doi.org/10.1002/GJ.3194>

López, A., Martínez, M., & Fernández, D. (2015). Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6, 121-137.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222015000100007

López, X., & Patiño, D. (2017). *Aplicación de modelos hidrológicos de las microcuencas del área de bosque y vegetación protector Aguarongo con enfoque al cambio climático*.

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14909/4/UPS-CT007329.pdf>

Machado, R., Romero, L., & Zeledón, J. (2011). *Caracterización biofísica y socioeconómica de la microcuenca La Jabonera, perteneciente a la subcuenca del Río Estelí*.

<https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/1853/>

Marcelo, J. (2023). *Descripción del Modelamiento de Inundación Bidimensional, para propuesta de diseño de Defensa Ribereña en la Cuenca Tinkuy, Ayacucho, 2022 - 2023*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/5573>

Mendoza, M. (2023). *Influencia de la precipitación y la geomorfología en la generación de máximas avenidas en la cuenca Curcuncho en Cangallo - Ayacucho, 2022*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/5818>

Miller, V. (1953). *A Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area Virginia and Tennessee.*

<https://ntrl.ntis.gov/NTRL/dashboard/searchResults/titleDetail/AD057755.xhtml>

Montoya, J. (2009). *Caracterización morfológica de la microcuenca de la quebrada los Andes, El Carmen de Viboral, Antioquia-Colombia.*

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242009000200003&lang=es

Moresco, M., & Silca, G. (2016). Study of anthropogenic change (hemerobia) The Basin of River Mourao -PR. *RA'E GA - O Espaço Geografico em Analise*, 36, 280-301.

<https://doi.org/10.5380/RAEGA.V36I0.43437>

Oré, L. (2010). *Modelo de elevación de terreno (MET) y análisis morfológico de las microcuencas del Parque Nacional de Tingo María (PPNTM) - Perú.*

Oré, Y. (2016). *Caracterización Hidrológica de la microcuenca del rio Huanta - Huanta - Ayacucho - 2016.* <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/d6493c65-3483-4235-b0f2-742d47bddbb7>

Pastor, A. (2013). *Evolución tectónica y geomorfológica reciente de las cuencas de antepaís suratlásicas: Cuencas de Missouri y Ouarzazate.*

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=78812&info=resumen&idioma=SPA>

Rajasekhar, M., Raju, G., & Raju, R. (2020). Morphometric analysis of the Jilledubanderu River Basin, Anantapur District, Andhra Pradesh, India, using geospatial technologies.

Groundwater for Sustainable Development, 11. <https://doi.org/10.1016/J.GSD.2020.100434>

Ramírez, A. (2013). *Manual hidrológico de las cuencas hidrográficas de las vertientes del Amazonas.*

- Ramírez, A., Cruz, A., Sánchez, P., & Monterroso, A. (2015). La caracterización morfométrica de la subcuenca del Río Moctezuma, Sonora: ejemplo de aplicación de los sistemas de información geográfica. *Geografía agrícola*, 55, 27-43. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75749286003>
- Ramírez, P., & Alfaro, K. (2018). *Morfometría de la subcuenca del río Toyogres, Cartago, Costa Rica*. <https://doi.org/10.15359/rgac.60-1.9>
- Ramírez, P., Alfaro, K., Álvarez, M., Solís, L., & Castro, J. (2021). Morfometría de la subcuenca hidrográfica del río Páez, Cartago, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(67), 147-168. <https://doi.org/10.15359/rgac.67-2.5>
- Reyes, A., Ullis, F., & Carvajal, Y. (2010). *Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas*. <https://goo.su/00jLKT4>
- Rivas, D., & Moreno, M. (2019). *Delimitación hidrográfica y caracterización morfométrico de la cuenca del río Metica*. <https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/fb831f41-98e5-40e9-86b5-b123610f8436>
- Sahu, N., Obi Reddy, G. P., Kumar, N., Nagaraju, M. S. S., Srivastava, R., & Singh, S. K. (2017). Morphometric analysis in basaltic Terrain of Central India using GIS techniques: a case study. *Applied Water Science*, 7(5), 2493-2499. <https://doi.org/10.1007/S13201-016-0442-Z>
- Salazar, J. (2019). *Análisis de la dinámica de aportación de material leñoso en cauces de microcuenca el carmen, Mónica y las violetas de la hoya de Loja*. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22122/1/Juan%20Carlos%20Salazar%20Torres.pdf>

- Sellers, C., Buján, S., Corbelle, E., & Miranda, D. (2017). Morfología interpretativa de alta resolución usando datos LiDAR en la cuenca hidrográfica del río Paute en Ecuador. *Memorias y Boletines de la Universidad del Azuay*, XVI, 399-411.
<https://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/memorias/article/view/87>
- Serrão, E., Tavares, M., Salviano, F., Meiguins, A., Dos Santos, C., Paiva, L., & Rodrigues, V. (2019). Four decades of hydrological process simulation of the Itacaiúnas river watershed, Southeast Amazon. *Boletim de Ciências Geodesicas*, 25(3). <https://doi.org/10.1590/S1982-21702019000300018>
- Shagui, D., Chucay, M., & Negrete, J. (2021). Morphometric Analysis of the Sub-basin of the Upano Para River Flood Analysis. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*
<https://doi.org/10.18502/epoch.v1i2.9528>
- Shah, I., kaur, S., & Singhla, S. (2022). Morphometric Analysis and Prioritisation of Purinabal Watershed of Sind. *International Journal of Innovative Research in Engineering & Management.*
<https://doi.org/10.55524/ijirem.2022.9.2.82>
- Smichowski, H., & Contreras, F. (2022). Análisis morfométrico de la cuenca río Santa Lucía (Corrientes, Argentina). *Revista Geográfica de América Central*, 1(70), 297-320.
<https://doi.org/10.15359/rgac.70-1.11>
- Souza, Ê., Cardoso, A., Da Cruz, E., Freitas, D., Da Silva, R., Da Silva, T., & Araújo, W. (2021). Delimitação e caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, Pernambuco, a partir de dados SRTM processados no QGIS. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(3), 1530-1540. <https://doi.org/10.26848/RBGF.V14.3.P1530-1540>

Steve, B., & Benavides, C. (2017). *Obtención de una cuenca hidrográfica mediante el uso de un software comercial ArcGIS y el uso de un software libre SAGA. Caso de estudio municipio de Porcesito, Antioquia.*

<https://repository.unimilitar.edu.co/server/api/core/bitstreams/25b57a68-ab99-4a03-ac16-2966bf3187c8/content>

Tomé Hernández, G. (2022). Caracterización morfométrica de la cuenca del río Huitzilac, Puebla, México. *Periodicidad: Semestral*, 44(1), 2022.

<http://portal.amelica.org/ameli/journal/344/3443321005/3443321005.pdf>

Verdugo, M. (2017). *Análisis morfométrico de las microcuencas a las que pertenece el bosque y vegetación protectora Aguarango (BVPA), influencia en el comportamiento hidrológico.*

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14381/1/UPS-CT007051.pdf>

Viramontes, O., Escoboza, L., Pinedo, C., Pinedo, A., Reyes, V., Román, J., & Pérez, A. (2017). *Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua.*

<https://revistascientificas.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/56/1938>

Zhicay, J. (2020). *Caracterización morfométrica y estudio hidrológico de la microcuenca del río San Francisco, Cantón Gualaceo.*

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18364/1/UPS-CT008684.pdf>

VIII. ANEXOS

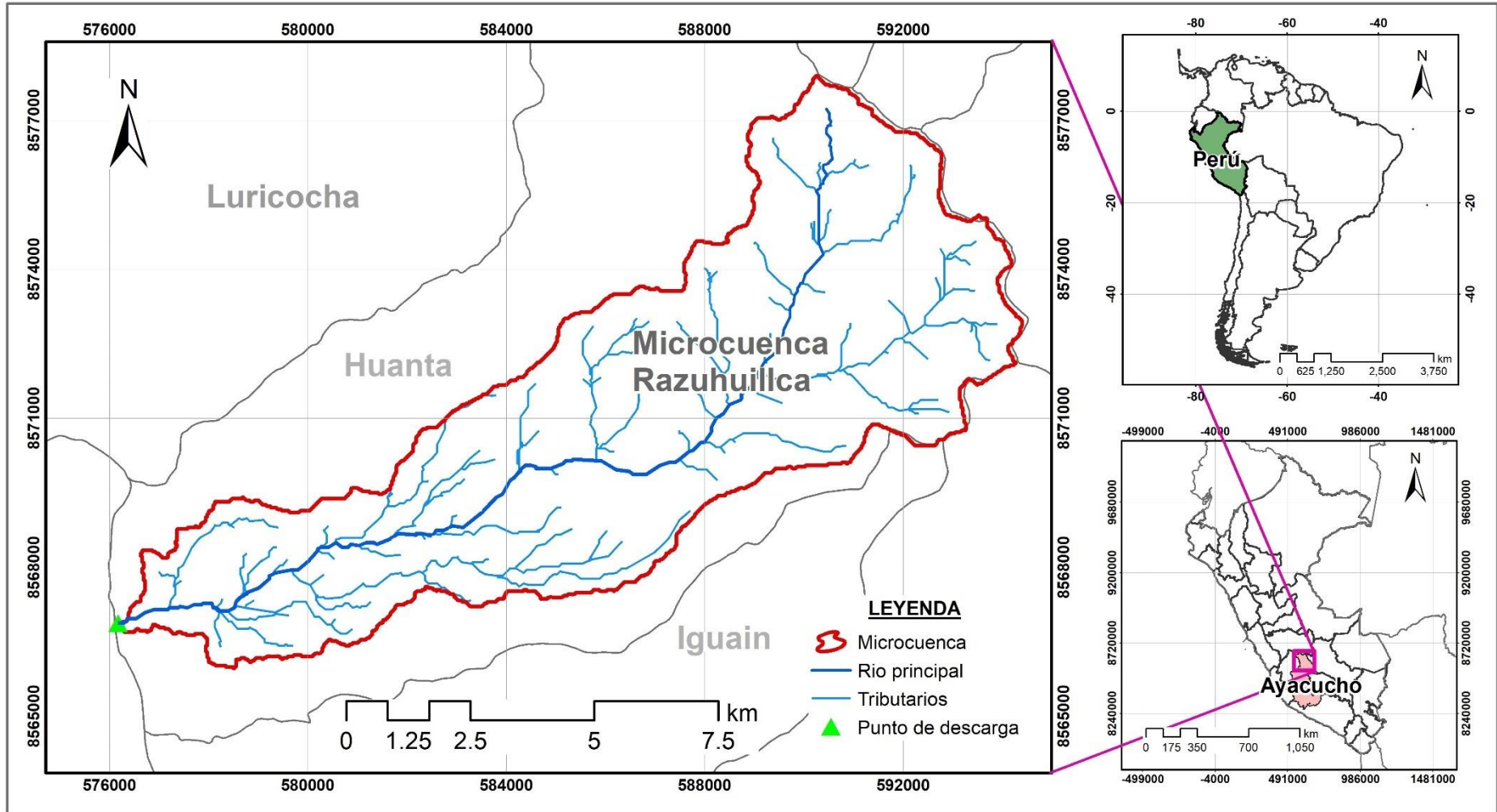
Anexo 1

Matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Variables	Metodología
<p>Interrogante General ¿Qué características morfológicas de forma, relieve y drenaje presenta la microcuenca Razuhuilca mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica?</p>	<p>Objetivo General Caracterizar los parámetros morfológicos de forma, relieve y drenaje que presenta la microcuenca Razuhuilca mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica.</p>	<p>Variable Parámetros Morfológicos de forma, relieve y drenaje.</p>	<p>Tipo y nivel de investigación El tipo de investigación es básica y el nivel es descriptivo.</p>
<p>Interrogante específico</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Es delimitable la microcuenca Razuhuilca mediante el uso del software ArcGIS 10.8 ? • ¿Qué características morfológicas de forma, relieve y drenaje presenta la microcuenca Razuhuilca? • ¿Es comparable las características morfológicas de la parte alta, media y baja de la microcuenca Razuhuilca? 	<p>Objetivo específico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Delimitar la microcuenca Razuhuilca mediante el uso del software ArcGIS 10.8 • Calcular los parámetros morfológicos de forma, relieve y drenaje que presenta la microcuenca Razuhuilca. • Comparar los parámetros morfológicos de la parte alta, media y baja de la microcuenca Razuhuilca. 	<p>Materiales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laptop • Cámara Fotográfica • Materiales de escritorio • GPS 	<p>Diseño de investigación Este estudio se realizará utilizando un enfoque de diseño no experimental, ya que las variables no serán manipuladas deliberadamente.</p> <p>Método de análisis</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modelos de elevación digital (DEM) • Obtención de flujo de dirección, flujo de acumulación y la red de drenaje por el método Strahler • Delimitación de la microcuenca. • Cálculo de parámetros morfológicos de forma, relieve y drenaje. • Clasificación de la microcuenca en parte alta, media y baja. • Comparación de parámetros morfológicos de la parte alta, media y baja.
			<p>Herramienta Software: ArcGis 10.8, Excel, R Studio.</p>

Anexo 2

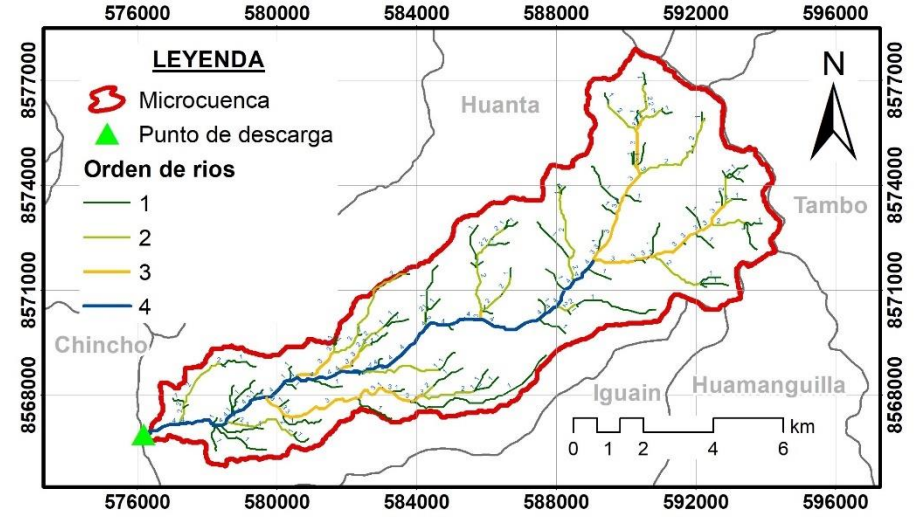
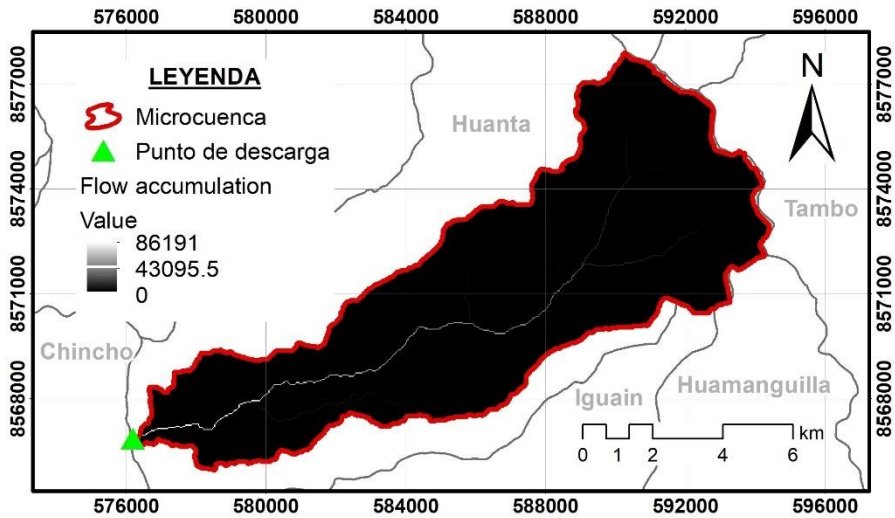
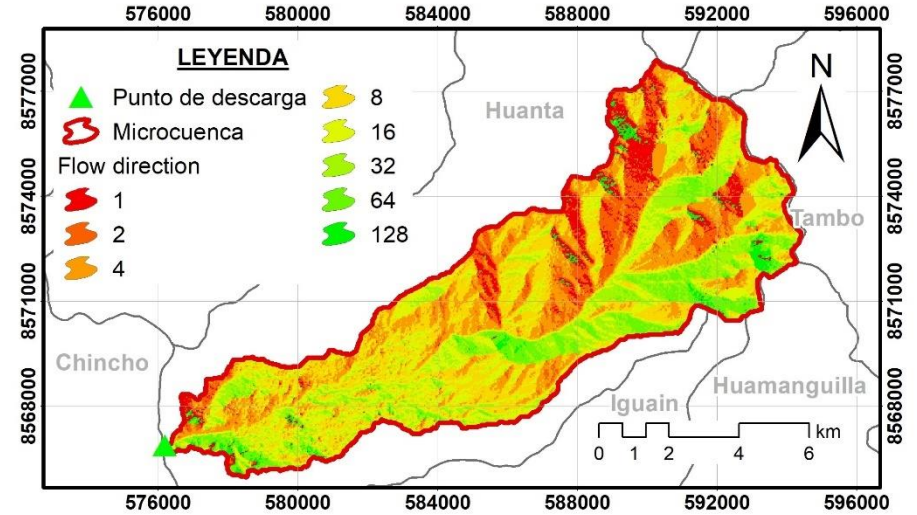
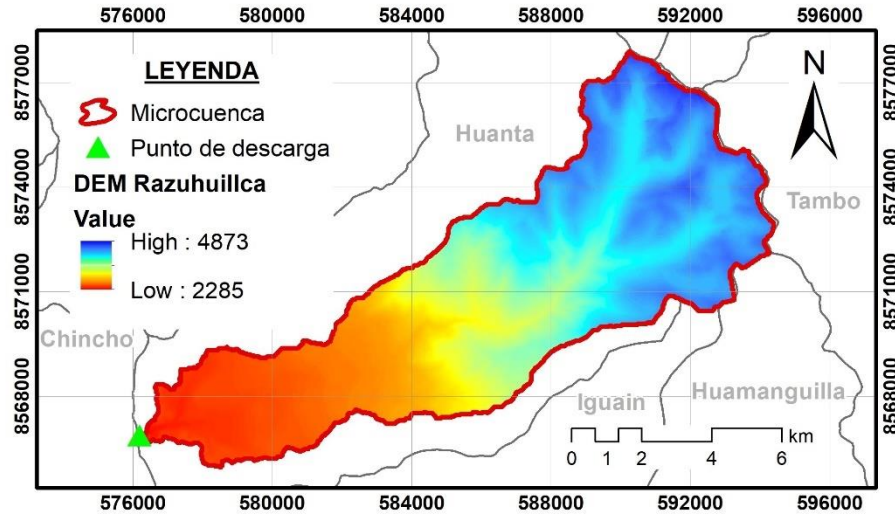
Mapa de ubicación de la microcuenca Razuhuilca



Nota. Elaborado en el software ArcGIS 10.8

Anexo 3

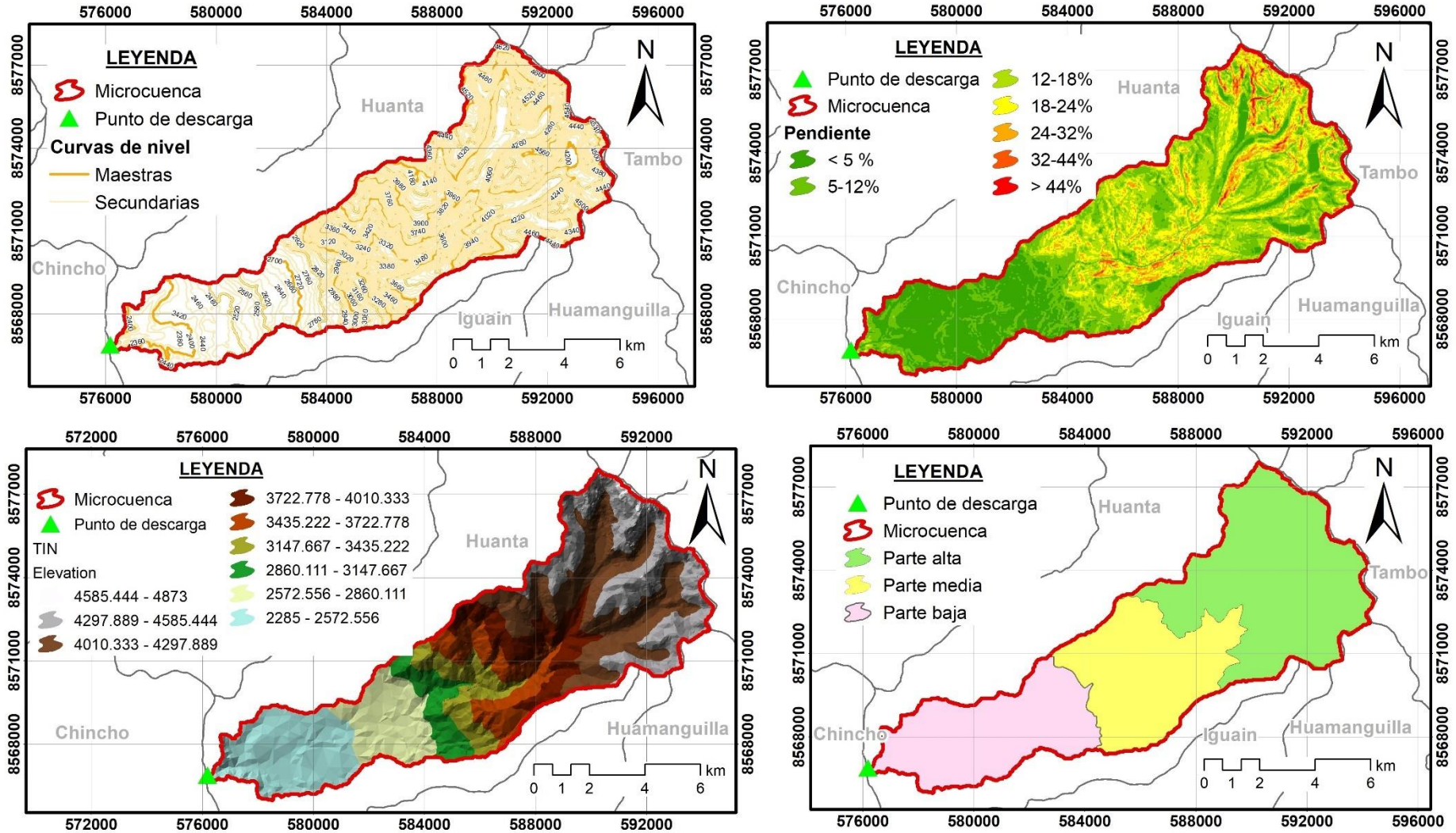
Proceso de delimitación de la microcuenca Razuhuillca



Nota. (a) DEM de la microcuenca (b) Flujo de dirección (c) flujo de acumulación (d) orden de ríos

Anexo 4

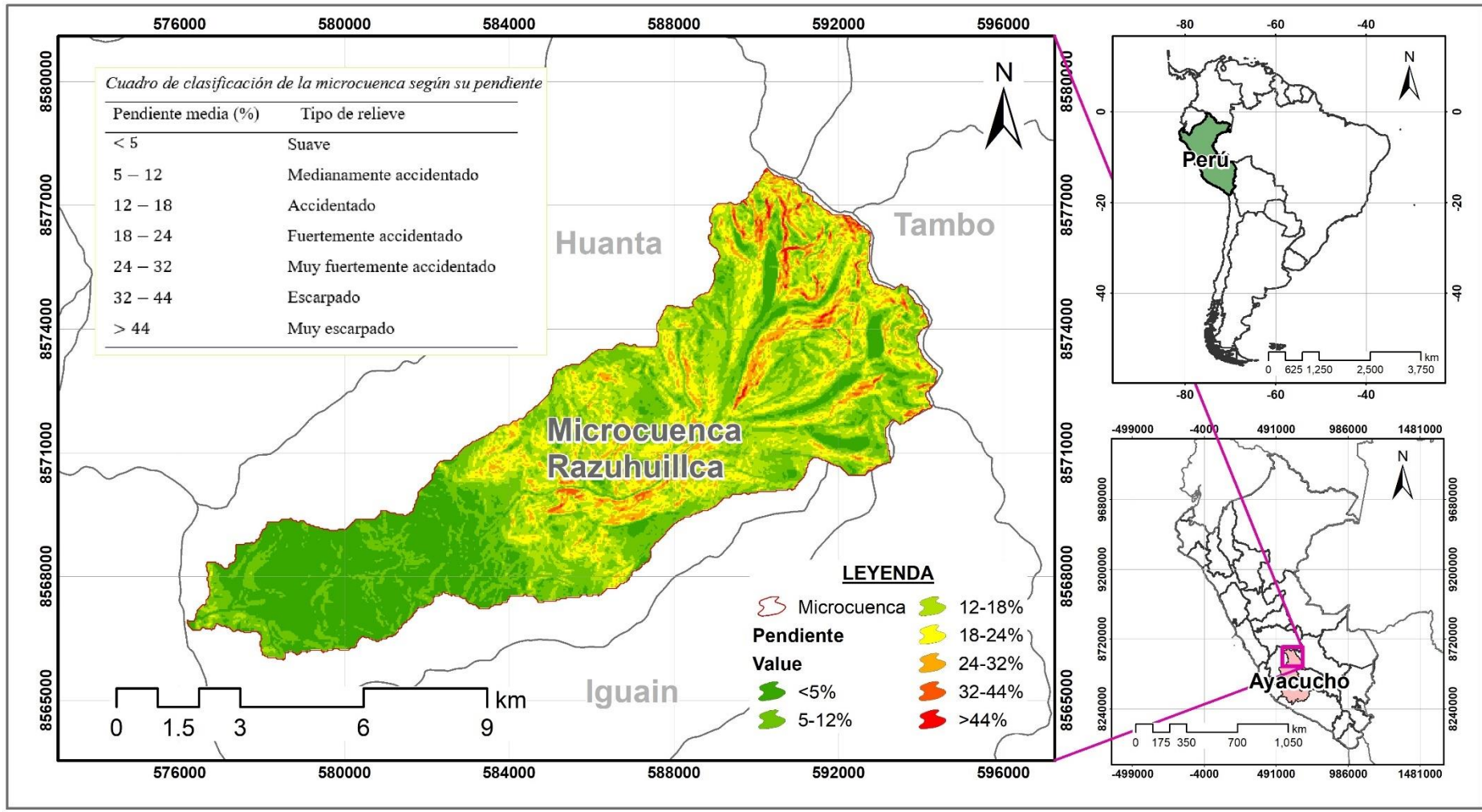
Proceso de delimitación de la microcuenca Razuhuillca



Nota. (a) curvas de nivel (b) clasificación de pendiente (c) TIN- elevación (d) clasificación de la microcuenca

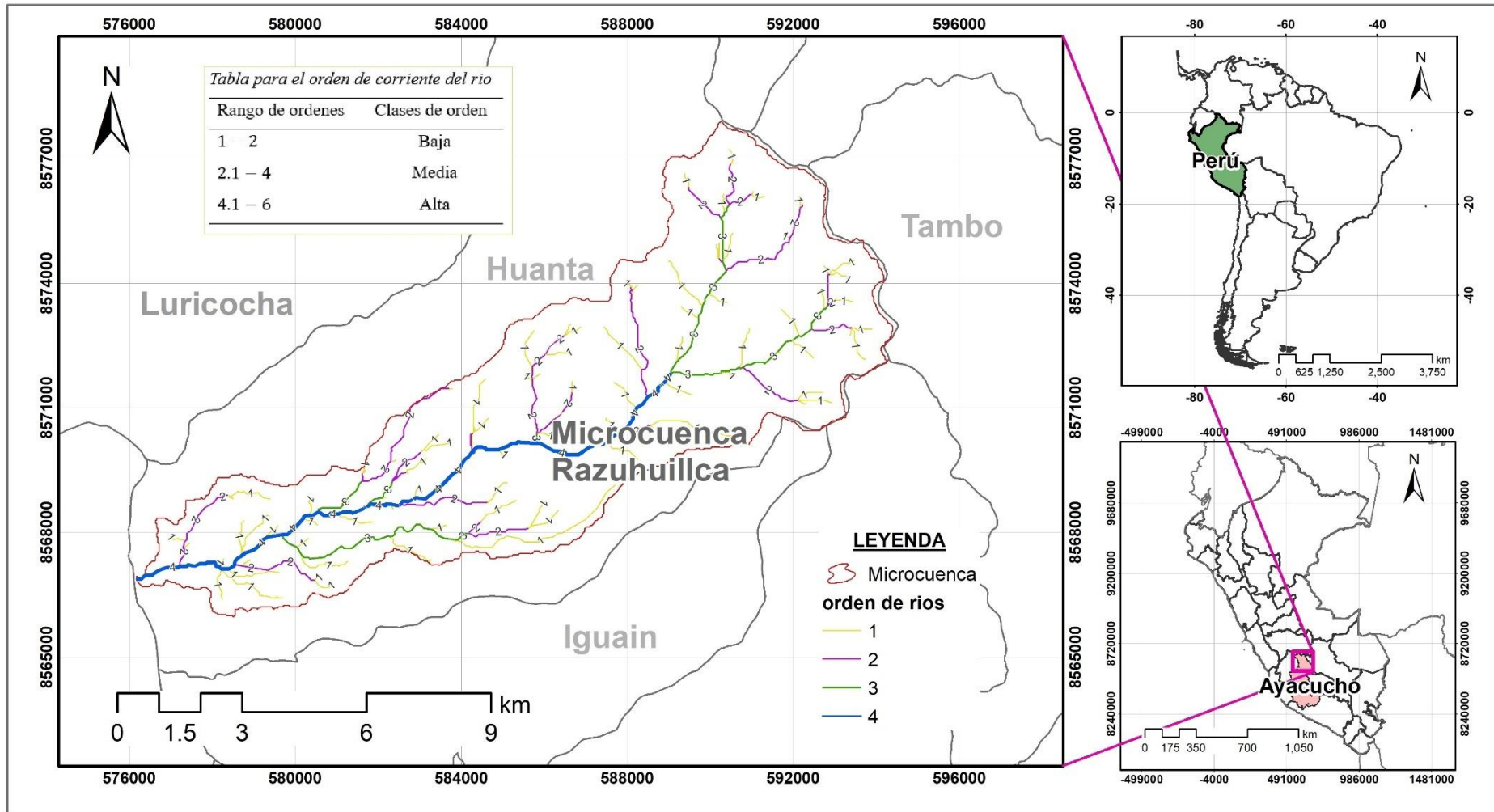
Anexo 5

Mapa de pendiente de la microcuenca



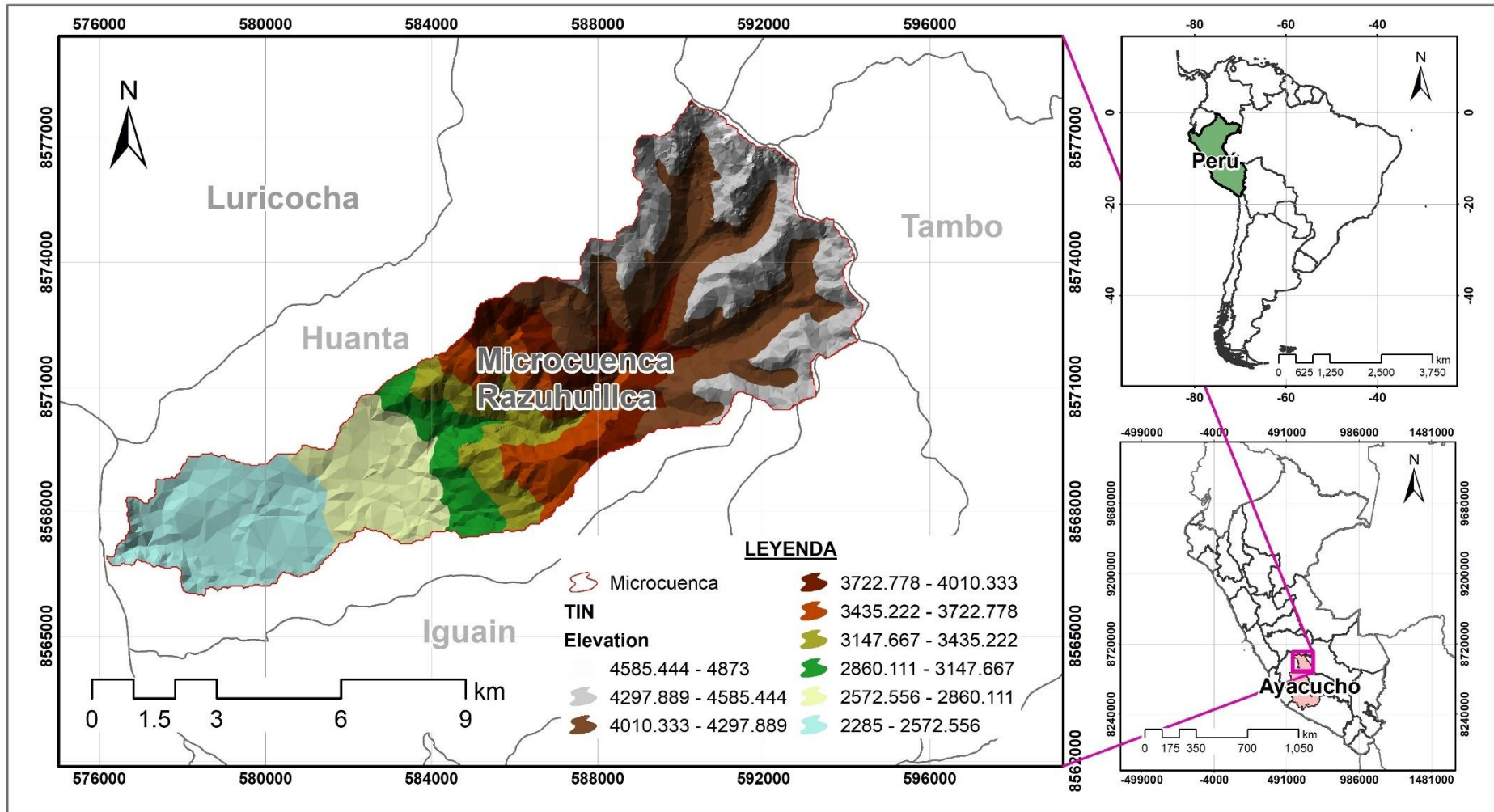
Anexo 6

Mapa del orden de ríos de la microcuenca



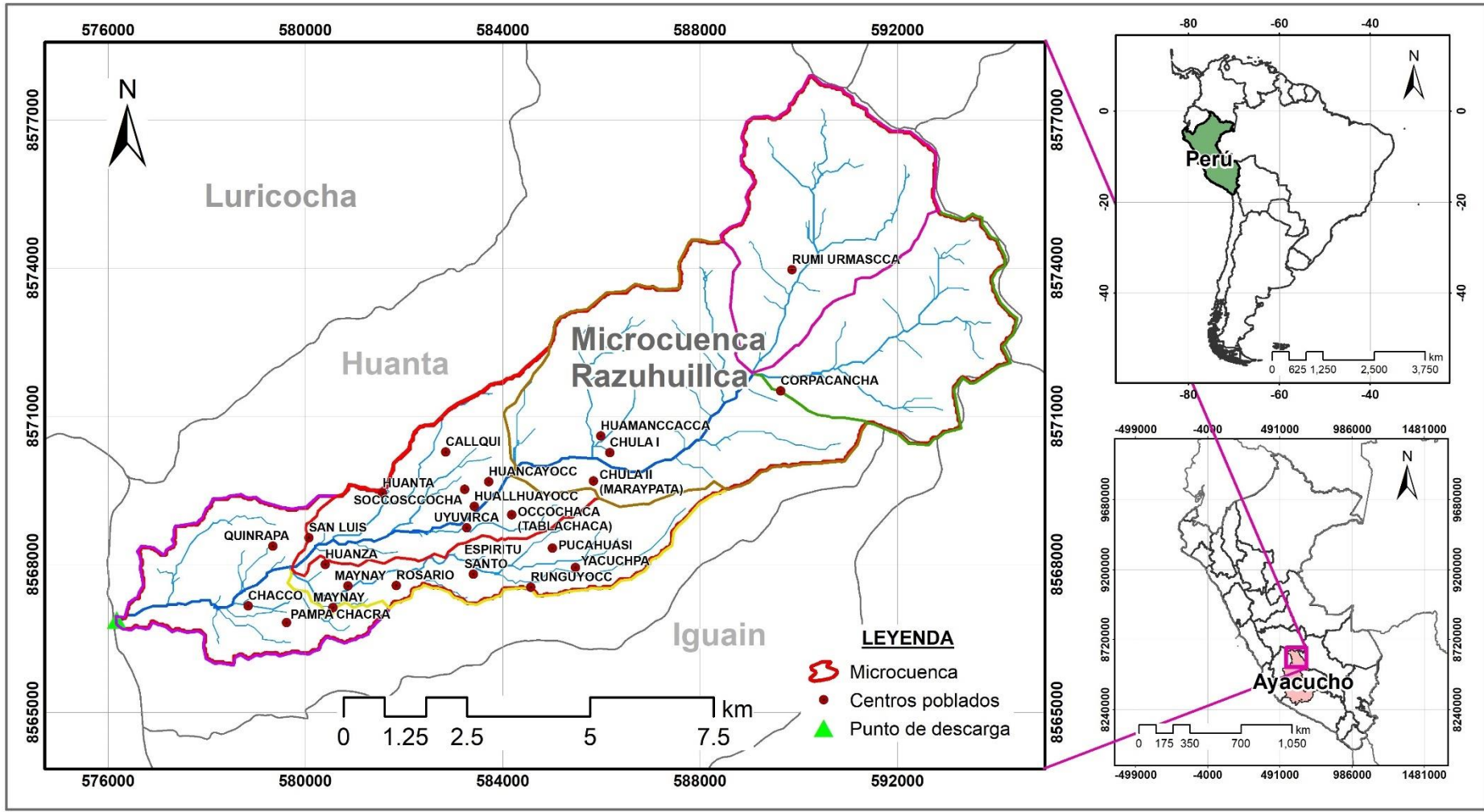
Anexo 7

Mapa de elevación de la microcuenca



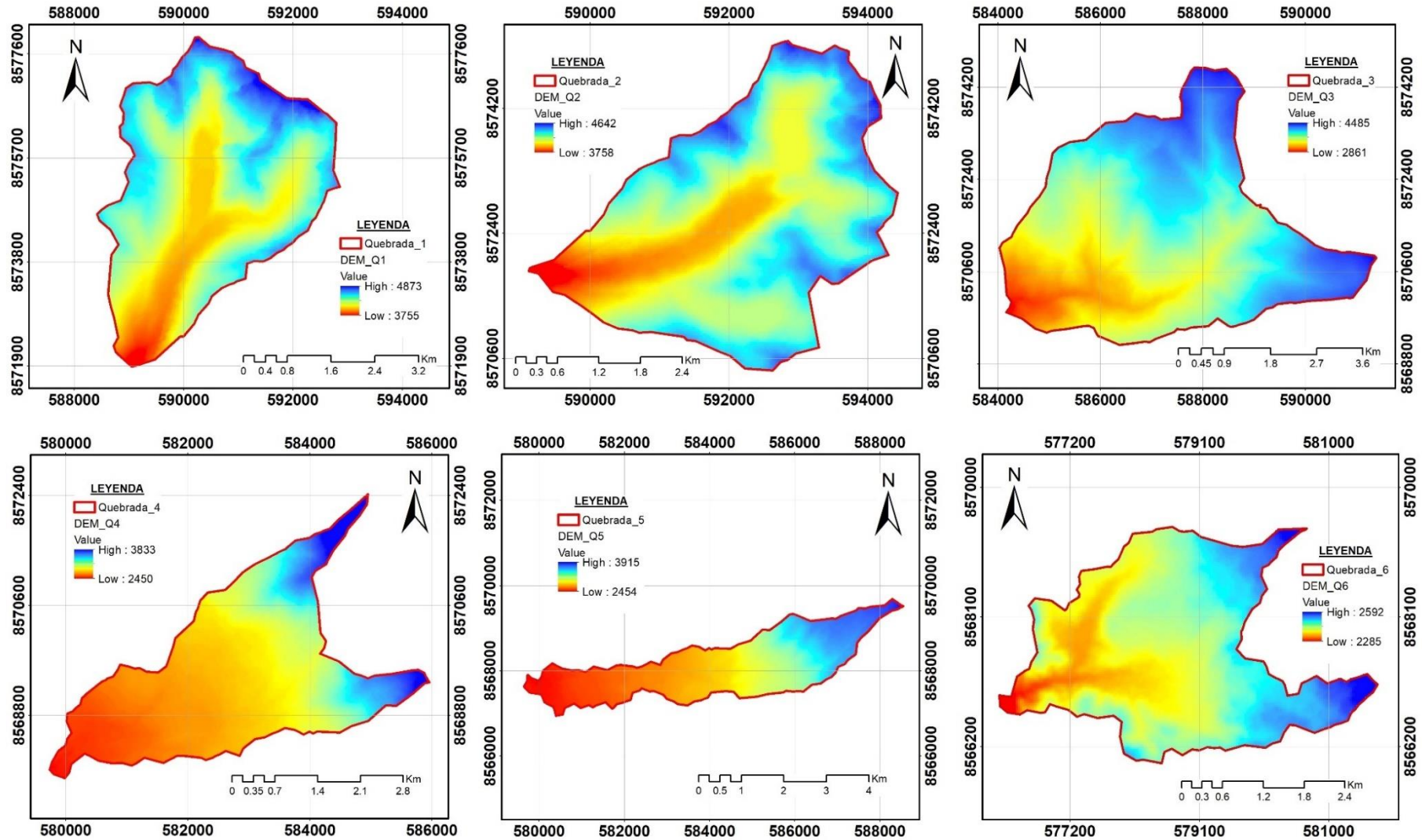
Anexo 8

Mapa de ubicación de los centros poblados



Anexo 9

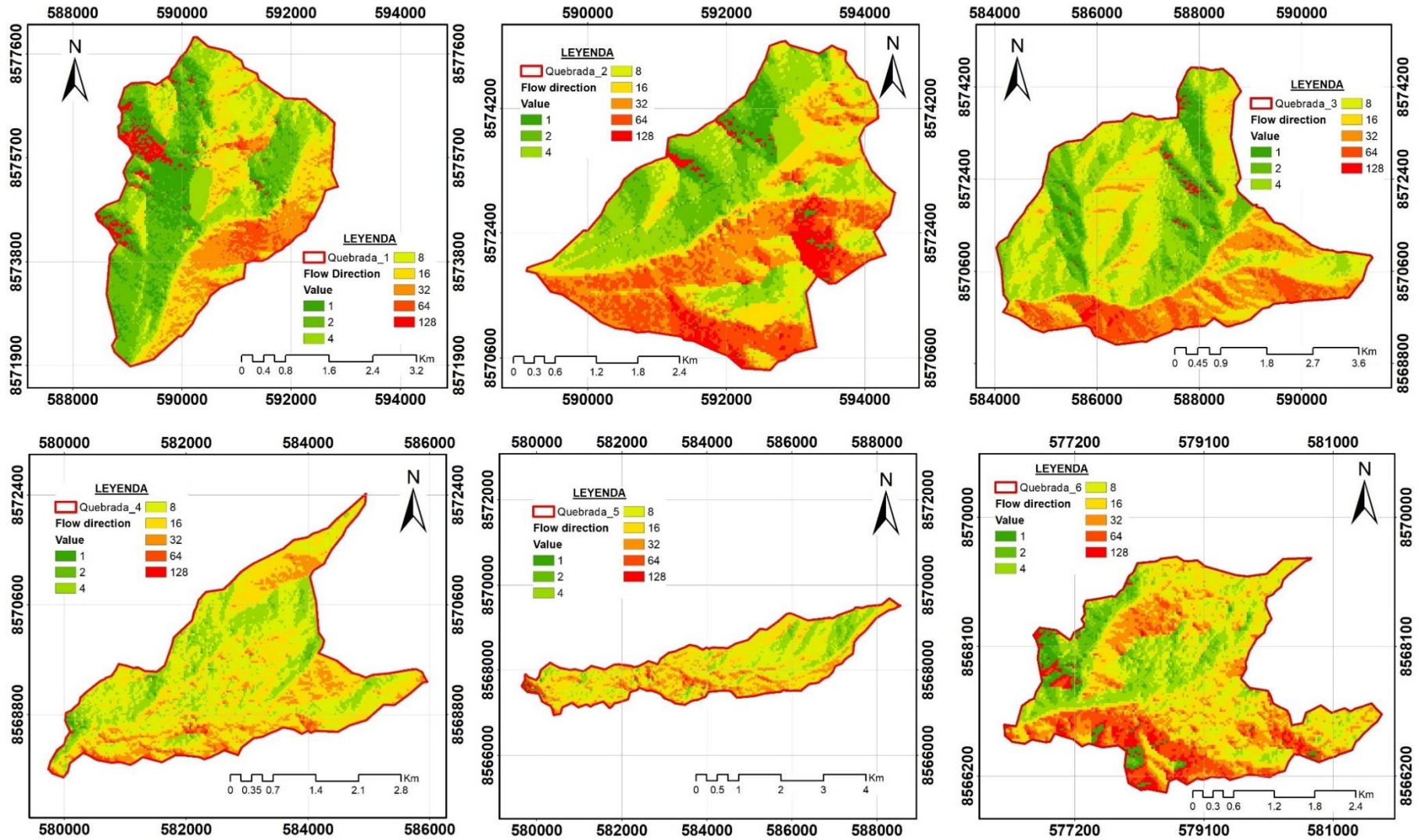
DEM de cada una de las quebradas de la microcuenca



Nota. (a) Quebrada Q1, (b) Quebrada Q2, (c) Quebrada Q3, (d) Quebrada Q4, (e) Quebrada Q5, (f) Quebrada Q6

Anexo 10

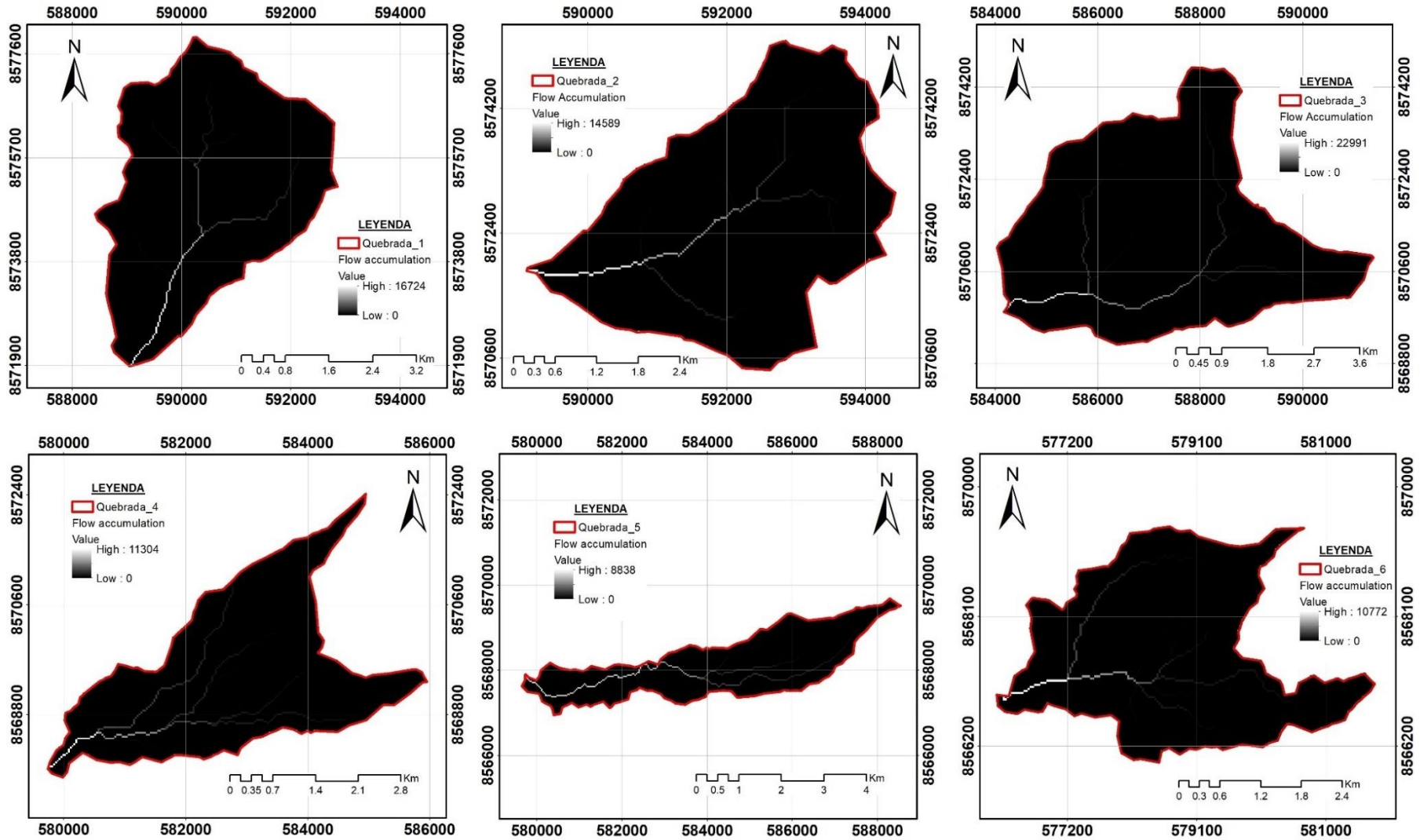
Flujo de acumulación de las quebradas de la microcuenca



Nota. (a) Quebrada Q1, (b) Quebrada Q2, (c) Quebrada Q3, (d) Quebrada Q4, (e) Quebrada Q5, (f) Quebrada Q6

Anexo 11

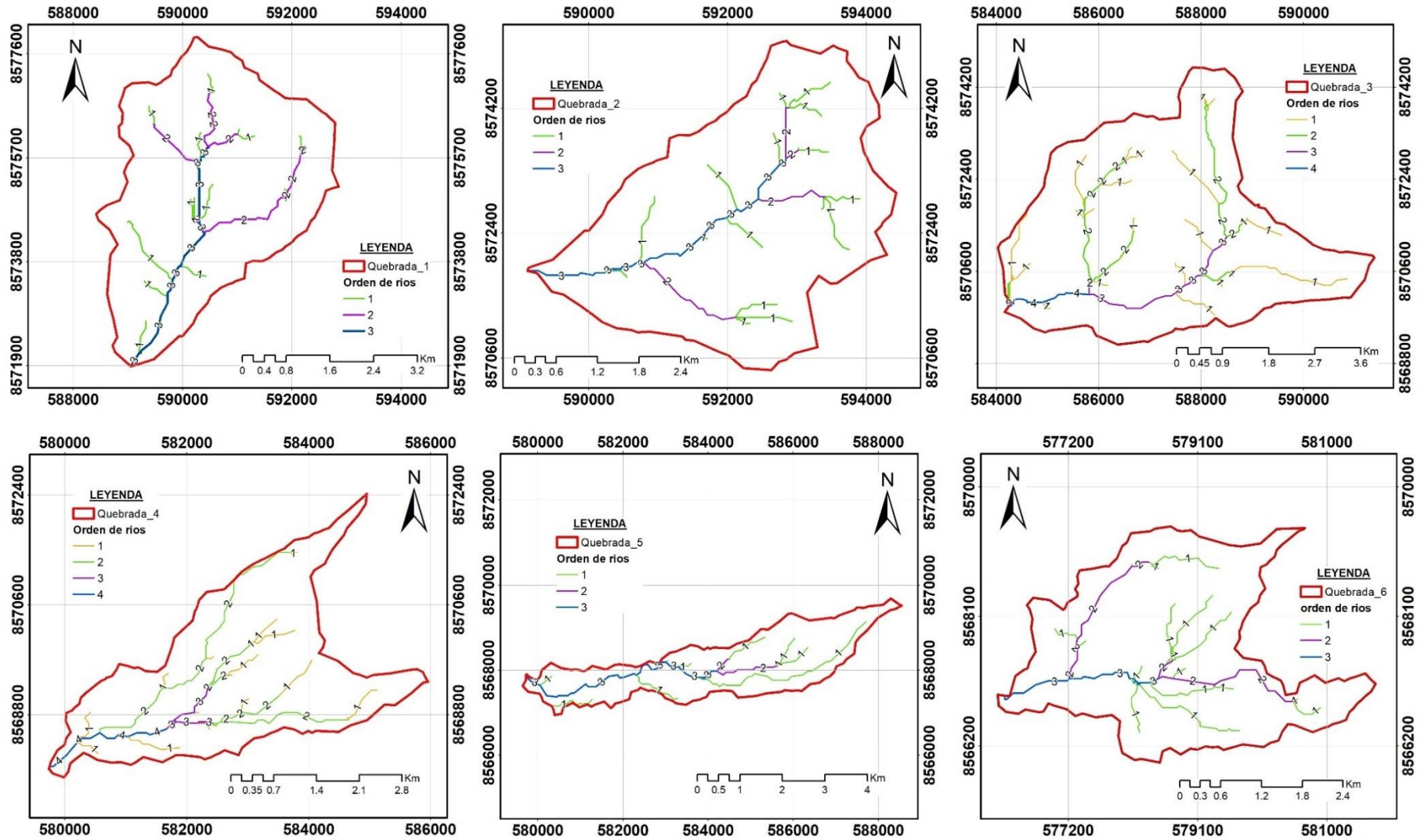
Flujo de dirección de las quebradas de la microcuenca



Nota. (a) Quebrada Q1, (b) Quebrada Q2, (c) Quebrada Q3, (d) Quebrada Q4, (e) Quebrada Q5, (f) Quebrada Q6

Anexo 12

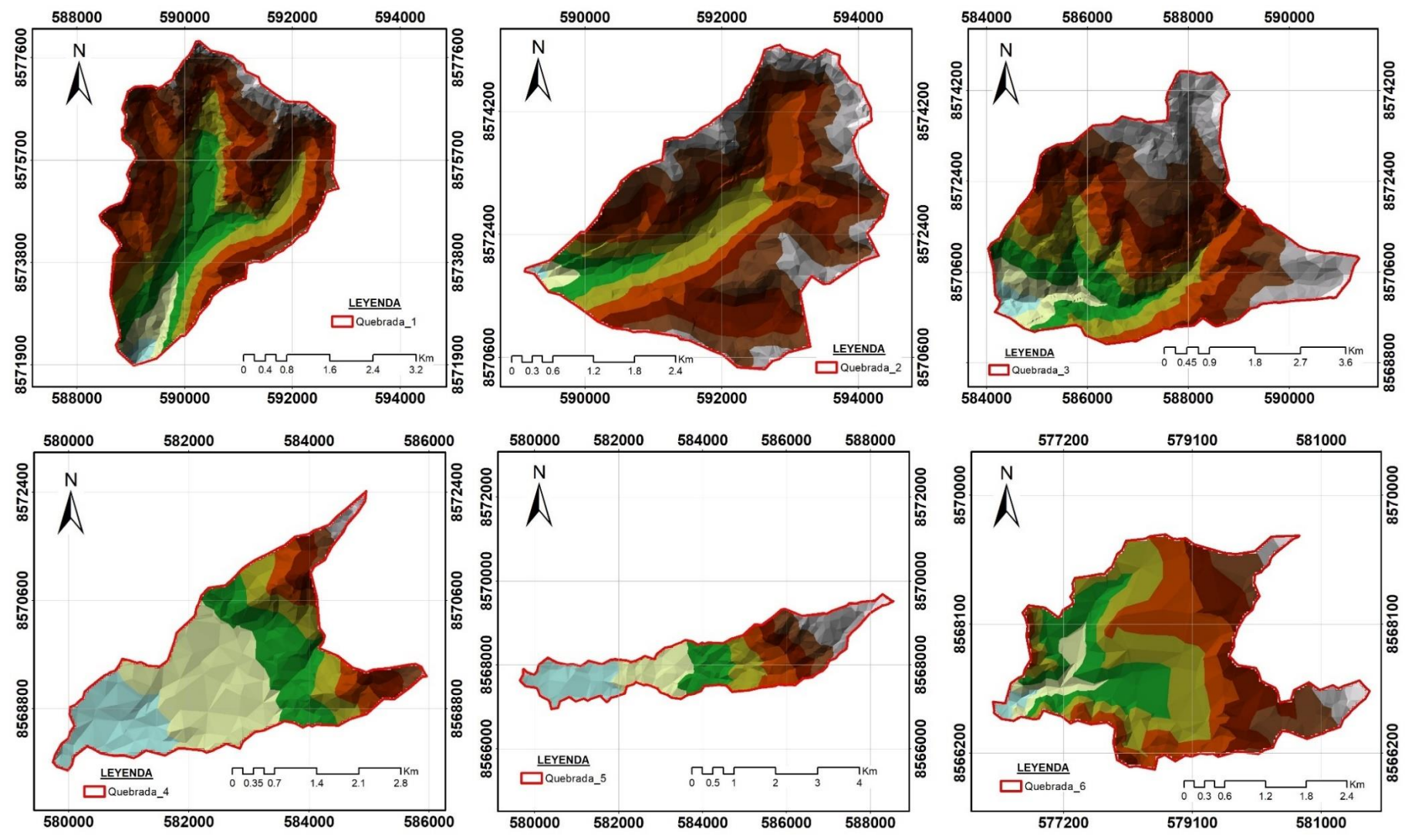
Orden de ríos de las quebradas de la microcuenca



Nota. (a) Quebrada Q1, (b) Quebrada Q2, (c) Quebrada Q3, (d) Quebrada Q4, (e) Quebrada Q5, (f) Quebrada Q6

Anexo 13

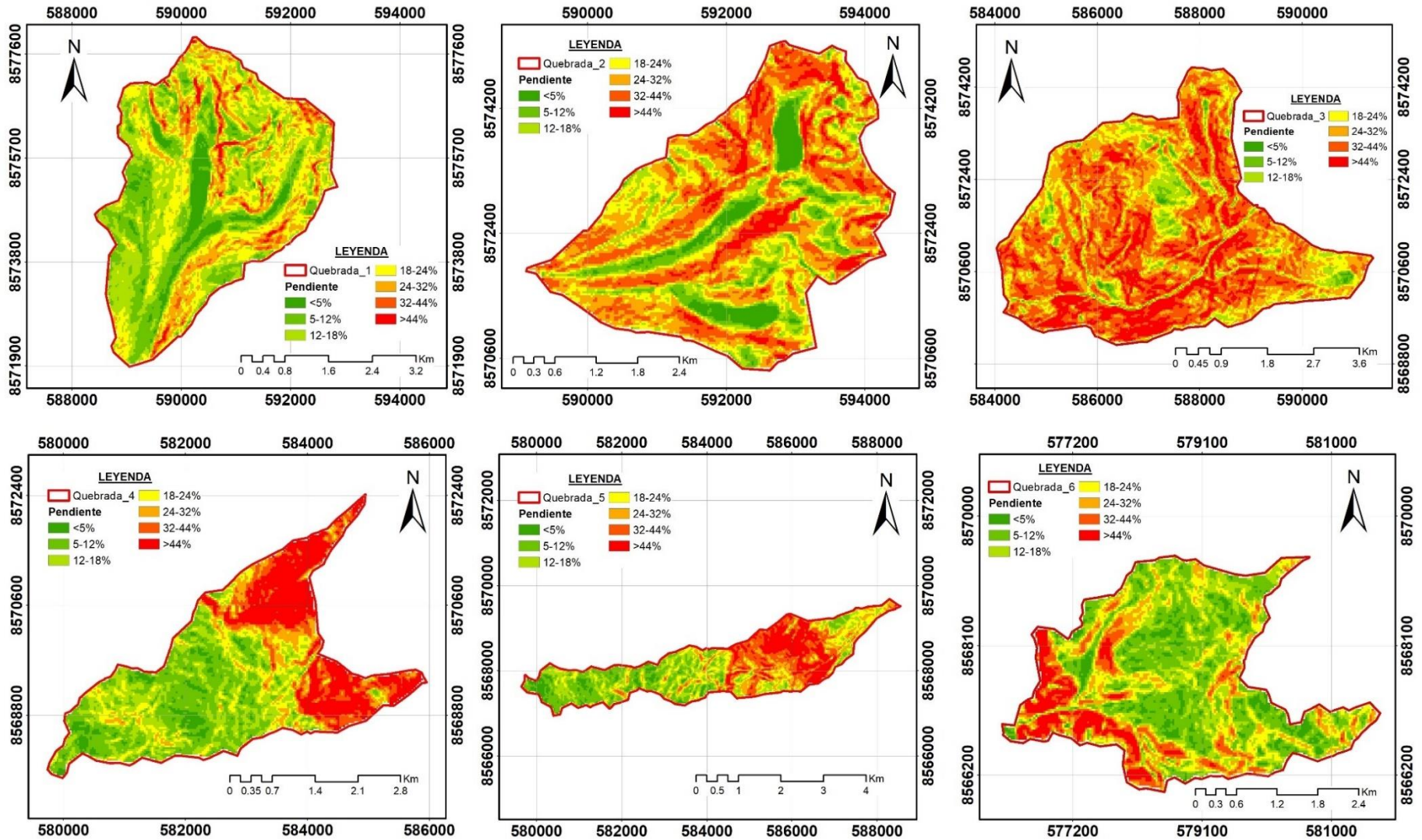
TIN de las quebradas de la microcuenca



Nota. (a) Quebrada Q1, (b) Quebrada Q2, (c) Quebrada Q3, (d) Quebrada Q4, (e) Quebrada Q5, (f) Quebrada Q6

Anexo 14

Pendiente de las quebradas de la microcuenca



Nota. (a) Quebrada Q1, (b) Quebrada Q2, (c) Quebrada Q3, (d) Quebrada Q4, (e) Quebrada Q5, (f) Quebrada Q6

Anexo 15

Script en R Studio de la comparación de los parámetros morfométricos

```
# Cargar las librerías necesarias
library(ggplot2)

## Warning: package 'ggplot2' was built under R version 4.4.2

library(reshape2)

## Warning: package 'reshape2' was built under R version 4.4.2

# Crear un data frame con los datos
datos <- data.frame(
  Clasificacion = c("Q1", "Q2", "Q3", "Q4", "Q5", "Q6"),
  Area = c(15.58, 13.59, 21.42, 10.61, 8.92, 10.17),
  Perimetro = c(17.46, 16.81, 21.99, 19.86, 21.26, 18.89),
  Factor_de_forma = c(0.73, 0.60, 0.98, 0.39, 0.30, 0.77),
  Razon_de_Miller = c(0.64, 0.60, 0.56, 0.34, 0.25, 0.36),
  Indice_de_Gravelius = c(1.24, 1.28, 1.33, 1.71, 1.99, 1.66),
  Relacion_de_elongacion = c(0.96, 0.88, 1.12, 0.70, 0.61, 0.99),
  Pendiente = c(17.95, 14.21, 19.19, 15.87, 15.04, 3.74),
  Densidad_de_Drenaje = c(1.14, 1.28, 1.36, 2.01, 2.00, 1.81),
  Tiempo_de_concentracion = c(29.98, 30.04, 24.21, 32.11, 25.60, 35.56),
  Frecuencia_de_drenaje = c(4.30, 4.34, 5.93, 7.54, 3.48, 6.39),
  Relacion_de_bifurcacion = c(4.52, 4.34, 5.00, 5.34, 2.62, 4.52),
  Coeficiente_de_Torrencialidad = c(2.82, 2.13, 3.13, 2.83, 1.91, 4.03)
)

# Agregar una columna para la clasificación (Parte Alta, Parte Media, Parte Baja) de las quebradas
datos$Clasificacion_Parte <- c("Parte Alta", "Parte Alta", "Parte Media", "Parte Baja", "Parte Baja", "Parte Baja")

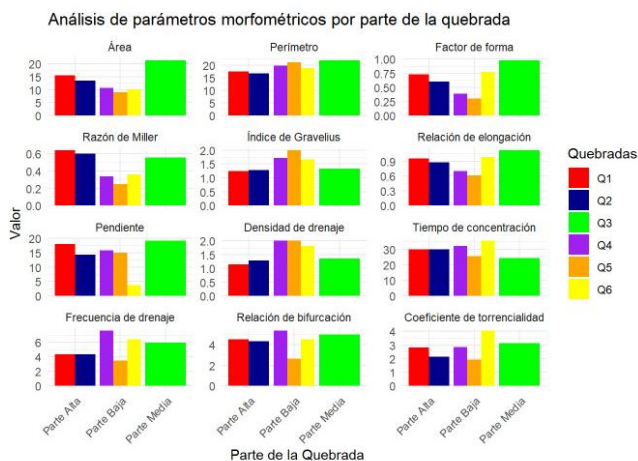
# Convertir los datos a formato largo para ggplot
datos_largos <- melt(datos, id.vars = c("Clasificacion", "Clasificacion_Parte"))

# Diccionario para renombrar los parámetros
etiquetas <- list(
  "Area" = "Área",
  "Perimetro" = "Perímetro",
  "Factor_de_forma" = "Factor de forma",
  "Razon_de_Miller" = "Razón de Miller",
  "Indice_de_Gravelius" = "Índice de Gravelius",
  "Relacion_de_elongacion" = "Relación de elongación",
  "Pendiente" = "Pendiente",
  "Densidad_de_Drenaje" = "Densidad de drenaje",
  "Tiempo_de_concentracion" = "Tiempo de concentración",
  "Frecuencia_de_drenaje" = "Frecuencia de drenaje",
  "Relacion_de_bifurcacion" = "Relación de bifurcación",
  "Coeficiente_de_Torrencialidad" = "Coeficiente de torrencialidad"
)

# Reemplazar los nombres de las variables con las etiquetas legibles
datos_largos$variable <- factor(datos_largos$variable,
  levels = names(etiquetas),
  labels = unlist(etiquetas))

# Crear un gráfico combinado con facetas
grafico_combinado <- ggplot(datos_largos, aes(x = Clasificacion_Parte, y = value, fill = Clasificacion)) +
  geom_bar(stat = "identity", position = "dodge") +
  facet_wrap(~ variable, scales = "free_y", ncol = 3) +
  labs(title = "Análisis de parámetros morfométricos por parte de la quebrada",
    x = "Parte de la Quebrada",
    y = "Valor",
    fill = "Quebradas") +
  theme_minimal() +
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 45, hjust = 1)) +
  scale_fill_manual(values = c("red", "darkblue", "green", "purple", "orange", "yellow"))

# Mostrar el gráfico combinado
print(grafico_combinado)
```



Anexo 16

Script en R Studio del diagrama de cajas y bigotes

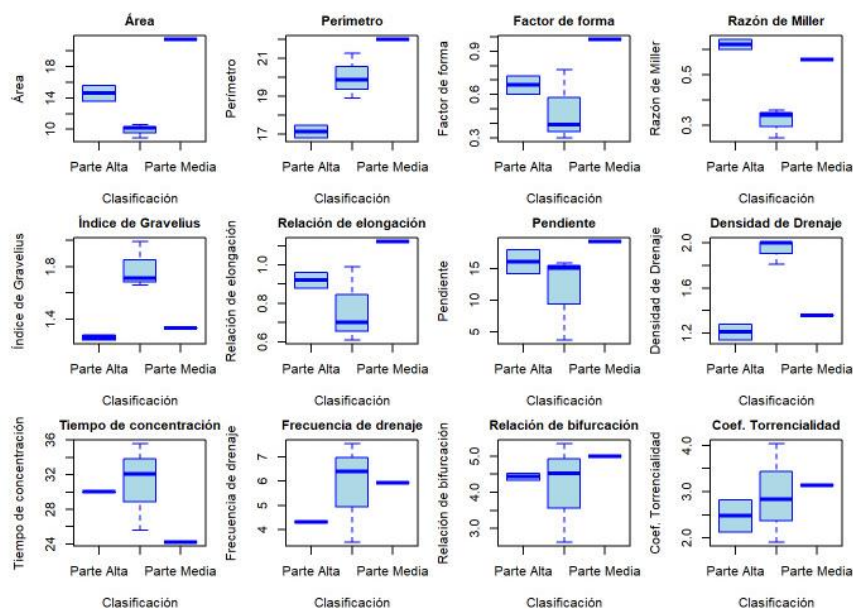
```

# Crear el dataframe
datos <- data.frame(
  Clasificación = c("Parte Alta", "Parte Alta", "Parte Media", "Parte Baja", "Parte Baja", "Parte Baja"),
  Quebradas = c("Q1", "Q2", "Q3", "Q4", "Q5", "Q6"),
  Área = c(15.58, 13.59, 21.42, 10.61, 8.92, 10.17),
  Perímetro = c(17.46, 16.81, 21.99, 19.86, 21.26, 18.89),
  Factor_de_forma = c(0.73, 0.60, 0.98, 0.39, 0.30, 0.77),
  Razón_de_Miller = c(0.64, 0.60, 0.56, 0.34, 0.25, 0.36),
  Índice_de_Gravelius = c(1.24, 1.28, 1.33, 1.71, 1.99, 1.66),
  Relación_de_elongación = c(0.96, 0.88, 1.12, 0.70, 0.61, 0.99),
  Pendiente = c(17.95, 14.21, 19.19, 15.87, 15.04, 3.74),
  Densidad_de_Drenaje = c(1.14, 1.28, 1.36, 2.01, 2.00, 1.81),
  Tiempo_de_concentración = c(29.98, 30.04, 24.21, 32.11, 25.60, 35.56),
  Frecuencia_de_drenaje = c(4.30, 4.34, 5.93, 7.54, 3.48, 6.39),
  Relación_de_bifurcación = c(4.52, 4.34, 5.00, 5.34, 2.62, 4.52),
  Coeficiente_de_Torrencialidad = c(2.82, 2.13, 3.13, 2.83, 1.91, 4.03)
)

# Configurar la disposición del gráfico (3 filas x 4 columnas)
par(mfrow = c(3, 4), mar = c(4, 4, 2, 1))

# Crear los boxplots para cada parámetro con títulos sin negrita
boxplot(Área ~ Clasificación, data = datos, main = "Área", ylab = "Área", col = "lightblue", border = "blue", cex.main = 1)
boxplot(Perímetro ~ Clasificación, data = datos, main = "Perímetro", ylab = "Perímetro", col = "lightblue", border = "blue", cex.main = 1)
boxplot(Factor_de_forma ~ Clasificación, data = datos, main = "Factor de forma", ylab = "Factor de forma", col = "lightblue", border = "blue", cex.main = 1)
boxplot(Razón_de_Miller ~ Clasificación, data = datos, main = "Razón de Miller", ylab = "Razón de Miller", col = "lightblue", border = "blue", cex.main = 1)
boxplot(Índice_de_Gravelius ~ Clasificación, data = datos, main = "Índice de Gravelius", ylab = "Índice de Gravelius", col = "lightblue", border = "blue", cex.main = 1)
boxplot(Relación_de_elongación ~ Clasificación, data = datos, main = "Relación de elongación", ylab = "Relación de elongación", col = "lightblue", border = "blue", cex.main = 1)
boxplot(Pendiente ~ Clasificación, data = datos, main = "Pendiente", ylab = "Pendiente", col = "lightblue", border = "blue", cex.main = 1)
boxplot(Densidad_de_Drenaje ~ Clasificación, data = datos, main = "Densidad de Drenaje", ylab = "Densidad de Drenaje", col = "lightblue", border = "blue", cex.main = 1)
boxplot(Tiempo_de_concentración ~ Clasificación, data = datos, main = "Tiempo de concentración", ylab = "Tiempo de concentración", col = "lightblue", border = "blue", cex.main = 1)
boxplot(Frecuencia_de_drenaje ~ Clasificación, data = datos, main = "Frecuencia de drenaje", ylab = "Frecuencia de drenaje", col = "lightblue", border = "blue", cex.main = 1)
boxplot(Relación_de_bifurcación ~ Clasificación, data = datos, main = "Relación de bifurcación", ylab = "Relación de bifurcación", col = "lightblue", border = "blue", cex.main = 1)
boxplot(Coeficiente_de_Torrencialidad ~ Clasificación, data = datos, main = "Coef. Torrencialidad", ylab = "Coef. Torrencialidad", col = "lightblue", border = "blue", cex.main = 1)

```



Anexo 17

Script en R Studio de la comparación por quebradas

```
# Cargar las librerías necesarias
library(ggplot2)
```

```
## Warning: package 'ggplot2' was built under R version 4.4.2
```

```
library(reshape2)
```

```
## Warning: package 'reshape2' was built under R version 4.4.2
```

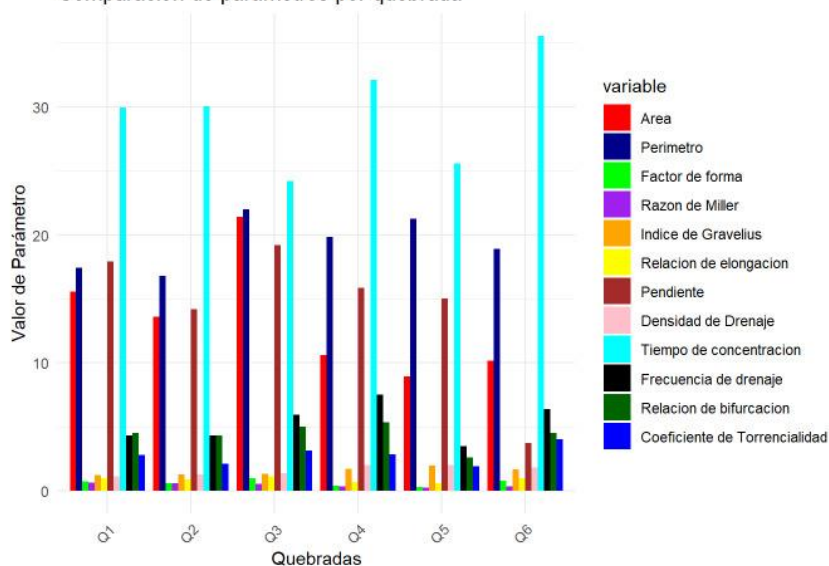
```
# Crear un data frame con los datos
datos <- data.frame(
  Clasificacion = c("Q1", "Q2", "Q3", "Q4", "Q5", "Q6"),
  Area = c(15.58, 13.59, 21.42, 10.61, 8.92, 10.17),
  Perimetro = c(17.46, 16.81, 21.99, 19.86, 21.26, 18.89),
  Factor_de_forma = c(0.73, 0.60, 0.98, 0.39, 0.30, 0.77),
  Razon_de_Miller = c(0.64, 0.60, 0.56, 0.34, 0.25, 0.36),
  Indice_de_Gravelius = c(1.24, 1.28, 1.33, 1.71, 1.99, 1.66),
  Relacion_de_elongacion = c(0.96, 0.88, 1.12, 0.70, 0.61, 0.99),
  Pendiente = c(17.95, 14.21, 19.19, 15.87, 15.04, 3.74),
  Densidad_de_Drenaje = c(1.14, 1.28, 1.36, 2.01, 2.00, 1.81),
  Tiempo_de_concentracion = c(29.98, 30.04, 24.21, 32.11, 25.60, 35.56),
  Frecuencia_de_drenaje = c(4.30, 4.34, 5.93, 7.54, 3.48, 6.39),
  Relacion_de_bifurcacion = c(4.52, 4.34, 5.00, 5.34, 2.62, 4.52),
  Coeficiente_de_Torrencialidad = c(2.82, 2.13, 3.13, 2.83, 1.91, 4.03)
)

# Reemplazar los guiones bajos en los nombres de las columnas con espacios
colnames(datos) <- gsub("_", " ", colnames(datos))

# Convertir el data frame a formato largo para ggplot
datos_largos <- melt(datos, id.vars = "Clasificacion")

# Crear el gráfico de barras con colores más intensos
ggplot(datos_largos, aes(x = Clasificacion, y = value, fill = variable)) +
  geom_bar(stat = "identity", position = "dodge") +
  labs(title = "Comparación de parámetros por quebrada",
       x = "Quebradas",
       y = "Valor de Parámetro") +
  theme_minimal() +
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 45, hjust = 1)) +
  scale_fill_manual(values = c("red", "darkblue", "green", "purple", "orange",
                              "yellow", "brown", "pink", "cyan", "black", "darkgreen", "blue")) # Colores más fuertes
```

Comparación de parámetros por quebrada



Anexo 18

Script en R Studio de la comparación de parámetros según su valor

```
# Cargar librerías necesarias
library(fmsb)

## Warning: package 'fmsb' was built under R version 4.4.2

# Crear los datos directamente
datos_radar <- data.frame(
  Kf = c(0.73, 0.60, 0.98, 0.39, 0.30, 0.77),
  Ic = c(0.64, 0.60, 0.56, 0.34, 0.25, 0.36),
  Kc = c(1.24, 1.28, 1.33, 1.71, 1.99, 1.66),
  Re = c(0.96, 0.88, 1.12, 0.70, 0.61, 0.99),
  Dd = c(1.14, 1.28, 1.36, 2.01, 2.00, 1.81)
)

# Encontrar los valores máximos y mínimos para cada variable
max_valores <- apply(datos_radar, 2, max)
min_valores <- apply(datos_radar, 2, min)

# Crear un data frame con los valores máximos, mínimos y los datos
data <- rbind(max_valores, min_valores, datos_radar)

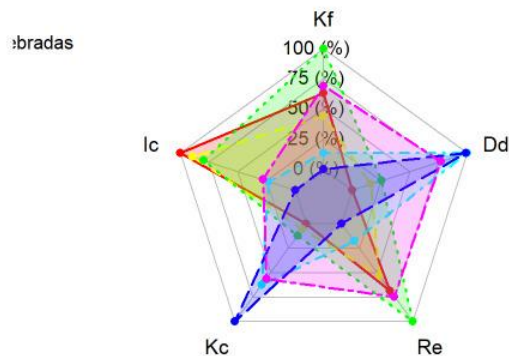
# Renombrar las filas para la leyenda
rownames(data)[1:2] <- c("Max", "Min")
rownames(data)[3:8] <- c("Q1", "Q2", "Q3", "Q4", "Q5", "Q6")

# Ajustar márgenes para hacer el gráfico más grande y espaciar las etiquetas
par(mar = c(4, 4, 4, 4)) # Márgenes más amplios para mayor espacio

# Crear el gráfico de radar
radarchart(data,
  axistype = 1,
  pcol = rainbow(6),
  pfc0l = rainbow(6, alpha = 0.2),
  plwd = 2,
  cglcol = "grey",
  cglty = 1,
  axislabcol = "black",
  vicex = 1.1, # Aumentar ligeramente el tamaño de las etiquetas
  title = "Comparación de Parámetros Morfométricos",
  viabels = c("Kf", "Ic", "Kc", "Re", "Dd")) # Nuevas etiquetas

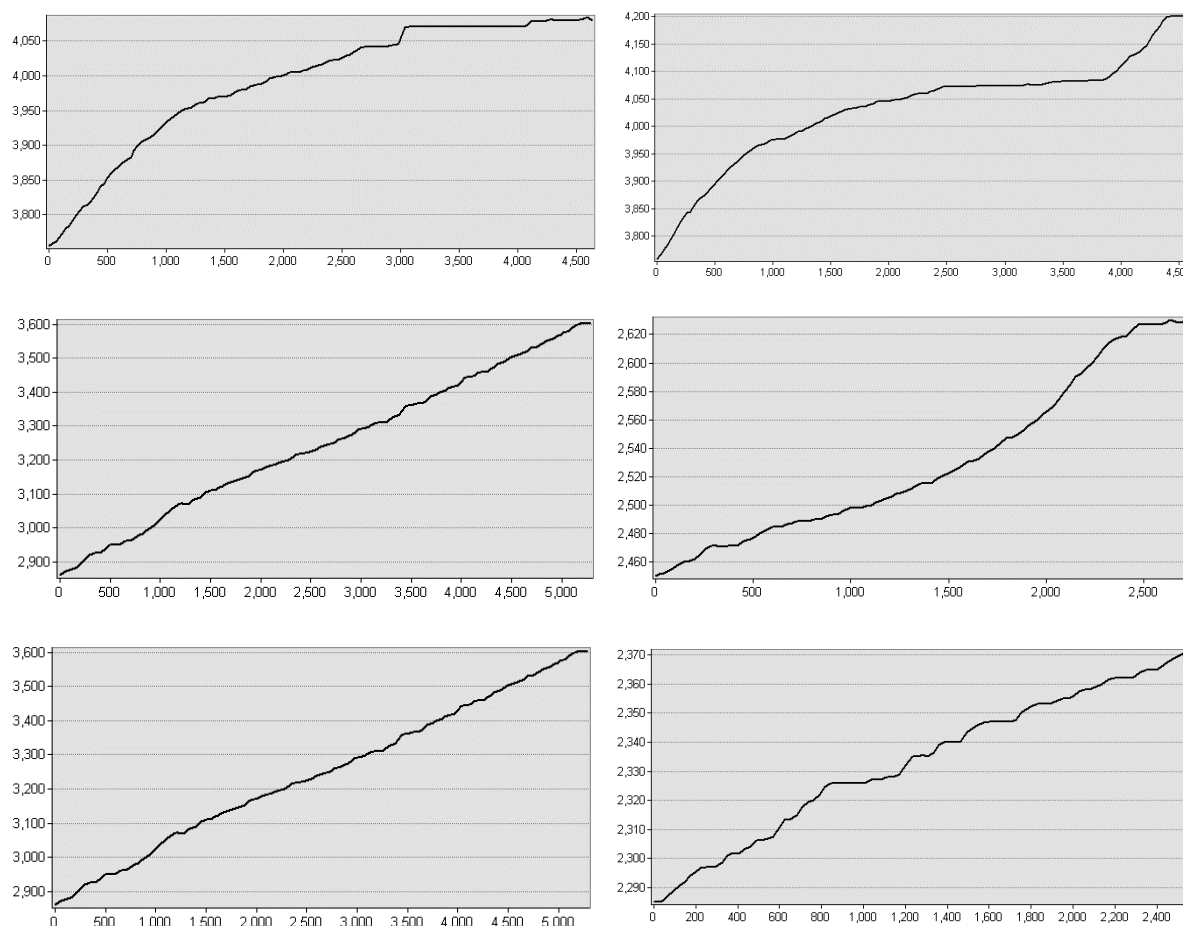
# Agregar título y leyenda
legend(x = -2.5, y = 1.2, # Posición ajustada para mayor separación
  legend = c("Quebradas", "Q1", "Q2", "Q3", "Q4", "Q5", "Q6"),
  bty = "n",
  pch = c(NA, rep(20, 6)),
  col = c(NA, rainbow(6)),
  text.font = 1, # Negrita para el título
  cex = 1) # Tamaño del texto
```

Comparación de Parámetros Morfométricos



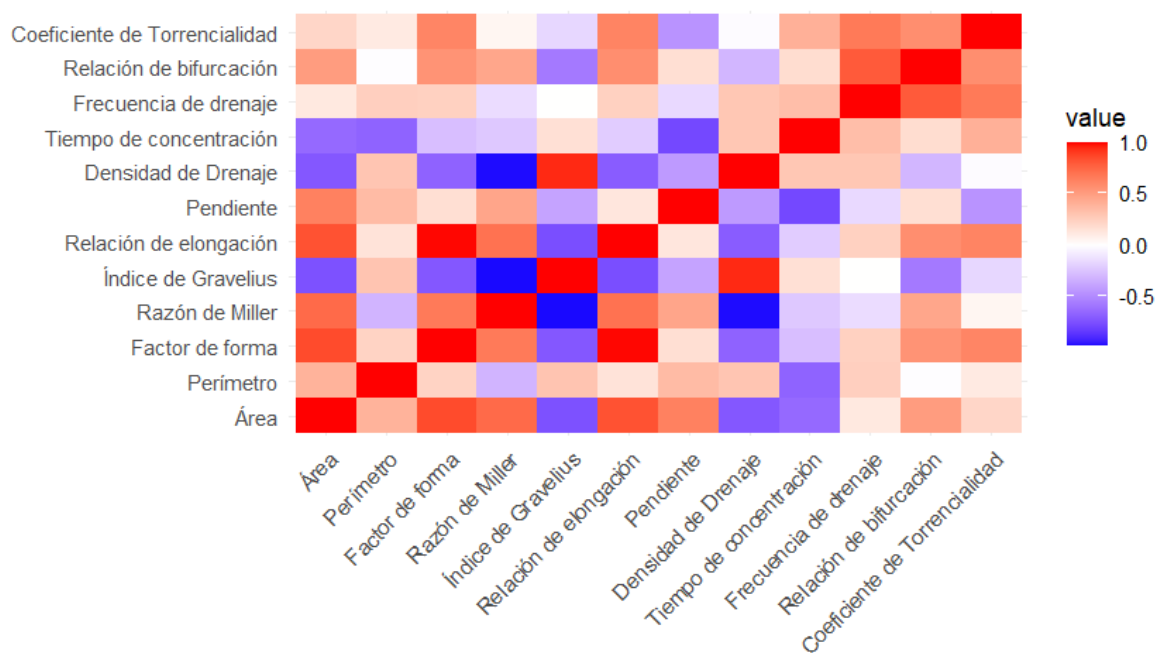
Anexo 19

Perfil longitudinal del río principal en cada quebrada



Anexo 20

Mapa de calor de correlación entre parámetros



Anexo 21

Trabajo dentro de la microcuenca en la parte alta Q1



Nota. (a) Toma de datos en Q2, (b) Toma de datos con el clinómetro, (c) Toma de datos utilizando el Dron, (d) Toma de pendiente en Q1, (e) Parteaguas de la microcuenca, (f) Vista de la laguna Pampaqocha, (g) Parte alta de microcuenca, (h) Razuhuilca

Anexo 22*Trabajo en la microcuenca en la parte alta Q1*

Nota. (a) Verificación de la pendiente, (b) Toma de la laguna Tocctococha, (c) Parteaguas de la microcuenca Q1, (d) Toma de datos en Q1, (e) Toma de datos en la red hídrica en la parte agua, (f) Toma de datos en la parte alta de la Q2, (g) Toma de datos con el Dron en al Q2, (h) Toma de pendiente en la Q1 en la parte alta.

Anexo 23

Trabajo en la microcuenca en la aparte media Q3



Nota. (a) Toma aérea con el Dron (b) Punto de aforo en la catarata Huancayocc, (c) Toma de datos con el GPS (d) Verificación visual de erosión (e) Toma fotográfica de la erosión (f) Vista general de la catarata Huancayocc, (g) Toma de medidas en la parte media de la microcuenca, (h) Toma de datos en la parte media utilizando clinómetro, GPS y Dron.

Anexo 24

Trabajo en la microcuenca en la parte baja Q4, Q5 y Q6



Nota. (a) Verificación visual de la parte media, (b) Toma aérea con el Dron, (c) Toma de pendiente (d) Punto de aforo entre la Q4 y Q5, (e) Toma de punto en la parte baja, (f) Vista general de la parte baja, (g) Punto de aforo, (h) Canal en la parte baja.

Anexo 25

Trabajo de campo en la parte llana de la microcuenca



Nota. (a) Verificación visual de la parte baja, (b) Densidad de cobertura vegetal, (c) Toma general (d) Parte llana de la microcuenca, (e) Plantas de tuna, (f) Zona meandros, (g) Punto de aforo, (h) erosión.

Anexo 26

Trabajo de campo en la Q6



Nota. (a) Cobertura vegetal en la Q6, (b) Toma aérea con el Dron, (c) Sembrío de alfalfa, (d) sembrío de Alfalfa, (e) Límite de Ayacucho con Huancavelica, (f) Salida a río Cachi, (g) Rio cachi, (h) Toma fotográfica con un regante.