

## INTRODUCCIÓN

### Selección y definición del tema de proyecto

“Delimitación, codificación y principales parámetros geométricos y morfométricos de las cuencas del valle central de Tarija con el método Pfafstetter a nivel 6”.

### Ubicación geográfica del proyecto

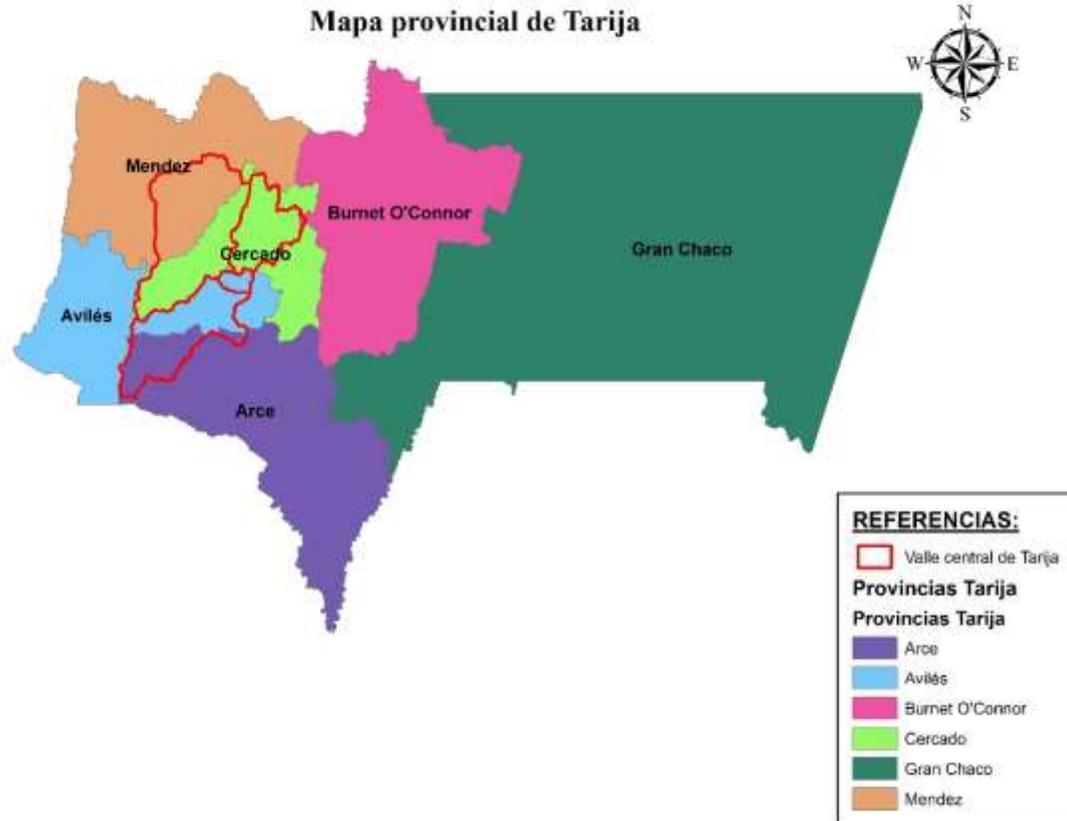
A nivel provincial el valle central de Tarija se encuentra entre las provincias:

Al norte con la provincia Méndez.

Al este con la provincia de Cercado.

Al sur con la provincia de Arce.

Al oeste con la provincia de Avilés.



**Figura 1. 1 Mapa provincial de Tarija**

**Fuente:** Elaboración Propia

### Problema de investigación

### Planteamiento del problema

El método Pfafstetter es una metodología que sirve para asignar identificadores a unidades de drenaje basado en las características del terreno.

Actualmente en Bolivia a través de la metodología Pfafstetter se tiene información existente a nivel 5. Lo que se plantea utilizando este método es el mapa de unidades hidrográficas de las cuencas del valle Central de Tarija a nivel 6 y a su vez tener una base de datos para la delimitación de otras cuencas del departamento de Tarija, generando así un aporte a la gestión administrativa y técnica de los procesos relacionados con las unidades hidrográficas.

### **Formulación del problema**

¿Existe una metodología que sistematice a través de un software el método de delimitación de unidades hidrográficas?

### **Sistematización del problema**

¿Qué diferencias existen en el análisis de los modelos digitales de elevación STRM 30 x 30 m y ALOS PALSAR 12,5 x 12,5 m?

¿Qué beneficios tiene el delimitar cuencas a nivel 6, empleando el método Pfafstetter?

¿Se puede sistematizar el cálculo de los principales parámetros morfométricos de las unidades hidrográficas?

¿Se puede demostrar que el software de ArcGis es un elemento eficaz para poder realizar la delimitación de unidades hidrográficas?

### **Objetivo de proyecto**

#### **Objetivo general**

Delimitar y codificar las unidades hidrográficas de las cuencas del valle central de Tarija mediante la metodología Pfafstetter a nivel 6.

#### **Objetivo específicos**

- ✓ Delimitar y codificar las unidades hidrográficas nivel 6 de las cuencas del valle central de Tarija (Cuenca del río Camacho, Santa Ana, Guadalquivir y Tolomosa), tomando como referencia la codificación Pfafstetter ya existente en la zona.

- ✓ Establecer los principales parámetros geométricos (área, perímetro, longitud del río principal, elevación máxima y elevación mínima) y morfométricos (orden de drenaje, densidad de drenaje, relación de longitud y relación de confluencia) de las unidades hidrográficas nivel 6.
- ✓ Generar una metodología en el programa ArcGis para delimitar unidades hidrográficas de cualquier nivel.
- ✓ Proporcionar información de unidades hidrográficas nivel 6, que conforman el valle central de Tarija, para que se utilice como base de trabajo en futuros estudios hidrológicos e ingeniería de recursos hídricos.

### **Justificaciones del proyecto**

Las razones por la cual se realiza este proyecto son:

#### **Justificación académica**

Se realizará una metodología que explique detalladamente la delimitación de unidades hidrográficas en el software ArcGis y a su vez un pequeño complemento (caja de herramientas para ArcGis) que realice el proceso de delimitación de unidades hidrográficas de manera semiautomática.

#### **Justificación técnica**

Generar un aporte con las cuencas del valle Central de Tarija mediante la metodología Pfafstetter a nivel 6 que sirva como registro para la delimitación de futuras unidades hidrográficas del departamento de Tarija.

#### **Justificación social**

Al tener una información más detallada se permitirá el desarrollo de estudios y proyectos orientados a conservar y aprovechar los recursos disponibles del entorno.

### **Marco de referencia**

#### **Marco teórico**

Las unidades hidrográficas que se obtienen tienen la particularidad, que en la medida que se generan se van aplicando los criterios del método Pfafstetter, ello implica un proceso, que va desde la determinación del río principal, selección de las cuatro redes de drenaje de mayor tamaño “por cálculos de acumulación de flujo” hasta la generación de las cuencas (watersheds) en formato raster “utilizando el stream link y la dirección de flujo”.

Posteriormente el raster se convierte en vector, y luego de un proceso de suavizado “smooth” queda expedito para la codificación tabular.

Las unidades hidrográficas (que para el método de Pfafstetter son de tres tipos: cuencas, intercuenas y cuencas internas o cerradas) menores divididas se codifican según el orden de jerarquía en el que se encuentren. (Ruíz y Torrez, 2015; página 8)

### **Marco conceptual**

**Acumulación de flujo:** Es el cálculo de la cantidad de agua que fluye dentro de la celda, desde todas las celdas que drenan hacia ella en un modelo raster.

**Afluente:** Río que entrega sus aguas a otro de mayor cauce.

**Arreica:** Es un tipo de cuenca sin escurrimiento superficial.

**Atributo:** Característica de un objeto o entidad.

**Carta topográfica:** Es una carta resultante de trabajos topográficos que incorpora elementos naturales y artificiales del terreno.

**Cartografía:** Ciencia que se dedica al estudio y elaboración de mapas.

**Cauce (fluvial):** Es el espacio por donde circula el río.

**Cuenca:** La cuenca hidrográfica es toda la superficie de terreno que contribuye al flujo de agua de un río.

**Demarcación hidrográfica:** Es la principal unidad de gestión compuesta por una o varias cuencas hidrográficas vecinas.

**Delimitación:** Consiste en determinar los límites de un espacio de terreno.

**Dirección de flujo:** Determina la dirección de flujo de agua desde cada celda en un modelo raster.

**Metadato:** Información respecto del contenido, calidad, condición y otras características de los datos.

**Modelo digital de elevación:** Es la representación de la altura del terreno.

**Pendiente:** Es la inclinación del terreno, la cual se puede expresar porcentualmente o en grados.

**Raster:** Es una estructura o fichero de datos que representa una rejilla rectangular de pixeles o puntos de color.

**Recurso hídrico:** Son aquellos cuerpos de aguas tales como: Océanos, ríos, lagos, arroyos y lagunas existentes en el planeta.

**Río principal:** El río principal es aquel que llega a la desembocadura de un mar, o de otro río más importante. Es aquel que recibe las aguas de los ríos menores, o subafluentes.

**Río tributario:** Es un curso de agua o un río que fluye en otro río, o un espejo de agua que no sea el mar.

**Topología:** La topología contiene reglas que definen cómo los elementos comparten el espacio.

**Umbral:** El umbral en la acumulación de flujo es la mínima cantidad de agua a ser detectada en el modelo.

**Unidad hidrográfica:** Es el espacio o área topográfica cuyo límite está dado por la línea divisoria de aguas y relacionado espacialmente por sus códigos, donde el tamaño de la superficie de drenaje es el criterio predominante de organización jerárquica.

**Watershed:** Herramienta de Spatial Analyst que determina el área de contribución sobre un conjunto de celdas en el raster.

### **Marco espacial**

El valle central de Tarija se encuentra ubicado en el Estado Plurinacional de Bolivia, departamento de Tarija, se extiende en las provincias de Arce, Aviléz, Cercado, Méndez y los municipios que comprenden San Lorenzo, Tarija, Padcaya y Uriondo.

### **Marco temporal**

Para la codificación de unidades hidrográficas se emplearán modelos digitales de elevación ALOS PALSAR que en octubre de 2015 fueron liberados de forma gratuita. Así mismo se usarán las codificaciones existentes de Tarija del Ministerio de Medio Ambiente y Agua.

### **Alcance**

El alcance del presente proyecto de grado contempla:

- ✓ Recolección de información necesaria por parte del proyectista.
- ✓ Elaboración de un listado de procedimientos para la delimitación de unidades hidrográficas mediante el método Pfafstetter utilizando el software de ArcGis.

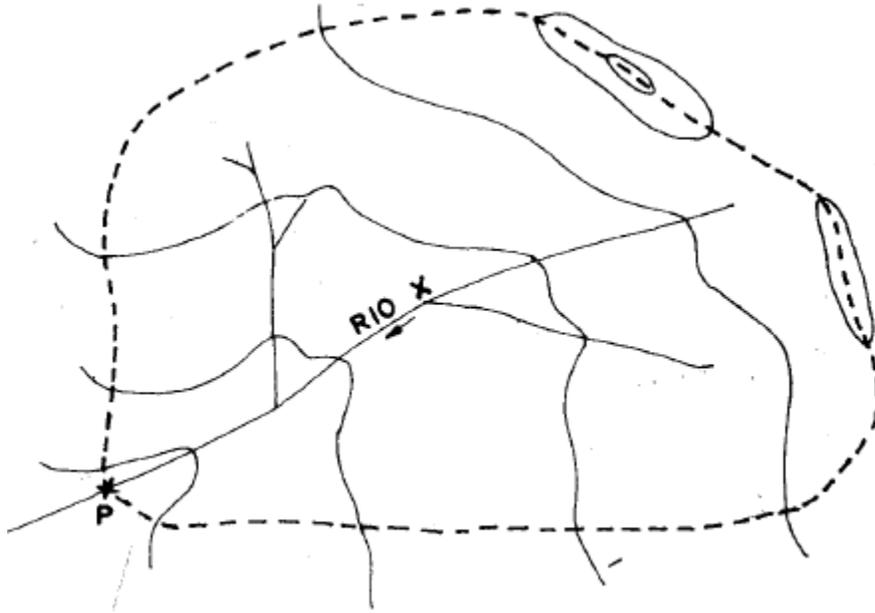
- ✓ Elaboración de un complemento para ArcGis que facilite la delimitación de unidades hidrográficas de manera semiautomática.
- ✓ Elaborar el archivo digital georeferenciado de las unidades hidrográficas del valle central de Tarija.
- ✓ Realizar mapas temáticos que representen la delimitación de las unidades hidrográficas nivel 6.

## **FUNDAMENTO TEÓRICO**

### **Cuenca hidrográfica**

Se define cuenca el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida para cada punto de su recorrido.

La delimitación de una cuenca se hace sobre un plano a curvas de nivel, siguiendo las líneas del divortium acuarum o líneas de las altas cumbres. En la fig. 2.1 se ha delimitado la cuenca del río x correspondiente al punto P.



**Figura 2. 1 Cuenca hidrográfica del punto P**

**Fuente:** (Chereque, 1989)

La cuenca hidrográfica es un conjunto de tierras drenadas por un río y sus afluentes, la cual se forma en regiones de más alto relieve y se delimita por una divisoria de cuencas, donde el agua de lluvia o de la superficie drena formando los cursos de aguas.

### **Clasificación**

Se clasifican en cuatro tipos según su sistema de drenaje y su conducción final en arreicas, criptorreicas, endorreicas y exorreicas, las cuales se explican a continuación:

**Arreicas:** No logran drenar a un río, mar o lago, sus aguas se pierden por evaporación o infiltración sin llegar a formar escurrimiento subterráneo.

**Criptorreicas:** Su red de drenaje superficial no tiene un sistema organizado y corren como ríos subterráneos.



Fuente: (Romero, 2008)

### Divisoria de Cuenca

La divisoria de una cuenca es considerada como el límite que separa a dos cuencas hidrográficas. La divisoria de agua son los puntos más altos, que delimitan la dirección de la circulación del escurrimiento superficial, como se aprecia en la figura 2.4.



**Figura 2. 4 Divisorias de aguas: topográficas (en naranja), dirección de la escorrentía en las laderas (azul oscuro) y red de drenaje principal (celeste)**

Fuente: (Ibañez, Moreno y Gisbert, 2005)

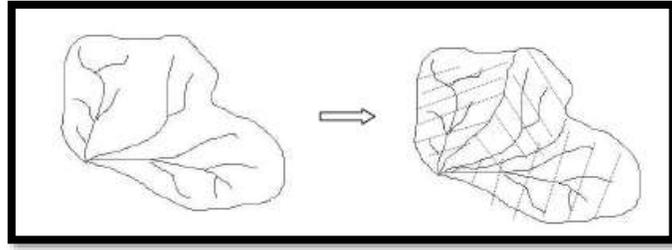
### Propiedades de una cuenca

#### *Parámetros geométricos*

Resumiendo, se brindará la información mínima que debemos conocer para formarnos una primera idea de la naturaleza y comportamiento de una cuenca.

#### *Área de la cuenca (A)*

El área de la cuenca está definida por el espacio delimitado por la curva del perímetro (P). Esta línea se traza normalmente mediante fotointerpretación de fotografía aéreas en las que se aprecia el relieve (y por lo tanto las divisorias de aguas) o sobre un mapa topográfico en función las curvas de nivel representadas.

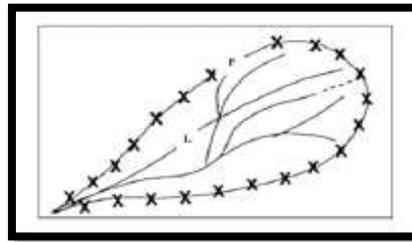


**Figura 2. 5 Subdivisión de una cuenca hidrográfica extensa en 3 subcuencas menores**

**Fuente:** (Ibáñez, Moreno y Gisbert, 2005)

#### Perímetro (P)

El perímetro de la cuenca, P (figura 2.6), informa sucintamente sobre la forma de la cuenca; para una misma superficie, los perímetros de mayor valor se corresponden con cuencas alargadas mientras que los de menor lo hacen con cuencas redondeadas.



**Figura 2. 6 Longitud y perímetro de una cuenca**

**Fuente:** (Ibáñez, Moreno, y Gisbert, 2005)

#### Longitud del cauce principal (L)

La longitud L de la cuenca (figura 2.6) viene definida por la longitud de su cauce principal, siendo la distancia equivalente que recorre el río entre el punto de desagüe aguas abajo y el punto situado a mayor distancia topográfica aguas arriba.

Al igual que la superficie, este parámetro influye enormemente en la generación de escorrentía y por ello es determinante para el cálculo de la mayoría de los índices morfométricos.

#### Desnivel altitudinal (DA)

Es el valor de la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la más baja ( $DA=HM-Hm$ ). Se relaciona con la variabilidad climática y ecológica puesto que una cuenca con mayor

cantidad de pisos altitudinales puede albergar más ecosistemas al presentarse variaciones importantes en su precipitación y temperatura. (Ibáñez, Moreno y Gisbert, 2005)

#### *Parámetros morfométricos*

Métodos para la clasificación y ordenación de drenajes. (Jerarquización de la red fluvial)

Schum

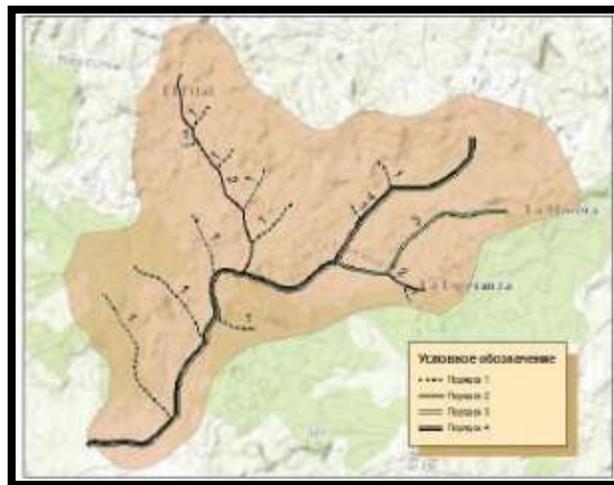
- ✓ Todo río sin afluentes es de orden 1.
- ✓ Es de orden  $x+1$ , todo río formado por la confluencia de dos ríos de orden  $x$ .

Horton (1945)

Según este autor la longitud de cada río de un determinado

orden se extiende hasta la confluencia con otro río del mismo o mayor orden. Y se asignan valores numéricos de la siguiente manera:

- ✓ Todo río sin afluente es de orden 1
- ✓ Todo curso de agua que tiene un afluente  $X$  tendrá un orden  $x+1$ , igual dará este orden en toda su longitud.
- ✓ En la confluencia de dos ríos del mismo orden, se da el orden superior al río más largo.



**Figura 2. 7 Jerarquización de una red hidrográfica según el criterio de Horton**

**Fuente:** (Campos, Sinechenko y Gritsuki, 2010)

Horton – Strahler (1952 – 1957)

Según Strahler una corriente puede tener uno o más segmentos.

En forma simple y resumida podemos decir que para jerarquizar una red de drenaje se asignan valores numéricos a los órdenes de la siguiente manera:

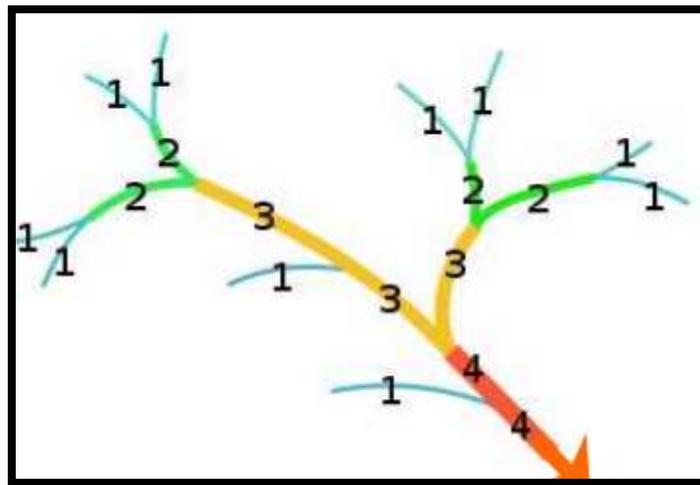
- ✓ A los cursos que son las nacientes de la red se les asigna el valor 1.
- ✓ La conjunción de dos cauces de orden 1, implica que la red de drenaje aumenta de magnitud por lo que a partir del lugar de confluencia se le asigna el valor 2.
- ✓ El lugar de encuentro entre dos cauces de orden 2 implica que la magnitud de la red de drenaje vuelve a ascender por lo que el valor numérico correspondiente a partir de allí es 3.

Así se procede sucesivamente hasta finalizar con la jerarquización de la red de drenaje.

El encuentro de un curso de orden inferior con otro de magnitud superior no significa cambio de orden de magnitud en la red de drenaje. Por ejemplo, la confluencia de un curso de orden 1 con otro de orden 3 no varía la magnitud.

La misma continúa siendo de 3. Sólo aumenta si se produce la confluencia entre dos cursos de agua de idéntica magnitud.

El curso de agua cuyo cauce alcanza la máxima magnitud dentro del área ocupada por la cuenca, es el río principal.



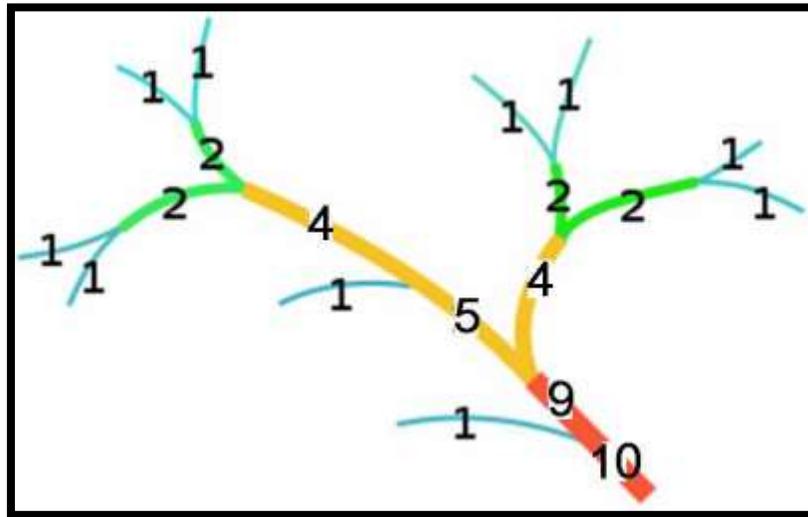
**Figura 2. 8 Jerarquización de una red hidrográfica según el criterio de Strahler**

**Fuente:** (Fernández, 2002)

Shreve (1966)

El método de Shreve toma en consideración todos los cursos y sus confluencias en la red. Al igual que en el método de Strahler, a todos los cursos exteriores se les asigna un orden de 1. Sin embargo, todos los cursos interiores en el método de Shreve, son aditivos.

Debido a que los órdenes son aditivos, los números del método de Shreve se conocen como magnitudes en lugar de órdenes.



**Figura 2. 9 Jerarquización de una red hidrográfica según el criterio de Shreve**

Fuente: (Fernández, 2002)

#### Densidad de drenaje

Se calcula dividiendo la longitud total de las corrientes de la cuenca por el área total que las contiene:

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

Dónde:

L:  $\Sigma$  longitud de las corrientes efímeras, intermitentes y perennes de la cuenca en km.

A: superficie de la cuenca en km<sup>2</sup>

Este índice permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. En general, una mayor densidad de escurrimientos indica mayor

estructuración de la red fluvial, o bien que existe mayor potencial de erosión. La densidad de drenaje varía inversamente con la extensión de la cuenca.

#### Relación de confluencia

- El río menor confluye en el río mayor.
- Si hay mayor número de ríos confluyen en otro mayor, es decir existe mayor densidad de drenaje (la red drena mejor porque su confluencia es alta debido al número de ríos).
- El río principal siempre ocupa la cota menor.

La relación de confluencia se expresa por la siguiente ecuación:

$$R_C = \frac{N_{(x)}}{N_{(x+1)}}$$

$N_{(x)}$  = Número de elementos de orden x de un orden determinado.

$N_{(x+1)}$  = Número de elementos de orden x+1 de un orden inmediato superior.

#### Relación de longitud

Es la relación entre la longitud media de grado superior y la longitud media de grado inferior.

$$R_L = \frac{L_{(x+1)}}{L_{(x)}}$$

Donde:

$L_{(x+1)}$  = Longitud media de grado superior.

$L_{(x)}$  = Longitud media de grado inferior.

#### Parámetros de relieve

Son de gran importancia puesto que el relieve de una cuenca tiene más influencia sobre la respuesta hidrológica que su forma; con carácter general podemos decir que a mayor relieve o pendiente la generación de escorrentía se produce en lapsos de tiempo menores.

Los parámetros de relieve principales son: pendiente media del río(J), pendiente media de la cuenca (j), curva hipsométrica, histograma de frecuencias altimétricas y altura media (H).

#### Pendiente media del cauce (j)

Es la relación existente entre el desnivel altitudinal del cauce y su longitud.

$$j = \frac{h}{L}$$

Donde:

h: desnivel altitudinal (km).

L: longitud del cauce (km).

#### Pendiente media o promedio de la cuenca (J)

Se calcula como media ponderada de las pendientes de todas las superficies elementales de la cuenca en las que la línea de máxima pendiente se mantiene constante; es un índice de la velocidad media de la escorrentía y, por lo tanto, de su poder de arrastre o poder erosivo.

$$J = 100 \frac{\sum L_i * E}{A}$$

Donde:

J= Pendiente media de la cuenca

$L_i$ = Longitud de cada una de las curvas de nivel (km)

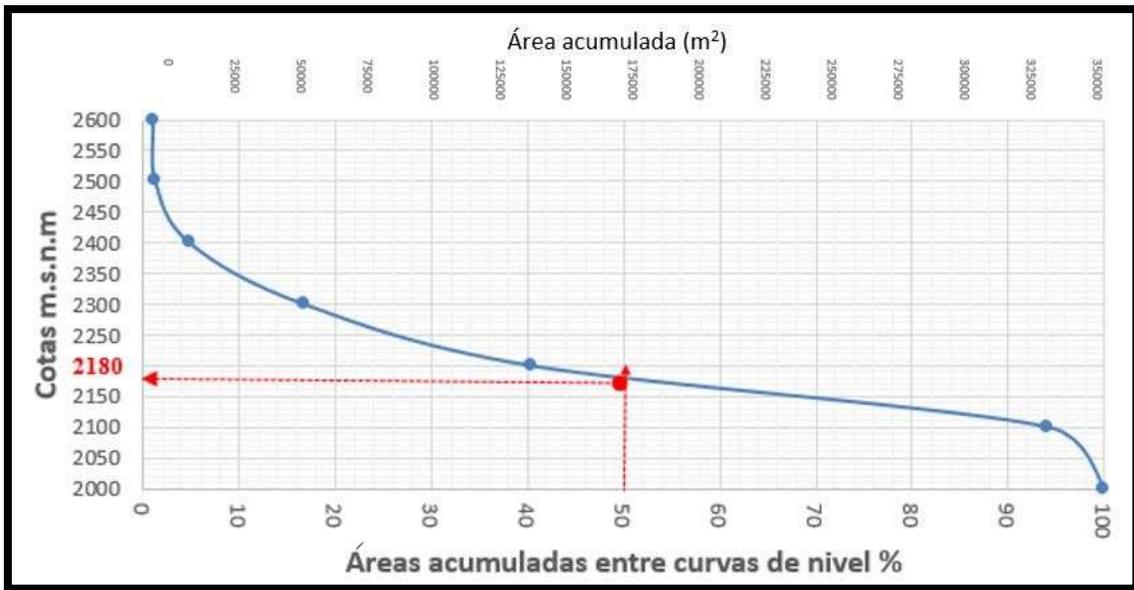
E= Equidistancia de las curvas de nivel (km)

A= Superficie de la cuenca (km<sup>2</sup>)

#### Curva hipsométrica

La curva hipsométrica representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca. Se construye llevando al eje de las abscisas los valores de la superficie drenada

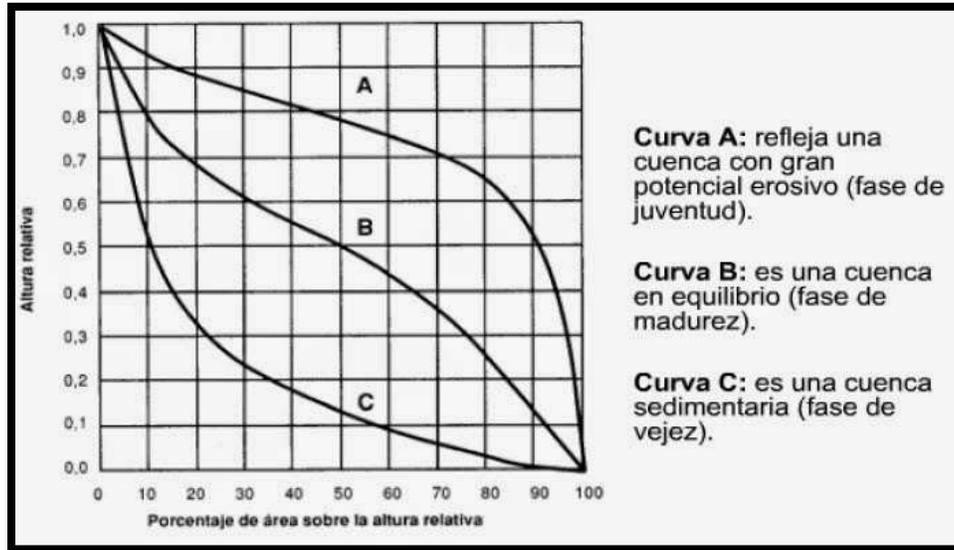
proyectada en km<sup>2</sup> o en porcentaje, obtenida hasta un determinado nivel, el cual se lleva al eje de las ordenadas, generalmente en metros.



**Figura 2. 10 Curva hipsométrica**

**Fuente:** (Ibáñez, Moreno y Gisbert, 2005)

La función hipsométrica es una forma conveniente y objetiva de describir la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su elevación. Las curvas hipsométricas también han sido asociadas con las edades de los ríos de las respectivas cuencas.



**Figura 2. 11 Cambio de forma de la curva hipsométrica con la edad del río**

**Fuente:** (Ibáñez, Moreno y Gisbert, 2005)

### **Modelo Digital de Terreno (M.D.T.)**

Un MDT es una estructura de celdas numéricas, que almacenan datos espaciales de una variable cuantitativa y continua tales como: Temperatura, presión o altitud. En el caso que represente a la última variable mencionada, se denomina MDE.

Un MDT a partir de coordenadas tridimensionales representa numéricamente las características del terreno. Tanto el MDT como el MDE están basados en el modelo de datos raster. (Priego y Porres, 2002).

La forma más simple de ejemplificar lo anterior es tomando como base las curvas de nivel, que son el insumo principal. A través de estas curvas de nivel se puede representar el relieve mediante un MDT, que hoy es la forma de representarlo en formato digital como lo fue anteriormente con los mapas topográficos.



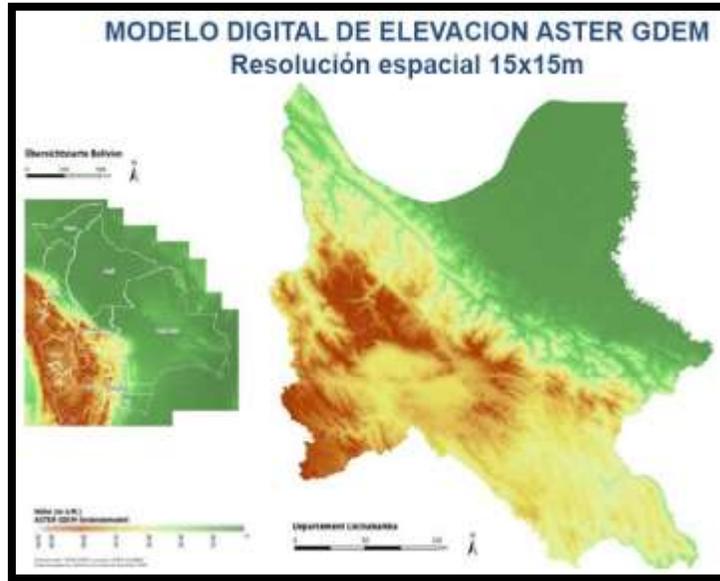
**Figura 2. 12 MDT en formato TIN con curvas de nivel en formato vectorial**

**Fuente:** (Anaya, 2008)

### **Modelo Digital de Elevación (M.D.E.)**

.Un MDE es considerado una representación matemática de los valores de las alturas del terreno, se considera modelo de elevación porque a través de algoritmos matemáticos, los datos altimétricos pueden modelarse automáticamente mediante un ordenador, lo cual permite el estudio de análisis de la superficie terrestre de forma tridimensional.

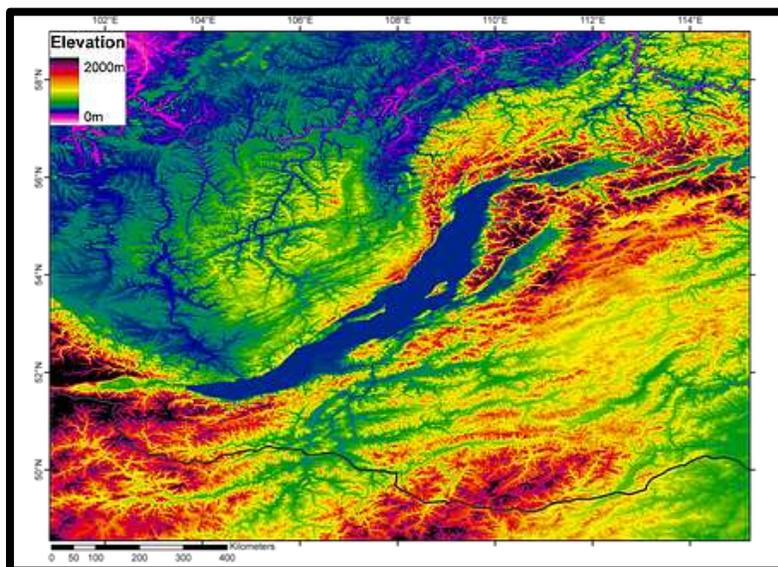
La palabra elevación, enfatiza el concepto de medición de altura con respecto a un datum y en la generación de valores absolutos de altitud por parte del modelo.



**Figura 2. 13 Modelo Digital de Elevación**

**Fuente:** (Anaya, 2008)

Resumidamente, es una representación digital de las elevaciones que presenta la superficie topográfica (generalmente sobre el nivel del mar). Aquí se encuentran excluidos la vegetación y las construcciones antropogénicas.



**Figura 2. 14 Representación del Modelo Digital de Elevación**

**Fuente:** (Anaya, 2008)

### **Aplicación de los modelos digitales de elevación (MDE's)**

La aplicación de los MDE se extiende a campos tan diversos como la geografía, la hidrología, la ecología, los estudios de impacto ambiental y la cartografía en general.

- ✓ Generación de curvas de nivel.
- ✓ Creación de mapas de relieve.
- ✓ Planificación de vuelo en tres dimensiones.
- ✓ Rectificación geométrica de fotografías aéreas o de imágenes satelitales.
- ✓ Correcciones topográficas.
- ✓ Proyectos de grandes obras de ingeniería.
- ✓ Trazados de perfiles topográficos.
- ✓ Cálculos de volúmenes.
- ✓ Análisis de riesgos ambientales.

A través de los Modelos Digitales de Elevación (MDE) se generan las cuencas hidrográficas. (Ruíz y Torrez, 2015)

### **Tipos de Modelos Digitales de Elevación (MDE's) más usados.**

Los MDE globales han sido generados en diferentes momentos por organismos como NASA, y gradualmente pasan a ser de acceso público mediante la Web. Se mencionan a continuación los modelos más usados:

**SRTM:** La misión Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) se realizó en colaboración entre National Aeronautics and Space Administration (NASA) y National Imagery and Mapping Agency (NIMA), denominada NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) desde 2003. Originalmente los datos libres eran provenientes del proceso de datos en banda C, con 90 m de resolución, y luego se logró un modelo procesando la banda X, logrando mejorar la resolución a 30 m, pero con menor área de cobertura.

**ASTER GDEM (ASTER Global Digital Elevation Model):** ASTER es un sensor de imágenes construido por el METI de Japón (Ministry of Economy, Trade and Industry), e instalado en el satélite Terra de la NASA. Puede realizar coberturas estereoscópicas y obtener un MDE de resolución de 30 metros y alturas con errores medios cuadráticos que van de 10

a 25 metros. Luego de generado el modelo, se creó el ASTER GDEM Validation Team, grupo de trabajo que tuvo por cometido la validación del modelo en todo el mundo. Existen dos versiones de Aster GDEM, la primera versión distribuida en el año 2009, posee una exactitud vertical global de 20 metros, con el 95% de confianza. La versión 2 fue publicada en el año 2011 y reúne una serie de mejoras respecto a la anterior versión, lo que llevó a una exactitud en la vertical de 17 metros en el 95% de confianza. Hoy, el ASTER GDEM es un MDE auditado y de uso libre y gratuito.

### **Comparación entre SRTM y GDEM**

Diversos autores (Burgos, 2012; Oñate-Valdivieso y Bosque Sendra, 2007) luego de comparar MDE generados a partir de restitución estéreo con Aster (con 15 o 30 m de resolución espacial) versus MDE de SRTM de 90 m de resolución espacial (re muestreado a 30 m), indican que las diferencias en elevación son menores a 30 m con errores medios absolutos entre 21 y 27 m. (Burgos, 2009).

### **Metodología Pfafstetter para la delimitación de cuencas hidrográficas**

El método Pfafstetter es jerárquico y se basa en la topología del terreno, el cual permite mejorar la gestión de las cuencas hidrográficas y una acción de mayor control sobre esas áreas. La tendencia actual es que el método sea un estándar internacional de delimitación y codificación de cuencas hidrográficas.

Esta metodología es de carácter numérico, topológico y natural, con la cual surge el concepto de unidades hidrográficas, definida como áreas geográficas cuyos límites se encuentran establecidos por las líneas divisorias de las aguas, relacionadas espacialmente por su código y jerarquizadas con base en el tamaño de las áreas de drenaje. (Crespo, Van Damme, y Zapata, 2013).

### **Características**

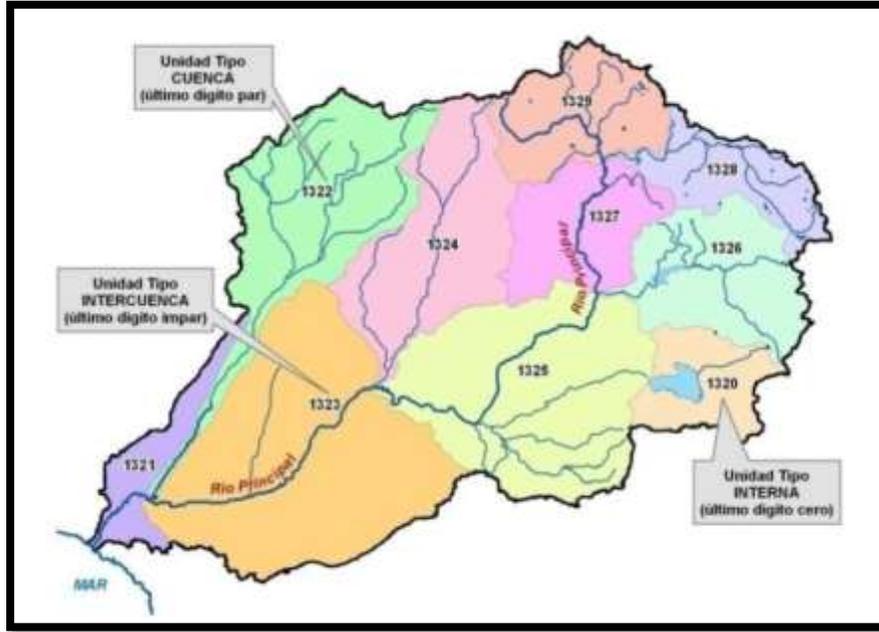
- ✓ El sistema es jerárquico y las unidades son delimitadas desde las uniones de los ríos (punto de confluencia de ríos) o desde el punto de desembocadura de un sistema de drenaje en el océano.

- ✓ A cada unidad hidrográfica se le asigna un específico código Pfafstetter, basado en el tipo de unidad hidrográfica y en su ubicación dentro del sistema de drenaje que ocupa, de tal forma que el código es único dentro al interior de un continente.
- ✓ Este método hace un uso mínimo de la cantidad de dígitos en los códigos, lo cual permite que el número de dígitos describe el nivel de la unidad hidrográfica.
- ✓ La distinción entre río principal y tributario es en función del área drenada o tamaño de la unidad hidrográfica.
- ✓ Así, en cualquier confluencia, el río principal será siempre aquel que está contenido en la unidad hidrográfica de mayor área de drenaje. (UICN; SGCAN, 2010)

### **Tipos de unidades hidrográficas**

El método de Pfafstetter describe tres clases de unidades hidrográficas o de drenaje: cuencas, intercuenas y cuencas internas.

- ✓ Cuenca, es un área que no recibe drenaje de ninguna otra área, pero si contribuye con flujo a otra unidad de drenaje a través del curso del río principal.
- ✓ Intercuenca, es un área que recibe drenaje de otra unidad aguas arriba, mediante el curso del río considerado como el principal y permite el tránsito de las aguas hacia la unidad de drenaje que se ubica hacia aguas abajo. Una intercuenca, es una unidad de drenaje de tránsito del río principal.
- ✓ Cuenca interna, es un área de drenaje que no recibe flujo de agua de otra unidad ni contribuye con flujo de agua a otra unidad de drenaje, frecuentemente suele contar con un cuerpo de agua (lago) en la parte central de la unidad en el cual confluyen los cursos que en ella se encuentran.



**Figura 2. 15 Tipos de unidades hidrográficas según la metodología Pfafstetter**

Fuente: (UICN; SGCAN, 2010)

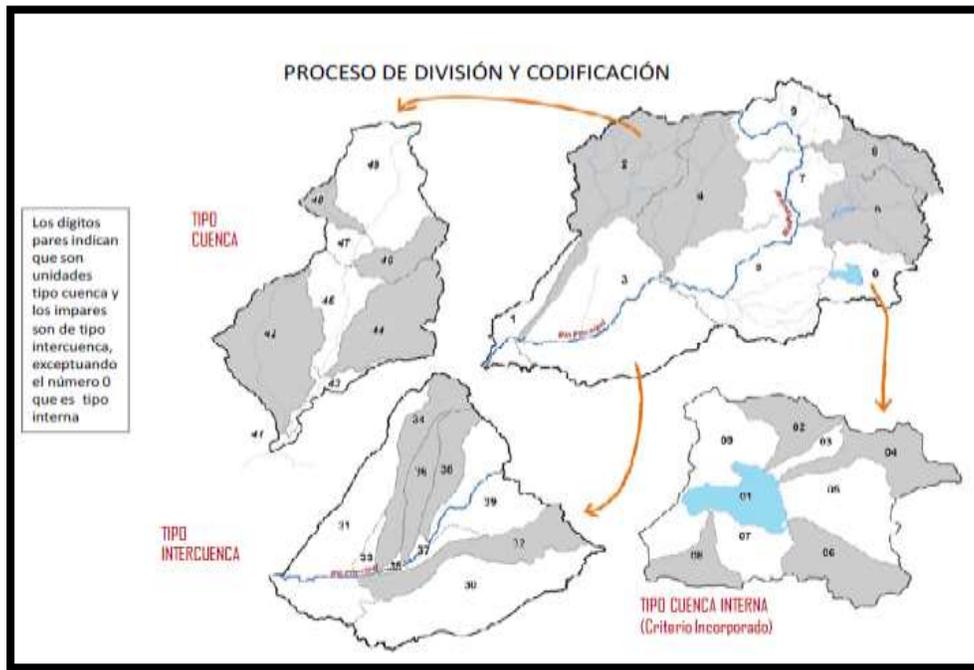
### Proceso de Codificación

En principio se debe determinar cuál es el curso del río principal que para el caso de esta metodología se determina en función del área de las unidades hidrográficas que lo contienen.

Una vez definido el curso del río principal, se deben identificar las cuatro unidades hidrográficas de área de drenaje que confluyen al río principal constituyéndose las mismas en unidades hidrográficas tipo cuenca que son codificadas con los dígitos pares 2, 4, 6 y 8, en el sentido de aguas abajo hacia aguas arriba, es decir desde la desembocadura hacia la naciente del río principal. Las áreas restantes, se agrupan en unidades hidrográficas denominadas intercuencas, que se codifican, con los dígitos impares 1, 3, 5, 7 y 9, desde aguas abajo hacia aguas arriba. La unidad hidrográfica 9 constituye la cabecera de cuenca, es decir bajo esta metodología contiene el origen del curso del río principal.

Las unidades hidrográficas tipo cuenca e intercuenca, que resultan de la delimitación y codificación en el nivel 1, pueden a su vez ser delimitadas y codificadas en un siguiente nivel (nivel 2) siguiendo el mismo procedimiento, de modo que la delimitación de la unidad hidrográfica tipo cuenca 8 permite determinar al interior de la misma las unidades

hidrográficas tipo cuenca de códigos 82, 84, 86 y 88, así como las unidades hidrográficas tipo intercuenca 81, 83, 85, 87 y 89. El mismo procedimiento se aplica a las intercuenas resultantes de la primera división, de modo que la intercuenca 3, por ejemplo, se subdivide en las unidades tipo cuenca de códigos 32, 34, 36 y 38 y en las unidades tipo intercuenca 31, 33, 35, 37 y 39.

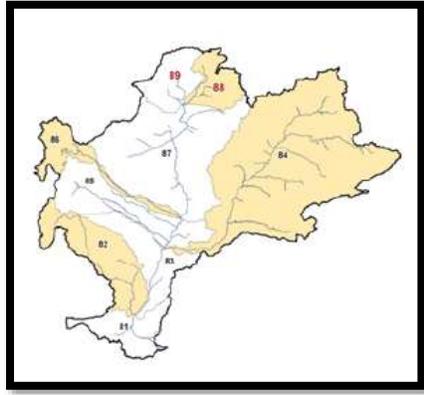


**Figura 2. 16 Codificación de unidades hidrográficas según la metodología Pfafstetter**

**Fuente:** (UICN; SGCAN, 2010)

### Particularidad del Método

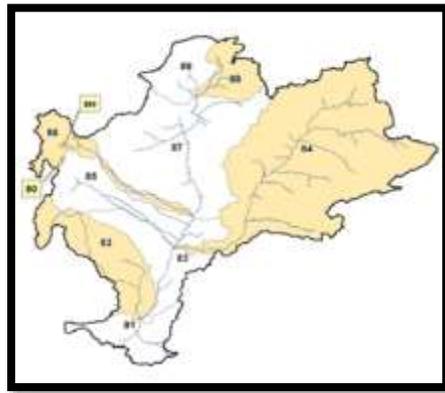
Una particularidad del método Pfafstetter, se presenta en las dos unidades finales localizadas en el nacimiento de la cuenca. A la unidad de mayor área de drenaje se le asigna el código 9 y a la de menor área el código 8. En la figura 2.17 se muestra la particularidad de este método. Esta particularidad del método permite identificar la cuenca donde se origina el río



**Figura 2. 17 Unidad hidrográfica localizada en el nacimiento de la cuenca**

**Fuente:** (UICN; SGCAN, 2010)

Si una unidad hidrográfica contiene más de una unidad tipo cuenca interna o endorreica, se asigna el código “0” en el nivel que corresponda a la unidad de mayor tamaño y las otras unidades se incorporan a las unidades que lo contienen en el siguiente nivel.

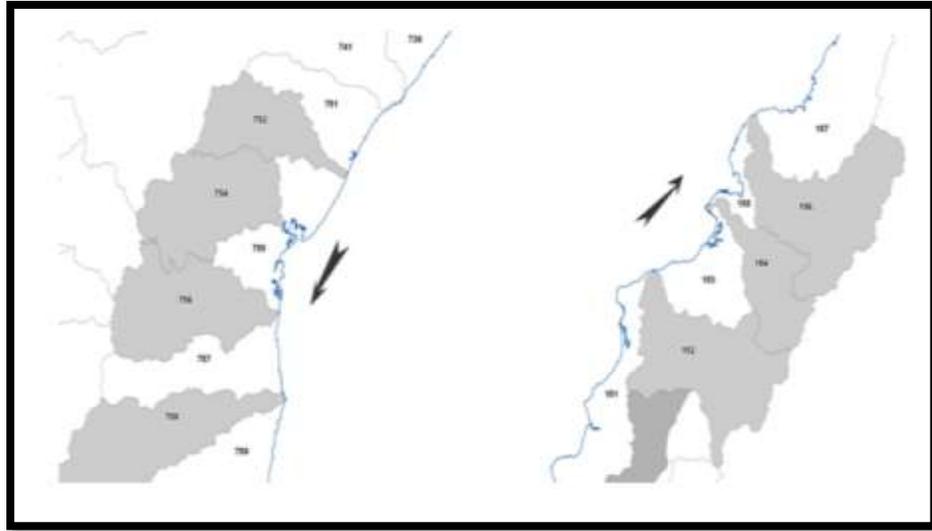


**Figura 2. 18 Unidad Hidrográfica para una cuenca interna**

**Fuente:** (UICN; SGCAN, 2010)

Para las regiones hidrográficas cuyos cursos de agua drenan paralelamente hacia al mar, el sistema de codificación de Pfafstetter determina que se identifique las cuatro unidades hidrográficas de mayor área de drenaje y luego la asignación de códigos se realiza considerando el sentido de las agujas del reloj, es decir las vertientes cuyas aguas desembocan en un mar oriental, serán codificadas de norte a sur; y las vertientes cuyas aguas desembocan

en un mar occidental, (como es el caso de la vertiente del Pacífico), serán codificadas de sur a norte. La subdivisión y codificación en los subsiguientes niveles se realizará siguiendo el mismo criterio.



**Figura 2. 19 Unidades hidrográficas con desembocadura en el mar**

**Fuente:** (UICN; SGCAN, 2010)

Cuencas Internas cuya red de drenaje confluye en una laguna, es uno de los casos más comunes de unidades cerradas, en las cuales los ríos que descienden por sus laderas desembocan en la zona más baja de esta conformando un lago o laguna. La obtención de las unidades hidrográficas menores deberá realizarse por métodos semiautomáticos de análisis espacial.

Primero deberá determinarse el punto en el cual confluyen todos los cursos de agua hallando el pixel que posea el mayor valor de acumulación (punto rojo)

Luego determinar el curso que posea el mayor valor de flujo de acumulación, el mismo que será considerado el curso principal de la unidad.

Posteriormente, se evalúan los valores de los flujos de acumulación de los restantes cursos de agua para determinar los cuatro tributarios mayores.

Finalmente, realizar la delimitación de las unidades hidrográficas menores basado en las consideraciones evaluadas, procurando conformar las nueve unidades, puesto que éstas serán asumidas desde el borde de la laguna, la cual deberá ser considerada como una unidad adicional codificándola con el dígito 0.



**Figura 2. 20 Delimitación de las unidades hidrográficas menores**

**Fuente:** (UICN; SGCAN, 2010)

### **Antecedentes de la metodología Pfafstetter**

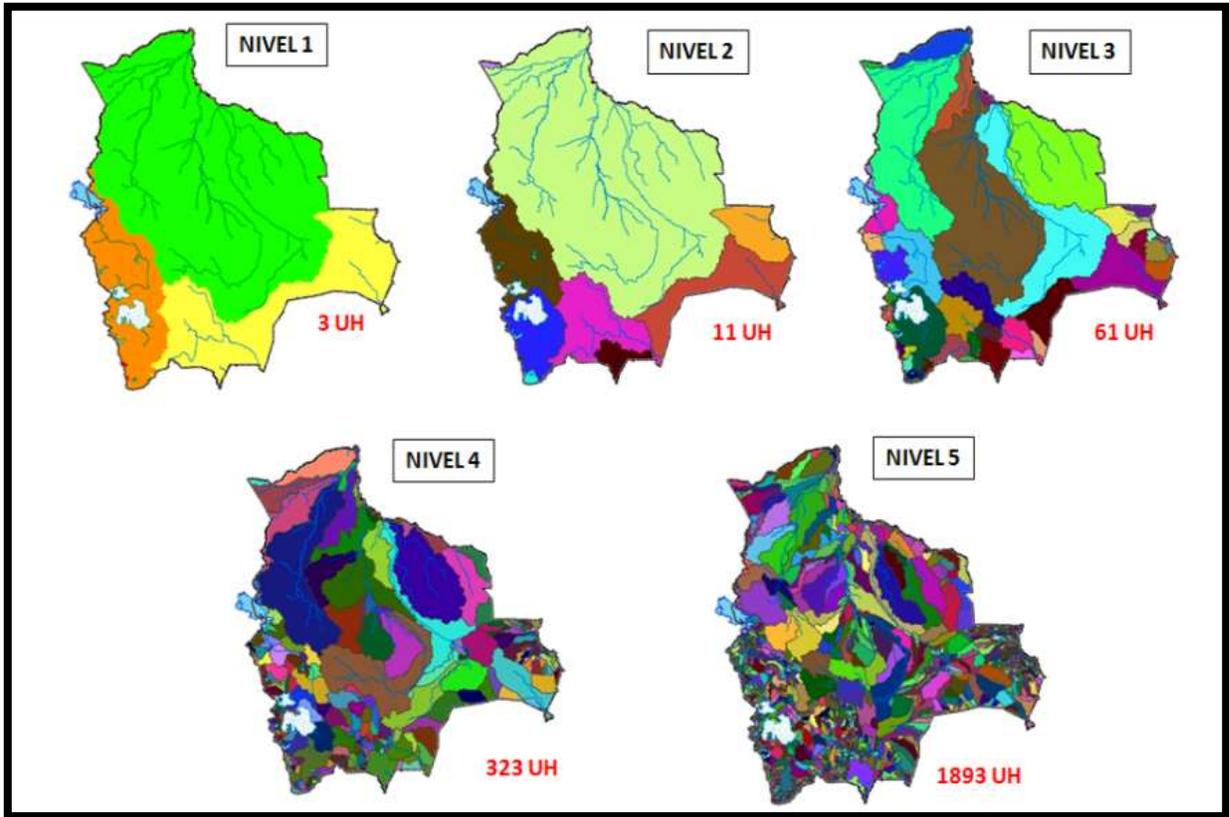
La revolución tecnológica e intelectual centrada en el espacio geográfico a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se constituye en una potente herramienta para la gestión de información espacial y temática en diversas áreas de aplicación, entre las que se

encuentran las relacionadas a la tecnología y su aplicación al estudio de las características de las cuencas.

Históricamente la delimitación de unidades hidrográficas se realizaba mediante la interpretación de mapas o cartas topográficas, utilizando metodologías tradicionales como la de órdenes de corriente Horton entre otras. Sin embargo, los resultados eran diferentes entre los países de la región, dada las escalas de información, el alcance, métodos y herramientas aplicadas. Con el propósito de disponer de mapas estandarizados surge la metodología Pfafstetter, creada en Brasil por Otto Pfafstetter en 1989 y difundido a partir de 1997 por Kristine Verdin a través del Servicio Geológico, de los Estados Unidos (USGS) en el Programa Nacional del Medio Ambiente de las Naciones Unidas. En la actualidad va constituyéndose en un estándar de codificación de unidades hidrográficas.

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), y la Secretaria General de La Comunidad Andina (SGCAN), suscribieron una Carta Acuerdo para la implementación de un proyecto de delimitación y codificación de unidades hidrográficas de Sudamérica y de los países de la Comunidad Andina, mediante la aplicación de una metodología estándar internacional. Este proyecto comprende la delimitación y codificación de unidades hidrográficas hasta el nivel 3 y a la escala 1:1.00.000 de Sudamérica y hasta el nivel 5 a la escala 1:250.000 de los países de la Comunidad Andina (CAN), Bolivia, Ecuador, Colombia y la integración del mapa del Perú.

El 25 de noviembre del 2008 se suscribe el convenio entre la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y el Vice ministerio de Cuencas y Recursos Hídricos para la elaboración del mapa de cuencas de Bolivia nivel 5 (metodología Pfafstetter) en el marco de la Carta Acuerdo SGCAN-UICN.



**Figura 2. 21 Unidades hidrográficas de Bolivia (nivel 1 al 5) según la metodología Pfafstetter**

Fuente: (UICN; SGCAN, 2010)

## **METODOLOGÍA DEL MÉTODO PFAFSTETTER PARA LA DELIMITACIÓN Y CODIFICACIÓN DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS**

### **Diagrama de la metodología**

El presente diagrama indicado en la figura 3.1 está realizado para utilizar como herramienta SIG de trabajo el software ArcGis v10.1.

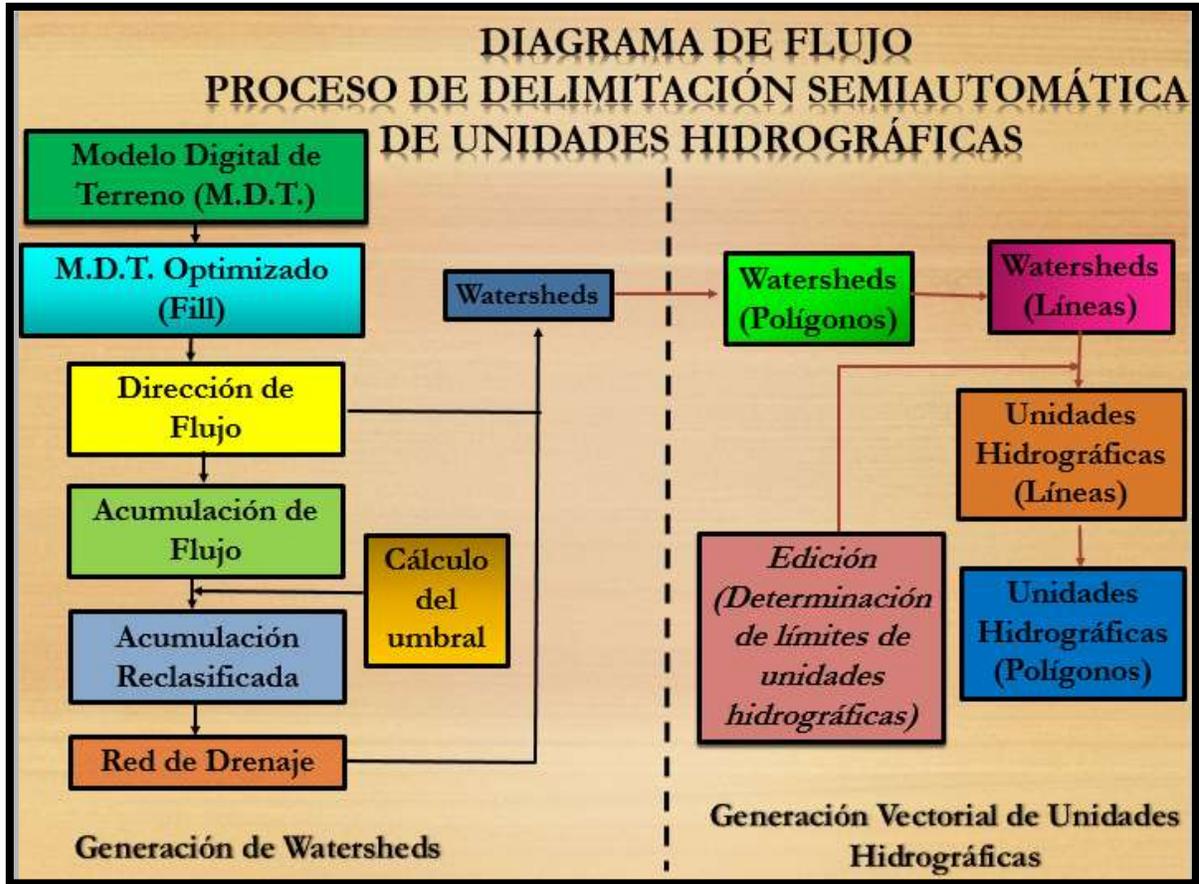
### **Generación de áreas de drenaje o cuencas de captación (watersheds)**

Generación de áreas de drenaje o cuencas de captación (watersheds):

Este proceso consiste en determinar semiautomáticamente las áreas de drenaje (watersheds) con el criterio de delimitación del sistema Pfafstetter, de acuerdo al flujograma de trabajo indicado en la (Figura 3.1).

Comprende los siguientes subprocesos computacionales:

- a) Generación de la dirección de flujo.
- b) Generación de la acumulación de flujo.
- c) Determinación del umbral de acumulación de flujo específico.
- d) Obtención de un tema de reclasificación.
- e) Generación de la red de drenaje relevante.
- f) Generación de unidades de drenaje (watersheds).



**Figura 3. 1** Proceso de delimitación semiautomática de unidades hidrográficas

Fuente: (UICN; SGCAN, 2010)

### **Generación vectorial de unidades hidrográficas**

Este proceso consiste en convertir las unidades hidrográficas (watersheds) obtenidos, al formato vectorial de tipo polígono. Está comprendido por los siguientes subprocesos computacionales:

- a) Conversión de raster a polígono
- b) Conversión de polígonos a líneas
- c) Reconversión de líneas a polígonos

### **Insertión de los códigos de las unidades hidrográficas**

Este proceso consiste en ingresar los valores correspondientes de cada unidad hidrográfica en la respectiva tabla de atributos, representada en una estructura tabular, en la cual los registros o filas representan a cada una de las unidades hidrográficas y los campos o columnas a cada una de las características de estas unidades.

### **Delimitación de unidades hidrográficas a nivel 5**

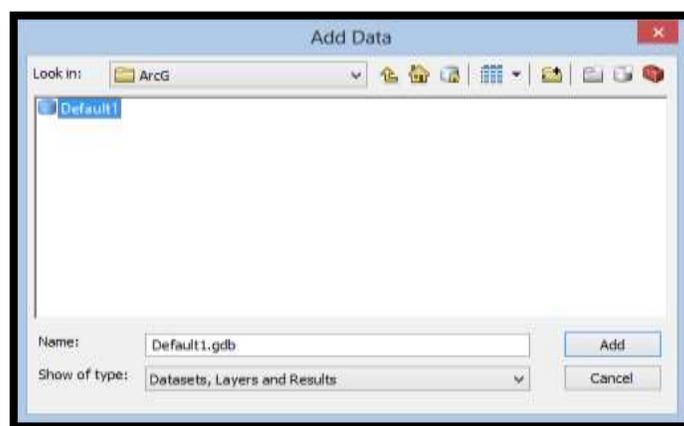
Para el procesamiento de la información se realizó a partir de los Modelos Digitales de Elevación ALOS PALSAR con una resolución de 12.5 x 12.5 m.

Se realizará una nueva delimitación de las unidades hidrográficas a nivel 5 para el valle central de Tarija, ya que anteriormente se encontraban delimitadas con imágenes STRM 30 x 30 m de resolución.

Para la nueva delimitación seguiremos los siguientes pasos, utilizando como herramienta computacional de trabajo el software ArcGis v10.1:

#### **Geodatabase - Paso 1.**

Se creara una nueva base de datos en la cual se guardara todo el procesamiento de datos, para esto nos dirigimos al icono de New Geodatabase  y se creara la nueva base de datos que por defecto se colocara con el nombre de Default1. Esta base datos se ubicara en el siguiente directorio: C:\Users\USUARIO\Documents\ArcGIS\Default1.gdb.

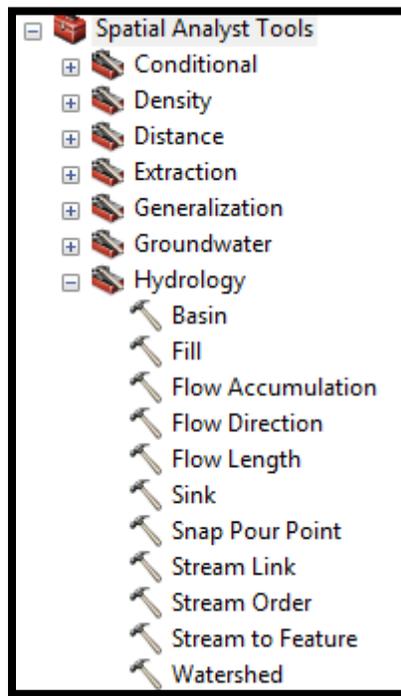


**Figura 3. 2 Generación de una Geodatabase**

#### **Fill - Paso 2.**

Con esta herramienta se rellenan las imperfecciones existentes en la superficie del modelo digital de elevaciones, de tal forma que las celdas en depresión alcancen el nivel del terreno de alrededor, con el objetivo de poder determinar de forma adecuada la dirección del flujo.

Para esto nos dirigimos a la caja de herramientas ArcToolbox , posteriormente damos click en la opción Spatial Analyst Tools, Hydrology y ubicamos la opción del Fill, como se muestra en la figura 3.3 :



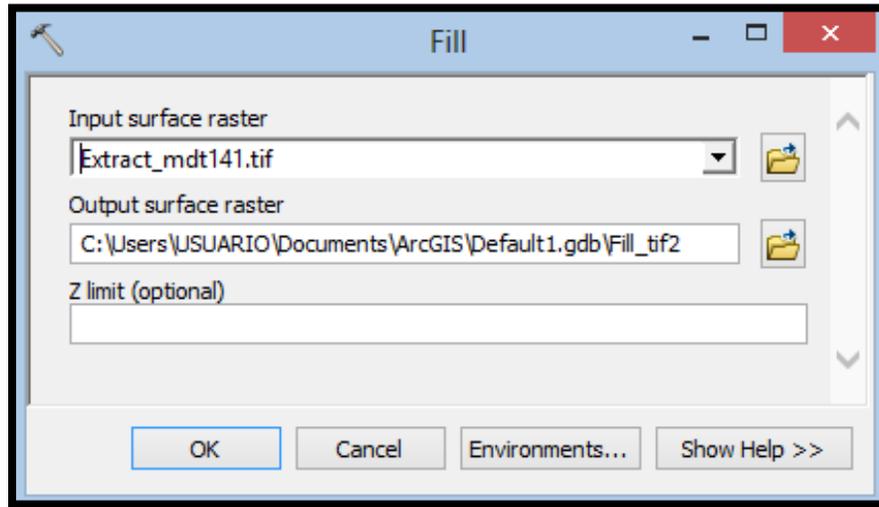
**Figura 3. 3 Caja de herramientas de Spatial Analyst Tools**

En esta opción del Fill pedirá que se introduzca el raster (Input Surface raster), y creará el fill de la imagen raster en la base de datos de ArcGIS, en este caso en la geodatabase “Default1.gdb”.

Input surface raster: Se selecciona el M.D.E. que vamos a utilizar para el procesamiento, en este caso es Extract\_mdt141.

Output surface raster: Se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida, por defecto le colocará el nombre “Fill\_tif2”.

Z limit (optional): Indica la máxima profundidad de los sumideros que se quiere rellenar. Las profundidades de sumideros o imperfecciones mayores al valor colocado en este campo no se rellenarán. En caso de dejar el campo en blanco, el programa tomará por defecto rellenar todos los sumideros, independientemente de la profundidad.



**Figura 3. 4 Ventana de la opción Fill**

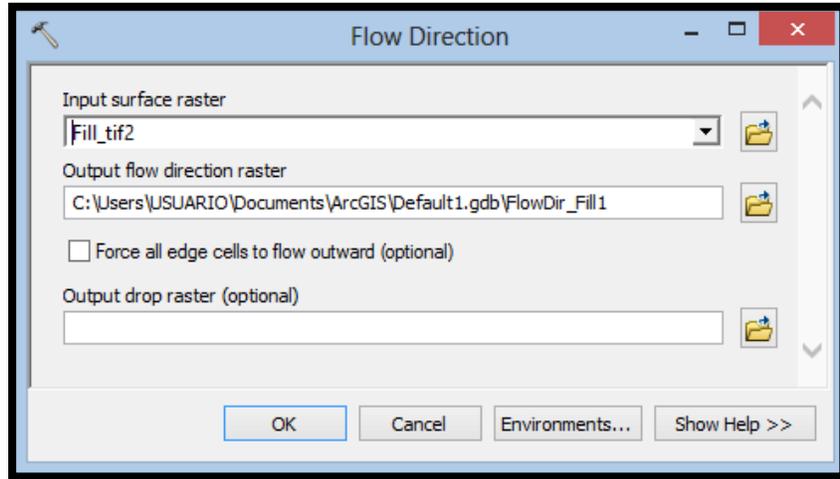
### **Flow Direction - Paso 3.**

Aquí se define la dirección del flujo buscando el camino descendente de una celda a otra. A partir de Hydrology se da clic en Flow direction, se abre una ventana donde se debe rellenar la siguiente información:

Input surface raster: Se selecciona el raster creado en el paso anterior que se denomina Fill\_tif2.

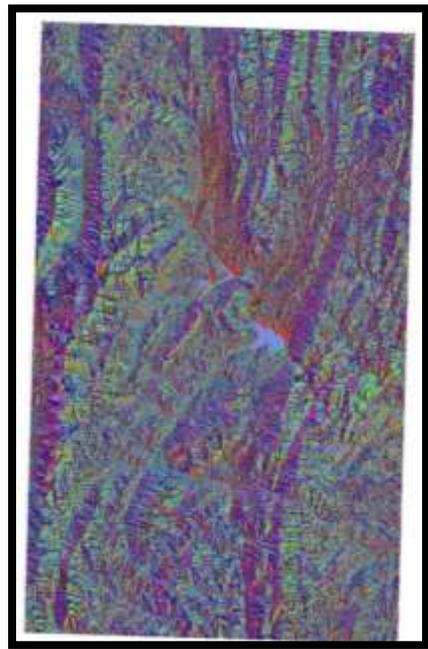
Output surface raster: Se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida, por defecto le colocará el nombre “FlowDir\_Fill1”.

Output drop raster (optional): Es una salida opcional. El drop raster muestra la relación entre el cambio máximo en la elevación de cada celda a lo largo de la dirección del flujo, expresada en porcentajes. No se escribe nada en este campo.



**Figura 3. 5 Ventana de la opción Flow Direction**

Como resultado se obtiene el raster denominado FlowDir\_Fill1 (dirección de flujo), que se lo muestra en la figura 3.6.



**Figura 3. 6 Raster generado por el Flow Direction**

#### **Flow Accumulation – Paso 4.**

Crea el raster de acumulación de flujo en cada celda. Se determina el número de celdas de aguas arriba que vierten sobre cada una de las celdas inmediatamente aguas abajo de ella. A

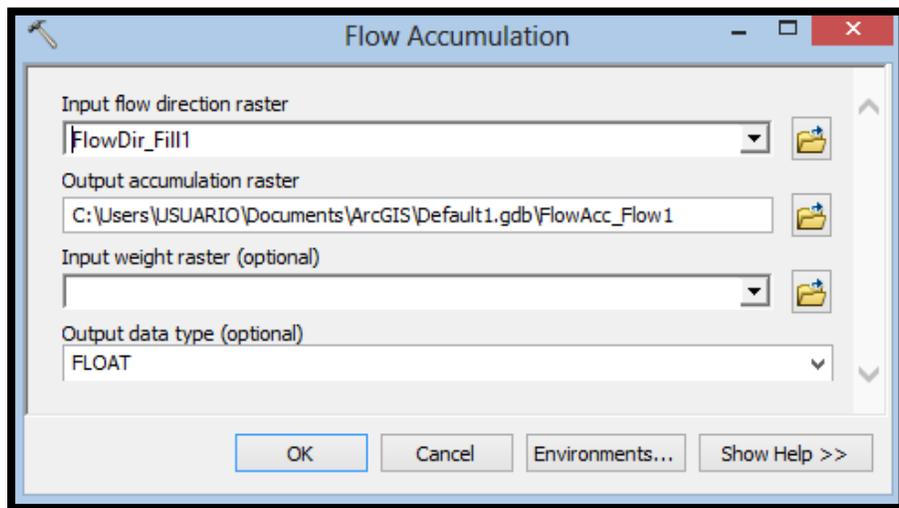
partir de Hydrology se da clic en Flow accumulation, se abre una ventana donde se debe rellenar la siguiente información:

Input direction raster: Se selecciona el raster creado en el paso anterior que se denomina FlowDir\_Fill1.

Output accumulation raster: Se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida, por defecto le colocará el nombre “FlowAcc\_Flow1”.

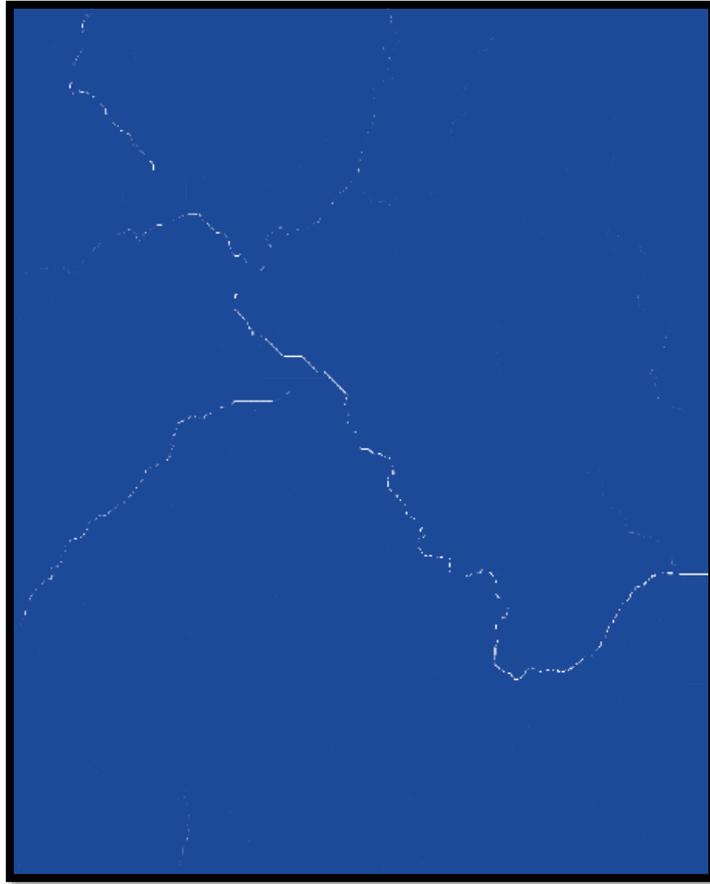
Input weight raster (optional): Es una salida opcional.

Output data type raster (optional): Es una salida opcional. Por defecto dejamos FLOAT.



**Figura 3. 7 Ventana de la opción Flow Accumulation**

Como resultado se obtiene el raster denominado FlowAcc\_Flow1 (acumulación de flujo). Y se muestra en la figura 3.8.



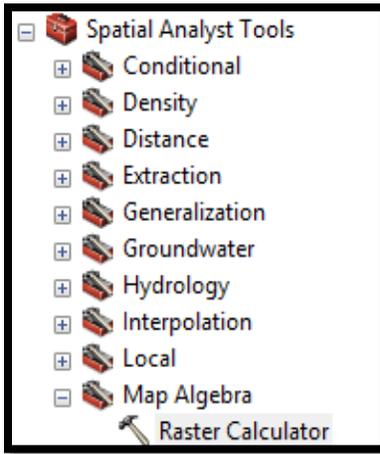
**Figura 3. 8 Raster generado por el Flow Accumulation**

#### **Stream definition – Paso 5.**

En esta fase se clasifican las celdas con acumulación de flujo superior a un umbral especificado por el usuario como celdas pertenecientes a la red de flujo. El umbral debe ser especificado como el número de celdas vertientes a la que se está clasificando en cada momento. Aquí se debe entrar a sopesar que valor sería el más indicado, ya que si el valor de acumulación es muy bajo muchos pixeles serán seleccionados como pertenecientes a la red hídrica, si, por lo contrario, el valor del pixel es muy alto solo aquellos drenajes de orden alto serían definidos como red hídrica. En otras palabras, seleccionar un valor bajo del umbral significa que obtendremos afluentes pequeños en nuestra red de drenajes, en cambio un valor alto, modela los drenajes de mayor tamaño.

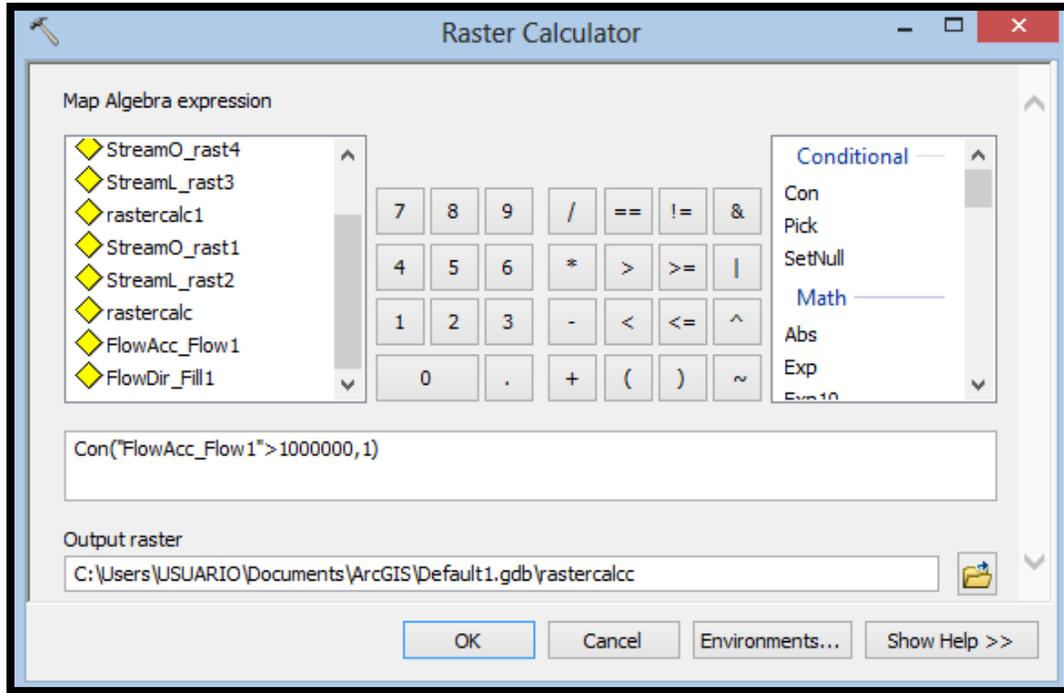
Para crear una red de corriente a partir del raster de acumulación de flujo, se procede de la siguiente forma:

- a) En el menú de la barra de herramienta desplegable de Spatial Analyst Tools selecciona la Calculadora Raster.



**Figura 3. 9 Opción Raster Calculator**

- b) Con el fin de crear una red de drenajes, tendrá que especificar un umbral para la cantidad de píxeles adyacentes que constituyen una corriente. Aquí se especifica un valor límite de 1000000 píxeles de acumulación.
- c) En la calculadora raster se escribe la expresión siguiente:  
Con("FlowAcc\_Flow1">1000000,1)



**Figura 3. 10 Ventana de la opción Raster Calculator**

### **Stream Link – Paso 6.**

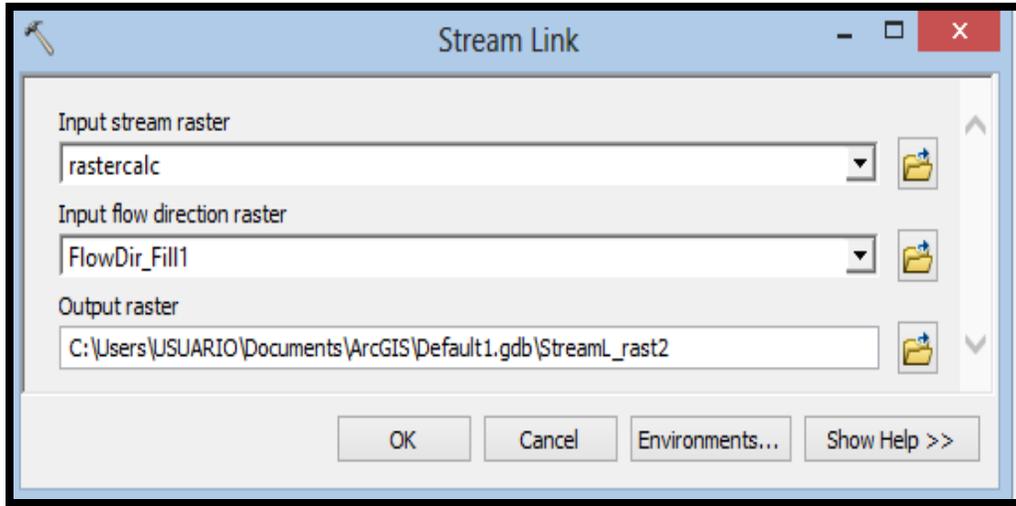
Divide el cauce en segmentos no interrumpidos. Es decir, que dichas secciones en las que se divide el recorrido del flujo serán segmentos que conectan dos uniones sucesivas, una unión y un punto de desagüe o una unión y una división del área de drenaje. Para ello se procede de la siguiente forma:

Clic en Hydrology, luego en Stream Link, en la ventana que aparece se debe rellenar los siguientes campos:

Input stream raster: Se selecciona el raster rastercalc creado en el paso anterior.

Input flow direction raster: Se selecciona el raster de dirección de flujo, denominado flowdir\_fill1 creado en el paso 3.

Output raster: Se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida, le colocaremos el nombre “StreamL\_rast2”.



**Figura 3. 11 Ventana de la opción Stream Link**

### **Stream Order - Paso 7.**

Crea un raster del orden de las corrientes. Para ello se usa dos métodos:

- En el método Strahler, el orden de la corriente se incrementa cuando se cruzan dos drenajes del mismo orden. Dos drenajes de diferentes órdenes no se traducirán en un aumento del orden de la siguiente corriente.
- En el método Shreve los órdenes de corrientes son aditivos.

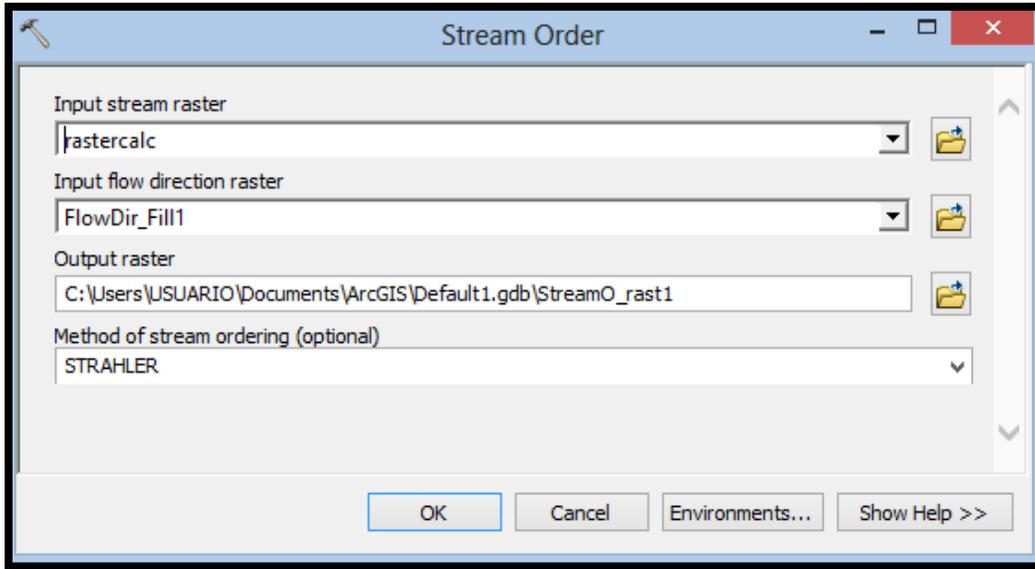
El procedimiento es el siguiente: Clic en Hydrology, luego en Stream Order, en la ventana que aparece se debe rellenar los siguientes campos:

Input stream raster: Se selecciona el raster rastercalc creado el paso 5.

Input flow direction raster: Se selecciona el raster de dirección de flujo, denominado flowdir\_Fill1 creado en el paso 3.

Output raster: Se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida, le colocaremos el nombre "Stream\_order".

Method of stream ordering (optional): Se selecciona el método STRAHLER.



**Figura 3. 12 Ventana de la opción Stream Order**

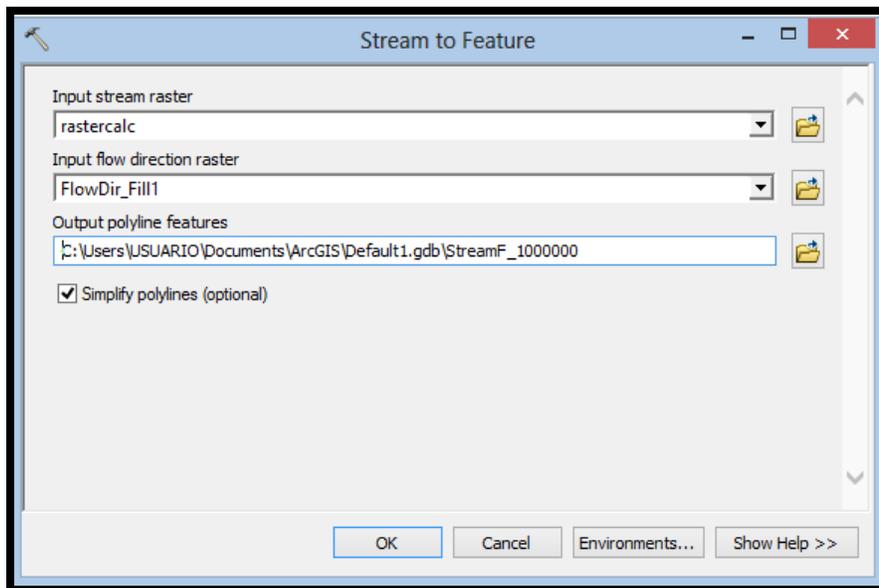
### **Stream Feature – Paso 8.**

Crea un shape de drenajes. El procedimiento es el siguiente: Clic en Hydrology, luego en Stream Feature, en la ventana que aparece se debe rellenar los siguientes campos.

Input stream raster: Se selecciona el raster rastercalc creado el paso 5.

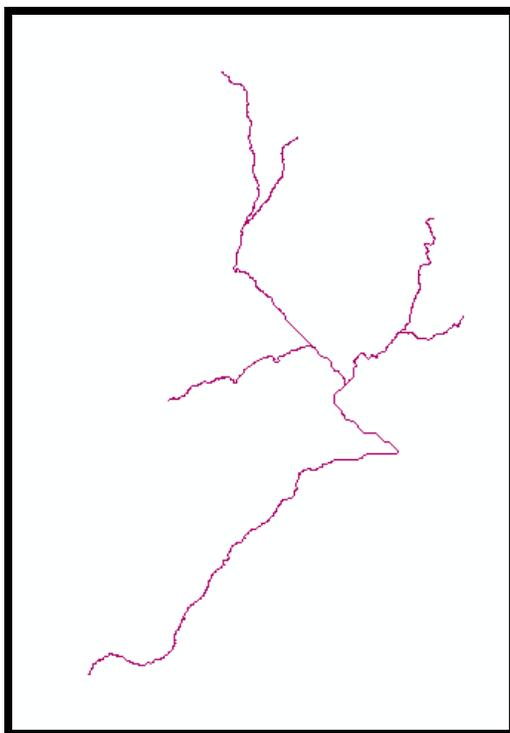
Input flow direction raster: Se selecciona el raster de dirección de flujo, denominado flowdir\_Fill1 creado en el paso 3.

Output polyline feature: Aquí se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida, le colocaremos el nombre “StreamF\_1000000”.



**Figura 3. 13 Ventana de la opción Stream to Feature**

Se obtiene la siguiente red de drenaje, producto de resultados de los pasos 1 al 8 y se muestra en la figura 3.14:

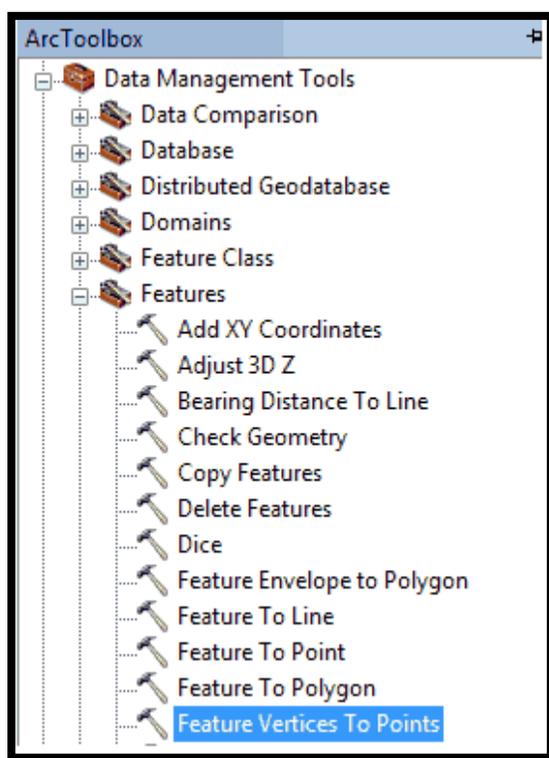


**Figura 3. 14 Red de drenaje del valle central de Tarija**

### Feature Vertice To Point - Paso 9.

Esta herramienta permite determinar los puntos donde se cortan cada uno de los drenajes, es decir convierte los vértices a punto. Podemos determinar un punto al inicio, la mitad o al final de cada tramo de corriente, para este caso nos interesan los puntos finales que es donde hay acumulación de flujo y es el punto importante para determinación de las cuencas. Para ello se sigue los siguientes pasos:

Se dirige a la herramienta ArcToolbox, luego Data Management Tools, seguido de Feature y finalmente Feature Vertice to Point.



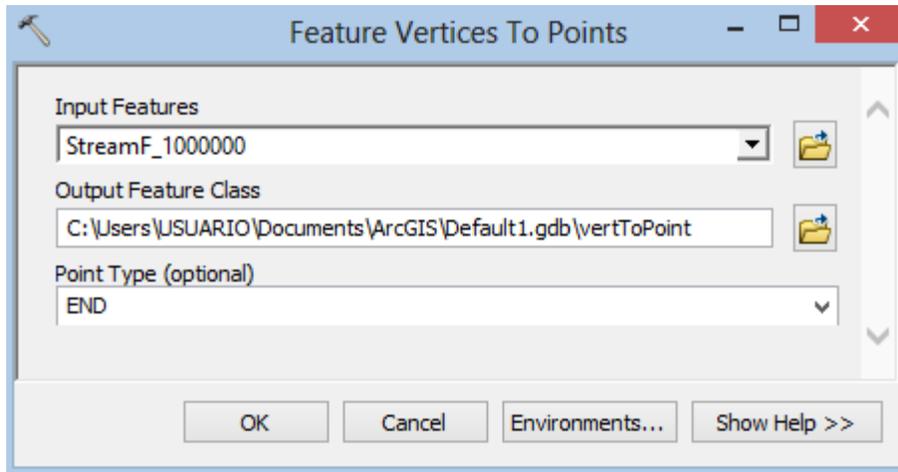
**Figura 3. 15 Opción Feature Vertice To Point**

Aparece una ventana donde se debe rellenar la siguiente información:

Input Feature: Se introduce el shape de la red de drenaje creada en el paso 8 (StreamF\_1000000).

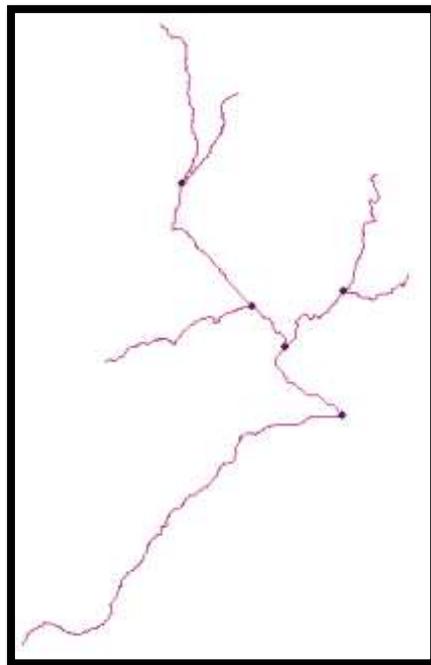
Output Feature Class: Aquí se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida, le colocaremos el nombre “vertToPoint.shape”.

Point Type (optional): Se selecciona la opción END que agregará los puntos al final de cada tramo de corriente.



**Figura 3. 16 Ventana de la opción Feature Vertices To Points**

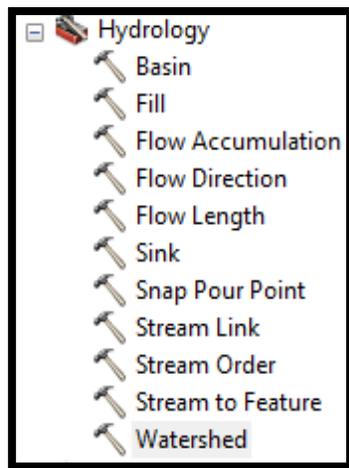
Como resultado se obtiene los vértices en la red de drenaje como se muestra en la figura 3.17:



**Figura 3. 17 Vértices ubicados en la red de drenaje**

**Watershed Delineation – Paso 10.**

Delinea una subcuenca por cada uno de los segmentos de cauce definidos en el paso anterior.  
Se procede de la siguiente forma: Clic en Hydrology, luego en Watershed



**Figura 3. 18 Opción Watershed**

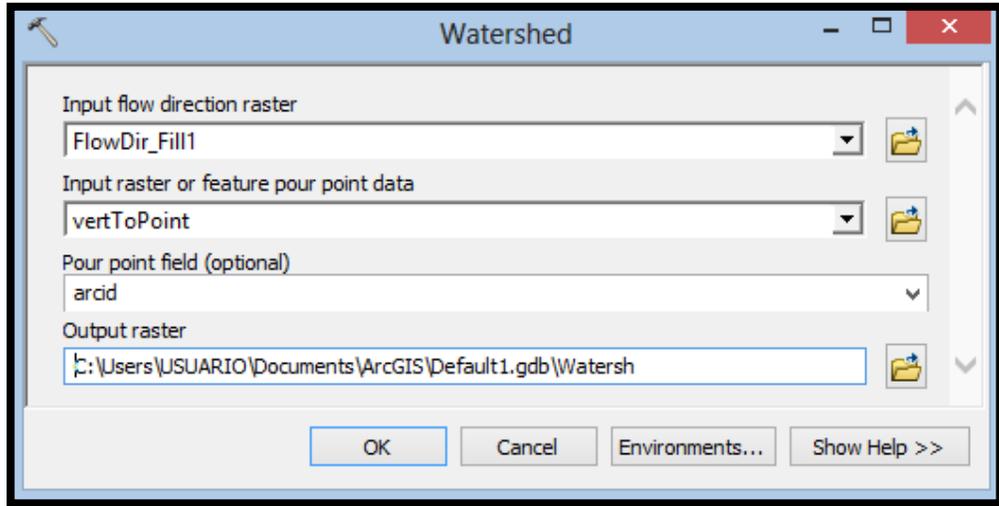
En la ventana que aparece se debe rellenar los siguientes campos:

Input flow direction raster: Se introduce el raster de dirección de flujo creado en el paso 2, denominado FlowDir\_Fill1.

Input raster or feature pour point data: Se introduce el shape de puntos creado en el paso anterior "vertToPoint".

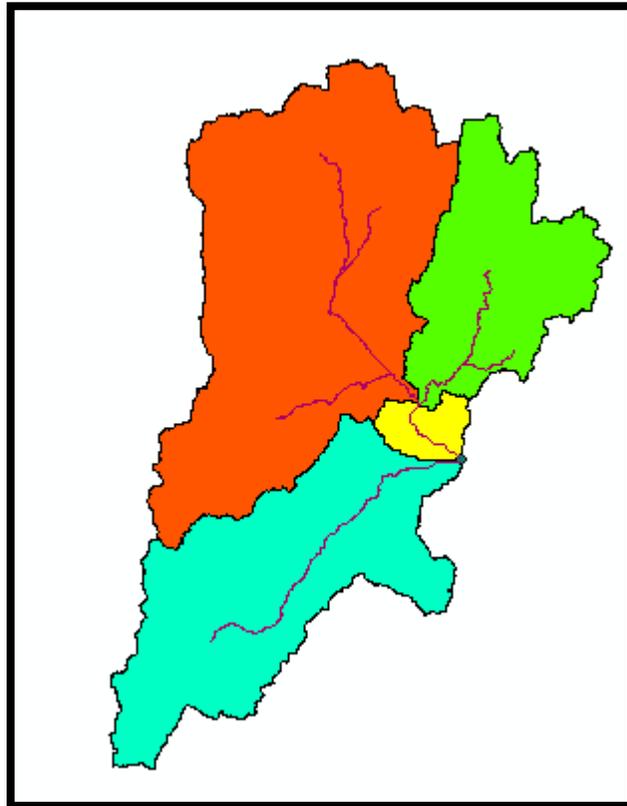
Pour point fiel (optional): Se deja la opción por defecto (ARCID).

Output raster: La ruta y el nombre del archivo salida y se le da el nombre Watershed.



**Figura 3. 19 Ventana de la opción Watershed**

Finalmente se obtiene la delimitación de las cuencas del valle central de Tarija mediante el método Pfafstetter a nivel 5.



**Figura 3. 20 Unidades Hidrográficas a nivel 5**

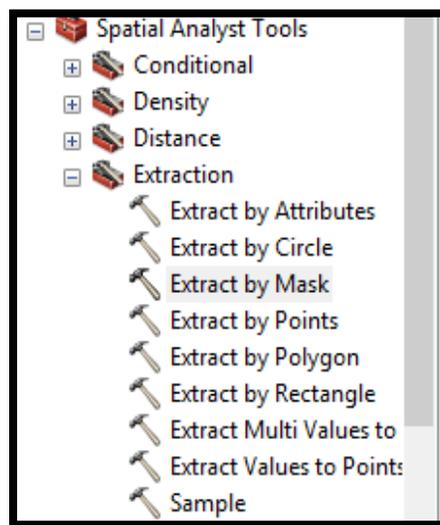
Si se quiere más números de cuencas, en el paso 6 (rastercalc) se coloca un número menor de celdas.

### **Delimitación de unidades hidrográficas a nivel 6**

Se realizará la delimitación con la metodología Pfafstetter a nivel 6 con la cuenca del río Santa Ana, para ver el procedimiento de esta misma. El procedimiento se lo hará de manera similar a la parte 1.

#### **Extracción de la capa - Paso 1.**

Para este proceso se ubica la caja de herramientas ArcToolbox , Spatial Analyst Tools, click en Extract by mask.



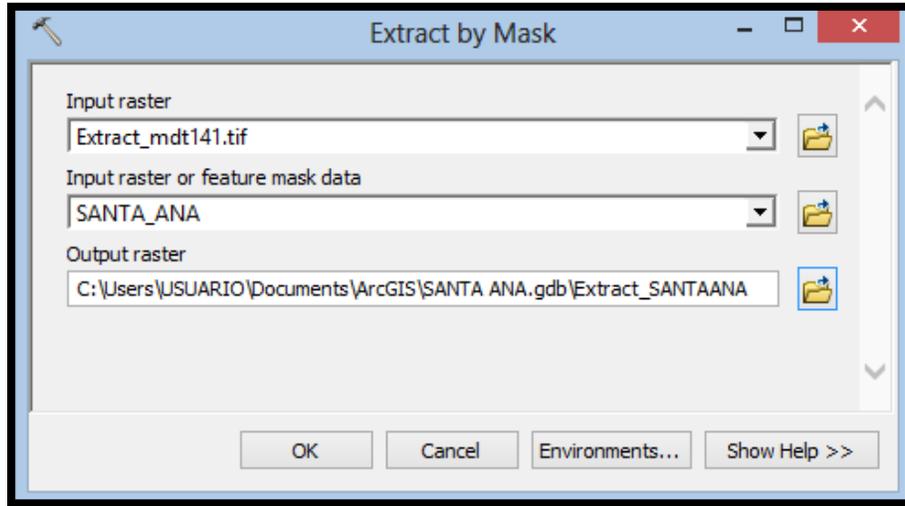
**Figura 3. 21 Opción Extract by Mask**

En la ventana que aparece se debe rellenar los siguientes campos:

Input raster: Se selecciona el M.D.E. que se utilizara para el procesamiento, en este caso es Extract\_mdt141.tif.

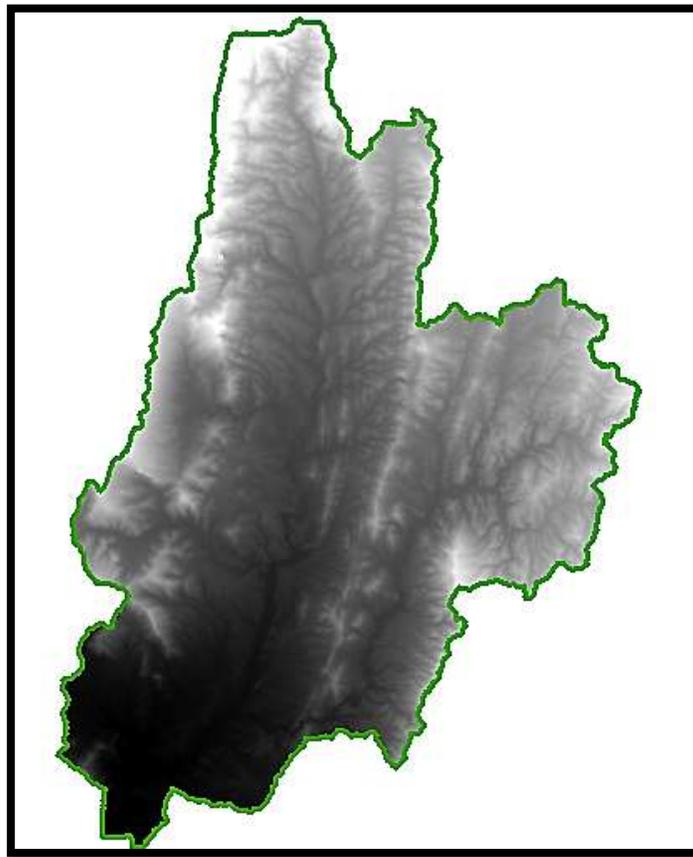
Input raster or feature mask data: Aquí se coloca la delimitación de la cuenca de Santa Ana.

Output raster: Aquí se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida, en este caso la ruta será una nueva Geodatabase llamada SANTA ANA.



**Figura 3. 22 Ventana de la opción Extract by Mask**

Como resultado se tiene el raster de la cuenca Santa Ana como se muestra en la figura 3.23:



**Figura 3. 23 Extracción del raster de la cuenca Santa Ana**

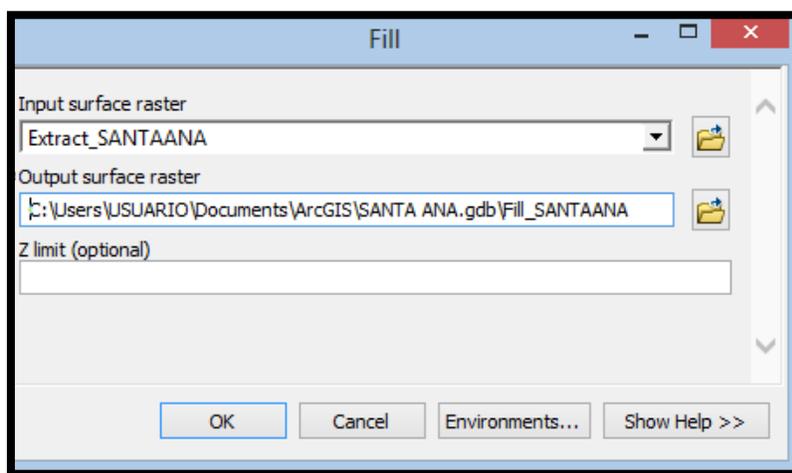
## Fill - Paso 2.

Se procede a rellenar las imperfecciones utilizando la ventana de la opción Fill. Para esto se rellena los siguientes campos:

Input surface raster: Se selecciona el M.D.E. extraído en el anterior paso que se utilizara para la generación de datos de los posteriores subprocesos, en este caso es Extract\_SANTAANA.

Output surface raster: Se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida, el nombre "Fill\_SANTAANA".

Z limit (optional): Se deja en blanco esta parte.



**Figura 3. 24 Ventana de la opción Fill**

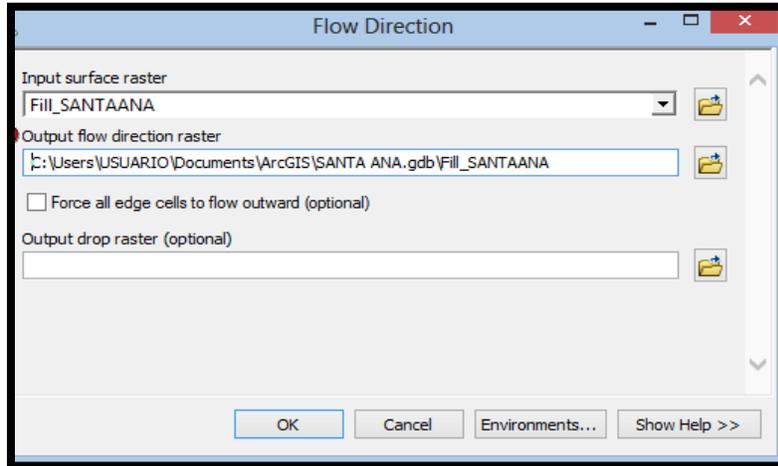
## Flow Direction - Paso 3

Se define la dirección del flujo buscando el camino descendente de una celda a otra. Se debe llenar los siguientes campos:

Input surface raster: Se selecciona el raster del paso anterior, llamado Fill\_SANTAANA.

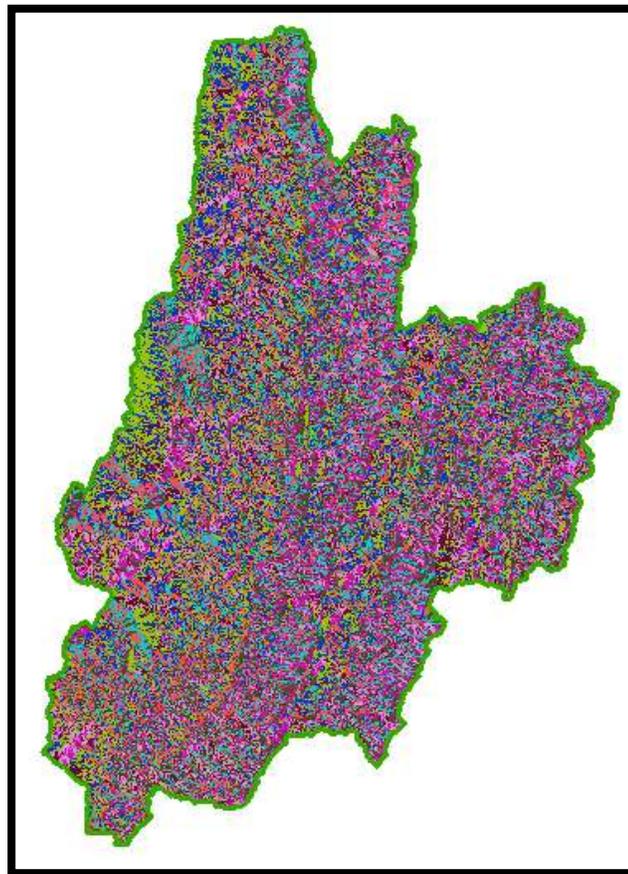
Output surface raster: Aquí se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida, por defecto le colocará el nombre "FlowDir\_SANTAANA".

Output drop raster (optional): Es una salida opcional. No se escribe nada en este campo.



**Figura 3. 25 Ventana de la opción Flow Direction**

Como resultado se obtiene el raster denominado FlowDir\_SANTAANA (dirección de flujo).



**Figura 3. 26 Raster Flow Direction de la cuenca Santa Ana**

#### **Flow Accumulation - Paso 4.**

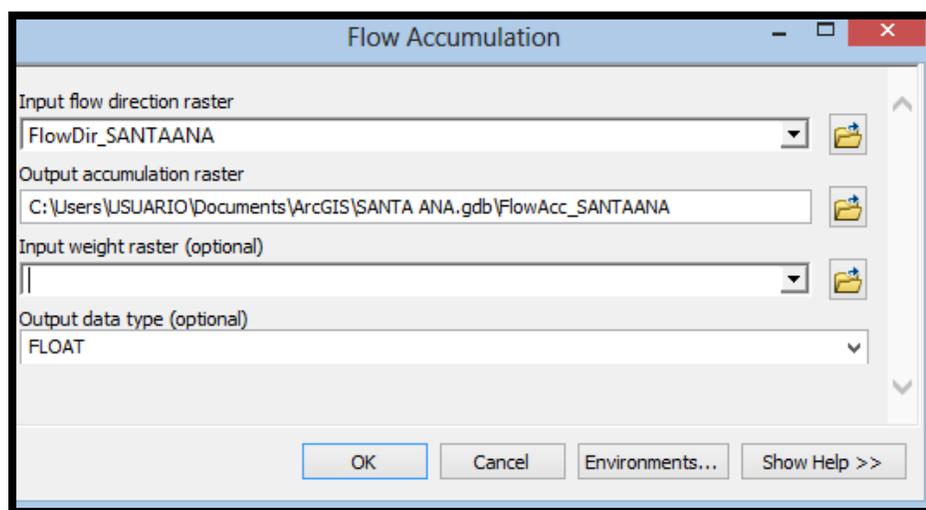
Determina el número de celdas de aguas arriba que vierten sobre cada una de las celdas inmediatamente aguas abajo de ella. Se debe llenar los siguientes campos:

Input direction raster: Se selecciona el raster del paso anterior FlowDir\_SANTAANA.

Output accumulation raster: Aquí se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida, por defecto le colocará el nombre “FlowAcc\_SANTAANA”.

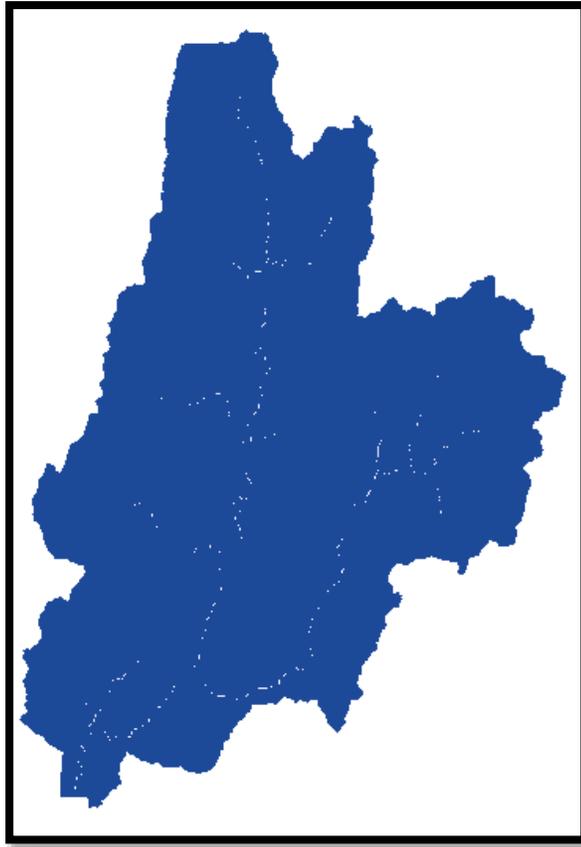
Input weight raster (optional): Es una salida opcional.

Output data type raster (optional): Por defecto se deja en FLOAT.



**Figura 3. 27 Ventana de la opción Flow Accumulation**

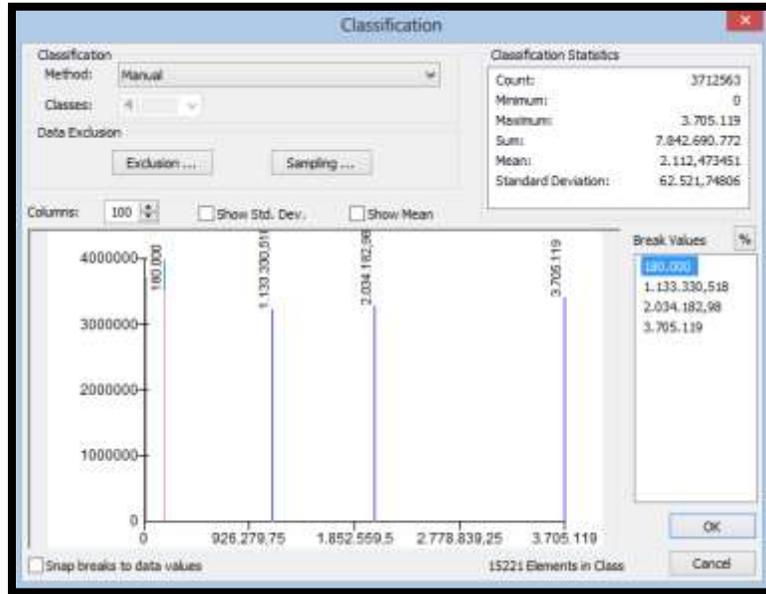
Como resultado se obtiene el raster denominado FlowAcc\_SANTAANA, y se muestra en la figura 3.28:



**Figura 3. 28 Raster Flow Accumulation de la cuenca Santa Ana**

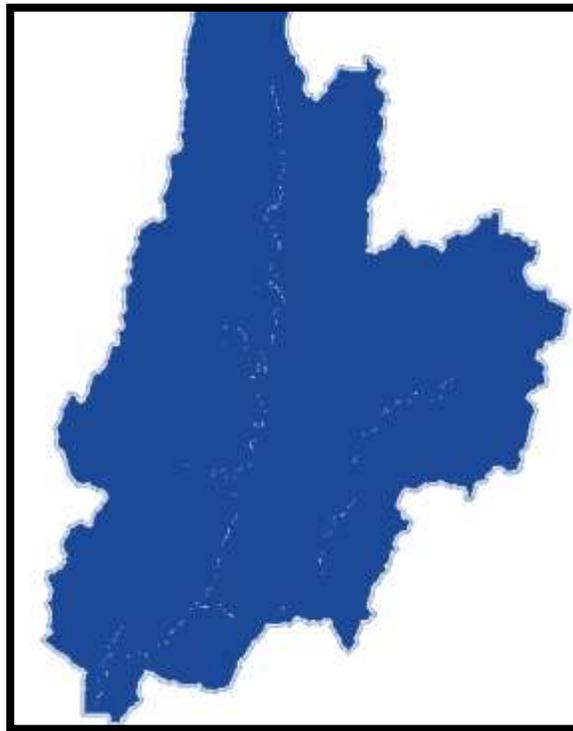
**Raster Calculator – Paso 5.**

En esta opción se ve el trazo del río principal en el FlowAcc y se trata de buscar 4 ríos que salgan del río principal es decir ríos tributarios para tener las 4 cuencas principales. Para esto vamos a propiedades del FlowAcc\_SANTAANA, se dirige a la pestaña de clasificación y se busca un número de píxeles en el cual aparezca el río principal y 4 afluentes, para este caso el número es de 180000 píxeles como se muestra en la figura 3.29:



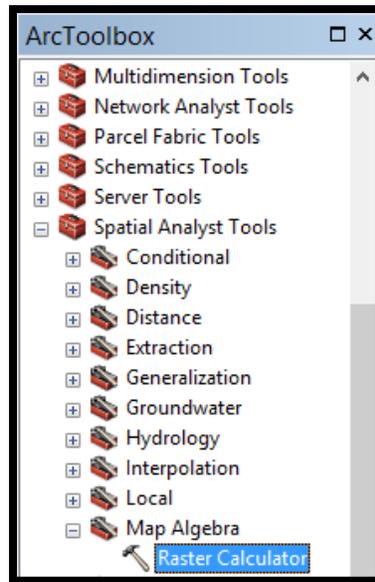
**Figura 3. 29** Reclasificación de la red de drenaje

Como resultado de esto se obtiene la acumulación reclasificada y se muestra el río principal con 4 afluentes y se observa en la figura 3.30:



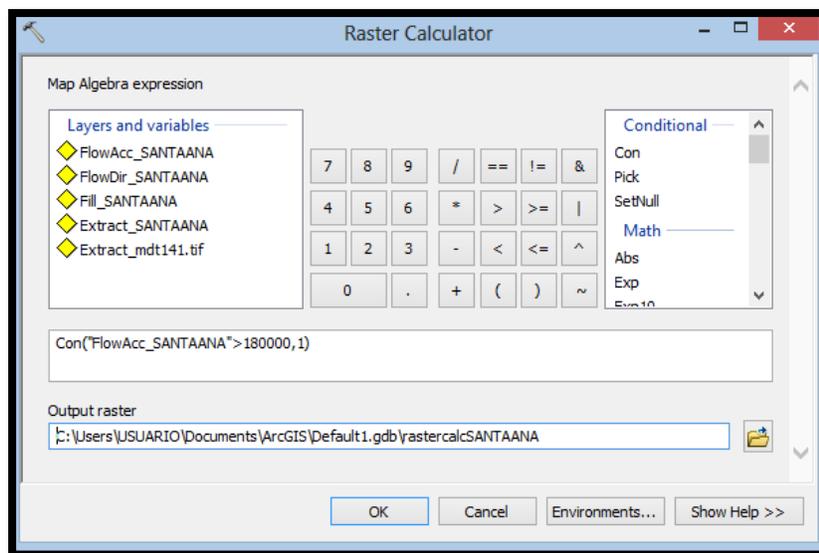
**Figura 3. 30** Raster del río principal y sus cuatro afluentes

Entonces ya con esta información, se dirige a la opción Spatial Analyst Tools, Map Algebra y damos click en Raster Calculator.



**Figura 3. 31 Opción Raster Calculator**

A continuación, se coloca el condicional, el flowacc e indicando que muestre una cantidad mayor a 180000 pixeles donde aparecen los pixeles del río principal y sus 4 afluentes.



**Figura 3. 32 Proceso de la reclasificación de la red de drenaje**

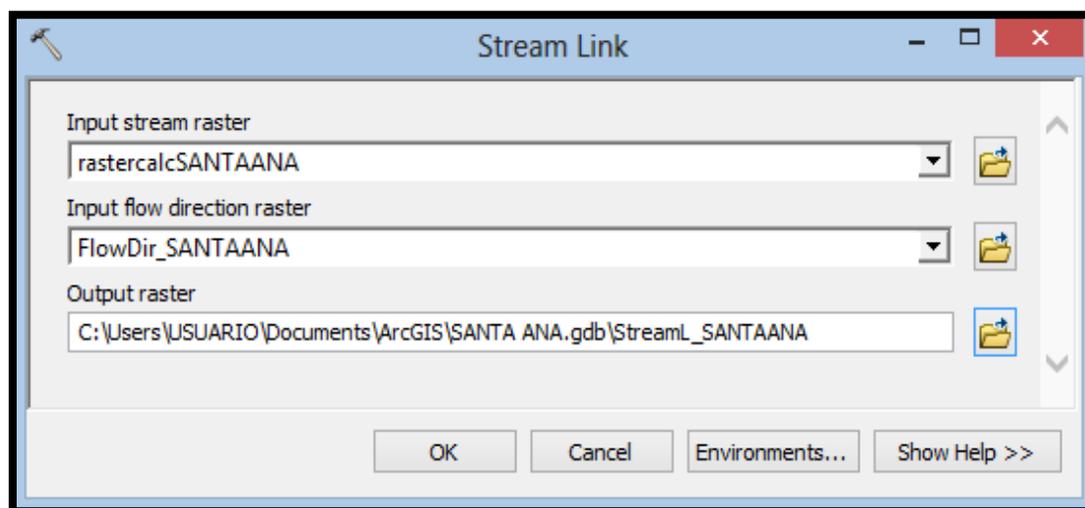
### **Stream Link - Paso 6.**

Divide el cauce en segmentos no interrumpidos. Es decir, que dichas secciones en las que se divide el recorrido del flujo serán segmentos que conectan dos uniones sucesivas, una unión y un punto de desagüe o una unión y una división del área de drenaje. Para ello se procede de la siguiente forma. En la ventana que aparece se debe rellenar los siguientes campos:

Input stream raster: Se selecciona el raster rastercalcSANTAANA creado en el paso anterior.

Input flow direction raster: Se selecciona el raster de dirección de flujo, denominado flowdir\_SANTAANA.

Output raster: Aquí se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida, se colocará el nombre "StreamL\_SANTAANA".



**Figura 3. 33 Ventana de la opción Stream Link**

### **Watershed Delineation - Paso 7.**

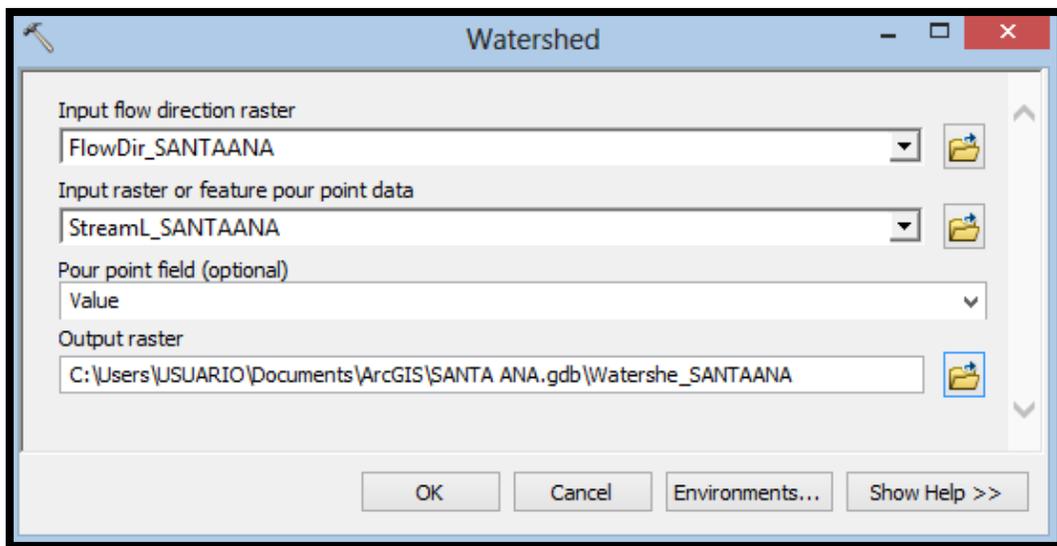
Delinea una subcuenca por cada uno de los segmentos de cauce definidos en el paso anterior. Se debe llenar los siguientes campos:

Input flow direction raster: Se introduce el raster de dirección de flujo creado en el paso 2, denominado FlowDir\_SANTAANA.

Input raster or feature pour point data: Se introduce el shape de puntos creado en el paso anterior “StreamL\_SANTAANA”.

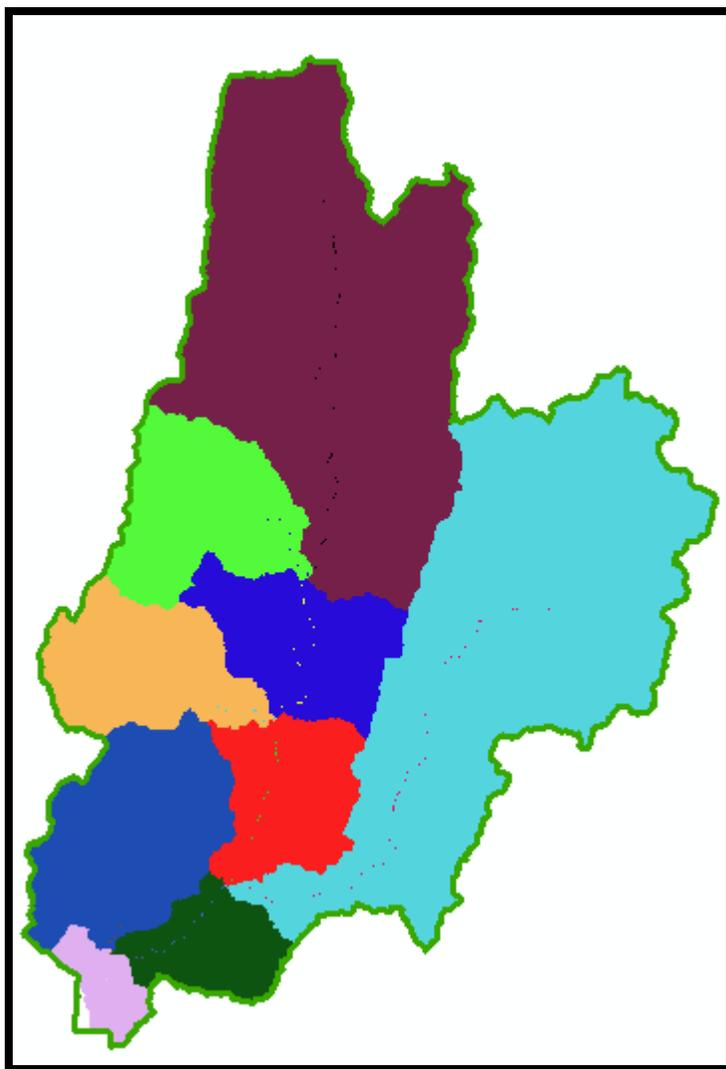
Pour point fiel (optional): Se deja la opción por defecto (VALUE).

Output raster: La ruta y el nombre del archivo salida, y se da el nombre Watersh\_SANTAANA



**Figura 3. 34 Ventana de la opción Watershed**

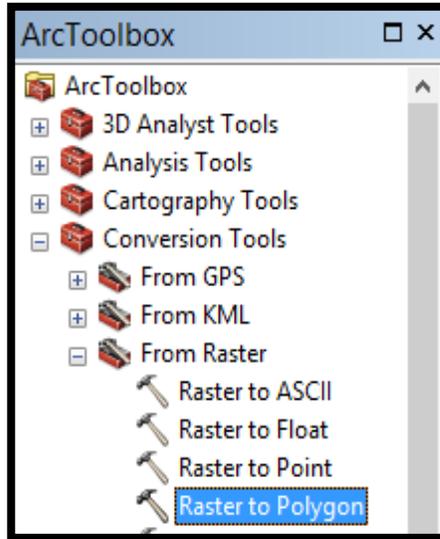
Como resultado se tiene las unidades hidrográficas de la cuenca del río Santa Ana delimitadas a nivel 6:



**Figura 3. 35 Generación de unidades hidrográficas a nivel 6 en formato raster**

#### **Vectorización de unidades hidrográficas – Paso 8.**

Se debe vectorizar las unidades hidrográficas generadas en el paso 7, es decir llevar de raster a polígono. Para esto se dirige a la caja de Herramientas ArcToolbox, Conversion Tools y se selecciona Raster to Polygon (de raster a polígono).



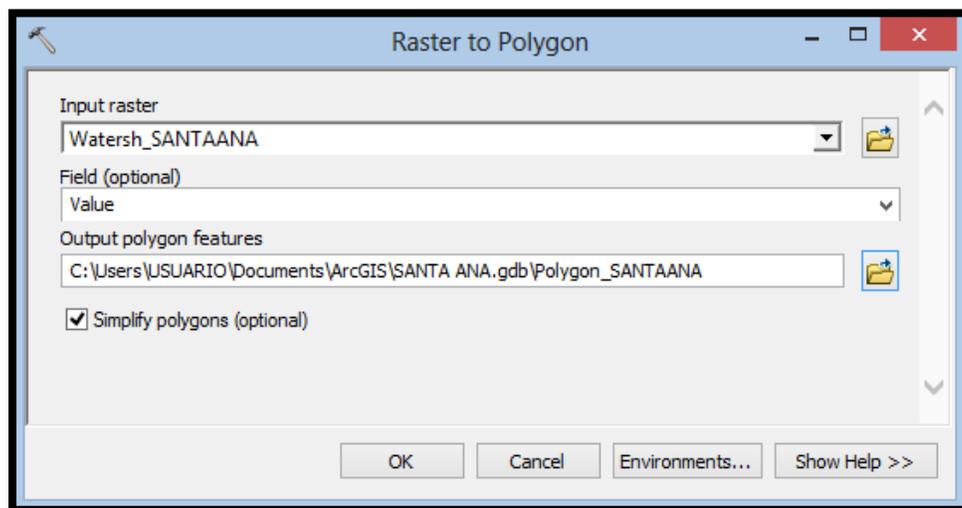
**Figura 3. 36 Opción Raster to Polygon**

A continuación, se debe llenar los siguientes campos:

Input raster: Se carga la imagen raster del anterior paso Watersh\_SANTAANA

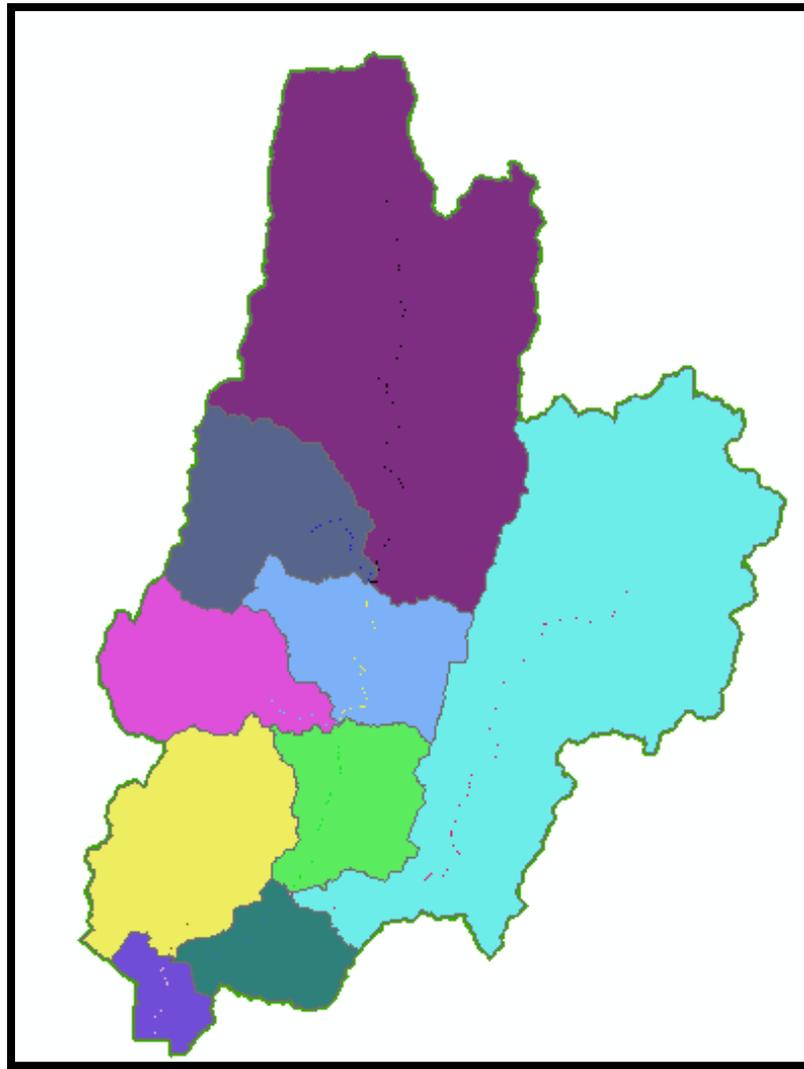
Field: Este campo es opcional y se deja por defecto en Value.

Output polygon features: El archivo de salida vectorizado que tendrá el nombre de “Polygon\_SANTAANA”



**Figura 3. 37 Ventana de la opción Raster to Polygon**

Como resultado se obtiene la delimitación de las nueve cuencas como indica el método Pfafstetter, las unidades hidrográficas vectorizadas se muestra en la figura 3.38:



**Figura 3. 38 Unidades hidrográficas vectorizadas**

### **Codificación de cuencas**

Consecuentemente procederemos a la fase de codificación mediante la metodología Pfafstetter. Para este caso la cuenca de Santa Ana tiene el código de 85898 a nivel 5.

Para la clasificación se debe tener en cuenta los siguientes conceptos:

Cuenca. Unidad hidrográfica que no recibe drenaje de ninguna otra área, pero si contribuye a otra unidad de drenaje. Pues estos son los cuatro afluentes del río principal que se realizó

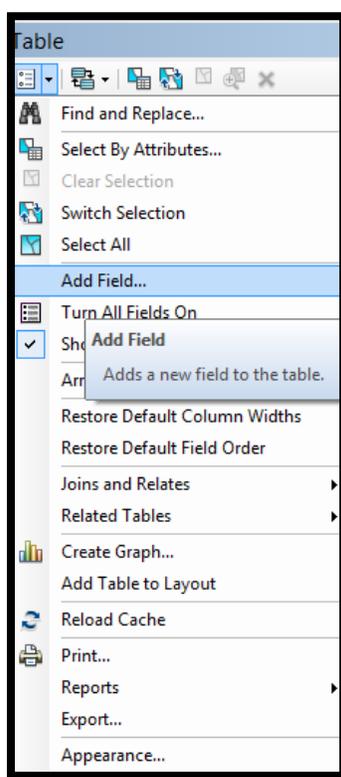
en el rastrecalc del paso 5. Esta unidad hidrográfica siempre en el último dígito llevara un número par (2, 4, 6, 8).

Intercuenca. Es un área que recibe drenaje de otra unidad que se ubica aguas arriba mediante el curso principal y permite el drenaje del flujo propio. Estas cuencas generalmente son parte del río principal y su unidad hidrográfica en el último dígito llevara un número impar (1, 3, 5, 7).

Cuenca Interna. No recibe ni aporta flujo de agua a otra unidad de drenaje o cuerpo de agua.

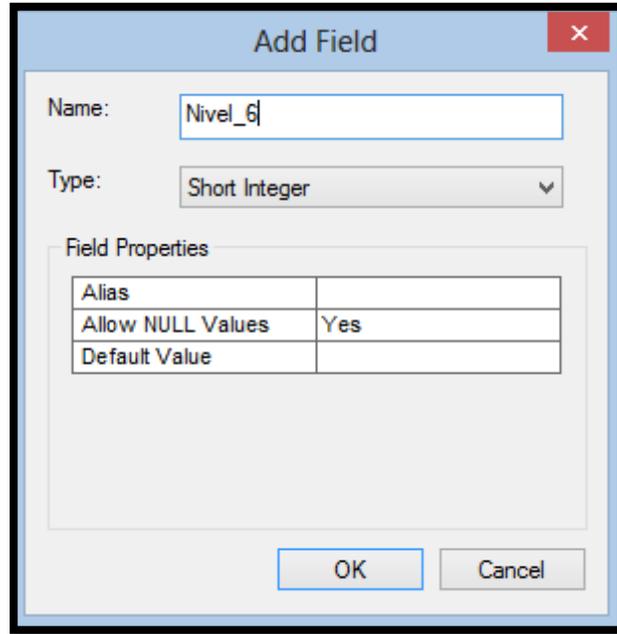
Con los previos conceptos definidos ya se puede codificar y se realiza de la siguiente forma:

Se abre la tabla de atributos del polígono de Santa Ana y se da click a la opción Add Field como se muestra en la figura 3.39:



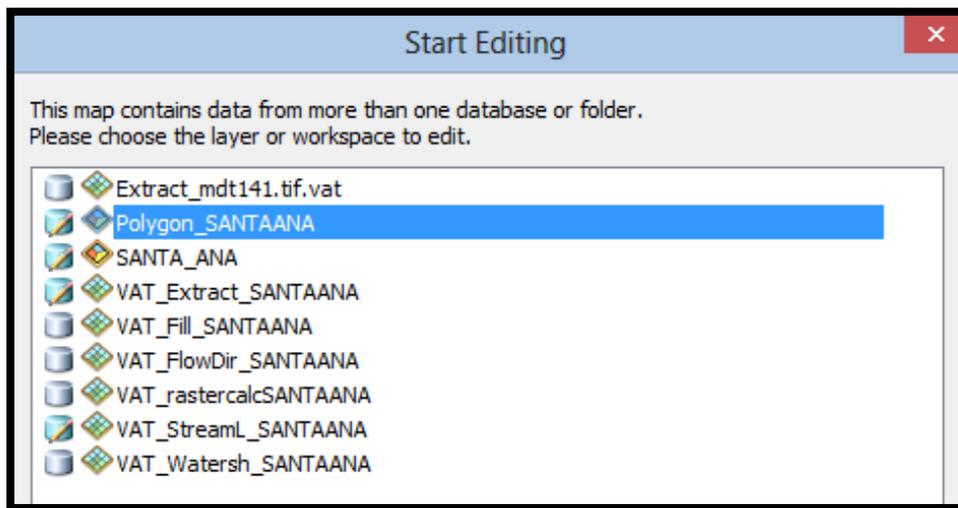
**Figura 3. 39 Opción Add Field**

Y así se crea una nueva columna con el nombre de Nivel\_6 y se observa en la figura 3.40.



**Figura 3. 40 Ventana de la opción Add Field**

Luego se edita la capa de Polygon\_SANTAANA como se muestra en la figura 3.41:



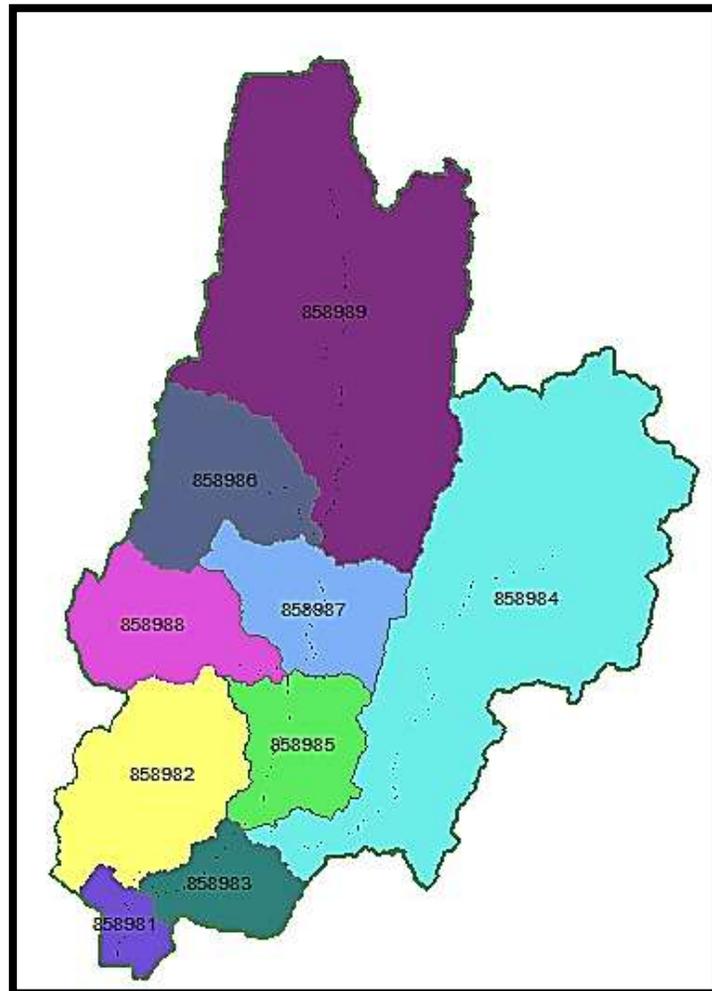
**Figura 3. 41 Edición de Polygon\_SANTAANA**

Se abre nuevamente la tabla de atributos de la capa Polygon\_SANTAANA, y se empieza a colocar los códigos según la metodología Pfafstetter a nivel 6.

OBJECTID *	Shape *	Id	grid code	Shape Length	Shape Area	Nivel 5	Nivel 6
1	Polygon	1	1	71313,536164	170911576,822999	85898	858989
5	Polygon	2	2	33010,386112	41868593,906374	85898	858986
7	Polygon	3	5	31037,294924	37849077,08728	85898	858988
8	Polygon	4	3	31503,745655	36146875,927374	85898	858987
9	Polygon	5	6	36468,917691	53498049,522313	85898	858982
10	Polygon	6	6	29471,309221	30965547,307452	85898	858985
11	Polygon	7	4	88417,626567	177552099,676114	85898	858984
15	Polygon	8	7	23154,225608	20744740,054073	85898	858983
17	Polygon	9	8	16059,425175	10245515,244484	85898	858981

**Figura 3. 42 Codificación de las unidades de drenaje**

Finalmente, se para la edición y se guarda los cambios. Obteniendo así el mapa de unidades hidrográficas a nivel 6 como se muestra en la siguiente imagen:



**Figura 3. 43 Unidades hidrográficas de la cuenca Santa Ana codificadas en nivel 6**

## ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA

### Descripción de unidades hidrográficas en Tarija, Bolivia

#### Nivel 1

Bolivia según la clasificación Pfafstetter empezó con 3 unidades hidrográficas que son una región hidrográfica 0, región hidrográfica Amazonas y la región hidrográfica de la Plata a continuación se muestra en las unidades hidrográficas de Bolivia en nivel 1:

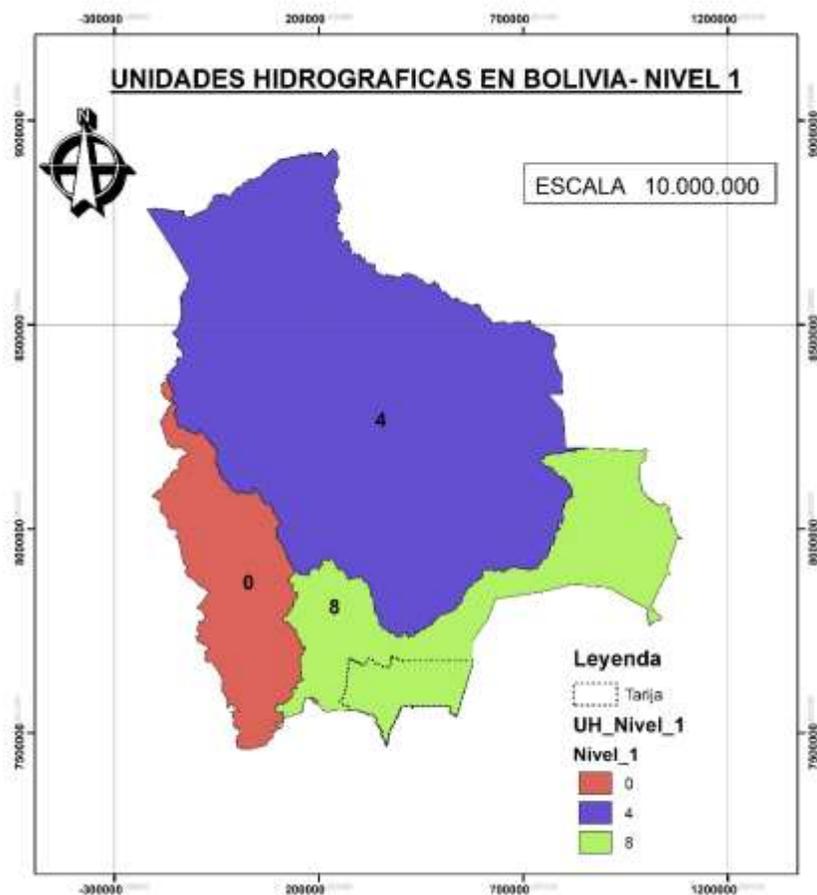
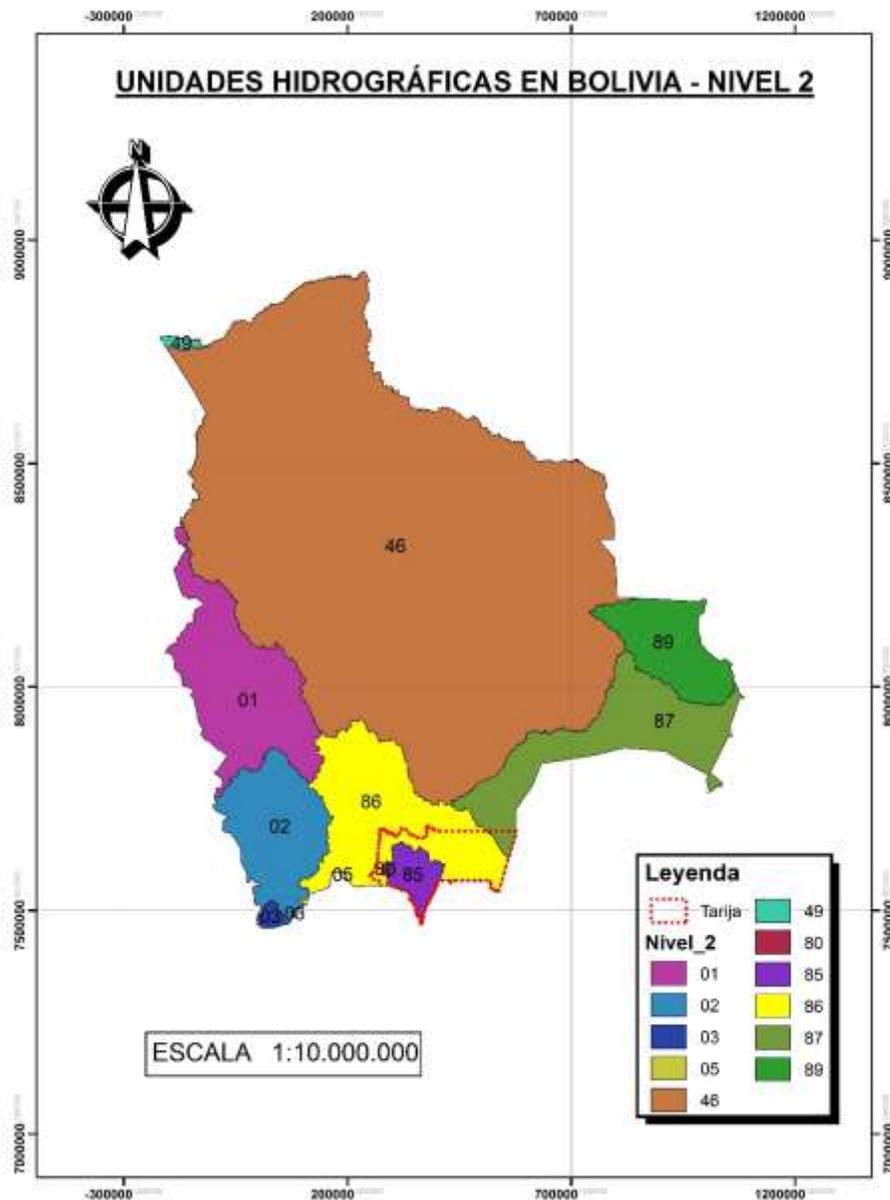


Tabla 4.1 Unidades hidrográficas Nivel 1 en Bolivia

Nivel 1 (Código)	Área (km <sup>2</sup> )	NOMBRE DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA
0	149820,34	Región Hidrográfica 0
4	711757,54	Región Hidrográfica Amazonas
8	222665,62	Región Hidrográfica de la Plata

#### Nivel 2

En Bolivia, existen en el nivel 2 once unidades hidrográficas, de las cuales cuatro forman parte de la unidad hidrográfica 0, representando el 13,67 % del territorio boliviano; dos forman parte de la región hidrográfica Amazonas, representando la mayor extensión territorial con un 66,04 % y finalmente cinco que forman parte de la región hidrográfica de la Plata, representando el 20,29 % de territorio. A continuación, se muestran las unidades hidrográficas de nivel 2:

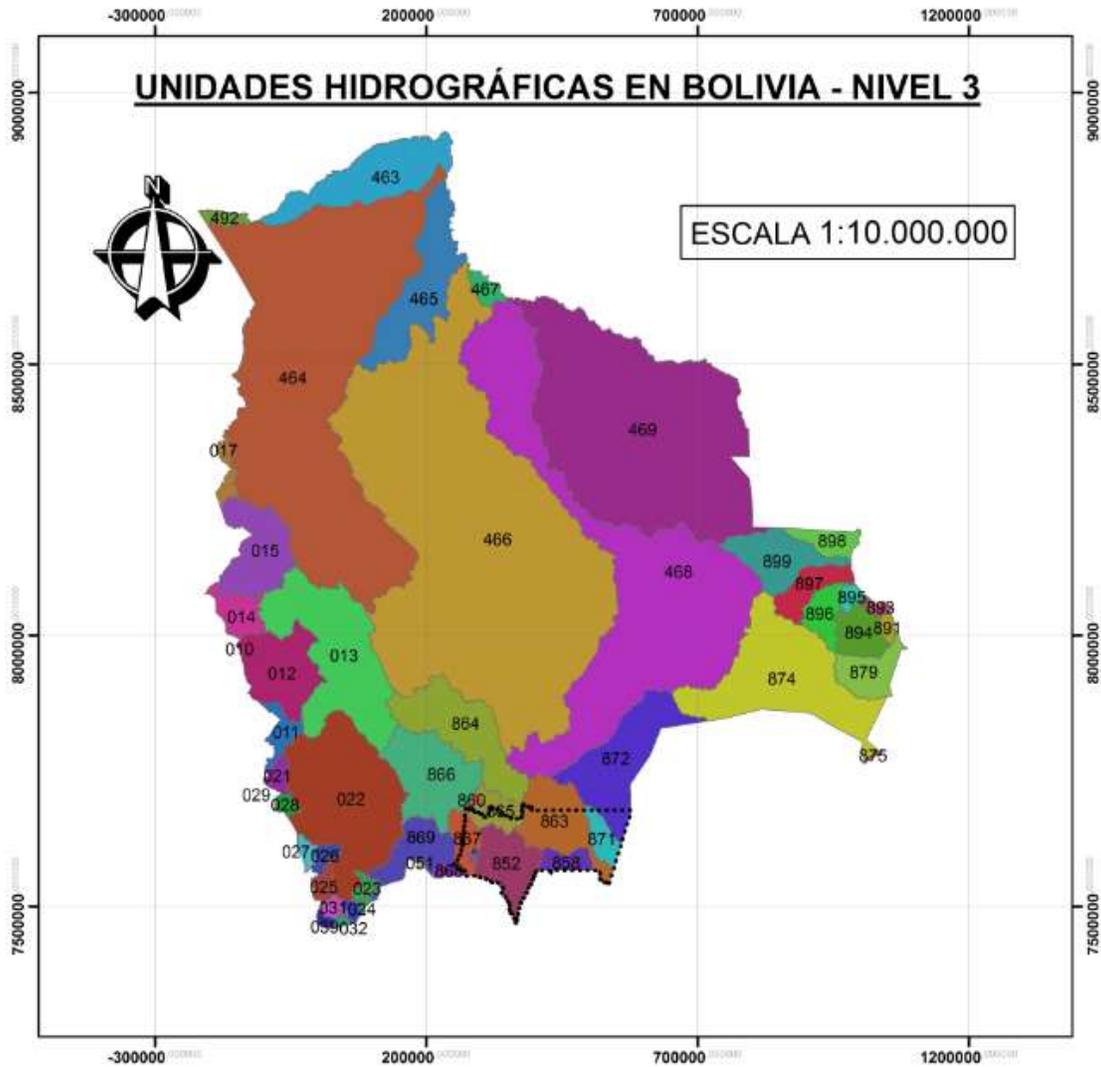


**Tabla 4.2 Unidades hidrográficas Nivel 2 en Bolivia**

<b>Nivel 1</b>	<b>Nivel 2</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>% de territorio</b>
0	01	80280,179	13,67%
0	02	52816,662	
0	03	2560,9661	
0	05	161,67429	
4	46	654333,2	66,04%
4	49	1848,7431	
8	80	419,14117	20,29%
8	85	10732,741	
8	86	81149,821	
8	87	70866,372	
8	89	38445,461	

### **Nivel 3**

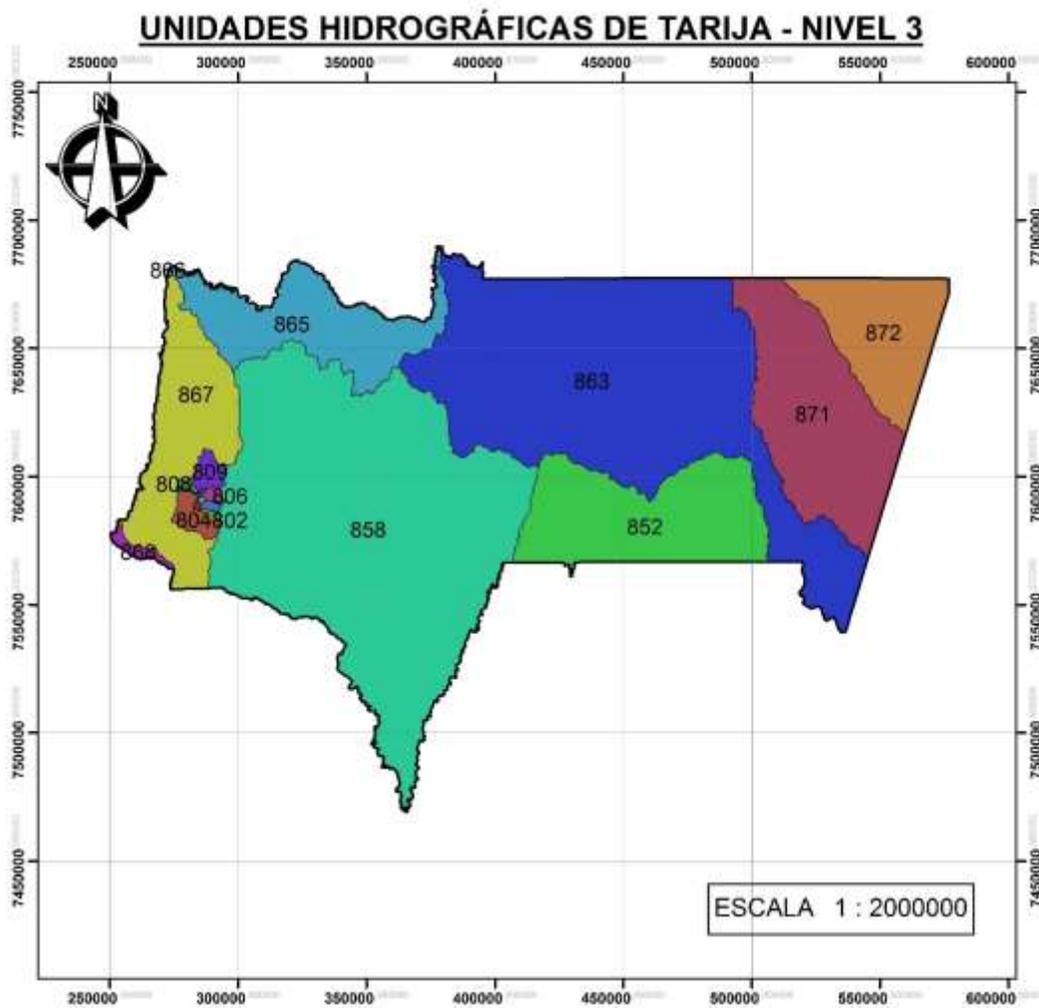
En el nivel 3 Bolivia tiene sesenta y dos unidades hidrográficas, de las cuales veinte y uno unidades hidrográficas corresponden a la región hidrográfica 0, ocho a la región hidrográfica Amazonas y treinta y tres a la región hidrográfica de la Plata. A continuación, se muestran las unidades hidrográficas en nivel 3:



**Leyenda**

Tarija	015	026	039	468	805	860	869	892
<b>UH_Nivel_3</b>	017	027	051	469	806	863	871	893
<b>Nivel_3</b>	021	028	463	492	807	864	872	894
010	022	029	464	801	808	865	874	895
011	023	031	465	802	809	866	875	896
012	024	032	466	803	852	867	879	897
013	025	033	467	804	858	868	891	898
014								899

Como se puede ver en este nivel ya existe una gran cantidad de unidades hidrográficas, entonces haremos un enfoque en el departamento de Tarija, pues en este departamento se encuentra la zona de estudio.



Leyenda							
	Tarija		804		809		866
<b>Nivel_3</b>			805		852		867
	801		806		858		868
	802		807		863		871
	803		808		865		872

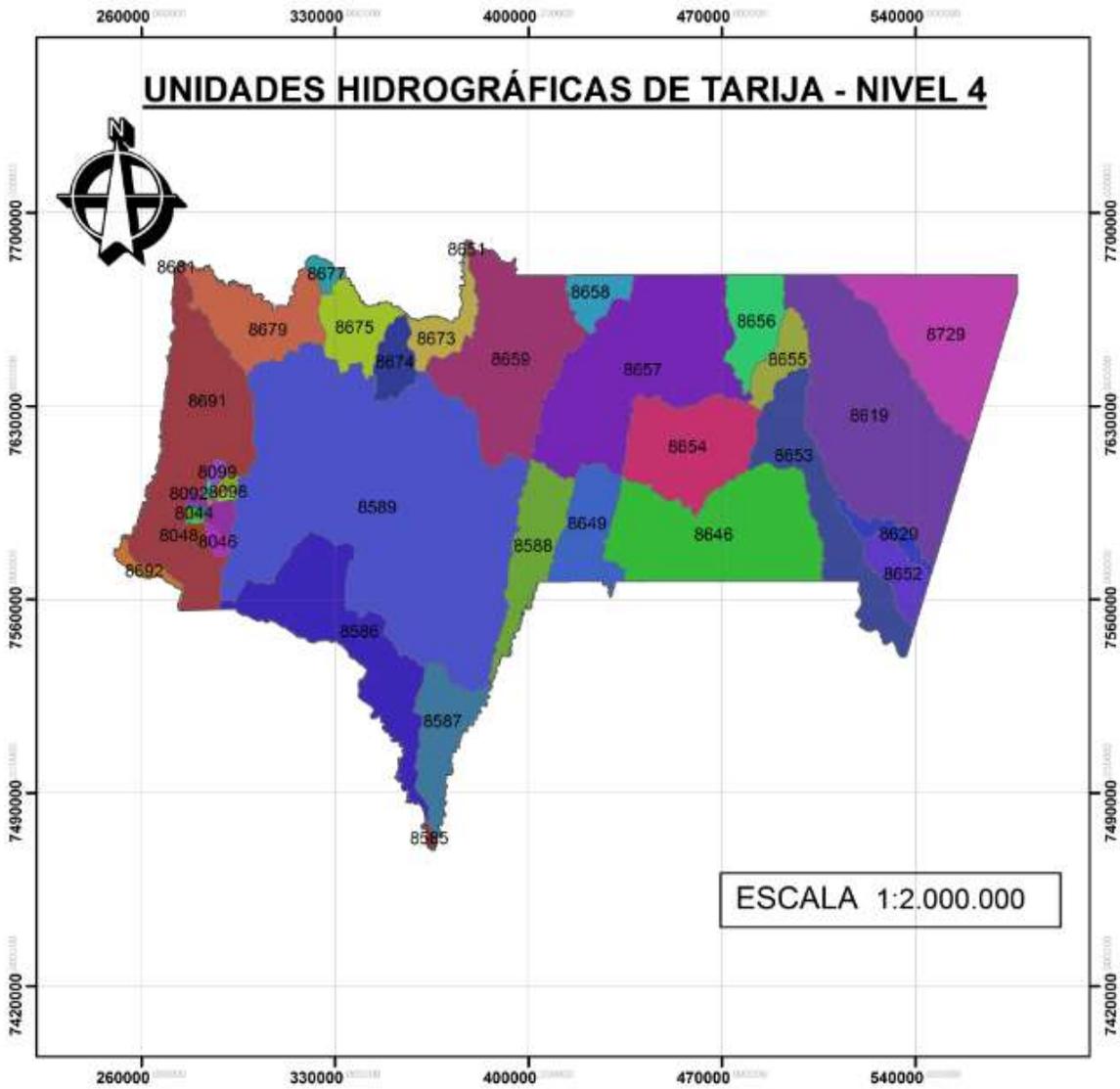
El valle central de Tarija se encuentra en la unidad hidrográfica 858 perteneciente a la cuenca del río Bermejo que se resalta en la tabla 4.3.

**Tabla 4.3 Unidades hidrográficas a nivel 4.3 para el dpto. de Tarija**

<b>Nivel 1</b>	<b>Nivel 2</b>	<b>Nivel 3</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>NOMBRE DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA</b>
8	80	801	6,72	Unidad Hidrográfica 801
8	80	802	26,23	Unidad Hidrográfica 802
8	80	803	21,81	Unidad Hidrográfica 803
8	80	804	185,78	Unidad Hidrográfica 804
8	80	805	5,29	Unidad Hidrográfica 805
8	80	806	40,59	Unidad Hidrográfica 806
8	80	807	13,84	Unidad Hidrográfica 807
8	80	808	24,35	Unidad Hidrográfica 808
8	80	809	140,6	Unidad Hidrográfica 809
8	85	852	3361,27	Cuenca del río Caraparí
8	85	858	11914,52	Cuenca del río Bermejo
8	86	863	15667,47	Unidad Hidrográfica 863
8	86	865	5741,32	Unidad Hidrográfica 865
8	86	866	21329,26	Cuenca del río Tumusla
8	86	867	4445,34	Unidad Hidrográfica 867
8	86	868	1211,31	Cuenca del río Sococha
8	87	871	3977,07	Unidad Hidrográfica 871
8	87	872	25291,2	Cuenca del río Caúada Ustarez

#### **Nivel 4**

En el nivel 4 el departamento de Tarija tiene cuarenta y cinco unidades hidrográficas de las cuales todas son correspondientes de la región hidrográfica de la Plata. En este nivel la unidad hidrográfica 858 tiene cinco unidades hidrográficas de nivel 4 las cuales son: 8585, 8586 (río Orosas), 8587, 8588 (río Itau), 8589 (río Tarija) estas mismas se detallan a continuación:



**Leyenda**

NIVEL_4																	
	8044		8091		8096		8586		8629		8653		8658		8675		
	8045		8092		8097		8587		8646		8654		8659		8677		
	8041		8046		8093		8098		8588		8649		8655		8672		
	8042		8047		8094		8099		8589		8651		8656		8673		
	8043		8048		8095		8585		8619		8652		8657		8674		
															8692		8729
															Tarija		

**Tabla 4.4 Unidades hidrográficas a nivel 4, valle central de Tarija**

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Área (km <sup>2</sup> )	NOMBRE DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA
8	85	858	8585	20,44	Unidad Hidrográfica 8585
8	85	858	8586	2001,34	Río Orosas
8	85	858	8587	791,41	Unidad Hidrográfica 8587
8	85	858	8588	883,58	Río Itau
8	85	858	8589	8215,08	Río Tarija

El resto de la tabla de unidades hidrográficas a nivel 4 para el departamento de Tarija se muestra en el anexo A.

#### **Nivel 5**

En nivel 5 el departamento de Tarija tiene ciento ochenta y ocho unidades hidrográficas, pero para una mejor comprensión se enfocará el valle central de Tarija que comprende las unidades hidrográficas 85896 (Cuenca del río Camacho), 85898 (Cuenca del río Santa Ana) y 85899 (Cuenca del río Guadalquivir). A continuación, se muestra en la siguiente imagen:



Leyenda																			
	Valle_central_Tarija		85877		85897		86499		86546		86565		86594		86744		86775		86915
<b>NIVEL_5</b>			85878		85898		86526		86547		86571		86595		86745		86777		86916
	85854		85879		85899		86528		86548		86572		86597		86746		86778		86917
	85857		85881		86192		86529		86549		86573		86598		86747		86779		86918
	85858		85883		86195		86532		86551		86574		86599		86748		86780		86919
	85861		85884		86198		86533		86552		86575		86600		86749		86781		86920
	85862		85885		86209		86534		86553		86576		86601		86750		86782		86921
	85863		85886		86462		86535		86554		86577		86602		86751		86783		86922
	85865		85887		86464		86536		86555		86578		86603		86752		86784		86923
	85866		85888		86465		86537		86556		86579		86604		86753		86785		86924
	85867		85889		86466		86538		86557		86581		86605		86754		86786		86925
	85868		85890		86467		86539		86558		86582		86606		86755		86787		86926
	85869		85891		86468		86540		86559		86583		86607		86756		86788		86927
	85871		85892		86469		86541		86560		86584		86608		86757		86789		86928
	85873		85893		86494		86542		86561		86585		86609		86758		86790		86929
	85875		85894		86497		86543		86562		86586		86610		86759		86791		86930
	85876		85895		86498		86544		86563		86587		86611		86760		86792		86931
	85896		85896		86498		86545		86564		86588		86612		86761		86793		86932
	85897		85897		86498		86545		86564		86589		86613		86762		86794		86933
	85898		85898		86498		86545		86564		86590		86614		86763		86795		86934
	85899		85899		86498		86545		86564		86591		86615		86764		86796		86935
	85900		85900		86498		86545		86564		86592		86616		86765		86797		86936
	85901		85901		86498		86545		86564		86593		86617		86766		86798		86937
	85902		85902		86498		86545		86564		86594		86618		86767		86799		86938
	85903		85903		86498		86545		86564		86595		86619		86768		86800		86939
	85904		85904		86498		86545		86564		86596		86620		86769		86801		86940
	85905		85905		86498		86545		86564		86597		86621		86770		86802		86941
	85906		85906		86498		86545		86564		86598		86622		86771		86803		86942
	85907		85907		86498		86545		86564		86599		86623		86772		86804		86943
	85908		85908		86498		86545		86564		86600		86624		86773		86805		86944
	85909		85909		86498		86545		86564		86601		86625		86774		86806		86945
	85910		85910		86498		86545		86564		86602		86626		86775		86807		86946
	85911		85911		86498		86545		86564		86603		86627		86776		86808		86947
	85912		85912		86498		86545		86564		86604		86628		86777		86809		86948
	85913		85913		86498		86545		86564		86605		86629		86778		86810		86949
	85914		85914		86498		86545		86564		86606		86630		86779		86811		86950
	85915		85915		86498		86545		86564		86607		86631		86780		86812		86951
	85916		85916		86498		86545		86564		86608		86632		86781		86813		86952
	85917		85917		86498		86545		86564		86609		86633		86782		86814		86953
	85918		85918		86498		86545		86564		86610		86634		86783		86815		86954
	85919		85919		86498		86545		86564		86611		86635		86784		86816		86955
	85920		85920		86498		86545		86564		86612		86636		86785		86817		86956
	85921		85921		86498		86545		86564		86613		86637		86786		86818		86957
	85922		85922		86498		86545		86564		86614		86638		86787		86819		86958
	85923		85923		86498		86545		86564		86615		86639		86788		86820		86959
	85924		85924		86498		86545		86564		86616		86640		86789		86821		86960
	85925		85925		86498		86545		86564		86617		86641		86790		86822		86961
	85926		85926		86498		86545		86564		86618		86642		86791		86823		86962
	85927		85927		86498		86545		86564		86619		86643		86792		86824		86963
	85928		85928		86498		86545		86564		86620		86644		86793		86825		86964
	85929		85929		86498		86545		86564		86621		86645		86794		86826		86965
	85930		85930		86498		86545		86564		86622		86646		86795		86827		

**Tabla 4.5 Unidades hidrográficas a nivel 5, valle central de Tarija**

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Área (km <sup>2</sup> )	NOMBRE DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA
8	85	858	8589	85896	972,88	Río Camacho
8	85	858	8589	85898	578,89	Río Santa Ana
8	85	858	8589	85899	1559,28	Río Guadalquivir

**Resultados de los parámetros geométricos y morfométricos de las unidades hidrográficas a nivel 6 según la metodología Pfafstetter.**

**Cuenca del río Camacho.**

Área: 945.60 Km<sup>2</sup>

Perímetro: 207.12 Km

Unidad hidrográfica: 85896

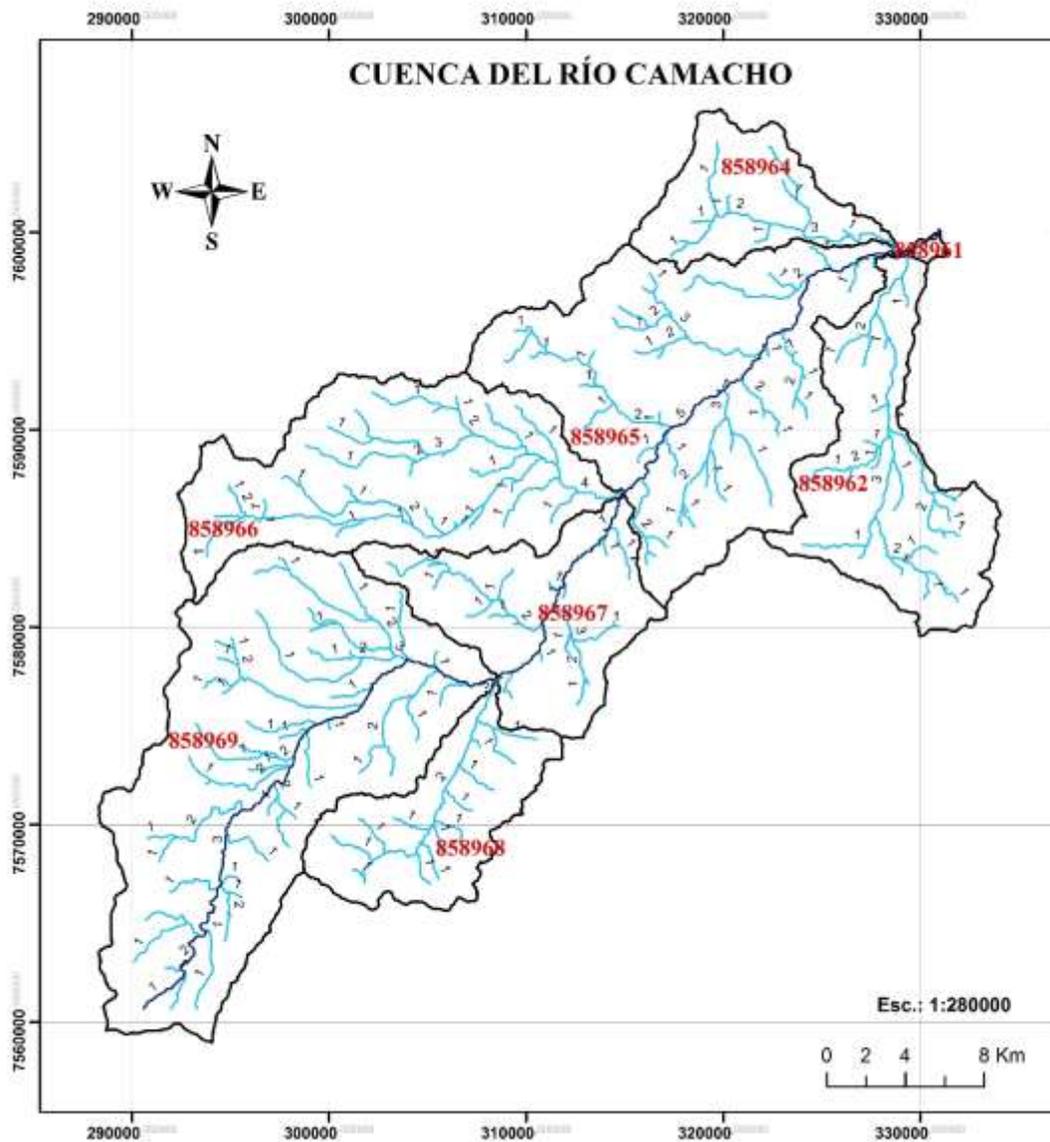
Número de unidades hidrográficas en nivel 6: nueve unidades hidrográficas.

Número de intercuenas: cinco intercuenas hidrográficas, según la metodología Pfafstetter.

Las cuales son: 858961, 858963, 858965, 858967 y 858969.

Número de cuencas: cuatro cuencas hidrográficas, según la metodología Pfafstetter. Las cuales son: 858962, 858964, 858966 y 858968.

Se tienen los principales parámetros geométricos y morfométricos de las unidades hidrográficas a nivel 6 de la cuenca del río Camacho que se muestra a continuación en la tabla 4.6, para ver el detalle de estos parámetros se encuentran en el anexo B.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
 JUAN MISAEL SARACHO   
 FACULTAD DE CIENCIAS  
 Y TECNOLOGÍA  
 CARRERA DE  
 INGENIERÍA CIVIL

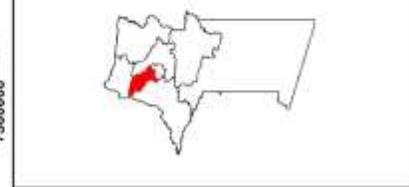
**PROYECTO:**  
 DELIMITACIÓN, CODIFICACIÓN  
 Y PRINCIPALES PARÁMETROS  
 GEOMÉTRICOS Y MORFOMÉTRICOS  
 DE LAS CUENCAS DEL VALLE  
 CENTRAL DE TARIJA CON EL  
 MÉTODO PFAFSTETTER A NIVEL 6

**MAPA:**  
 CUENCA DEL RÍO CAMACHO

**ÁREA:** 945.60 Km<sup>2</sup>  
**PERÍMETRO :** 207.12 Km  
**PROYECCIÓN:** UTM WGS84 - 20S  
**ESCALA:** 1:280000

**UNIDADES HIDROGRÁFICAS:**  
 Unidad Hidrográfica Nivel 1: 8  
 Unidad Hidrográfica Nivel 2: 85  
 Unidad Hidrográfica Nivel 3: 858  
 Unidad Hidrográfica Nivel 4: 8589  
 Unidad Hidrográfica Nivel 5: 85896

**UBICACIÓN**  
**DEPARTAMENTO:** Tarija  
**PROVINCIA:** Arce y Avilés  
**MUNICIPIO:** Padcaya y Uriondo



**Tabla 4.6 Parámetros geométricos y morfométricos de la cuenca del río Camacho**

<b>Nivel 1</b>	8	8	8	8	8	8	8	8	8
<b>Nivel 2</b>	85	85	85	85	85	85	85	85	85
<b>Nivel 3</b>	858	858	858	858	858	858	858	858	858
<b>Nivel 4</b>	8589	8589	8589	8589	8589	8589	8589	8589	8589
<b>Nivel 5</b>	85896	85896	85896	85896	85896	85896	85896	85896	85896
<b>Nivel 6</b>	858961	858962	858963	858964	858965	858966	858967	858968	858969
<b>Nombre de la unidad hidrográfica</b>	Río Camacho	Quebrada Calderillas	Río Camacho	Río Rujero	Río Camacho	Río Alizos	Río Camacho	Río Cañas	Río Camacho
<b>Provincia</b>	Avilés	Avilés	Avilés	Avilés	Avilés	Avilés	Arce	Arce	Arce
<b>Municipios</b>	Uriondo	Uriondo	Uriondo	Uriondo	Uriondo	Uriondo	Padcaya	Padcaya	Padcaya
<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	1,71	103,00	0,19	54,93	208,92	148,88	92,61	71,91	263,46
<b>Perímetro (Km)</b>	6,19	65,64	2,74	41,73	84,04	69,78	53,59	47,43	84,64
<b>Longitud del río principal (Km)</b>	2,16	23,35	0,87	15,68	22,73	28,20	13,50	16,82	33,32
<b>Elevación Máxima (msnm)</b>	1794,00	3250,00	1742,00	2454,00	3049,00	4660,00	2987,00	3610,00	4666,00
<b>Elevación Mínima (msnm)</b>	1718,00	1732,00	1732,00	1739,00	1739,00	1908,00	1908,00	2074,00	2074,00
<b>Pendiente media de la cuenca (%)</b>	10,17	30,93	2,40	25,80	22,09	35,84	25,07	53,10	42,58
<b>Densidad de drenaje (km/km<sup>2</sup>)</b>	1,26	0,67	4,65	0,58	0,59	0,68	0,57	0,61	0,68
<b>Orden de cuenca (Método Strahler)</b>	1,00	4,00	1,00	2,00	5,00	4,00	4,00	3,00	4,00

### **Cuenca del río Santa Ana**

Área: 580.08 Km<sup>2</sup>

Perímetro: 150.35 Km

Unidad hidrográfica: 85898

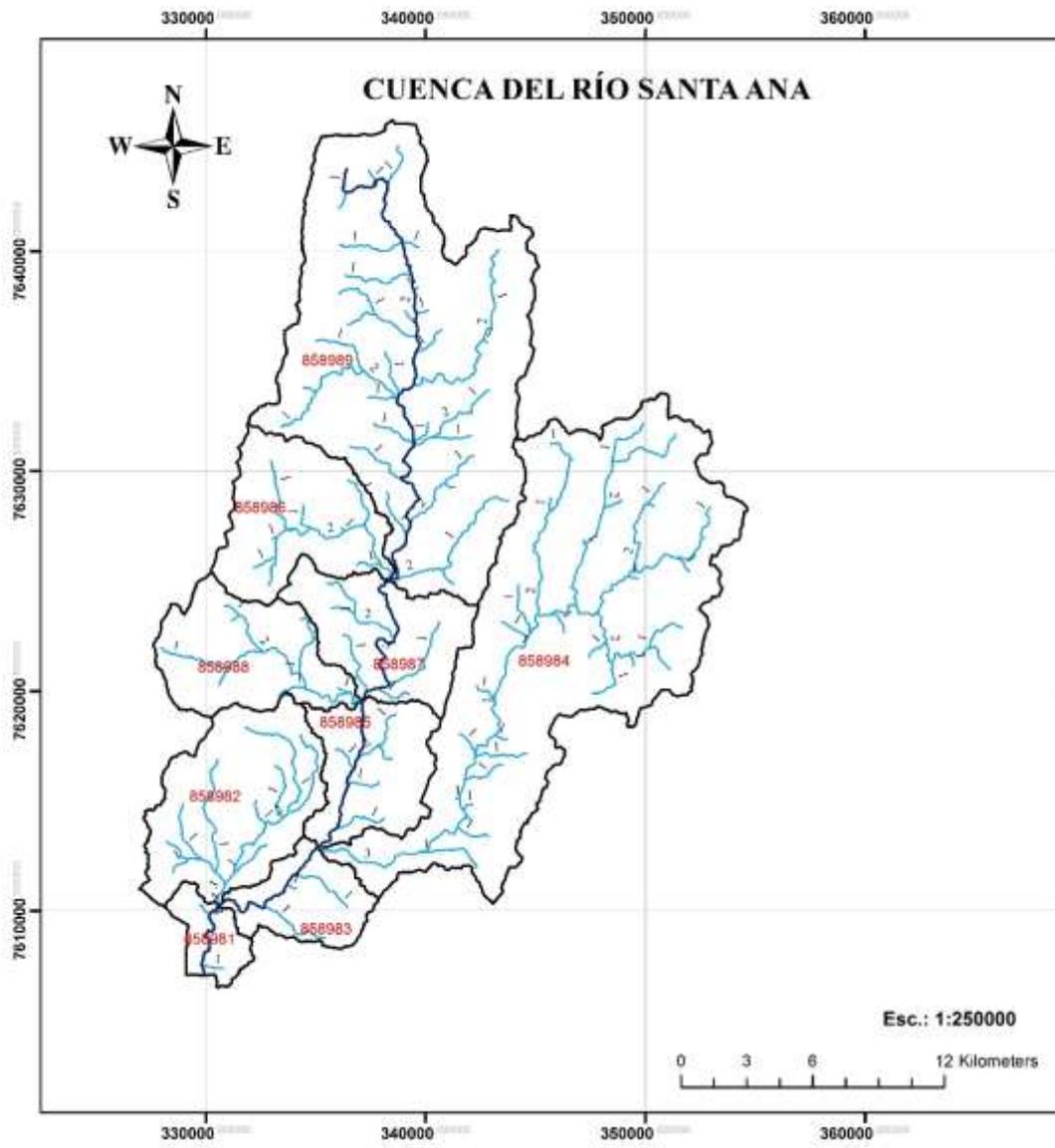
Número de unidades hidrográficas en nivel 6: nueve unidades hidrográficas.

Número de intercuenas: cinco intercuenas hidrográficas, según la metodología Pfafstetter.

Las cuales son: 858981, 858983, 858985, 858987 y 858989.

Número de cuencas: cuatro cuencas hidrográficas, según la metodología Pfafstetter. Las cuales son: 858982, 858984, 858986 y 858988.

Se tienen los principales parámetros geométricos y morfométricos de las unidades hidrográficas a nivel 6 de la cuenca del río Santa Ana que se muestran a continuación en la tabla 4.7, para ver el detalle de estos parámetros se encuentran en el anexo C.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
 JUAN MISAEL SARACHO   
 FACULTAD DE CIENCIAS  
 Y TECNOLOGÍA  
 CARRERA DE  
 INGENIERÍA CIVIL

**PROYECTO:**  
 DELIMITACIÓN, CODIFICACIÓN  
 Y PRINCIPALES PARÁMETROS  
 GEOMÉTRICOS Y MORFOMÉTRICOS  
 DE LAS CUENCAS DEL VALLE  
 CENTRAL DE TARIJA CON EL  
 MÉTODO PFAFSTETTER A NIVEL 6

**MAPA:**  
 CUENCA DEL RÍO SANTA ANA

**ÁREA:** 580.08 Km<sup>2</sup>  
**PERÍMETRO :** 150.35 Km  
**PROYECCIÓN:** UTM WGS84 - 20S  
**ESCALA:** 1:250000

**UNIDADES HIDROGRÁFICAS:**  
 Unidad Hidrográfica Nivel 1: 8  
 Unidad Hidrográfica Nivel 2: 85  
 Unidad Hidrográfica Nivel 3: 858  
 Unidad Hidrográfica Nivel 4: 8589  
 Unidad Hidrográfica Nivel 5: 85898

**UBICACIÓN**  
**DEPARTAMENTO:** Tarija  
**PROVINCIA:** Cercado  
**MUNICIPIO:** Tarija



**Tabla 4.7 Parámetros geométricos y morfométricos de la cuenca del río Santa Ana**

<b>Nivel 1</b>	8	8	8	8	8	8	8	8	8
<b>Nivel 2</b>	85	85	85	85	85	85	85	85	85
<b>Nivel 3</b>	858	858	858	858	858	858	858	858	858
<b>Nivel 4</b>	8589	8589	8589	8589	8589	8589	8589	8589	8589
<b>Nivel 5</b>	85898	85898	85898	85898	85898	85898	85898	85898	85898
<b>Nivel 6</b>	858981	858982	858983	858984	858985	858986	858987	858988	858989
<b>Nombre de la unidad hidrográfica</b>	Río Santa Ana	Quebrada del Monte	Río Santa Ana	Río San Agustín	Río Santa Ana	S/N	Río Yesera	Río Gamoneda	Río Yesera
<b>Provincia</b>	Cercado	Cercado	Cercado	Cercado	Cercado	Cercado	Cercado	Cercado	Cercado
<b>Municipios</b>	Tarija	Tarija	Tarija	Tarija	Tarija	Tarija	Tarija	Tarija	Tarija
<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	10,25	53,50	20,74	177,55	30,97	41,87	36,15	37,85	170,91
<b>Perímetro (Km)</b>	16,06	36,47	23,15	88,42	29,47	33,01	31,50	31,04	71,31
<b>Longitud del río principal (Km)</b>	4,10	12,96	8,55	35,14	7,97	11,27	10,18	12,92	25,08
<b>Elevación Máxima (msnm)</b>	2228,00	2531,00	2022,00	2873,00	2366,00	2938,00	2521,00	2811,00	3324,00
<b>Elevación Mínima (msnm)</b>	1784,00	1820,00	1820,00	1882,00	1882,00	2102,00	1976,00	1976,00	2102,00
<b>Pendiente media de la cuenca (%)</b>	15,00	16,20	8,93	27,00	14,87	25,19	18,96	29,88	29,04
<b>Densidad de drenaje (km/km<sup>2</sup>)</b>	0,58	0,72	0,69	0,57	0,60	0,52	0,68	0,61	0,62
<b>Orden de cuenca (Método Strahler)</b>	1	2	1	3	3	2	3	2	2

## **Cuenca del río Guadalquivir**

Área: 1558.46 Km<sup>2</sup>

Perímetro: 227.13 Km

Unidad hidrográfica: 85899

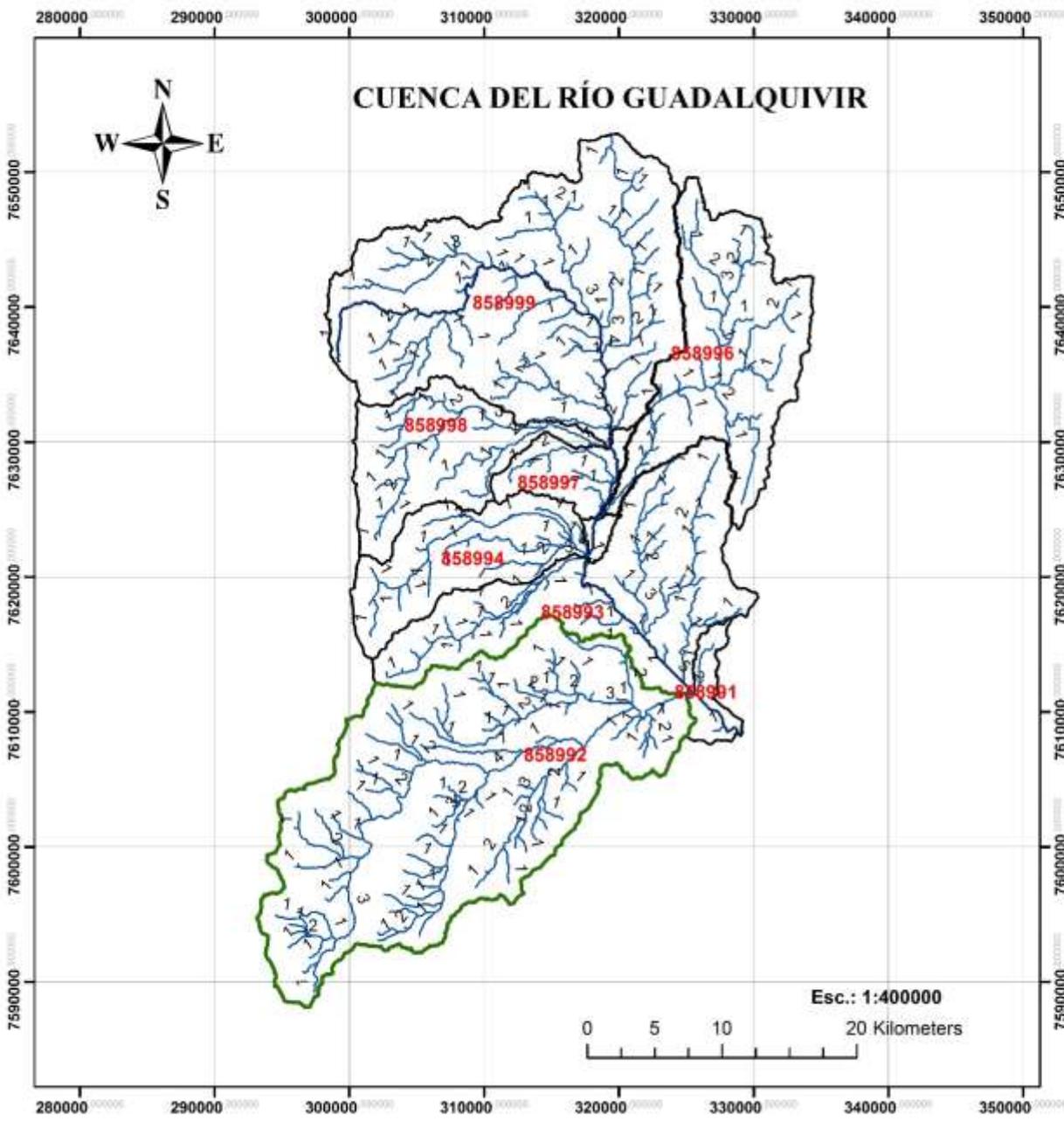
Número de unidades hidrográficas en nivel 6: nueve unidades hidrográficas.

Número de intercuenas: cinco intercuenas hidrográficas, según la metodología Pfafstetter.

Las cuales son: 858991, 858993, 858995, 858997 y 858999.

Número de cuencas: cuatro cuencas hidrográficas, según la metodología Pfafstetter. Las cuales son: 858992, 858994, 858996 y 858998.

Se tienen los principales parámetros geométricos y morfométricos de las unidades hidrográficas a nivel 6 de la cuenca del río Guadalquivir que se muestra a continuación en la tabla 4.8, para ver el detalle de estos parámetros se encuentran en el anexo D.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
 JUAN MISAEL SARACHO  
 FACULTAD DE CIENCIAS  
 Y TECNOLOGÍA  
 CARRERA DE  
 INGENIERÍA CIVIL



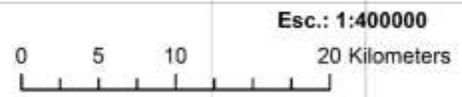
**PROYECTO:**  
 DELIMITACIÓN, CODIFICACIÓN  
 Y PRINCIPALES PARÁMETROS  
 GEOMÉTRICOS Y MORFOMÉTRICOS  
 DE LAS CUENCAS DEL VALLE  
 CENTRAL DE TARIJA CON EL  
 MÉTODO PFAFSTETTER A NIVEL 6

**MAPA:**  
 CUENCA DEL RÍO GUADALQUIVIR

**ÁREA:** 1558.46 Km<sup>2</sup>  
**PERÍMETRO :** 227.13 Km  
**PROYECCIÓN:** UTM WGS84 - 20S  
**ESCALA:** 1:400000

**UNIDADES HIDROGRÁFICAS:**  
 Unidad Hidrográfica Nivel 1: 8  
 Unidad Hidrográfica Nivel 2: 85  
 Unidad Hidrográfica Nivel 3: 858  
 Unidad Hidrográfica Nivel 4: 8589  
 Unidad Hidrográfica Nivel 5: 85899

**UBICACIÓN**  
**DEPARTAMENTO:** Tarija  
**PROVINCIA:** Avilés, Cercado y Mendéz  
**MUNICIPIO:** San Lorenzo, Tarija y Uriondo



**Tabla 4.8 Parámetros geométricos y morfométricos de la cuenca del río Guadalquivir**

<b>Nivel 1</b>	8	8	8	8	8	8	8	8	8
<b>Nivel 2</b>	85	85	85	85	85	85	85	85	85
<b>Nivel 3</b>	858	858	858	858	858	858	858	858	858
<b>Nivel 4</b>	8589	8589	8589	8589	8589	8589	8589	8589	8589
<b>Nivel 5</b>	85899	85899	85899	85899	85899	85899	85899	85899	85899
<b>Nivel 6</b>	858991	858992	858993	858994	858995	858996	858997	858998	858999
<b>Nombre de la unidad hidrográfica</b>	Río Guadalquivir	Río Tolomosa	Río Guadalquivir	Río Coimata	Río Guadalquivir	Río Sella	Río Guadalquivir	Río Calama	Río Guadalquivir
<b>Provincia</b>	Avilés, Cercado	Avilés, Cercado	Avilés, Cercado	MéndeZ	Cercado, MéndeZ	Cercado, MéndeZ	MéndeZ	MéndeZ	MéndeZ
<b>Municipios</b>	Tarija, Uriondo	Tarija, Uriondo	Tarija, Uriondo	El Puente, San Lorenzo	San Lorenzo, Tarija	San Lorenzo, Tarija	San Lorenzo	El Puente, San Lorenzo	El Puente, San Lorenzo
<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	19,84	466,82	215,68	107,23	5,78	182,62	40,45	112,25	396,12
<b>Perímetro (Km)</b>	29,37	119,22	101,18	57,19	12,72	96,30	36,96	65,80	102,40
<b>Longitud del río ppal.(Km)</b>	5,60	51,33	15,48	26,22	3,08	34,87	15,56	27,71	42,50
<b>Cota Máx.</b>	2295,00	4653,00	4273,00	4375,00	2041,00	3609,00	2638,00	4095,00	3722,00
<b>Cota Mín.</b>	1786,00	1870,00	1870,00	1967,00	1967,00	1974,00	1974,00	2016,00	2016,00
<b>Pend. media de la cuenca (%)</b>	20,61	32,51	24,13	42,88	6,64	35,52	16,22	41,60	35,11
<b>D<sub>a</sub> (km/km<sup>2</sup>)</b>	0,59	0,67	0,66	0,69	0,53	0,62	0,73	0,68	0,65
<b>Orden de cuenca (Strahler)</b>	2	4	4	3	1	4	4	3	4

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

- ✓ Se delimitó y codificó las unidades hidrográficas de las cuencas del río Camacho, Santa Ana y Guadalquivir en el nivel 6 según la metodología Pfafstetter.
- ✓ El software ArcGis es una herramienta computacional efectiva para la delimitación de unidades hidrográficas utilizando el método Pfafstetter.
- ✓ El método Pfafstetter es un método fácil de usar ya que permite generar unidades hidrográficas rápidamente.
- ✓ Es un método bastante jerárquico lo cual implica un orden en la delimitación de unidades hidrográficas.
- ✓ Es un método popular muy utilizado en Sudamérica y particularmente en Bolivia ya que es un método oficial de clasificación de asignadores de códigos a unidades hidrográficas.
- ✓ El valle central de Tarija se caracteriza por su numerosa cantidad de unidades hidrográficas lo cual implica que estas unidades hidrográficas lleguen a un nivel superior como ser el nivel 7.

### **Recomendaciones**

- ✓ Reclasificación de Bolivia usando los nuevos modelos digitales de elevación como ser los raster ALOS PALSAR 12,5 x 12,5 m.
- ✓ Los resultados obtenidos a través de la clasificación Pfafstetter como ser los principales parámetros morfométricos sirven para realizar futuros análisis hidrológicos para cada unidad clasificada.
- ✓ Elaborar el mapa del departamento de Tarija a una escala de mayor detalle y en niveles de mayor detalle (tales como los niveles 6, 7), para que sirvan de base en proyectos de estudios hidrográficos de áreas específicas.
- ✓ Usar el software ArcGis para la delimitación de unidades hidrográficas.
- ✓ Enseñar el método en talleres en clases a estudiantes y profesionales que se involucren en el área de los recursos hídricos.
- ✓ Difundir el presente mapa con la finalidad que pueda ser adoptado por las instituciones.