



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego

Autoridad
Nacional del Agua

Dirección de Conservación
y Planeamiento de Recursos
Hídricos

Actualización de Unidades Hidrográficas y Codificación de Fuentes de Agua Superficial en Ámbitos de Administraciones Locales de Agua



**MEMORIA
DESCRIPTIVA**

2015

Administración Local de Agua Barranca

**Actualización de Unidades Hidrográficas y Codificación
de Fuentes de Agua Superficial en Ámbitos de
Administraciones Locales de Agua**

**Administración Local de Agua
Barranca**

Juan Manuel Benites Ramos
Ministro de Agricultura

Juan Carlos Sevilla Gildemeister
Jefe de la Autoridad Nacional del Agua

Wilfredo Jazer Echevarría Suárez
Director de Planeamiento y Conservación de Recursos Hídricos

Alberto Campos Delgadillo
Coordinador Área de Planeamiento de Recursos Hídricos - DCPRH

Profesional:

Humberto Richard Torres Giraldo

El presente documento pretende aportar en la generación de conocimiento respecto a dos de los aspectos metodológicos de la gestión territorial, exclusivamente referidos a la de los recursos hídricos: la delimitación y codificación de unidades hidrográficas en el proceso de su actualización y la codificación de fuentes de agua, específicamente, los cursos de agua superficial, lagos y lagunas.

El ámbito considerado por el presente estudio, comprende el espacio territorial de la Administración Local de Agua Barranca, como una de las 31 Administraciones Locales de Agua, cuyos ámbitos se encuentran reconocidos oficialmente hasta la actualidad por la Autoridad Nacional del Agua.

El primer objetivo del presente estudio es la actualización de la delimitación y codificación de las unidades hidrográficas hasta el nivel 7, respecto a la versión generada en el periodo 2005-2007, que se encuentra actualmente vigente mediante Resolución Ministerial N° 033-2008-AG. Este proceso se llevó a cabo mediante el empleo de modelos digitales de elevación (MDE) provenientes de las imágenes de radar interferométrico de la Misión Espacial de Topografía de Radar (SRTM) de la NASA y de las imágenes estereoscópicas satelitales del proyecto ASTER GDEM del Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón (METI) y la NASA; que posibilitaron la generación automática y preliminar de la delimitación de las unidades hidrográficas, la cual fue posteriormente precisada espacialmente con la ayuda de la Carta Nacional Topográfica, 1:100.000.

El otro objetivo del presente trabajo, es lograr la codificación de los cursos de agua superficial, registrados en la Carta Nacional Topográfica 1:100.000, así como la generación de la red geométrica topológica, que permitió modelar el sentido real del flujo superficial del agua y generar conjunciones hídricas en las confluencias.

Ambos procesos se llevaron a cabo siguiendo los preceptos de la metodología Pfafstetter, que es oficial en el Perú desde el 2008 (R.M. N° 033-2008-AG, del 05 de enero de ese año).

Los resultados de este estudio se encuentran registrados en los archivos digitales SIG generados, que fueron almacenados y organizados en una base de datos geoespacial topológica (Geodatabase), así como en los documentos cartográficos impresos, los cuales se anexan al final del presente documento.

I. INTRODUCCIÓN	8
II. ANTECEDENTES	9
III. OBJETIVOS	11
3.1. Objetivo General	11
3.2. Objetivos Especificos	11
IV. ÁMBITO DE ESTUDIO	12
4.1. Administración Local de Agua Barranca	
V. METODOLOGÍA PFAFSTETTER	16
5.1. Características	16
5.2. Unidad Hidrográfica	17
5.3. Proceso de Codificación	18
5.4. Particularidades del Método	22
VI. ACTUALIZACIÓN DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS	28
6.1. Metodología para Sistemas de Información Geográfica	28
6.2. Resultado de la actualización de unidades hidrográficas	47
VII. CODIFICACIÓN DE CURSOS DE AGUA SUPERFICIAL	53
7.1. Metodología para Sistemas de Información Geográfica	53
7.2. Resultado de la codificación de cursos de agua superficial	76
VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
8.1. Conclusiones	92
8.2. Recomendaciones	93
BIBLIOGRAFÍA	94
ANEXO A: Mapa de actualización de unidades hidrográficas	
ANEXO B: Mapa de codificación de fuentes de agua superficial	

ÍNDICE DE FIGURAS Y CUADROS

FIGURAS

- 4.1 Mapa Base - Administración Local de Agua Barranca.
- 4.2 Mapa de Unidades Hidrográficas - Administración Local de Agua Barranca.
- 4.3 Mapa de Distribución Política-Administrativa - Administración Local de Agua Barranca.
- 5.1 El Sistema Pfafstetter asigna identificadores que se basan en la topología y superficie del territorio que ocupa la unidad hidrográfica.
- 5.2 Características de las unidades hidrográficas.
- 5.3 Tipos de unidades hidrográficas.
- 5.4 Proceso de definición del curso principal.
- 5.5 Proceso de división y codificación.
- 5.6 Unidades hidrográficas “8” y “9”.
- 5.7 Existencia de más de una cuenca interna en una unidad hidrográfica.
- 5.8 Para las regiones hidrográficas cuyos cursos de agua fluyen paralelamente hacia al mar.
- 5.9 Cuencas internas cuya red de drenaje confluye en una laguna.
- 5.10 Sistema hidrográfico Titicaca – Poopó (Unidad Hidrográfica 01).
- 5.11 Delimitación y codificación de la unidad hidrográfica 0262, unidad de tipo interna cuya red de drenaje confluye en un punto sin formar ninguna laguna.
- 5.12 Unidades hidrográficas 02, 03, 04, 05, 06 y 07.
- 5.13 Unidades hidrográficas 950 y 970 (gris), de tipo arreica. Obsérvese que dichas unidades no llegan tener acceso al mar.
- 5.14 Unidad hidrográfica 90 de tipo arreica. Obsérvese la subdivisión de ésta y el sentido horario de la codificación.
- 5.15 Unidades hidrográficas 997 y 999. Obsérvese como las islas reciben el código de la unidad continental más cercana.
- 5.16 Unidades hidrográficas 139 y 151. Obsérvese como las islas reciben el código de la unidad continental más cercana.
- 6.1 Modelo digital del terreno del Proyecto SRTM – NASA.
- 6.2 Modelo digital de elevación.
- 6.3 Dirección de flujo (flow direction).
- 6.4 Acumulación de flujo (flow accumulation).
- 6.5 Stream Link.
- 6.6 Watershed
- 6.7 Información de dirección de flujo de una parte del territorio peruano. La Resolución espacial de la imagen es de 3” de arco.
- 6.8 Información de acumulación de flujo de la misma parte del territorio sudamericano, mostrada tal como ArcGis lo presenta originalmente, bajo el tipo “Stretched” en escala de grises.
- 6.9 Diagrama de flujo: Proceso de delimitación semiautomática de unidades hidrográficas.
- 6.10 Información de acumulación de flujo, mostrada tal como ArcGis lo presenta originalmente, bajo el tipo “Stretched” en escala de grises.
- 6.11 En la opción de presentación “Classified”, determinar dos rangos de clasificación, tal como muestra la figura. Luego elegir la opción “Classify...” para efectuar las pruebas necesarias en busca del umbral de acumulación adecuado en escala de grises.
- 6.12 En “Break Values”, el primer valor es con el que realizará las pruebas. En cada ensayo realizado, aceptar con “OK”.

- 6.13 Al primer rango se le aplicará un color "invisible", y al segundo se le asignará un color cualquiera
- 6.14 Determinación de los cuatro (04) tributarios de mayor acumulación de flujo.
- 6.15 Eligiendo el tema, en el cual se realizaron las pruebas de busca del valor del umbral de acumulación, se ingresan nuevos valores para cada rango: "0" y "1", según muestra la figura. Aceptar con "OK" para crear el nuevo tema.
- 6.16 Tema temporal generado, de nombre "Reclass of ...". Obsérvese el color que posee cada rango y sus correspondientes en la vista. El color fucsia representa al valor "1", conformado por los cursos de agua determinados por el umbral de acumulación.
- 6.17 Generación del tema "Stream Link". Obsérvese la ubicación de esta herramienta dentro de "ArcToolbox" y su ventana de creación, la cual requiere los temas de la reclasificación y de la dirección de flujo.
- 6.18 Tema "Stream Link" generado.
- 6.19 Obsérvese la ubicación de la herramienta "Watershed" y su correspondiente interface de ingreso.
- 6.20 Interface de ingreso de la herramienta "Watershed".
- 6.21 Watersheds generados y diferenciados por colores.
- 6.22 Obsérvese el módulo "Spatial Analyst" y la interface de ingreso de la herramienta "Raster to Features" para cada uno.
- 6.23 Información vectorial de polígonos (líneas rojas) sobre los watersheds raster. Nótese que se han eliminado y fusionado convenientemente algunos polígonos para obtener las nueve unidades requeridas.
- 6.24 Localización de las herramientas "Features to Polygon" y "Polygon to Line".
- 6.25 Localización de la herramienta "Smooth Line".
- 6.26 Proceso de codificación tabular. Obsérvese el tema de unidades hidrográficas concluido con la información de su tabla de atributos completa.
- 6.27 Administración Local de Agua Barranca: Unidades hidrográficas vigentes.
- 6.28 Administración Local de Agua Barranca: Unidades hidrográficas actualizadas de nivel 5.
- 6.29 Administración Local de Agua Barranca: Unidades hidrográficas actualizadas de nivel 6.
- 6.30 Administración Local de Agua Barranca: Unidades hidrográficas actualizadas de nivel 7.
- 7.1 Naciente, confluencia y desembocadura relacionados con el código del curso principal y los cursos tributarios.
- 7.2 Definición del curso principal (línea roja) de una cuenca hidrográfica.
- 7.3 El código del curso principal posee el código de la cuenca a la que pertenece.
- 7.4 Codificación de los cursos tributarios.
- 7.5 Codificación de los cursos tributarios en unidades hidrográficas de tipo intercuenca.
- 7.6 Codificación de cursos en unidades tipo intercuenca.
- 7.7 Codificación de cursos de agua de menor jerarquía.
- 7.8 Red hídrica con sus cursos de agua codificados.
- 7.9 Codificación de cursos de agua basada en unidades hidrográficas pre-definidas.
- 7.10 Modelo digital de elevación HydroSHED.
- 7.11 Ráster de dirección de flujo.
- 7.12 Ráster de acumulación de flujo.
- 7.13 Comparación de dos (02) valores de umbral de acumulación: 5000 (izquierda) y 1000 (derecha). A mayor valor del umbral, menores cursos serán visibles.
- 7.14 Definición de la codificación de los tramos de cursos de agua obtenidos luego de la aplicación del umbral de acumulación adecuado.
- 7.15 Identificación y codificación de los cursos análogos vectoriales.

- 7.16 Ejemplos de codificación de lagunas, las cuales asumen el código del curso de agua con el que se relacionan. En uno de los casos que puede apreciarse en la figura, las lagunas del curso de agua 137586, desde aguas abajo hacia aguas arriba, asumen los códigos 137586a, 137586b y 137586c, respectivamente.
- 7.17 Direcciones de flujo en los tramos de curso de agua de la red hídrica, evidenciadas por flechas de color rojo.
- 7.18 Administración Local de Agua Barranca: 1.600 cursos de agua obtenidos del proceso de codificación.
- 7.19 Administración Local de Agua Barranca: Distribución de cursos de agua por niveles de jerarquía.
- 7.20 Administración Local de Agua Barranca: Distribución de tramos de cursos de agua según la clasificación ordinal de Strahler.
- 7.21 Administración Local de Agua Barranca: Distribución de tramos de cursos de agua según la clasificación ordinal de Shreve en cinco rangos Jenks.
- 7.22 Administración Local de Agua Barranca: Distribución de tramos de cursos de agua según su tipo.
- 7.23 Administración Local de Agua Barranca: Nombre de ríos asignados a los cursos de agua.
- 7.24 Administración Local de Agua Barranca: Distribución espacial de pendientes porcentuales.

CUADROS

- 4.1 Ubicación matemática de la Administración Local de Agua Barranca, mediante coordenadas geográficas de sus límites máximos y mínimos.
- 4.2 Ubicación matemática de la Administración Local de Agua Barranca, mediante coordenadas UTM de sus límites máximos y mínimos.
- 4.3 Distribución espacial de unidades hidrográficas por ámbitos departamentales.
- 4.4 Ámbito de la ALA respecto a la delimitación político – administrativa.
- 6.1 Distribución espacial de unidades hidrográficas vigentes en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca.
- 6.2 Distribución espacial de unidades hidrográficas actualizadas en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca.
- 6.3 Resumen de la distribución espacial de unidades hidrográficas actualizadas en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca por región hidrográfica y niveles de jerarquía.
- 7.1 Características de la información recopilada.
- 7.2 Estructura organizativa de la Geodatabase de Archivo.
- 7.3 Estructura de la Tabla de Atributos de la Clase de entidad “Red_hídrica”.
- 7.4 Distribución de cursos de agua codificados por niveles de jerarquía en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca.
- 7.5 Resumen del contenido de la Base de Datos de lagunas codificadas en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca.
- 7.6 Distribución de tramos de cursos de agua según la clasificación ordinal de Strahler en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca.
- 7.7 Distribución de tramos de cursos de agua según la clasificación ordinal de Shreve, en cinco rangos, en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca.
- 7.8 Distribución de tramos de cursos de agua de acuerdo a sus tipos en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca.
- 7.9 Distribución de tramos de cursos de agua de acuerdo a intervalos porcentuales de pendiente en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca.

I. INTRODUCCIÓN

El presente documento constituye la memoria descriptiva del estudio de “Actualización de las Unidades Hidrográficas y Codificación Integral de Cursos de Agua Superficial en el Ámbito de la Administración Local de Agua Barranca”, elaborado por la Unidad de Planeamiento de Recursos Hídricos de la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos (DCPRH) de la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

La presente memoria descriptiva ha sido desarrollada en ocho capítulos:

En el primer capítulo, comprende la introducción, donde se realiza la presentación del estudio y reseña de los capítulos comprendidos en el presente documento.

El segundo capítulo, comprendido por los antecedentes, realiza una descripción cronológica de los trabajos antecesores y precursores del presente estudio.

El tercer capítulo trata sobre los objetivos establecidos para el presente estudio, el objetivo general y los objetivos específicos.

En el cuarto capítulo se realiza una descripción general del ámbito administrativo que es objeto del presente estudio, tocando aspectos como ubicación, extensión, límites, entre otros.

Debido a que la base metodológica del proceso de delimitación y codificación de unidades hidrográficas, así como de la codificación superficial de cursos de agua superficial, es el sistema Pfafstetter, se creyó necesario incorporar un capítulo abocado a este tema. El capítulo cinco, describe las características, procesos de codificación y particularidades de la metodología Pfafstetter.

El capítulo seis describe los procesos relacionados a la actualización de las unidades hidrográficas, referido a la aplicación de la metodología diseñada para Sistemas de Información Geográfica (SIG); así como, la presentación de los resultados obtenidos de aquellos procesos.

De manera similar, el capítulo siete, se ocupa de la codificación integral de cursos de agua superficial, en el cual se detalla la aplicación de la metodología SIG diseñada, así como la descripción de los resultados obtenidos en este proceso.

En el capítulo ocho, se exponen las conclusiones y recomendaciones, como resultado de la ejecución del presente estudio, los mismos que podrían ser tomados en consideración para su implementación en procesos similares.

El estudio concluye con la relación de las referencias bibliográficas consultadas durante la elaboración del presente documento. En esta relación, se ha considerado tanto el material bibliográfico analógico (edición impresa), como bibliografía digital hallada en la internet.

Finalmente, en los anexos, se presentan dos documentos cartográficos, que muestran los resultados obtenidos en los dos principales procesos desarrollados por el presente estudio.

II. ANTECEDENTES

En el Perú, el ordenamiento o planificación territorial se basa actualmente en cuencas hidrográficas, llevando a cabo crecientemente planes y programas de gestión de los recursos naturales, donde el agua ocupa el lugar preponderante, teniendo como punto de partida estas unidades básicas naturales del territorio.

Haber llegado a las instancias actuales es el resultado de años de trabajo, en el que cada paso logrado era una fuente importante de conocimientos y experiencias que constituyeron un punto de partida para el siguiente paso.

El interés de representar el territorio de la forma más cercana a la realidad y con las modernas tecnologías y herramientas de apoyo, plantea el reto de ir mejorando la precisión en la delimitación de las cuencas hidrográficas.

Ya es sabido que el trabajo realizado por la ONERN (Oficina Nacional de Recursos Naturales) en 1984, es el que marca el inicio de este camino, convirtiéndose en el pionero de los procesos de delimitación de cuencas hidrográficas en el Perú. Esta versión tuvo como resultado la identificación de 106 cuencas hidrográficas; no obstante de poseer una cartografía de poca precisión, adquirió mucha importancia al constituirse en marco de referencia y localización geográfica para las diferentes instituciones públicas.

Basado en el trabajo de la ONERN, en el 2001, la Dirección General de Aguas y Suelos del ex-INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales), realizó ajustes a la delimitación de cuencas con apoyo de los avances tecnológicos que fueron permitiendo actualizar la base cartográfica inicial. Al respecto, con las actualizaciones realizadas con las cartas nacionales de 1:250.000 del IGN (Instituto Geográfico Nacional) y del Proyecto “Perú Digital” (1999-2000), dio como resultado el mapa de “Cuencas Hidrográficas del Perú”, el cual presentaba 107 cuencas, definidas en tres (03) vertientes hidrográficas (Pacífico, Atlántico y Titicaca), 53 en la vertiente del Pacífico, 45 en la vertiente del Atlántico y 9 en la vertiente del Titicaca; así como se identificaron 28 cuencas hidrográficas de segundo orden (quebradas menores e intercuenas).

En el 2003, la Intendencia de Recursos Hídricos del ex-INRENA, en busca de implementar un sistema de codificación internacional de cuencas hidrográficas en el Perú, inicia el Proyecto “Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Perú” basado en la Metodología Pfafstetter, desarrollada por el ingeniero brasileño Otto Pfafstetter, en 1989. En la primera etapa, se llevó a cabo a la escala de 1:250.000, en base a la cartografía del Proyecto “Perú Digital”. Posteriormente, en la segunda etapa, comprendida entre el 2006 y 2007, se lleva a cabo la delimitación a la escala 1:100.000, donde se empleó la Carta Nacional Topográfica del IGN. El 05 enero del 2008, mediante la Resolución Ministerial N°033-2008-AG, se oficializa el uso de esta nueva versión, reconociendo el mapa y la metodología respectiva, vigentes hasta la actualidad.

En el 2010, mediante la aplicación de una nueva información topográfica, constituido por los modelos digitales de elevación de los proyectos SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de la NASA y HydroSHEDs de la WWF, así como la aplicación de una nueva técnica de delimitación semiautomática de unidades hidrográficas; se llevó a cabo la delimitación y codificación de las unidades hidrográficas del Perú hasta el nivel 5, con el propósito de actualización de las unidades hidrográficas de la versión oficial. La actualización estuvo dirigida al aspecto de precisión de la delimitación y codificación de unidades hidrográficas, empleando una nueva fuente de información geo-espacial con menores niveles de error. Se estimó la escala de este trabajo en 1:250000.

Entre el 2011 y 2012, continuando con el proceso anterior, se llevó a cabo la delimitación y codificación de las unidades hidrográficas del Perú en el nivel 6, bajo las mismas consideraciones técnicas del trabajo del 2010.

En cuanto a la codificación de cursos de agua superficial, en el 2009 se tuvo la primera experiencia, logrando codificar y clasificar 651 cursos de agua a nivel nacional, comprendidos entre los niveles 1 y 5 de la codificación Pfafstetter. Precisamente, el sistema Pfafstetter fue la base de esta codificación, con algunas variaciones relacionadas a la no consideración de códigos impares, asignando íntegramente al curso principal el código de la cuenca a la que pertenece.

En el 2014, debido a las necesidades de información relacionados a la codificación de unidades hidrográficas y fuentes de agua superficial, se planteó la necesidad de emprender procesos de actualización de unidades hidrográficas y de codificación integral de los cursos de agua superficial a nivel nacional, recogiendo las experiencias y resultados de los trabajos anteriores. En ese sentido, se consideró realizar estos procesos por ámbitos de administraciones locales de agua, iniciando con aquellos que se encuentran reconocidos oficialmente, razón por la cual el proyecto emprendido fue denominado “Actualización de Unidades Hidrográficas y Codificación Integral de Cursos de Agua Superficial en Ámbitos de Administraciones Locales de Agua”; siendo Barranca, Chancay-Lambayeque, Chancay-Huaral y San Juan, las primeras en este proceso.

En el presente año, continuando con el proyecto iniciado el año anterior, se decidió desarrollar el respectivo estudio en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca, como una nueva experiencia de llevar a cabo este proceso en un ámbito de mayor extensión que los tratados en el año anterior. Para esta oportunidad se consideró una modificación en la denominación del proyecto, el mismo que pasó a denominarse “Actualización de Unidades Hidrográficas y Codificación de Fuentes de Agua Superficial en Ámbitos de Administraciones Locales de Agua”, basado en la experiencia del año anterior, en el cual no sólo se logró codificar cursos de agua superficial, sino además lagos y lagunas; y por otro lado, con el propósito de alinear con mayor precisión el presente trabajo al Reglamento y Organización de Funciones de la DCPRH.

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Actualizar las unidades hidrográficas y codificar las fuentes naturales de agua superficial en el ámbito territorial de la Administración Local de Agua Barranca, teniendo como información geoespacial base, la Carta Nacional Topográfica del Perú (1:100.000).

3.2 Objetivos Específicos

Este trabajo tiene como objetivos específicos:

- Elaborar los archivos SIG de las unidades hidrográficas actualizadas del ámbito territorial de la Administración Local de Agua Barranca.
- Elaborar los archivos SIG de los cursos de agua superficiales codificados, correspondientes al ámbito territorial de la Administración Local de Agua Barranca.
- Almacenar y organizar la información generada en Geodatabases, construidas especialmente para este propósito.
- Elaborar el Mapa: "Actualización de Unidades Hidrográficas de la Administración Local de Agua Barranca".
- Elaborar el Mapa: "Codificación de Fuentes de Agua Superficial de la Administración Local de Agua Barranca".

IV. ÁMBITO DE ESTUDIO

El ámbito territorial de la Administración Local de Agua Barranca constituye el espacio geográfico en el cual se ha desarrollado el presente estudio. La descripción del citado ámbito se expone a continuación:

4.1 Administración Local de Agua Barranca

4.1.1 Oficialización:

El ámbito territorial de la Administración Local de Agua Barranca fue aprobado oficialmente mediante Resolución Jefatural N°422-2013-ANA, del 25 de setiembre de 2013, con el nombre de Supe-Pativilca-Fortaleza, la misma que fue modificada a su actual denominación mediante Resolución Jefatural N°522-2013-ANA, del 02 de diciembre de 2013.

4.1.2 Ubicación

a. Geográfica:

La Administración Local de Agua Barranca está ubicada en la Región Hidrográfica Pacífico, en la zona central y occidental del territorio nacional.

b. Matemática:

Teniendo en consideración los sistemas de coordenadas angulares (Coordenadas Geográficas) y planas (Proyección Universal Transversa de Mercator – UTM), la Administración Local de Agua de Barranca, se ubica matemáticamente de la siguiente manera:

Cuadro 4.1

Ubicación matemática de la Administración Local de Agua Barranca, mediante coordenadas geográficas de sus límites máximos y mínimos

Coordenadas Geográficas			
Longitud Oeste		Latitud Sur	
Mínimo	77° 51' 38"	Mínimo	10° 58' 07"
Máximo	76° 47' 57"	Máximo	09° 49' 37"

Cuadro 4.2

Ubicación matemática de la Administración Local de Agua Barranca, mediante coordenadas UTM de sus límites máximos y mínimos

Coordenadas UTM – Zona 18			
metros Este		metros Norte	
Mínimo	187.016	Mínimo	8.786.595
Máximo	303.040	Máximo	8.912.954

c. Altitudinal:

El ámbito de la Administración Local de Agua Barranca presenta un desarrollo altitudinal desde 0 hasta los 6.617 m.s.n.m., constituido por la cumbre del Nevado Yerupajá, situado en la cuenca Pativilca.

d. Administrativa:

En cuanto a la administración de los recursos hídricos, la Administración Local de Agua Barranca es uno de los cinco (05) órganos desconcentrados que conforman la Autoridad Administrativa del Agua III Cañete-Fortaleza.

e. Política:

El ámbito de la Administración Local de Agua Barranca, respecto a la administración política del país, abarca territorios de dos (02) departamentos (Ancash y Lima), encontrándose la mayor extensión en el departamento de Ancash (54,9%).

4.1.3 Límites

Por el Norte : Administraciones Locales de Agua Casma-Huarmey, Huaraz y Huari.
 Por el Este : Administración Local de Agua Alto Marañón.
 Por el Sur : Administración Local de Agua Huaura.
 Por el Oeste : Océano Pacífico.

4.1.4 Extensión

Presenta una extensión de ocho mil setecientos noventa y ocho con 86/100 kilómetros cuadrados (8.798,86 Km²), que representa el 22,03% del territorio de la Autoridad Administrativa del Agua III Cañete-Fortaleza. (Figura 4.1).

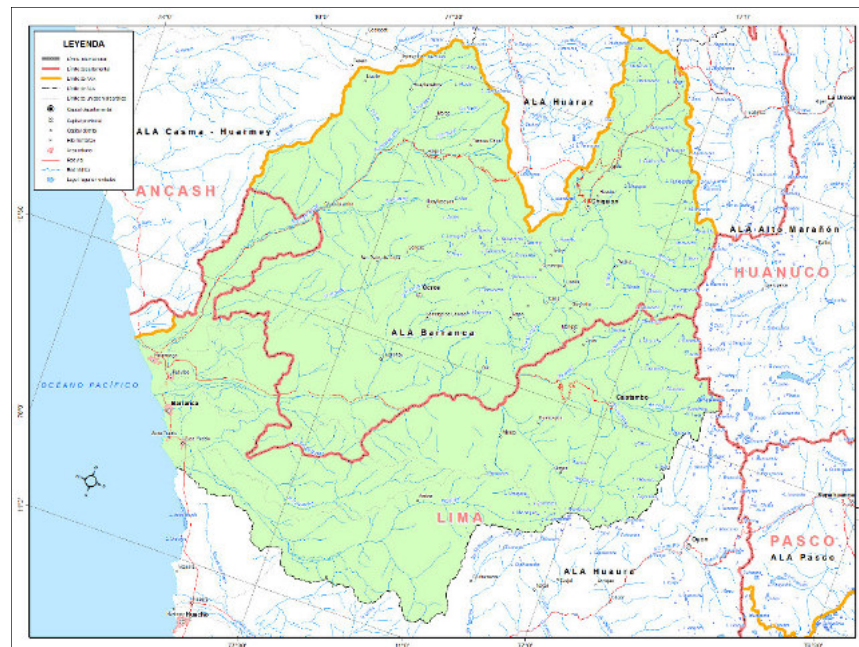


Figura 4.1. Mapa Base - Administración Local de Agua Barranca

4.1.5 Sede administrativa

La sede administrativa está ubicada en la ciudad de Barranca, distrito y provincia Barranca, departamento de Lima.

4.1.6 Descripción del Ámbito de la Administración Local de Agua

a. Respecto a la delimitación natural de cuencas

En la conformación y delimitación del ámbito de ALA Barranca el elemento y criterio fundamental fue la identificación y delimitación de tres (03) unidades hidrográficas principales (Supe, Pativilca y Fortaleza) y tres (03) unidades hidrográficas de menor nivel (intercuencas), básicamente ellas determinan el sistema de drenaje natural del ámbito, además de presentar características físicas, climáticas e hidrológicas relativamente homogéneas, en conjunto conforman un sistema articulado constituyendo el espacio territorial básico para la gestión integral e integrada del agua (Figura 4.2). En el Cuadro 4.3, se muestra la distribución espacial de unidades hidrográficas por departamentos.

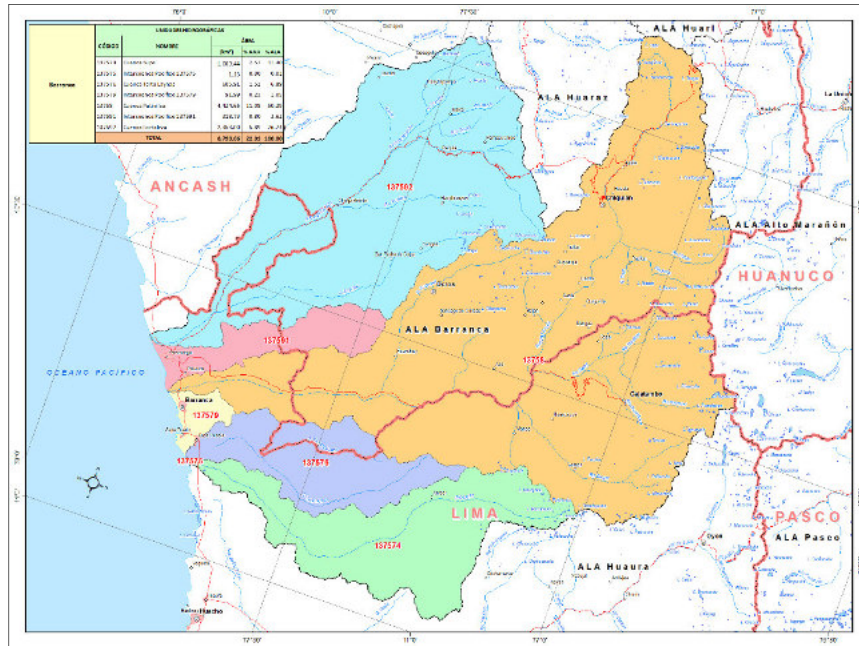


Figura 4.2. Mapa de Unidades Hidrográficas - Administración Local de Agua Barranca

Cuadro 4.3
Distribución espacial de unidades hidrográficas por ámbitos departamentales

Administración Local de Agua (ALA)				Departamento			Unidades Hidrográficas					
Cód	Nombre	Área		Nombre	Área		Cód.	Nombre	Área			
		(km²)	% Nac		(km²)	% ALA			% Dep	(km²)	% ALA	% Dep
5	Barranca	8.798,86	0,7	Ancash	4.833,42	54	12	137576	Cuenca Taita Laynas	108,55	1	0
								137578	Cuenca Pativilca	2.591,41	29	7
								137591	Intercuenca Pacífico 137591	160,27	2	0
								137592	Cuenca Fortaleza	1.973,19	22	5
								137574	Cuenca Supe	1.003,44	11	3
				Lima	3.965,44	46	10	137575	Intercuenca Pacífico 137575	1,15	0	0
								137576	Cuenca Taita Laynas	497,35	6	1
								137579	Intercuenca Pacífico 137579	91,99	1	0
								137578	Cuenca Pativilca	1.833,25	21	5
								137591	Intercuenca Pacífico 137591	158,46	2	0
Sub-Total									8.798,86	100		

FUENTE: ANA-DCPRH.

b. Respecto a la Delimitación Política-Administrativa

Respecto a la delimitación política-administrativa del país, el ámbito de la ALA abarca territorios de dos (02) departamentos (Ancash y Lima) (Figura 4.3), cuya mayor superficie se encuentra en el departamento de Ancash (54,9%). En el Cuadro 4.4, se muestran datos (superficie y porcentaje) de las provincias comprendidas en cada departamento.

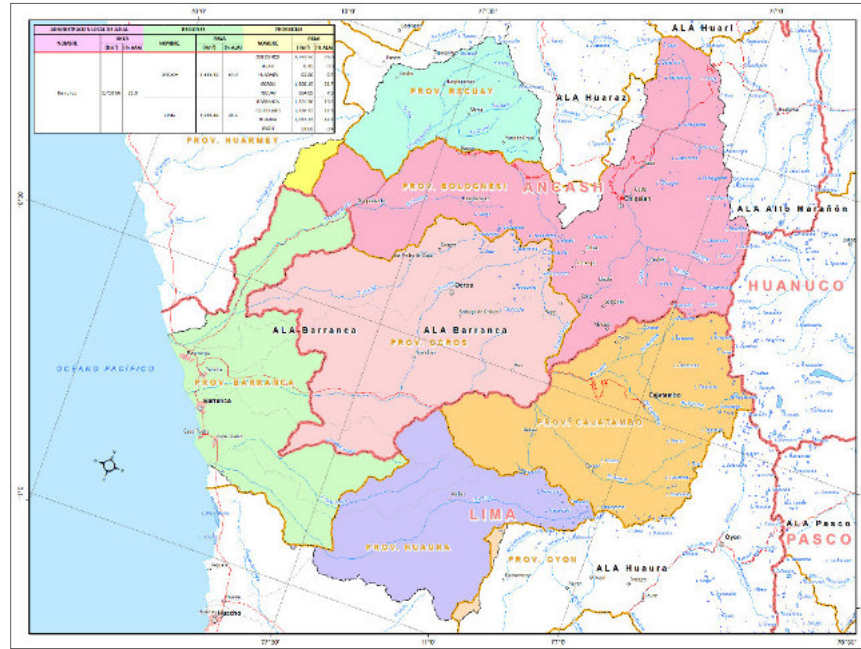


Figura 4.3. Mapa de Distribución Política-Administrativa - Administración Local de Agua Barranca

Cuadro 4.4
Ámbito de la ALA respecto a la delimitación político - administrativa

Administración Local de Agua-ALA				Departamento				Provincia			
Cód	Nombre	Área		Código	Nombre	Área		Código	Nombre	Área	
		Km²	% AAA			Km²	% ALA			Km²	% ALA
5	Barranca	8,798.86	22.0	02	Ancash	4,833.42	54.9	0205	Bolognesi	2,197.54	50.3
								0210	Huarí	0.42	0.0
								0211	Huarmey	62.66	1.4
								0214	Ocos	1,908.15	43.6
								0217	Recuay	664.65	15.2
				15	Lima	3,965.44	45.1	1502	Barranca	1,334.36	30.5
								1503	Cajatambo	1,526.32	34.9
								1508	Huaura	1,073.13	24.5
								1509	Oyón	31.63	0.7

FUENTE: ANA-DCPRH.

V. METODOLOGÍA PFAFSTETTER

La Metodología de Codificación Pfafstetter fue desarrollado por el ingeniero brasileño Otto Pfafstetter en 1989, el mismo que difundido a partir de 1997 por la científica Kristine Verdin y adoptado a partir de entonces por la United State Geological Survey (USGS – Servicio Geológico de los Estados Unidos) como estándar internacional.

Esta metodología permite asignar Identificadores (Id) a unidades de drenaje, identificadores que se basan en la topología y superficie del territorio que ocupa la unidad hidrográfica, asignando un código identificador a una unidad hidrográfica, que por un lado es único y por otro, permite que se relacione con las unidades hidrográficas que contiene y con las unidades hidrográficas con las que limita. (Figura 5.1)

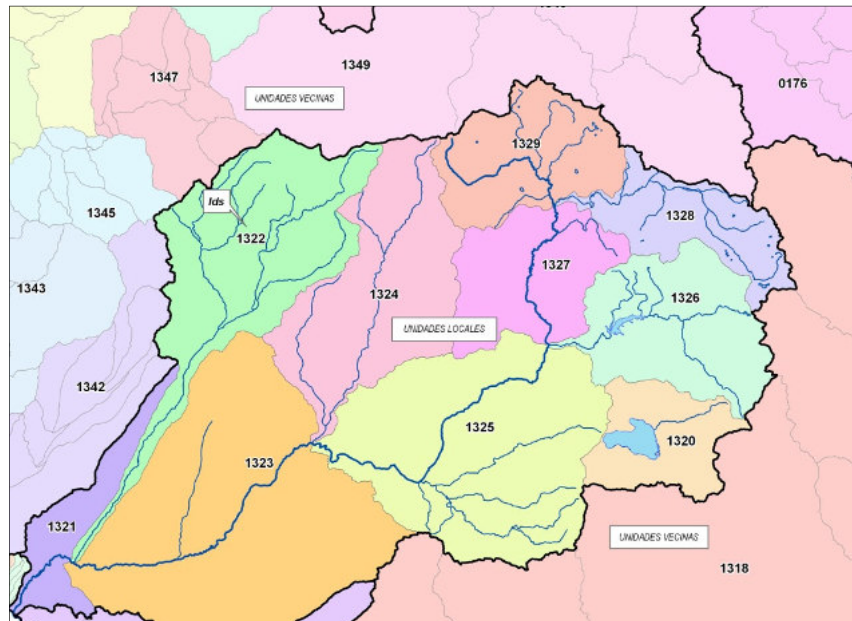


Figura 5.1. El Sistema Pfafstetter asigna identificadores que se basan en la topología y superficie del territorio que ocupa la unidad hidrográfica

5.1 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 un río en el mar u océano.
- A cada unidad hidrográfica se le asigna un código numérico, basado en su ubicación dentro del sistema de drenaje, de tal forma que éste código es único en todo el continente.
- Este método hace un uso mínimo de dígitos en los códigos, tal es así que el número de dígitos del código representa a su vez el nivel de la unidad hidrográfica codificada.
- La distinción entre río principal y tributario, es en función del área de drenaje. Así, en cualquier confluencia, el río principal será siempre aquel que posee la mayor área drenada entre ambos. (Figura 5.2)

5.2 Unidad Hidrográfica

Es un concepto creado por el ingeniero Otto Pfafstetter en 1989, cuando desarrolló su metodología de codificación, motivo por el cual a estas unidades se les suele denominar “Ottocuenca”.

Las Unidades Hidrográficas son espacios geográficos limitados por líneas divisorias de aguas, relacionadas espacialmente por sus códigos, donde el tamaño de sus áreas de drenaje es el único criterio de organización jerárquica.

El Sistema de delimitación y codificación de Pfafstetter considera tres tipos de unidades de drenaje: cuencas, intercuenas y cuencas internas.

5.2.1 Cuenca, es la unidad hidrográfica que no recibe drenaje de ninguna otra área, pero sí contribuye con flujo a otra unidad de drenaje.

5.2.2 Intercuenca, es la unidad hidrográfica que recibe el drenaje de otra unidad que se ubica aguas arriba, mediante el curso del río principal, y permite el drenaje del flujo propio y del que ha ingresado a esta unidad hacia la unidad de drenaje que se ubica hacia aguas abajo. En tal sentido una unidad de drenaje tipo intercuenca es una unidad hidrográfica de tránsito del río principal.

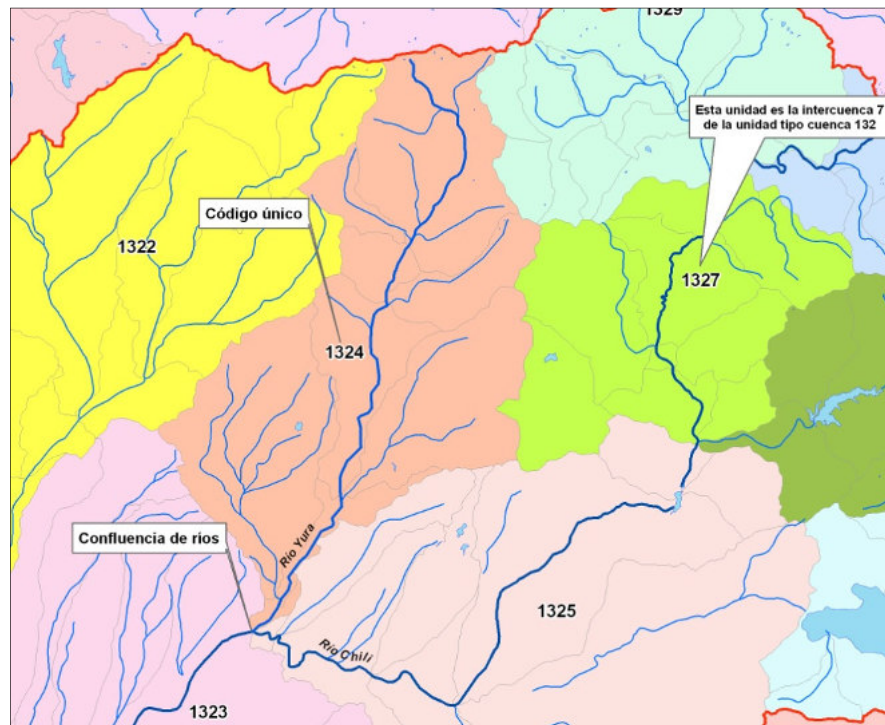


Figura 5.2. Características de las Unidades Hidrográficas

5.2.3 Cuenca Interna, es la unidad hidrográfica que no recibe flujo de agua de otra unidad ni contribuye con flujo de agua a otra unidad de drenaje o cuerpo de agua. (Figura 5.3)

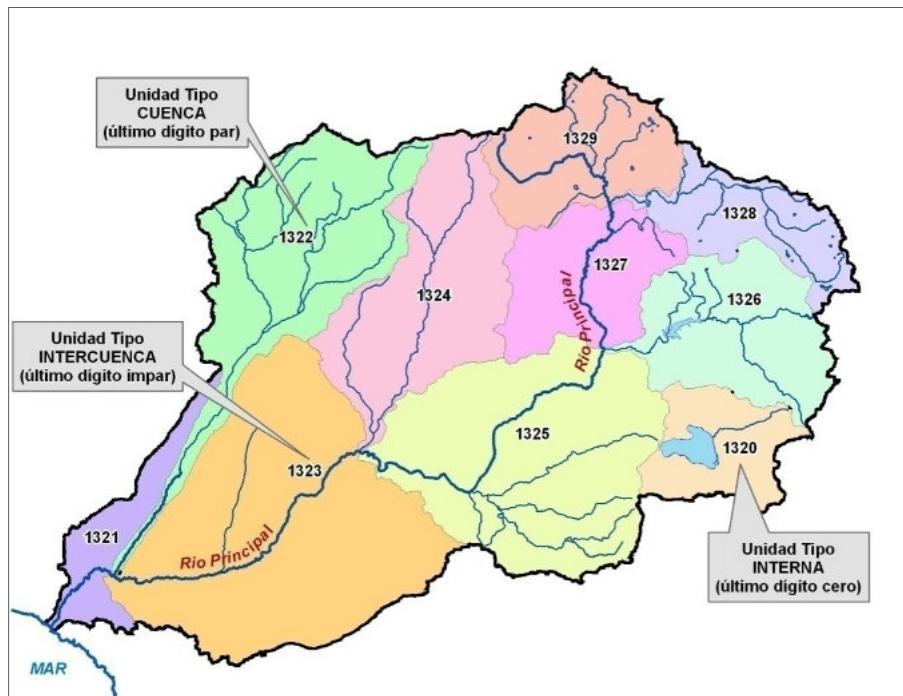


Figura 5.3: Tipos de Unidades Hidrográficas

El código de la unidad hidrográfica provee información importante tales como el tipo de unidad de drenaje, nivel de codificación y ubicación al interior de la unidad que lo contiene.

5.3 Proceso de Codificación

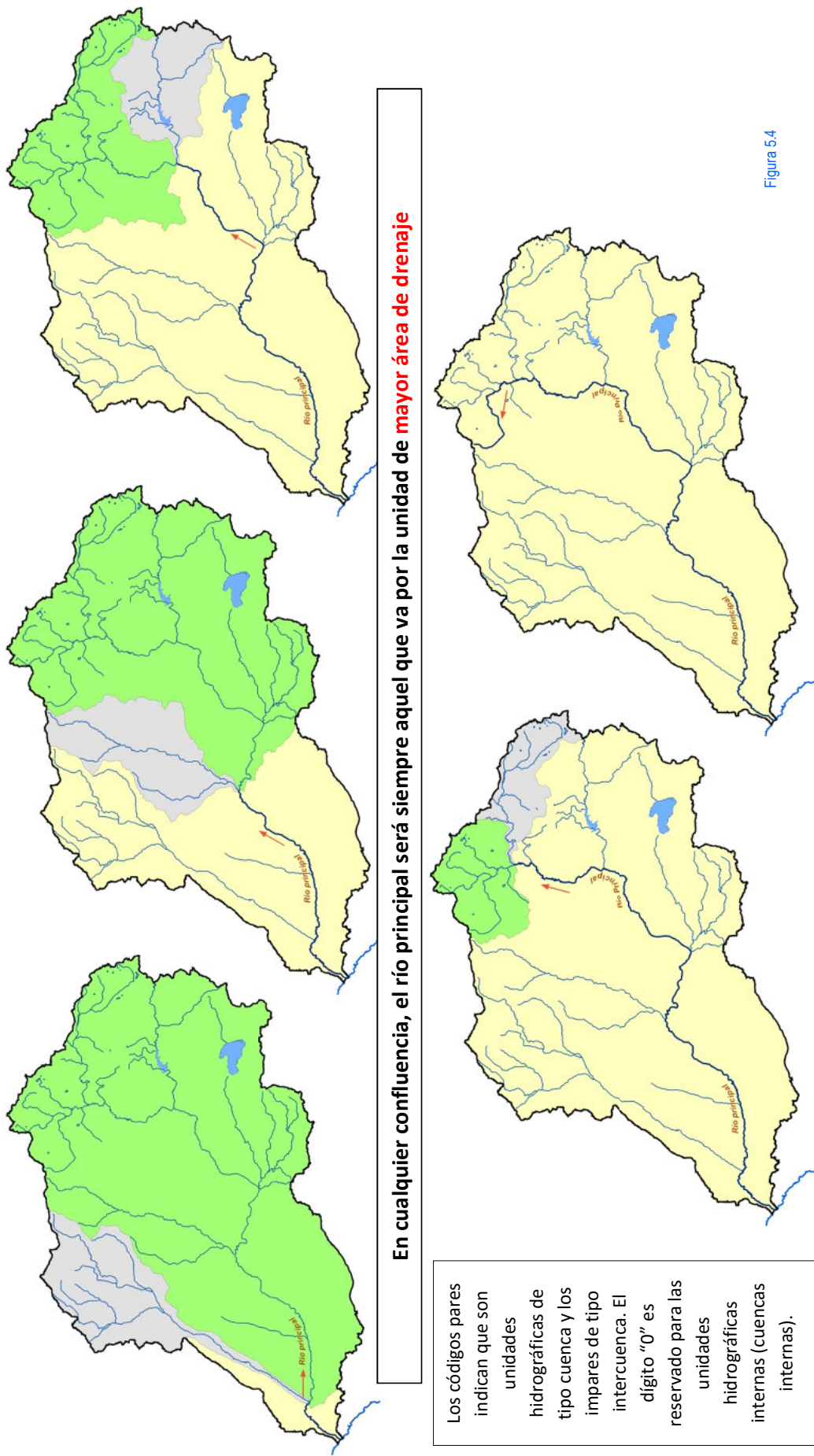
- 1) Para iniciar el proceso de codificación se debe en principio determinar el curso del río principal de la unidad que se va codificar. (Figura 5.4)
- 2) Una vez determinado el curso del río principal, se determinan las cuatro unidades hidrográficas de tipo cuenca, que son las cuatro unidades de mayor área que confluyen al río principal.
- 3) Las cuatro unidades tipo cuenca se codifican con los dígitos pares “2”, “4”, “6” y “8”, desde aguas abajo hacia aguas arriba; es decir, desde la desembocadura hacia la naciente del río principal. Las otras áreas de drenaje se agrupan en unidades hidrográficas de tipo intercuenca, y se codifican, también desde aguas abajo hacia aguas arriba, con los dígitos impares “1”, “3”, “5”, “7” y “9”.

Por la metodología de delimitación y codificación de las unidades hidrográficas, el código “9” siempre es reservado para la unidad de drenaje de mayor tamaño de la parte superior de la cuenca, la misma que generalmente contiene el origen del río principal de la unidad hidrográfica que se está codificando.

Cada una de las unidades hidrográficas, delimitadas y codificadas en un determinado nivel, se pueden a su vez subdividir y codificar siguiendo exactamente el proceso antes descrito, de modo que, por ejemplo, la delimitación y codificación de la unidad de hidrográfica de tipo cuenca de código “8”, se subdivide y codifica en nueve unidades hidrográficas, cuatro de tipo cuenca con códigos “82”, “84”, “86” y “88”, y cuatro de tipo intercuenca con códigos “81”, “83”, “85”, “87” y “89”. El mismo proceso se aplica a las unidades de tipo intercuenca, de modo que,

por ejemplo, la unidad de tipo intercuenca de código “3”, se subdivide en las unidades de tipo cuenca de códigos “32”, “34”, “36” y “38” y en las unidades hidrográficas de tipo intercuenca “31”, “33”, “35”, “37” y “39”. Los códigos de las unidades menores deben llevar siempre al inicio el código de la unidad que las contienen (unidad hidrográfica “madre” o antecesora). (Figura 5.5)

PROCESO DE DEFINICIÓN DEL CURSO PRINCIPAL



PROCESO DE DIVISIÓN Y CODIFICACIÓN

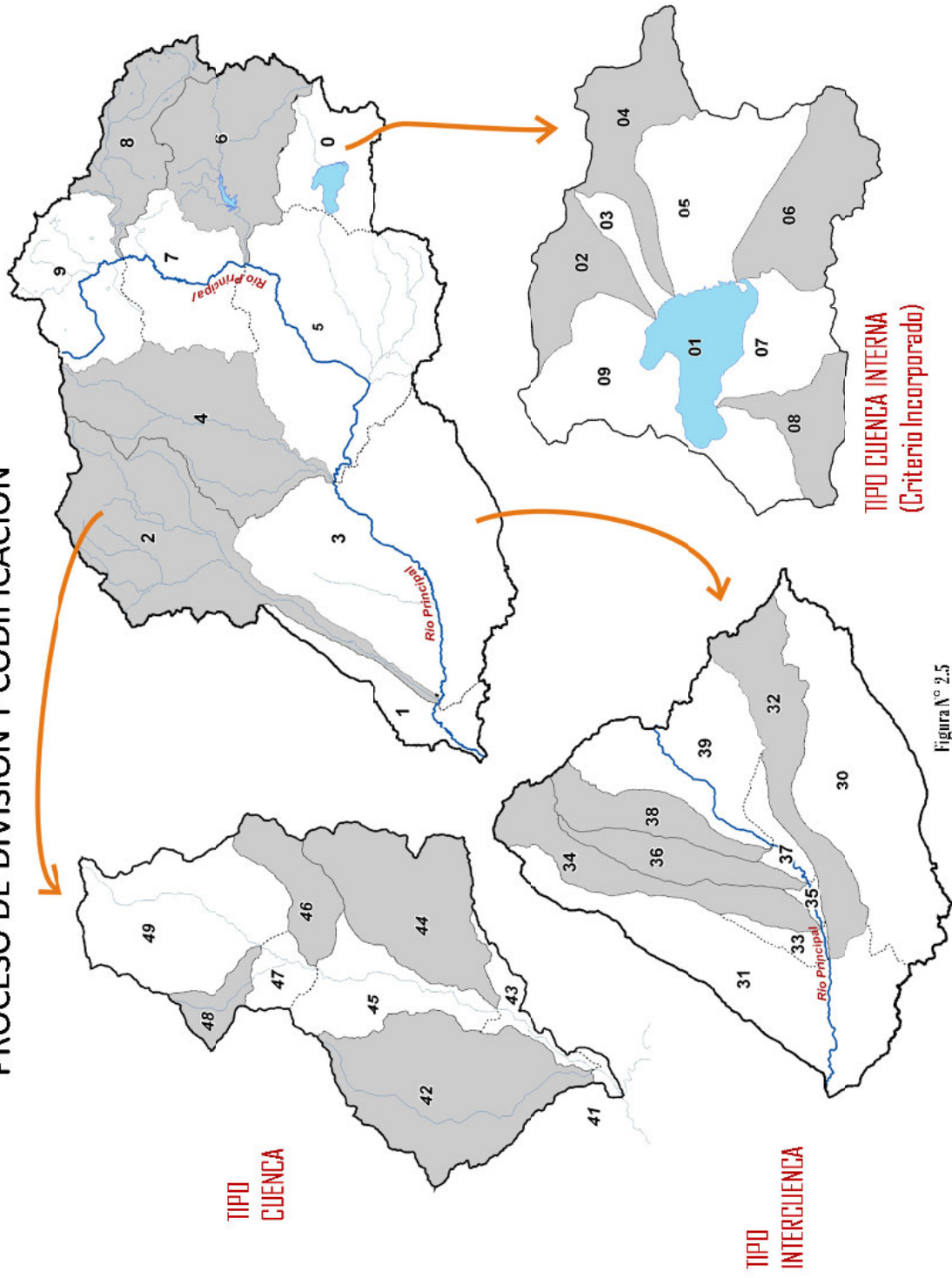


Figura N° 2.5

Figura 5.5

5.4 Particularidades del Método

5.4.1 Unidades hidrográficas “8” y “9”

Una particularidad del método se presenta en la codificación de las dos unidades hidrográficas menores más altas de una cuenca. En este caso a la unidad hidrográfica que presenta mayor área de drenaje, entre las dos, se le asigna el código “9” y a la otra, el código “8” (Figura 5.6). Esta particularidad del método permite identificar la cuenca donde se origina el río principal, que para el ejemplo corresponde a la unidad hidrográfica de código “89”.

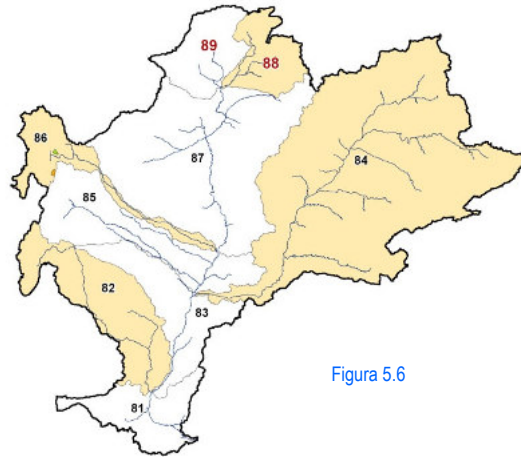


Figura 5.6

5.4.2 Existencia de más de una cuenca interna en una unidad hidrográfica

Si una unidad hidrográfica contiene más de una cuenca interna o endorreica, se adiciona el dígito “0” al código de la cuenca interna de mayor tamaño, y las otras deberán ser consideradas como tales en el siguiente nivel, en las unidades hidrográficas en las cuales se encuentran contenidas. (Figura 5.7)

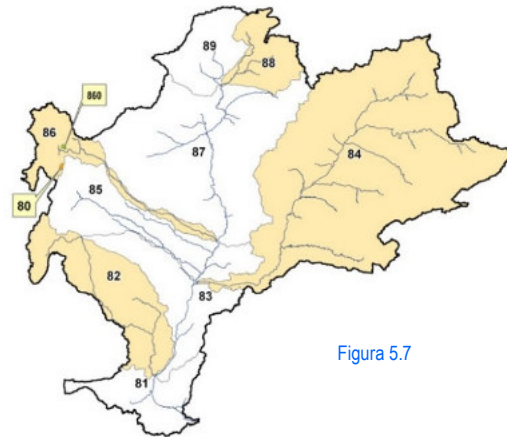


Figura 5.7

5.4.3 Para las regiones hidrográficas cuyos cursos de agua fluyen paralelamente hacia al mar

Para este caso, el sistema de codificación Pfafstetter establece que el cuerpo marino debe ser considerado como el “río principal” y proceso de delimitación y codificación de unidades hidrográficas menores seguirá el mismo criterio descrito. La asignación de códigos se debe realizar 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 5.8)

5.4.4 Cuencas internas cuya red de drenaje confluye en una laguna

Es uno de los casos más comunes en unidades hidrográficas internas o cerradas, en las cuales los ríos que descienden por sus laderas desembocan en la zona más baja de ésta 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) (Figura 5.9). 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, procurando conformar las nueve unidades, puesto que éstas serán asumidas desde el borde de la laguna, la misma que deberá ser considerada como una unidad hidrográfica cerrada, codificándola con el dígito "0".

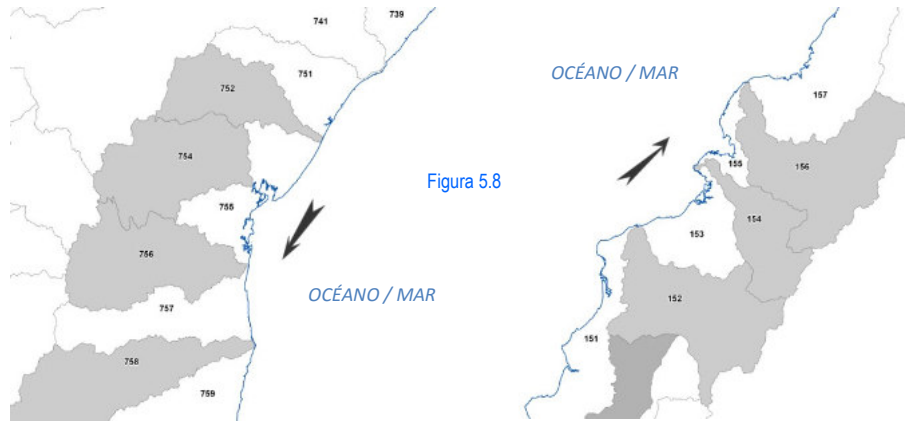


Figura 5.8

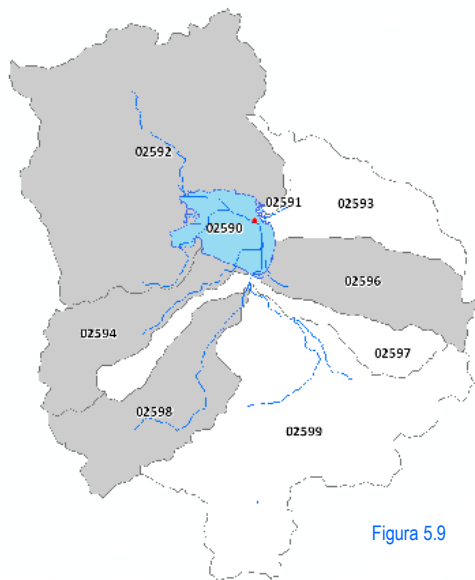


Figura 5.9

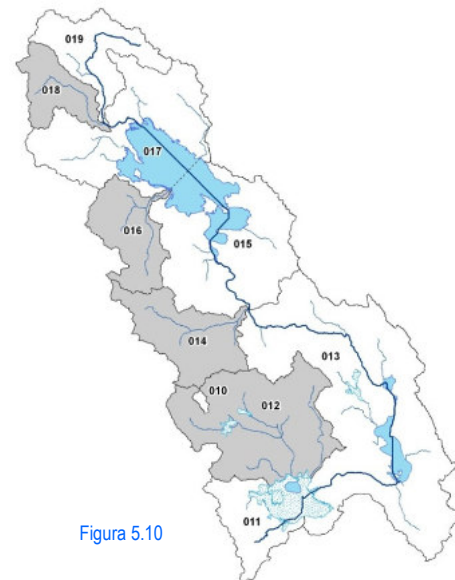


Figura 5.10

5.4.5 Cuencas internas que poseen un colector principal

Son aquellas unidades cerradas donde si es posible distinguir un flujo principal, el cual puede encontrar a lo largo de su recorrido algunos lagos o lagunas, los mismos que serán considerados como parte de este.

Luego de definir el río principal, se determinan las cuatro unidades hidrográficas de mayor extensión que constituirán las cuatro (04) unidades tipo cuenca y las áreas de drenaje comprendidas entre las cuencas pasarán a constituir las cinco (05) unidades de tipo intercuenca, cuya delimitación respectiva, de ser necesario, atravesarán lagos y lagunas, considerados como

parte del curso principal. El sentido de la codificación se realizará desde la parte más baja hacia la más alta de la unidad de drenaje. Ejemplo: Sistema hidrográfico Titicaca – Poopó (Unidad Hidrográfica 01). (Figura 5.10)

5.4.6 Cuencas internas cuya red de drenaje confluye en un punto común, sin conformar necesariamente una laguna

En este caso los ríos confluyen en un cuerpo de agua incipiente o inexistente, esto puede ser debido a que son cuerpos o espejos de agua temporales o en vías de extinción. (Figura 5.11)

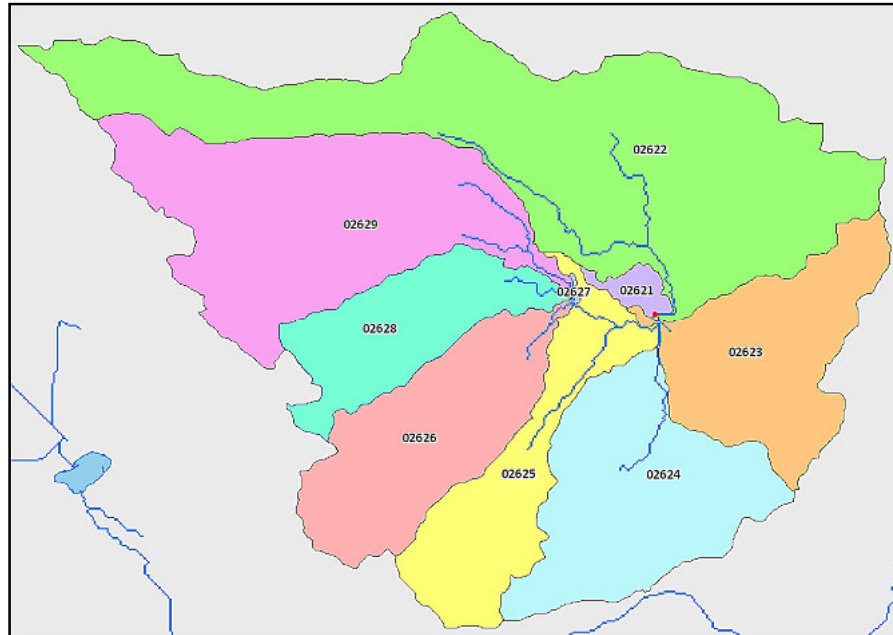


Figura 5.11. Delimitación y codificación de la Unidad Hidrográfica 0262, unidad de tipo interna cuya red de drenaje confluye en un punto sin formar ninguna laguna.

Para este caso, la información topográfica del Proyecto SRTM, es de mucha utilidad, pues al ser información captada por radar posee información del relieve aún debajo del agua, de poca profundidad, lo cual posibilita determinar unidades hidrográficas en esa zona.

El procedimiento de determinación de sus unidades hidrográficas menores es similar al caso de cuencas internas cuya red de drenaje confluye en una laguna, la diferencia radica en que las unidades hidrográficas serán conformadas íntegramente sin el “recorte” espacial que experimentan las unidades hidrográficas en el caso señalado.

5.4.7 Cuencas internas conformadas también por un conjunto de cuencas internas o cerradas

Este tipo de distribución espacial de unidades hidrográficas, es característica de la parte central de Sudamérica, en la Región Hidrográfica 0, la cual es conformada por agrupaciones de unidades endorreicas. La manera agruparlas en unidades mayores es eligiendo las cumbres de mayor altitud que las circundan como límites. Serán consideradas las nueve de mayor tamaño.

La delimitación y codificación de las unidades menores sigue el mismo procedimiento de los casos anteriores, teniéndose como referencia los valores de altitud de las cumbres. Se conformarán en lo posible nueve agrupaciones, considerándose las de mayor tamaño. La inspección morfológica del terreno es de mucha ayuda.

La codificación sigue el sentido horario, iniciándose con el código "1".

Ejemplo: Unidades Hidrográficas 02, 03, 04, 05, 06 y 07, que cubren parte de los territorios de Bolivia, Chile y Argentina. (Figura 5.12)

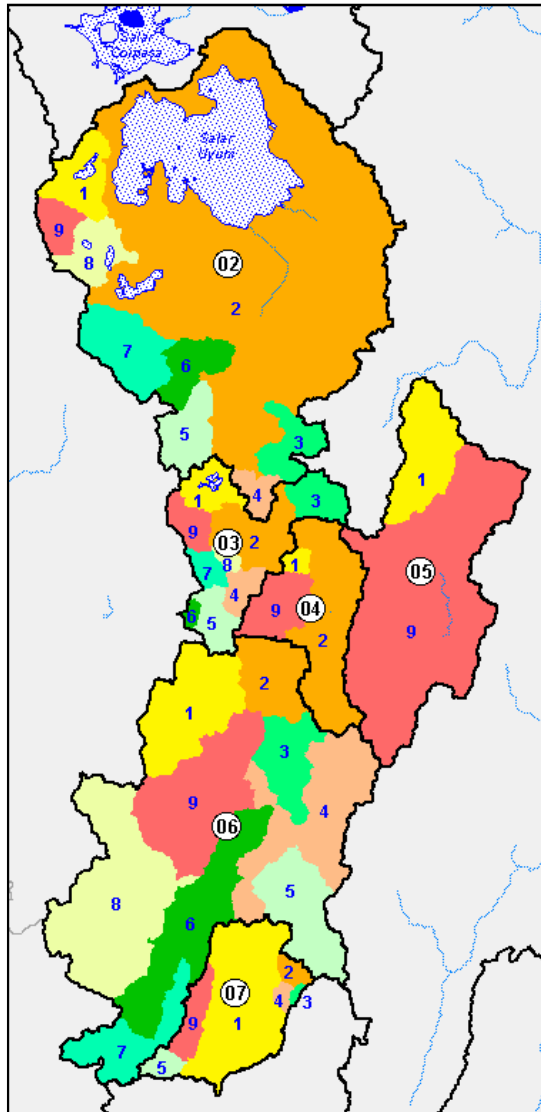


Figura 5.12. Unidades hidrográficas 02, 03, 04, 05, 06 y 07.

5.4.8 Cuencas arreicas

Son aquellas que presentan cursos de agua de bajo caudal, los cuales desaparecen durante su recorrido debido a procesos de filtración o de evaporación, lo que permite la formación de unidades cerradas. Estas unidades, así formadas, seguirán el mismo procedimiento de codificación de cualquier unidad interna, cuyos casos o variantes de delimitación y codificación ya han sido descritos anteriormente.

La Región Hidrográfica 9, ubicada en Argentina, presenta muchos casos de unidades de drenaje arreicas.

Ejemplo: Unidades hidrográficas 90, 950, 970, etc. (Figuras 5.13 y 5.14)

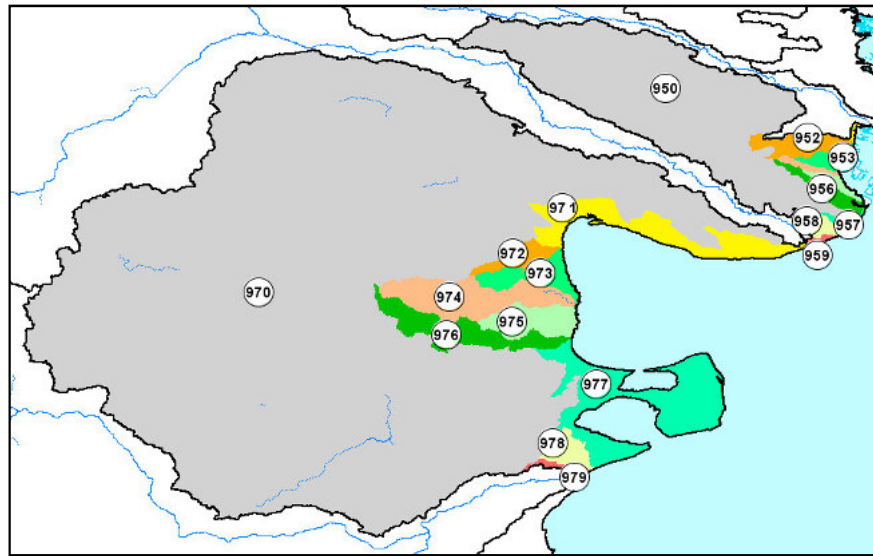


Figura N° 5.13. Unidades Hidrográficas 950 y 970 (gris), de tipo arreica. Obsérvese que dichas unidades no llegan tener acceso al mar.

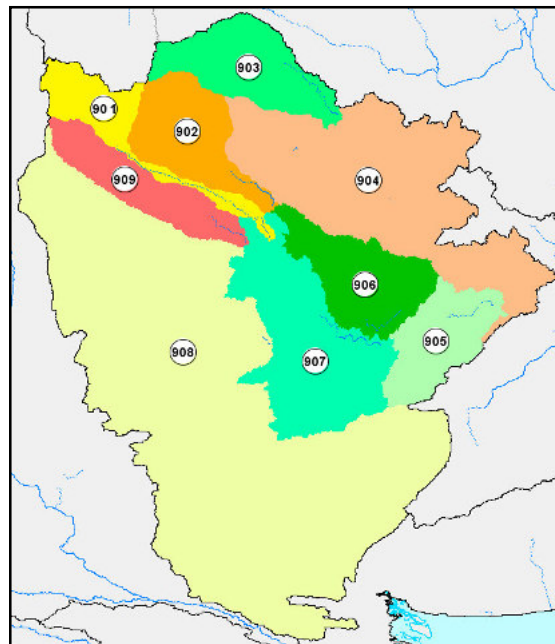


Figura 5.14. Unidad Hidrográfica 90 de tipo arreica. Obsérvese la subdivisión de ésta y el sentido horario de la codificación.

5.4.9 Islas

Estas porciones de territorio serán consideradas en la codificación, como parte de la unidad hidrográfica continental más cercana, asumiendo el código de ésta, en el nivel que se encuentre.

En la Región Hidrográfica 9, en la costa sur de Chile, se ubican importantes archipiélagos cercanos a la zona continental. . (Figura 5.15)

Ejemplo: La Unidad Hidrográfica 558 y 559. (Figura 5.16)

Figura 5.15. Unidades Hidrográficas 997 y 999.
 Obsérvese como las islas reciben el código de la
 unidad continental más cercana.

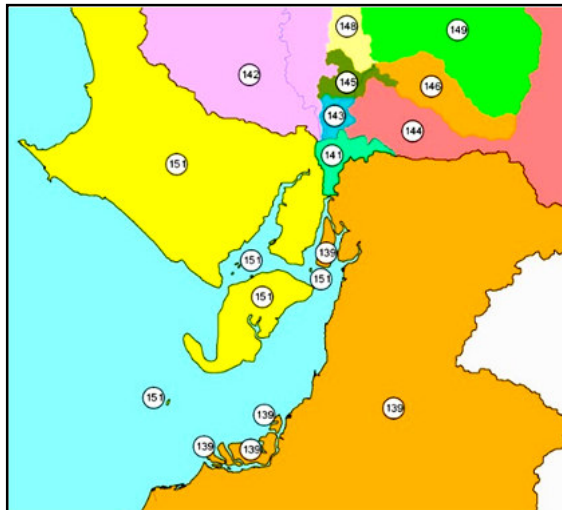
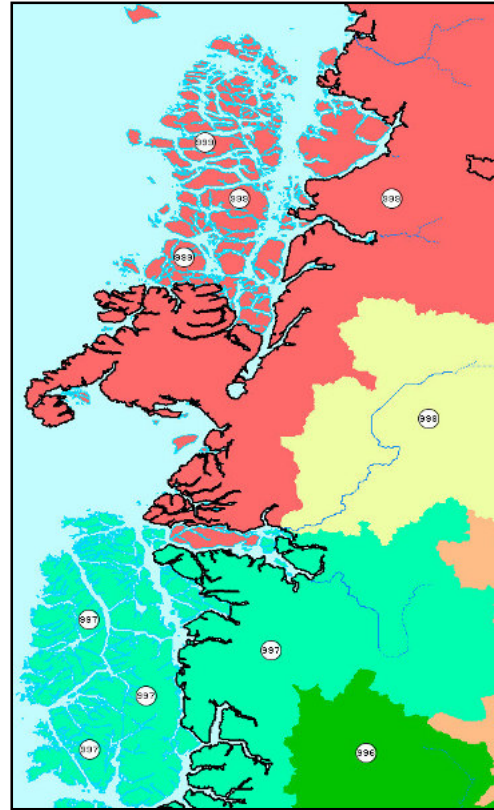


Figura 5.16. Unidades Hidrográficas 139
 y 151. Obsérvese como las islas reciben
 el código de la unidad continental más
 cercana.

VI. ACTUALIZACIÓN DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS

6.1 Metodología para el Sistema de Información Geográfica

6.1.1 Definiciones

Con la finalidad de que el método resulte mejor explicado, se presentan, a continuación, las definiciones de algunos términos empleados:

a. Modelo Digital del Terreno

Un Modelo Digital del Terreno (MDT), es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua, como puede ser la temperatura, la altitud o la presión atmosférica. En el caso que la variable a representar es la cota o altura del terreno se denomina Modelo Digital de Elevación. (MDE) (Figura 6.1 y Figura 6.2)

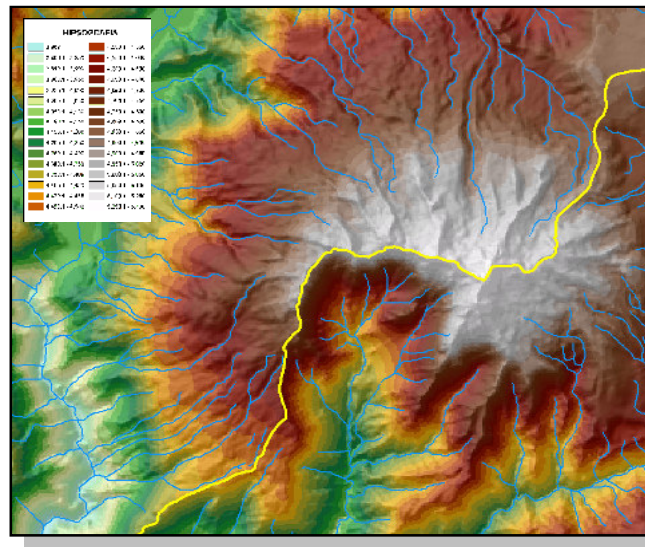


Figura 6.1. Modelo Digital del Terreno del Proyecto SRTM - NASA.

b. Modelo Digital de Elevación

El Modelo Digital de Elevación (MDE) es un Modelo Digital del Terreno cuyos datos almacenados representan valores de altitud.

En la actualidad es posible caracterizar la superficie y sobre todo, delimitar cuencas hidrográficas a partir de Modelos Digitales de Elevación (MDE).

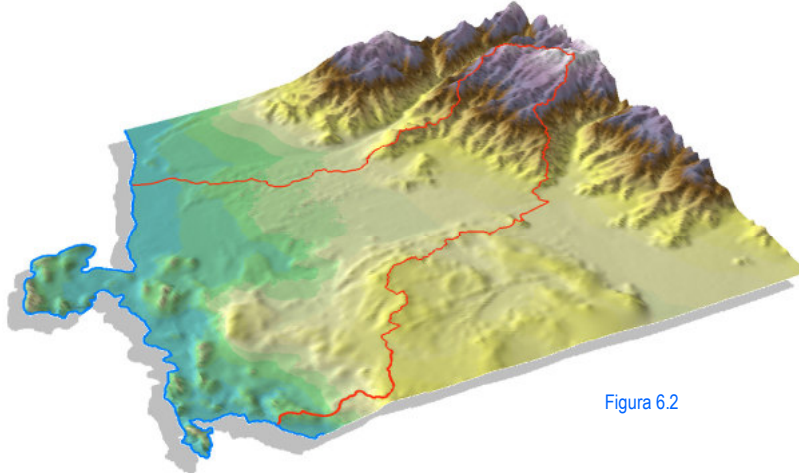


Figura 6.2

Estos modelos son simbólicos ya que establecen relaciones de correspondencia con el objeto real, mediante algoritmos matemáticos que son tratados mediante programas de Sistemas de Información Geográfica (Software SIG). Son estructuras de datos, no son sólo acumulaciones de cifras, sino que tienen una estructura interna con la cual deben interpretarse dichos datos.

c. Dirección de Flujo (Flow Direction)

La dirección del flujo está determinada por la dirección más empinada de descendencia de cada celda o pixel. Esta se calcula como:

$$\text{Cambio de valor de } z / \text{distancia} * 100$$

La distancia se calcula entre los centros de las celdas. Por lo tanto, si el tamaño de la celda es de 1, la distancia ortogonal entre dos celdas es 1, y la distancia diagonal es 1,414.

El valor de salida de la dirección del flujo es un número entero (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128). Los valores para cada dirección del centro son los siguientes:

32	64	128
16		1
8	4	2

Por ejemplo, si la dirección de descenso más empinada está a la izquierda de la celda en proceso, su dirección del flujo sería codificada como 16.

Si la dirección de descenso a todas las celdas adyacentes tiene el mismo valor, la vecindad de ésta es ampliada hasta encontrar una empinada descendente mayor.

Si todas las celdas adyacentes son más altas que la celda en proceso, se considerará como ruido, y ésta será llenada con el valor más bajo de sus vecinos, y tendrá una dirección de flujo hacia esta celda. Sin embargo, si es una celda hundida cerca al borde físico de la matriz o que tenga al menos una celda adyacente sin datos (NODATA), entonces ésta no será llenada debido a la insuficiente información de la celda vecina. Para ser considerado como un verdadero sumidero de celdas, todas las celdas adyacentes deberán poseer información.

Este método, para la determinación de la dirección del flujo, se deriva de un modelo de elevación digital (DEM) que fue presentado por Jenson y Domínguez (1988). (Figura 6.3)

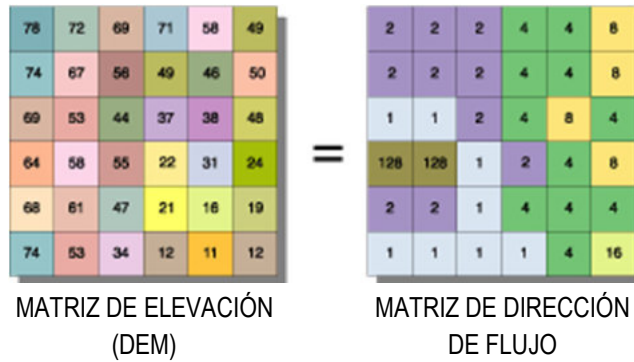


Figura 6.3

d. Acumulación de Flujo (Flow Accumulation)

El resultado de la acumulación de flujo es una matriz que lo representa, matriz en la cual se calcula para cada celda un valor de acumulación de peso proveniente de todas las celdas que fluyen hacia ella. (Figura 6.4)

El flujo acumulado está en función del número de celdas que fluyen hacia cada una de las celdas de la matriz de salida. La celda que está siendo procesada no se considera en tal acumulación.

Las celdas de salida con una alta acumulación de flujo identifican o representan la red de drenaje.

Las celdas de salida con una acumulación de flujo cero son puntos topográficos altos que permiten identificar las cordilleras.

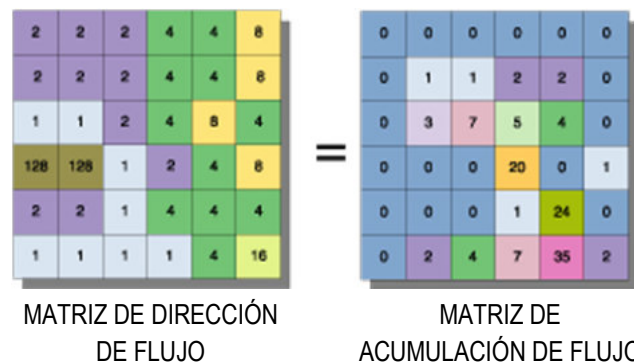


Figura 6.4

e. Stream Link

Asigna únicos valores a las secciones de una red de drenaje lineal matricial, comprendida entre intersecciones.

Los enlaces "Links" son las secciones de una red de drenaje que conectan dos confluencias (junctions) sucesivas, una confluencia y la desembocadura, o un inicio (naciente) y una confluencia. (Figura 6.5)

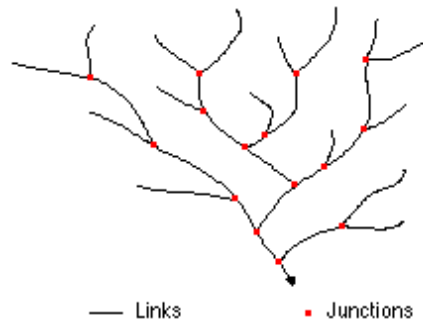


Figura 6.5

La matriz de la red de drenaje puede ser creada mediante el cálculo del umbral adecuado, el cual consiste en determinar el valor de la acumulación de flujo.

f. Watershed

Determina el área de contribución por encima de un conjunto de celdas en una matriz.

Un watershed es el área en el cual el agua que drena dentro de ella, se concentra en un colector común o principal. Otros términos utilizados para watershed son cuenca de captación o zona de contribución. Esta zona se define normalmente como la superficie total que fluye a una determinada salida o "pour point". El límite entre dos cuencas se conoce como frontera de drenaje o línea divisoria.

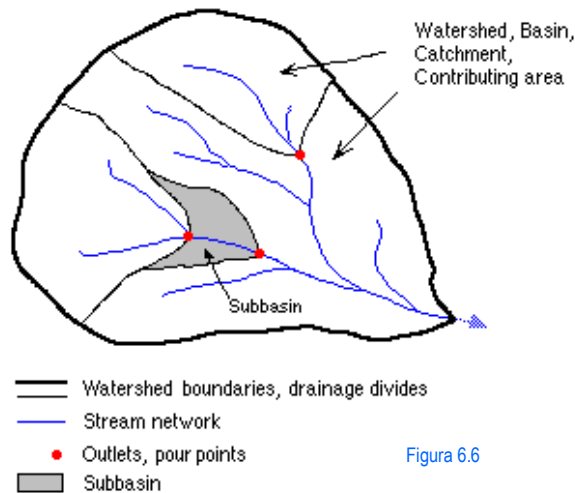


Figura 6.6

6.1.2 Proceso de Delimitación y Codificación

6.1.2.1 Delimitación de Unidades Hidrográficas

Existen maneras de delimitar o delinear cuencas hidrográficas, cada una de ellas se utiliza de acuerdo del carácter ulterior o propósito que se desee alcanzar. Maneras de delimitar que van

desde las realizadas manualmente, sobre un plano topográfico o directamente en pantalla, hasta las que se realizan digitalmente de forma semiautomática, con las herramientas SIG y con la información base geo-espacial. Todas las formas de delimitar conducen al mismo objetivo, sin embargo, la diferencia radica en la precisión; y es allí donde el método que se utilice y la información base, determinarán la calidad del trabajo final.

En el presente trabajo ha considerado conveniente emplear como insumo la información ráster de 3 segundos de arco de resolución espacial, en función de los objetivos finales del trabajo: escala 1:100.000.

Los resultados del proyecto SRTM (Shuttle Radar Topography Mision) de la NASA, que constan de datos ráster de tipo topográfico con 90 metros de resolución espacial, se ha constituido en el MDE – Modelo Digital del Elevación – de uso extendido en el mundo; la misma que se ha constituido en la información base del presente proyecto. (Figuras 6.7 y 6.8).

Asimismo, las modelos digitales de elevación de los proyectos HydroSHEDs de la WWF y ASTER GDEM del METI-NASA, han resultado elementos de confrontación con la información topográfica de los MDE SRTM, permitiendo obtener una mayor certeza en la definición de las unidades hidrográficas.

El proceso de delimitación de unidades hidrográficas (Figura 6.9), se ha efectuado mediante dos subprocesos:

- ✚ Generación de áreas de drenaje (cuencas de captación) o watersheds
- ✚ Generación vectorial de unidades hidrográficas

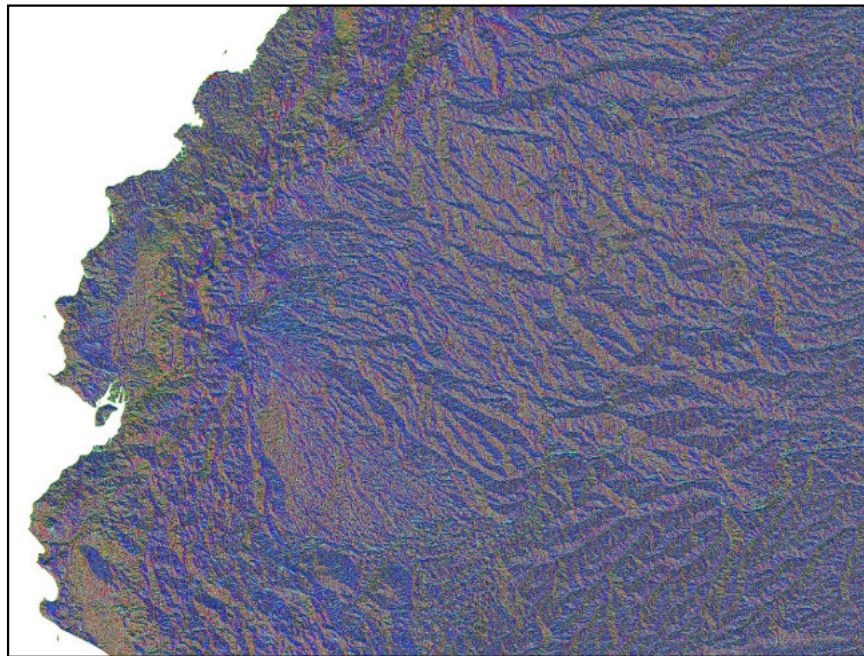


Figura 6.7. Información de Dirección de Flujo de una parte del territorio peruano. La Resolución espacial de la imagen es de 3" de arco

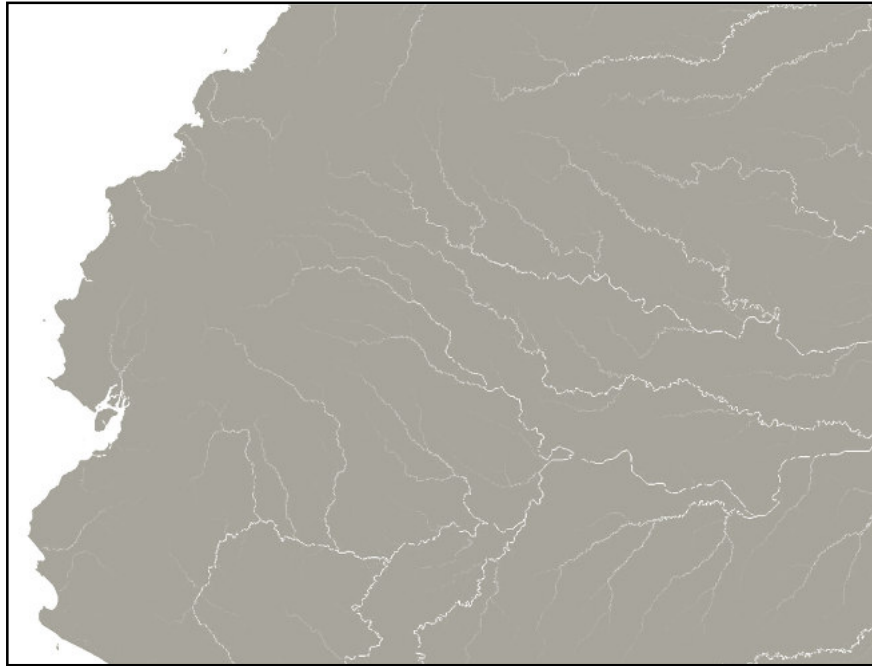


Figura 6.8. Información de Acumulación de Flujo de la misma parte del territorio sudamericano, mostrada tal como ArcGis lo presenta originalmente, bajo el tipo "Stretched" en escala de grises.

DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE DELIMITACIÓN SEMIAUTOMÁTICA DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS

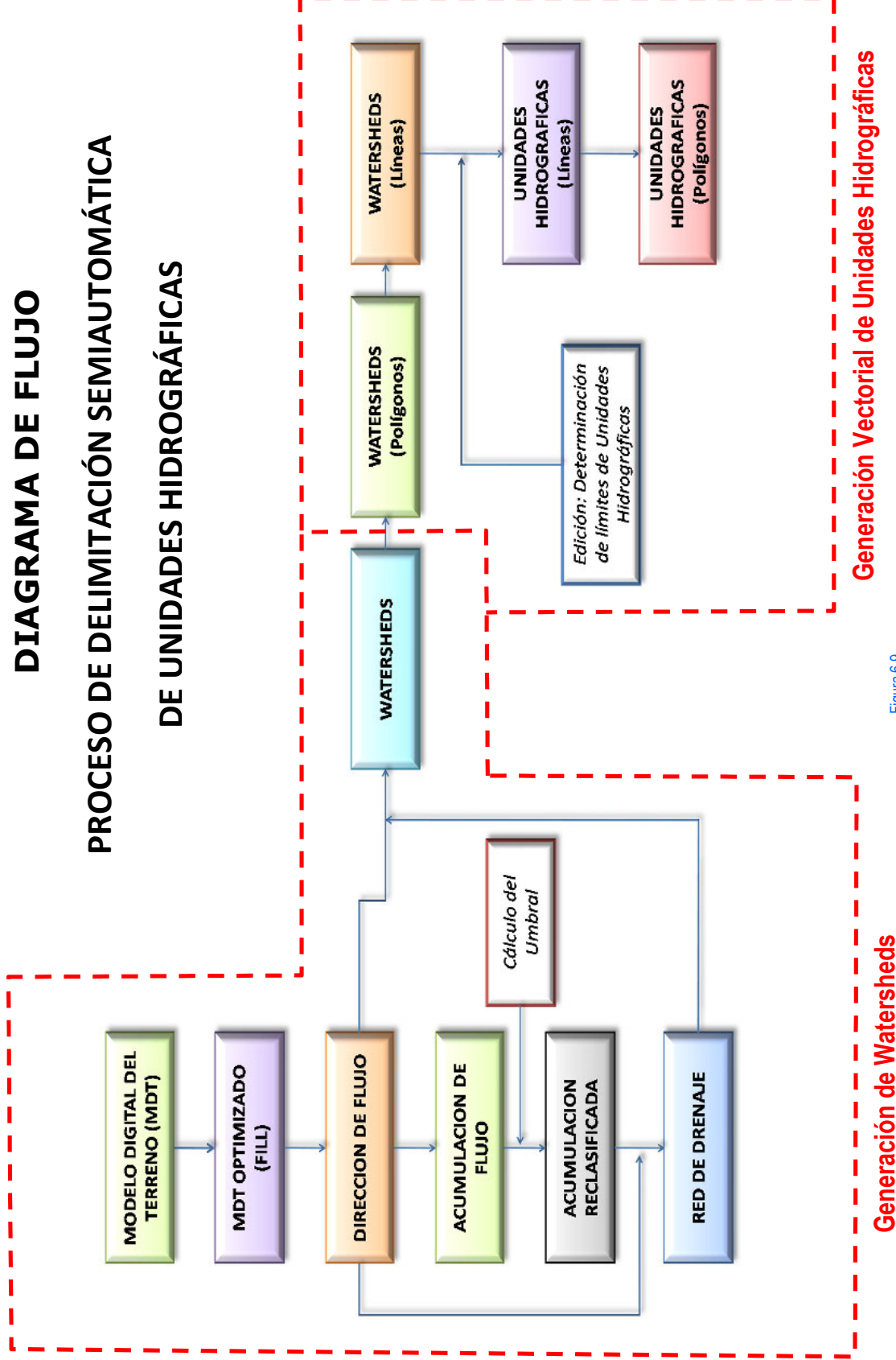


Figura 6.9

1) Generación de Watersheds

Este proceso consiste en determinar los watersheds (unidades hidrográficas), de acuerdo al criterio de delimitación del sistema Pfafstetter, basado en información de dirección y acumulación de flujo, derivados de los modelos digitales de elevación.

El proceso es conocido por los especialistas SIG y comúnmente es empleado para generar cuencas específicas de estudio, mediante la conveniente definición de algún punto como desembocadura.

En nuestro caso, se ha aplicado el método con algunas variantes, adaptándolo al sistema de codificación elegido.

Los modelos digitales de elevación empleados en este proceso, provienen de los proyectos SRTM (Misión Espacial para Topografía de Radar) - NASA y HydroSHED - WWF, que están disponibles en Internet, los cuales poseen una resolución espacial de 3 segundos de arco – 90 metros aproximadamente. La existencia de esta información y su libre acceso, ha ayudado de manera sustancial el desarrollo del presente trabajo y ha permitido el importante ahorro de tiempo, garantizando asimismo una buena calidad del producto.

Los modelos digitales de elevación, una vez acondicionados hidrológicamente, permiten generar las capas de dirección y acumulación de flujo, anteriormente descritos. En base a estas capas obtenidas, se llevan a cabo una serie de procesos, que se detallan a continuación, que conducen a la generación semi-automática de unidades hidrográficas.

A. Determinación del umbral de acumulación

Consiste en determinar el valor de acumulación adecuado, que permita obtener visualmente los flujos necesarios para la conformación de unidades hidrográficas, de acuerdo con la metodología Pfafstetter: “cuatro (04) unidades de drenaje tipo cuenca (cuyas áreas de drenaje sean las mayores) y cinco (05) de tipo intercuenca. Para esto, es importante conocer que **las mayores áreas de drenaje corresponden a las mayores acumulaciones de flujo**. Por tanto, los cuatro tributarios con las mayores acumulaciones de flujo, corresponden a las cuatro unidades hidrográficas con las mayores áreas de drenaje.

Este es un procedimiento iterativo de ensayo y error; siendo, hasta ahora, la manera más sencilla de determinar el umbral de acumulación óptimo para obtener los tributarios necesarios. En este proceso se debe procurar que el valor de acumulación de flujo, elegido finalmente, sea lo suficientemente adecuado para visualizar el flujo principal y cuatro (04) tributarios, sin importar que tan pequeños puedan ser éstos; basta tan sólo que aparezca un pixel como flujo tributario para ser considerado como tal.

En ArcGis, este procedimiento se realiza en la ventana “*Layer Properties*”, seleccionando (haciendo doble clic) el tema que posee la información de acumulación de flujo, de donde se elige la pestaña “*Symbolology*” y de ésta, la presentación “*Classified*”, para realizar una clasificación en dos rangos (Figuras 6.10 y 6.11). El primer rango va de 1 a un número “N” (valor calculado por el sistema, de

acuerdo al método de clasificación empleado, por defecto es “Natural Breaks” - Jenks) y el segundo, del número “N” al número máximo que alcanza la acumulación de flujo.

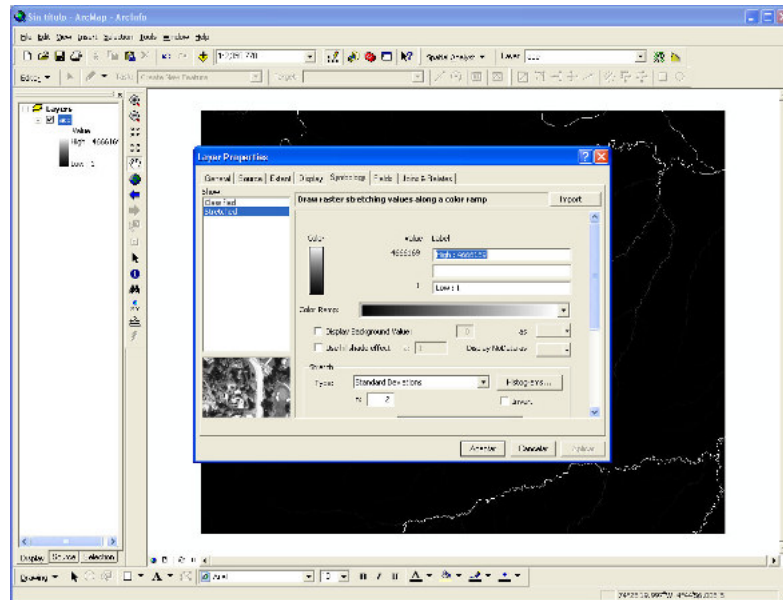


Figura 6.10: Información de Acumulación de Flujo, mostrada tal como ArcGIS lo presenta originalmente, bajo el tipo “Stretched” en escala de grises.

El número “N” es con el que se debe realizar los ensayos. Este proceso se realiza con la opción “Classify...” (Figura 6.11) y modificando el primer “Break Value” y aceptando los cambios cada vez, con el botón “OK” (Figura 6.12). Para poder visualizar los cambios en la vista, al primer rango se le asignará el color “invisible” – sin color; y al segundo, se le asignará un color cualquiera, que podría ser el color azul (Figuras 6.13 y 6.14)

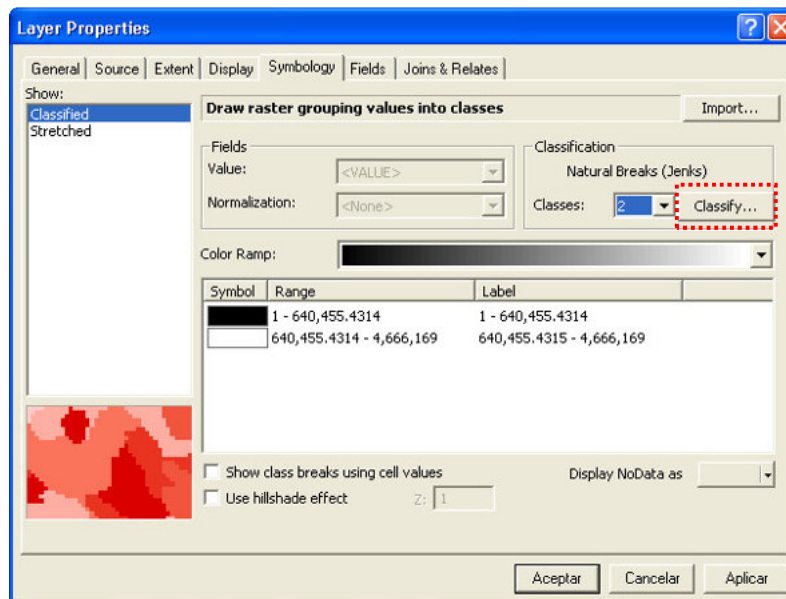


Figura 6.11: En la opción de presentación “Classified”, determinar dos rangos de clasificación, tal como muestra la figura. Luego elegir la opción “Classify...” para efectuar las pruebas necesarias en busca del umbral de acumulación adecuado en escala de grises.

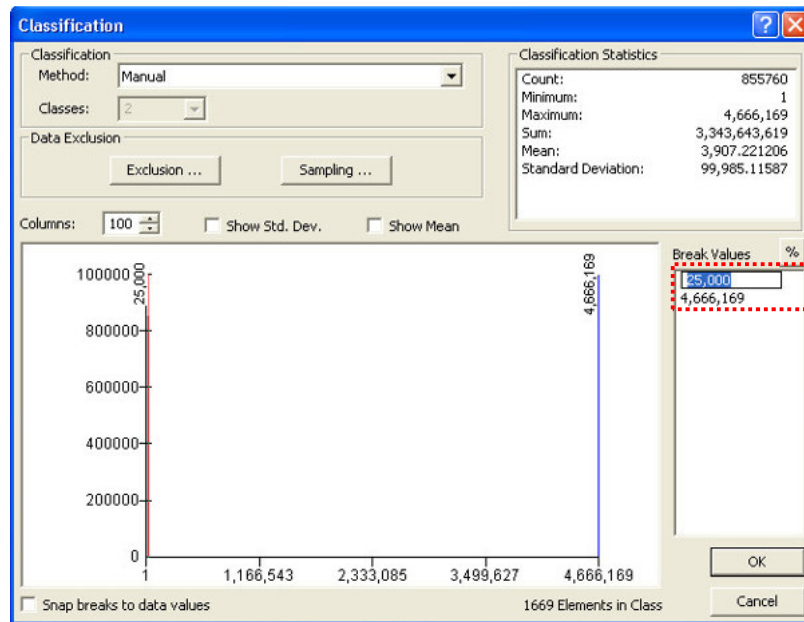


Figura 6.12: En "Break Values", el primer valor es con el que realizará las pruebas. En cada ensayo realizado, aceptar con "OK".

Una vez obtenida la clasificación adecuada, que posibilite la determinación de los cuatro (04) tributarios más importantes (Figura 6.14), se continúa con el siguiente subproceso.

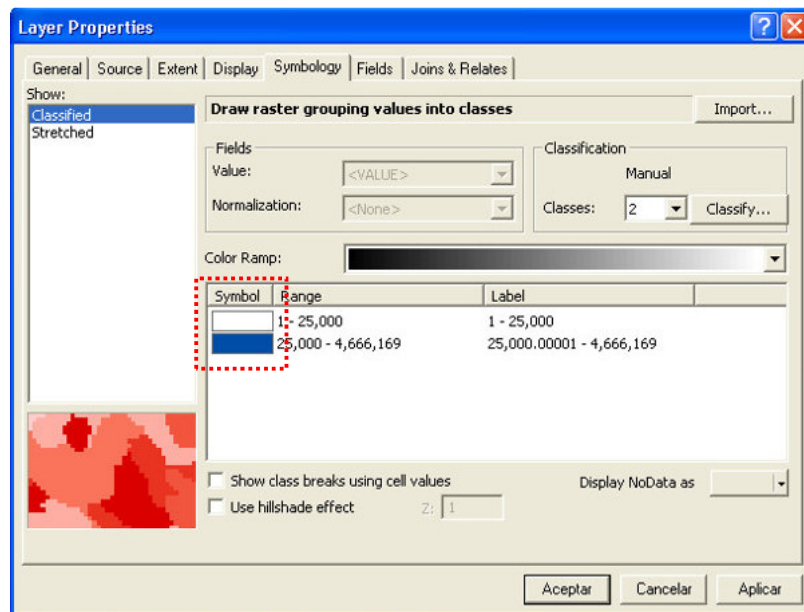


Figura 6.13: Al primer rango se le aplicará un color "invisible", y al segundo se le asignará un color cualquiera.

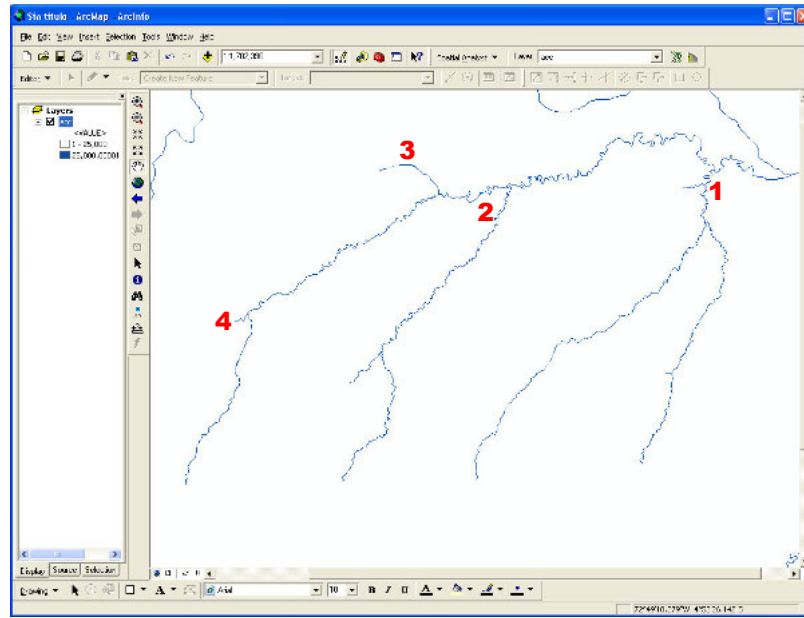


Figura 6.14: Determinación de los cuatro (04) tributarios de mayor acumulación de flujo.

B. Obtención de un tema de reclasificación

Una vez obtenido el umbral de acumulación, es necesario salvar estos rangos en un nuevo tema temporal, con el propósito de capturar los valores relevantes en una nueva clase.

En ArcGis, este proceso se realiza eligiendo la opción “*Reclassify*” del menú correspondiente a la extensión “*Spatial Analyst*”. En “*Input Raster*” se elige el tema en el cual se realizó el cálculo del umbral de acumulación y en la columna “*New Values*”, se debe colocar “0” al primer rango y “1” al segundo. Luego se debe presionar “OK” para aceptar los cambios y crear el nuevo tema. (Figura 6.15)

Este tema, cuyo nombre inicia con las palabras “*Reclass of...*”, presenta dos categorías, “0” y “1”; la primera categoría corresponde al valor irrelevante, por lo tanto ignorado, y la segunda, es la categoría de interés, ya que agrupa los cursos de agua, obtenidos del umbral de acumulación, cuyas unidades de drenaje o cuencas serán generadas. (Figura 6.16)

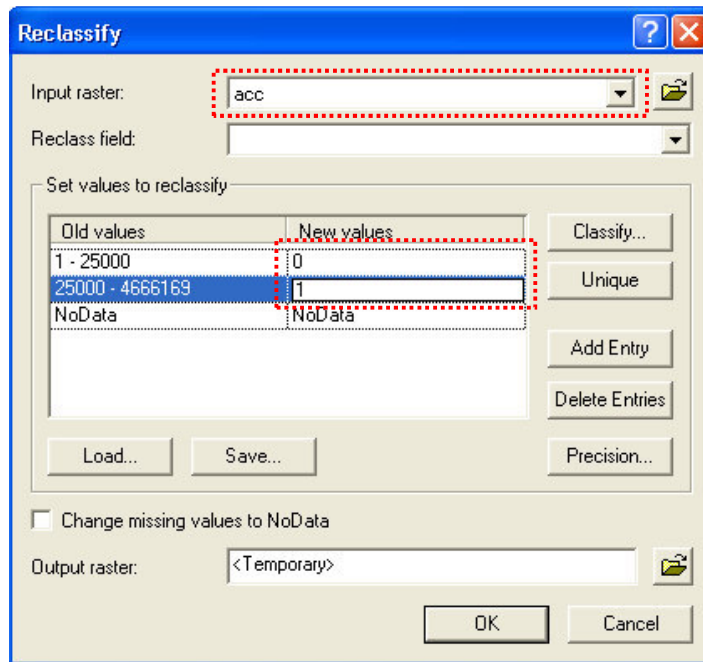


Figura 6.15: Eligiendo el tema, en el cual se realizaron las pruebas de busca del valor del umbral de acumulación, se ingresan nuevos valores para cada rango: "0" y "1", según muestra la figura. Aceptar con "OK" para crear el nuevo tema.

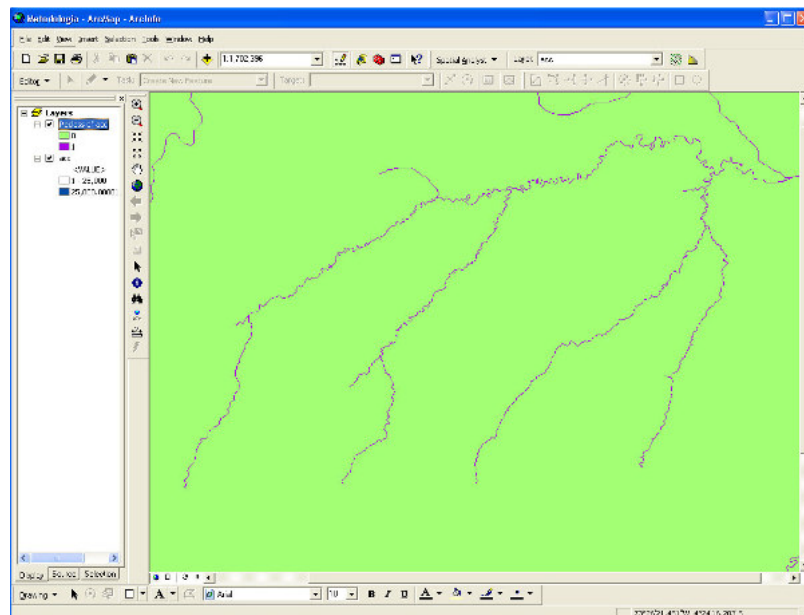


Figura 6.16: Tema temporal generado, de nombre "Reclass of ...". Obsérvese el color que posee cada rango y sus correspondientes en la vista. El color fucsia representa al valor "1", conformado por los cursos de agua determinados por el umbral de acumulación.

C. Generación de la red de drenaje relevante

Este procedimiento se realiza para obtener una nueva capa que contenga solamente los cursos de agua, correspondiente a la categoría "1" de la capa de reclasificación. Este nuevo tema es importante pues a partir de la red de drenaje

que en ella se determine, se generarán las respectivas unidades hidrográficas o watersheds.

El proceso en ArcGis, consiste en crear un tema de tipo “*Stream Link*”, cuya ventana se ubica en “*ArcToolbox*”, en las herramientas de “*Spatial Analyst*”, dentro de la categoría “*Hidrology*”. En la opción “*Input stream raster*”, de esta ventana, se ingresa el nombre del tema reclasificación, creado en el paso anterior; en la siguiente, en la opción “*Input flow direction raster*”, se indica el nombre del tema que contiene la información de la dirección de flujo; y finalmente, en la opción “*Ouput raster*”, se ingresa el nombre del tema de salida. (Figura 6.17)

El tema obtenido contiene solamente la información de la categoría “1”, comprendido por los cursos de agua obtenidos de la determinación del umbral de acumulación. (Figura 6.18)

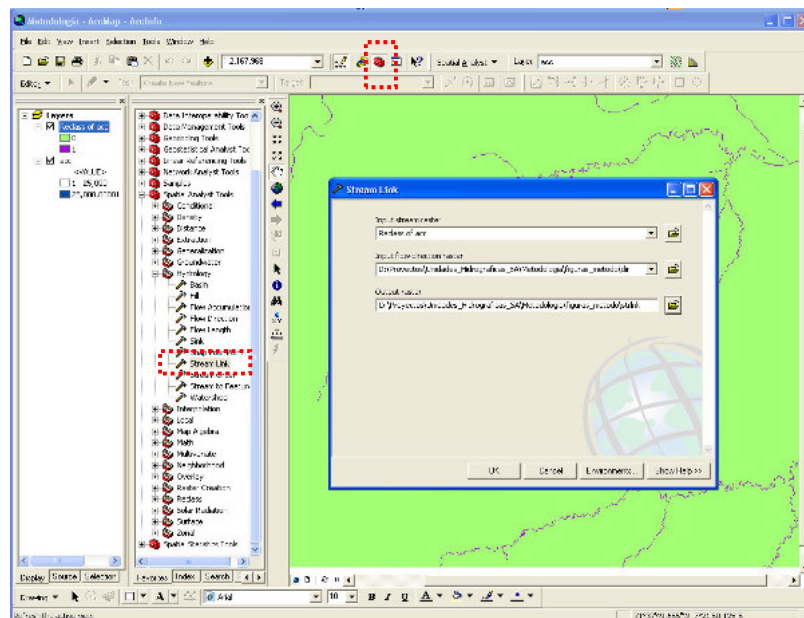


Figura 6.17: Generación del tema “*Stream Link*”. Obsérvese la ubicación de esta herramienta dentro de “*ArcToolbox*” y su ventana de creación, la cual requiere los temas de la reclasificación y de la dirección de flujo.

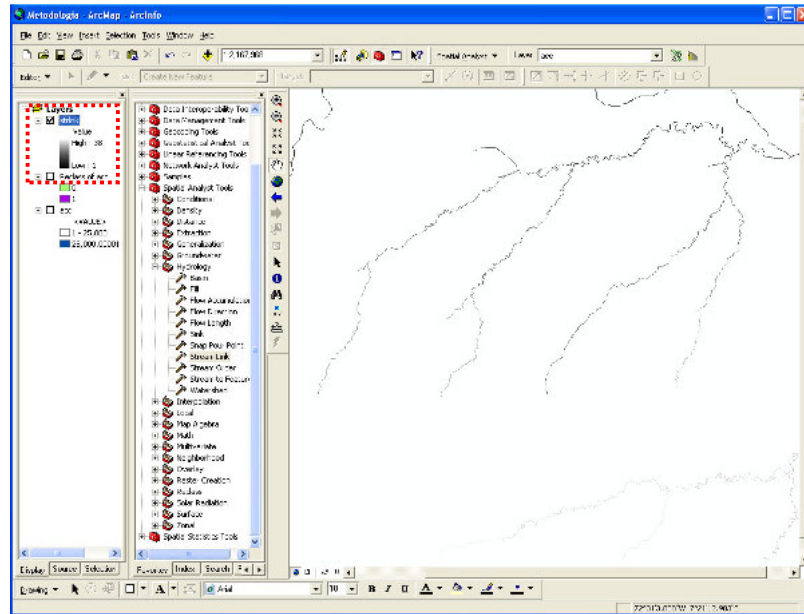


Figura 6.18: Tema "Stream Link" generado.

D. Generación de Watersheds

Para la generación automática de watersheds, unidades hidrográficas, se requiere como insumo la dirección de flujo y el enlace de cursos ("stream link").

Ciertamente, no es el único método de generación de unidades hidrográficas, ya que existen otras técnicas que emplean datos de tipo puntual como los puntos de desembocadura o "pour points", que se emplea para generar de forma controlada por el usuario, las unidades de drenaje necesarias.

En ArcGis, este proceso se realiza con la utilidad "*Watershed*" del "*ArcToolbox*", en el ítem "*Hidrology*" de "*Spatyal Analyst*" (Figura 6.19). Esta herramienta solicita como información de entrada: la dirección de flujo y los cursos de agua - "stream link", generados en los pasos anteriores. En la opción "*Input flow direction raster*" se ingresa el nombre del tema que contiene la información de la dirección de flujo; dejando el nombre del tema "stream link", para la opción: "*Input raster or feature pour point data*". Finalmente, se indica el nombre de un tema de salida, que contendrá las unidades de drenaje o watersheds requeridos. (Figura 6.20)

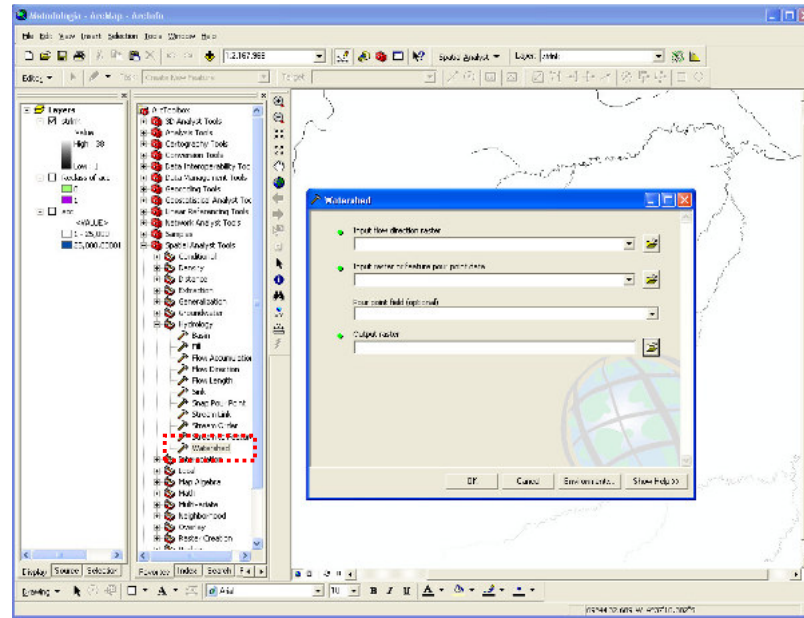


Figura 6.19: Obsérvese la ubicación de la herramienta "Watershed" y su correspondiente interface de ingreso.

El producto obtenido es un raster, en donde las cuencas son presentadas por agrupaciones de pixeles de igual valor; esto puede hacerse evidente asignando colores diferentes a las cuencas, a través de la ventana "Layer Properties" del tema, cambiando el modo de presentación a "Unique Values". (Figuras 6.20 y 6.21)

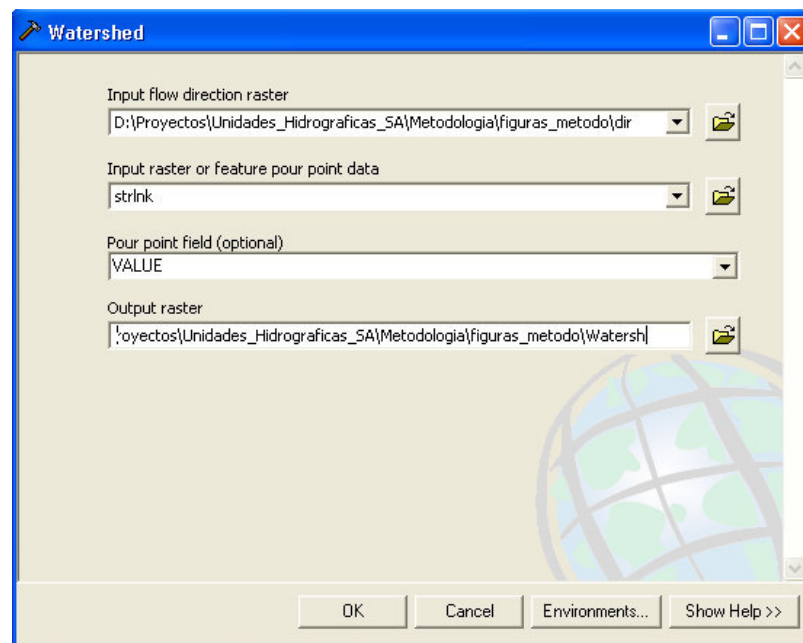


Figura 6.20: Interface de ingreso de la herramienta "Watershed".

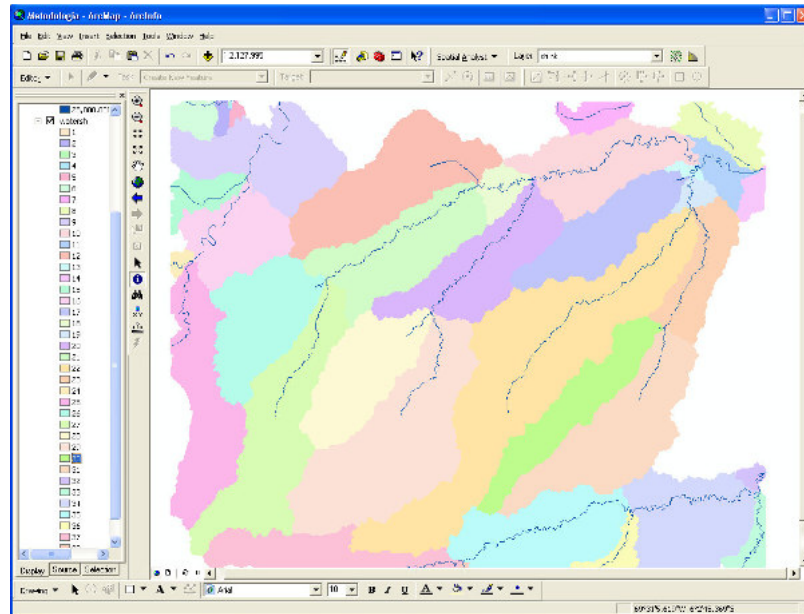


Figura 6.21: Watersheds generados y diferenciados por colores.

2) Generación Vectorial de Unidades Hidrográficas

Este proceso consiste en convertir las unidades hidrográficas o watersheds obtenidos, al formato vectorial de tipo polígono. En algunos casos este proceso podría ser simple o directo, sin embargo, de acuerdo a la complejidad y cantidad de cuencas que se desee delimitar a la vez, podría ser necesario realizar una conversión al formato lineal, es decir, pasar de polígonos a líneas, con las cuales la edición suele ser mucha más sencilla y rápida. Luego de la edición lineal, se procederá a la reconversión al tipo polígono, quedando de esta forma listo para el proceso de llenado de la tabla de atributos con los códigos respectivos.

a. Conversión de raster a polígono

En Arcgis, este procedimiento se efectúa con la herramienta “*Raster to features...*”, de la opción “*Convert*”, del menú perteneciente al módulo “*Spatial Analyst*”. En la primera opción de esta ventana (Figura 6.22), se elige el tema raster a convertir, en este caso, la que contiene los watersheds. Las opciones “*Field*” y “*Output geometry type*” deben quedar con los valores “*Value*” y “*polygon*”, respectivamente. A criterio del usuario activar o desactivar la opción “*Generalize lines*” (Generalización de líneas) y por último, se debe asignar un nombre de salida para el nuevo tema vectorial. En la figura 6.23, se muestra el tema vectorial sobre la información raster de watersheds, en los que se ha eliminado los elementos innecesarios (líneas no útiles para la conformación de los watersheds requeridos) e integrado convenientemente.

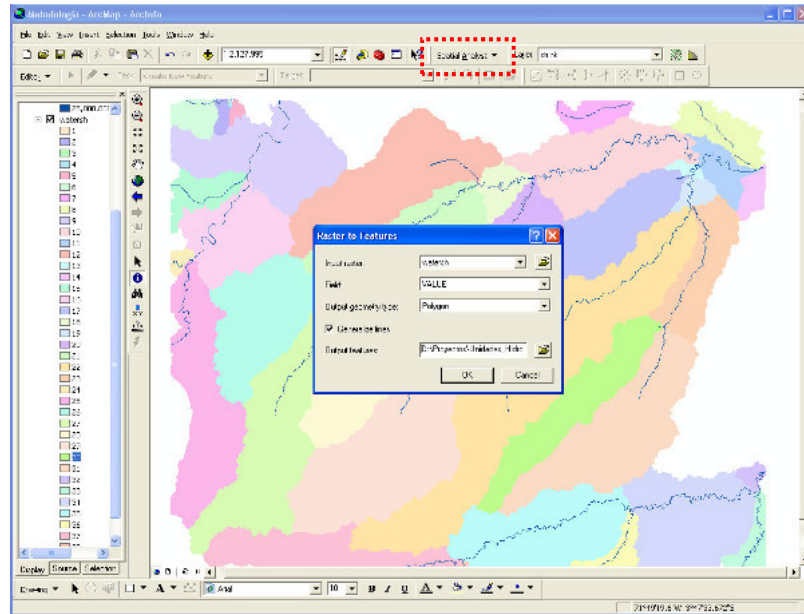


Figura 6.22: Obsérvese el módulo “Spatial Analyst” y la interface de ingreso de la herramienta “Raster to Features” para cada uno.

La opción “Generalize lines”, en estado activo (checked), realiza la generalización de los contornos poligonales, evitando que estos bordes lineales presenten segmentos “aserrados” debido a la forma de los pixeles (unchecked). Lo que realiza “Generalize lines”, es aumentar el tamaño de los segmentos que conforman los arcos y en consecuencia, disminuir el número de vértices.

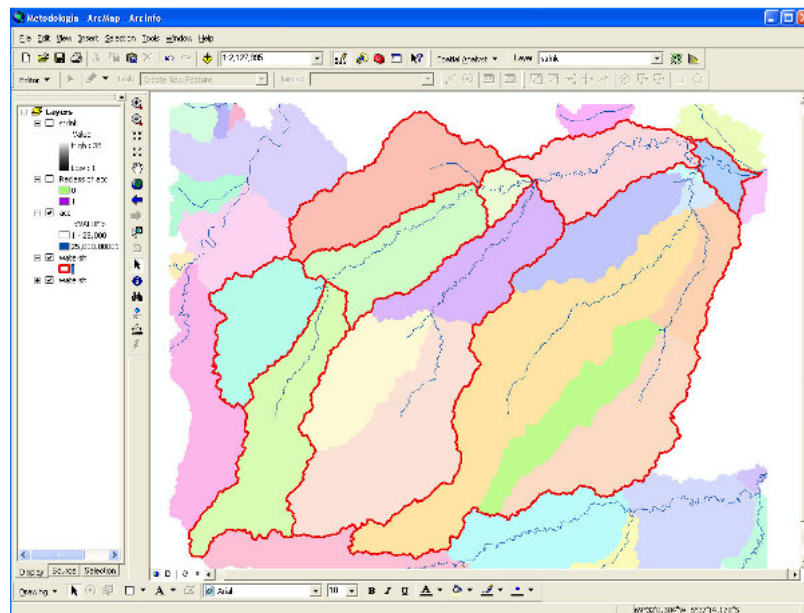


Figura 6.23: Información vectorial de polígonos (líneas rojas) sobre los watersheds raster. Nótese que se han eliminado y fusionado convenientemente algunos polígonos para obtener las nueve unidades requeridas.

b. Conversión de polígonos a líneas:

En caso de ser necesario, debido a modificaciones que se requieran realizar en la delimitación de las unidades hidrográficas, es recomendable que se adicione este proceso al trabajo de edición, ya que el trabajo en líneas es mucho más versátil y rápido por el gran número de herramientas que existen para ello.

El proceso en ArcGis, es mediante la herramienta “*Polygon to Line*” de la categoría “*Features*” de la sección “*Data Management Tools*” de “*ArcToolbox*”. (Figura 6.24)

c. Generalización de líneas:

Si en el proceso de conversión de raster a polígono no se activó la opción “*Generalize lines*” entonces puede ser necesario aplicar un proceso de generalización a líneas obtenidas a través de la herramienta “*Smooth Line*” (*Suavizado de línea*), ubicado en la categoría “*Generalization*” de la sección “*Data Management*” del “*ArcToolbox*” (Figura 6.25).

El valor de “*Smoothing Tolerance*” que solicita esta herramienta debe estar dado en unidades del mapa (Grados = coordenadas angulares o Metros = coordenadas lineales) y debe ser de una dimensión superior al tamaño del pixel que dio origen a las líneas de forma aserrada. Para nuestro caso, el tamaño de pixel empleado es de 90 metros (3” de arco) equivalente a 0,00083 grados y el valor de “*Smoothing Tolerance*” debe ser superior a este. Ante esto, se ha calculado que un valor adecuado es aquel que sea 4 veces superior al valor del segmento mínimo a generalizar (0,00083 grados) con lo cual se obtiene el valor de 0,003 grados que es muy apropiado para este tipo de trabajos.

d. Reconversión de líneas a polígonos:

Con el tema de líneas concluido, se procede a generar los polígonos correspondientes.

La ubicación de esta herramienta, en ArcGis, es similar a la anterior. Se encuentra en “ArcToolbox”, en la sección “Data Management Tools”, en la categoría “Features” con el nombre: “Features to Polygon”. (Figura 6.24)

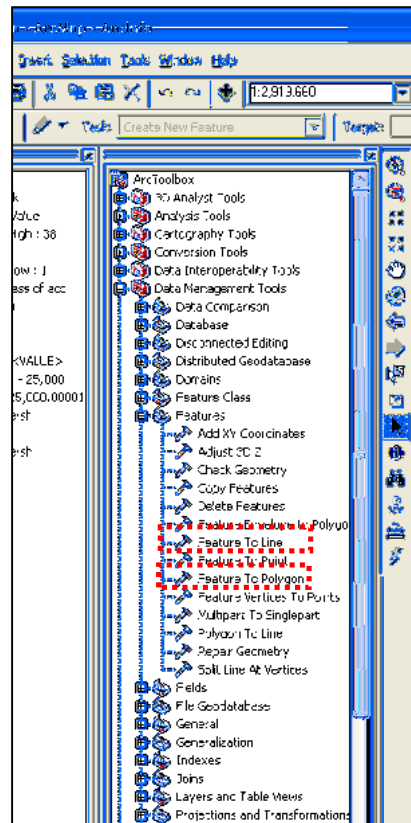


Figura 6.24: Localización de las herramientas “Features to Polygon” y “Polygon to Line”.

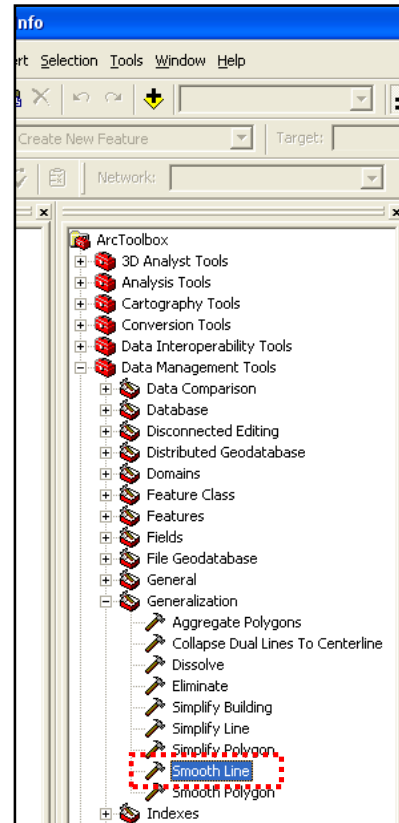


Figura 6.25: Localización de la herramienta “Smooth Line”.

6.1.2.2 Codificación de unidades hidrográficas

La codificación de unidades hidrográficas sigue los fundamentos de la Metodología Pfafstetter, que se ha expuesto en el Capítulo II.

Una vez conformado el tema de polígonos, que representan las unidades hidrográficas, se realiza el proceso de codificación en su respectiva tabla de atributos. Esta tabla debe presentar una estructura pre-establecida, que puede ser única o de tipo relacional; en el primer caso, todos los campos son creados en la misma tabla, en la cual la reiteración de datos es común; en el segundo caso, las tablas relacionales son estructuradas de tal manera de que no existe redundancia de datos, expresadas en un conjunto de tablas relacionadas por campos en común.

El ingreso de información tabular es un proceso muy sencillo: a medida que se va seleccionando cada polígono, se ingresarán los datos correspondientes a ese elemento, en el registro (fila) correspondiente en la tabla de atributos. (Figura 6.26)

La información contenida tabularmente, deberá contar principalmente de campos para almacenar los códigos Pfafstetter de las unidades hidrográficas en los diferentes niveles, así como el nombre y área o superficie de las mismas.

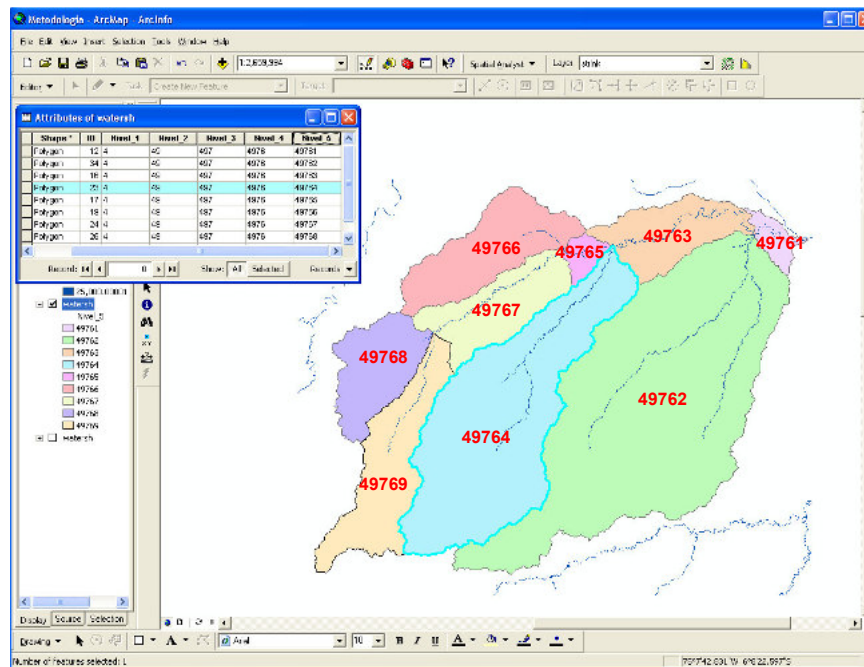


Figura 6.26. Proceso de codificación tabular. Obsérvese el tema de unidades hidrográficas concluido con la información de su tabla de atributos completa.

6.2 Resultado de la actualización de unidades hidrográficas

Haciendo uso de la metodología descrita en el ítem anterior y mediante el empleo de herramientas de análisis geoespacial de los sistemas de información geográfica, se llevaron a cabo las actualizaciones de las unidades hidrográficas comprendidas en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca.

Asimismo, tal como se señaló, la información base que se empleó en este proceso estuvo conformada por la Carta Nacional Digital Topográfica 1:100.000 del IGN y por los modelos digitales de elevación, de 3" de arco, de los proyectos SRTM y HydroSHEDs, de la NASA y WWF, respectivamente.

La actualización de unidades hidrográficas comprende los siguientes procesos:

- Mejoramiento en la precisión de la delimitación y codificación de las unidades hidrográficas de la versión vigente.
- Incremento de unidades hidrográficas al nivel superior siguiente, con las mismas condiciones de precisión indicadas.

Para una mejor comprensión de los resultados conseguidos en este proceso, en los ítems siguientes dedicados a la descripción de la actualización de las unidades hidrográficas, se muestran cuadros comparativos entre las unidades hidrográficas de la versión vigente y actualizada.

6.2.1. Actualización de unidades hidrográficas en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca

6.2.1.1. Unidades hidrográficas vigentes

En el cuadro 6.1, se muestra la distribución espacial de unidades hidrográficas vigentes, desde el nivel 1 al 6, en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca. La unidad hidrográfica 13758 (Cuenca Pativilca) no presenta subdivisión en el nivel 6.

Cuadro 6.1
Distribución espacial de unidades hidrográficas vigentes en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca

NIVEL 1		NIVEL 2		NIVEL 3		NIVEL 4		NIVEL 5		NIVEL 6		SUPERF. (km ²)
Cód.	Nombre	Cód.	Nombre	Cód.	Nombre	Cód.	Nombre	Cód.	Nombre	Cód.	Nombre	
1	Región Hidrográfica del Pacífico	13	Intercuenca 13	137	Intercuenca 137	1375	Intercuenca 1375	13757	Intercuenca 13757	137572	Cuenca Supe	1,015.74
										137579	Intercuenca 137579	676.86
								13758	Cuenca Pativilca		4,577.24	
								13759	Intercuenca 13759	137591	Intercuenca 137591	141.82
										137592	Cuenca Fortaleza	2,340.51
								TOTAL				

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro anterior, así como se observa en el mapa de la figura 6.27, las unidades hidrográficas vigentes comprendidas en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca son cinco (05): cuatro (04) de nivel 6 y una (01) de nivel 5.

Unidades hidrográficas actualizadas

En el cuadro 6.2, se muestra la distribución espacial de las unidades hidrográficas actualizadas, desde el nivel 1 al 7, en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca. Las unidades hidrográficas 137575 (Intercuenca Pacífico 137575), 137576 (Cuenca Taita Laynas), 137577 (Intercuenca Pacífico 137577), 137581 (Intercuenca Pativilca 137581), 137582 (Cuenca Huanchay), 137583 (Intercuenca Pativilca 137583), 137584 (Cuenca Gorgor), 137585 (Intercuenca Pativilca 137585), 137586 (Cuenca Rapay), 137587 (Intercuenca Pativilca 137587), 137588 (Cuenca Achín), 137589 (Cuenca Alto Pativilca) y 137591 (Intercuenca Pacífico 137591), no presentan subdivisión en el nivel 7.

Cuadro 6.2
Distribución espacial de unidades hidrográficas actualizadas en el ámbito de la
Administración Local de Agua Barranca

NIVEL 1		NIVEL 2		NIVEL 3		NIVEL 4		NIVEL 5		NIVEL 6		NIVEL 7		SUPERF. (km ²)
Cód.	Nombre	Cód.	Nombre	Cód.	Nombre	Cód.	Nombre	Cód.	Nombre	Cód.	Nombre	Cód.	Nombre	
1	Región Hidrográfica Pacífico	13	Intercuencia Pacífico 13	137	Intercuencia Pacífico 137	1375	Intercuencia Pacífico 1375	13757	Intercuencia Pacífico 13757	137574	Cuenca Supe	1375741	Intercuencia Supe 1375741	161.67
												1375742	Cuenca Mesa Redonda	55.41
												1375743	Intercuencia Supe 1375743	86.24
												1375744	Cuenca Río Seco	47.06
												1375745	Intercuencia Ambar 1375745	79.36
												1375746	Cuenca Aynaca	212.40
												1375747	Intercuencia Ambar 1375747	10.22
												1375748	Cuenca Cochaca	43.54
												1375749	Cuenca Alto Ambar	307.54
										137575	Intercuencia Pacífico 137575	1.15		
										137576	Cuenca Taita Laynas	605.91		
										137579	Intercuencia Pacífico 137579	91.99		
										13758	Cuenca Pativilca	137581	Intercuencia Pativilca 137581	512.34
												137582	Cuenca Huanchay	474.78
												137583	Intercuencia Pativilca 137583	493.87
												137584	Cuenca Gorgor	561.98
												137585	Intercuencia Pativilca 137585	48.33
												137586	Cuenca Rapay	732.50
												137587	Intercuencia Pativilca 137587	573.38
137588	Cuenca Achin	281.89												
137589	Cuenca Alto Pativilca	745.59												

											137591	Intercuencia Pacifico 137591	318.73		
											137592	Cuenca Fortaleza	1375921	Intercuencia Fortaleza 1375921	70.45
													1375922	Cuenca Julquillas	454.26
													1375923	Intercuencia Fortaleza 1375923	513.21
													1375924	Cuenca Purisima	239.80
													1375925	Intercuencia Fortaleza 1375925	380.69
													1375926	Cuenca Huayllapampa	165.00
													1375927	Intercuencia Fortaleza 1375927	24.83
													1375928	Cuenca Marca	175.20
													1375929	Cuenca Alto Fortaleza	329.57
TOTAL												8,798.86			

Fuente: Elaboración propia

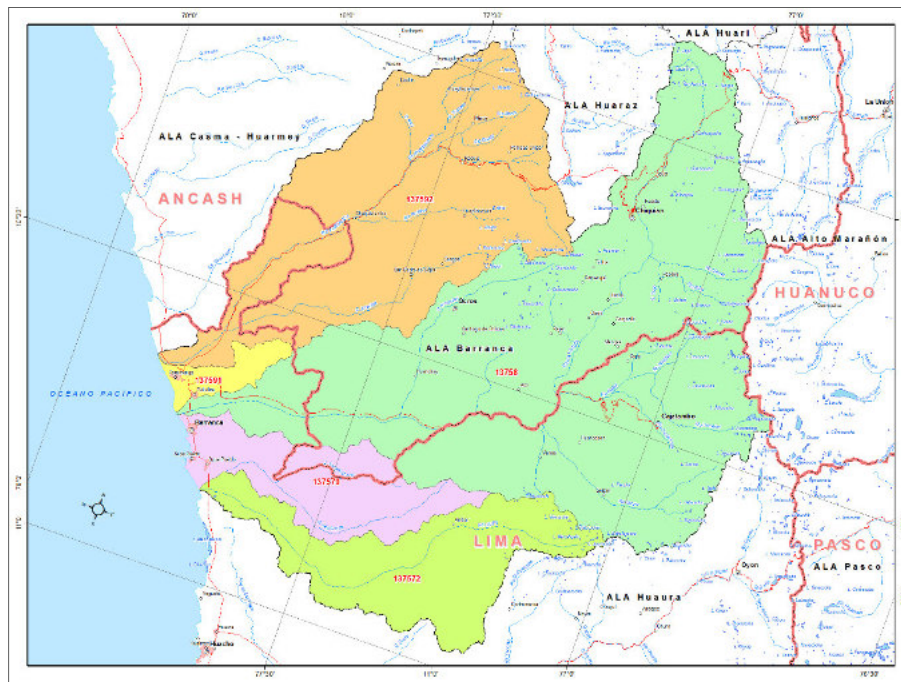


Figura 6.27. Administración Local de Agua Barranca: Unidades hidrográficas vigentes.

De acuerdo al cuadro anterior, las unidades hidrográficas actualizadas comprendidas en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca son treinta y uno (31): trece (13) de nivel 6 y dieciocho (18) de nivel 7.

En el cuadro 6.3, se muestra el número de unidades hidrográficas obtenidas en el proceso de actualización, comprendidas en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca, respecto a la región hidrográfica y al nivel de jerarquía que pertenecen.

Cuadro 6.3
Resumen de la distribución espacial de unidades hidrográficas actualizadas en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca por región hidrográfica y niveles de jerarquía

REGIÓN HIDROGRÁFICA	NIVELES							TOTAL UH
	1	2	3	4	5	6	7	
Pacífico	1	1	1	1	3	15	18	40
TOTAL UH	1	1	1	1	3	15	18	

Fuente: Elaboración propia

En los mapas de las figuras 6.28, 6.29 y 6.30, se muestra la distribución de las unidades hidrográficas actualizadas, comprendidas en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca, en los niveles 5, 6 y 7, respectivamente.

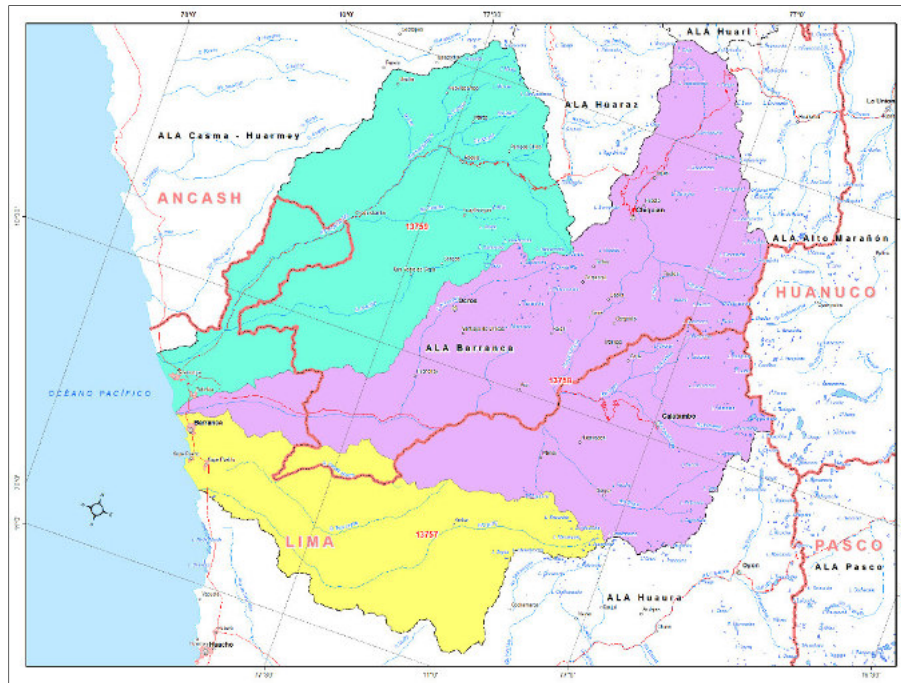


Figura 6.28. Administración Local de Agua Barranca: Unidades hidrográficas actualizadas de nivel 5.



Figura 6.29. Administración Local de Agua Barranca: Unidades hidrográficas actualizadas de nivel 6.

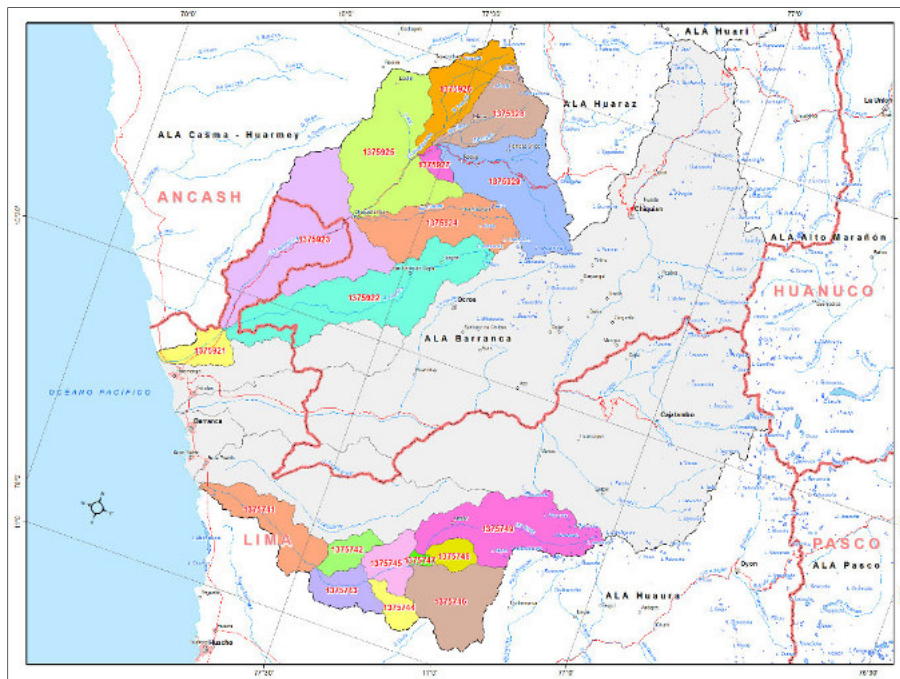


Figura 6.30. Administración Local de Agua Barranca: Unidades hidrográficas actualizadas de nivel 7.

Como es sabido, la definición de los ámbitos territoriales de los órganos desconcentrados de la Autoridad Nacional del Agua, como es el caso de las administraciones locales de agua, se realiza en base a unidades hidrográficas; es decir, los ámbitos de las administraciones locales de agua deben estar constituidos por un conjunto de unidades hidrográficas indivisas.

VII. CODIFICACIÓN DE CURSOS DE AGUA SUPERFICIAL

7.1 Metodología para el Sistema de Información Geográfica

La metodología de codificación de cursos de agua superficial está basada en el sistema de codificación Pfafstetter de unidades hidrográficas, tratando de establecer una relación espacial entre tramos de cursos de agua y unidades hidrográficas, resultando una codificación análoga entre ambas entidades, sumándose la aplicación de una variación metodológica convencional en la codificación final de los tramos de los cursos de agua.

Los procesos SIG que se describirán en el presente capítulo, están referidos al empleo de herramientas ArcGis 10, software empleado a lo largo del desarrollo del presente estudio.

Previamente a la descripción detallada de la metodología de codificación de cursos de agua superficial y su aplicación en una red geométrica topológica, se ha considerado importante presentar algunas definiciones que se emplearan frecuentemente en la explicación de esta metodología:

a. Red geométrica:

Una red geométrica es un conjunto de ejes y cruces conectados, junto con reglas de conectividad. Se utiliza para representar y modelar el comportamiento de una infraestructura de red común en el mundo real. La distribución de agua, las líneas eléctricas, la conducción de gas, los servicios telefónicos y el flujo del agua de un río son ejemplos de flujos de recursos que se pueden planear y analizar mediante una red geométrica. Con una red geométrica puede realizar diversos análisis de red como buscar bucles o circuitos dentro de una red o trazado de aguas arriba o aguas abajo para encontrar la fuente del flujo en una red.

b. Nodos:

Son elementos topológicos que representan las terminaciones inicial y final de los elementos lineales o arcos. Cuando los arcos conforman una red geométrica, los nodos adquieren criterios de conexión, pudiendo ser de dos tipos: nodos libres y nodos de conexión. Los primeros, solo se relacionan con un único arco y no poseen conexión; los segundos, se relacionan con dos o más arcos y establecen conexiones entre estos arcos, definiendo relaciones topológicas entre ellos.

c. Naciente:

Representación de las nacientes de los cursos de agua. Están constituidos por nodos libres.

d. Confluencia:

Representación de las desembocaduras de los cursos de agua que no desaguan en el mar. Están constituidos por nodos de conexión.

e. Desembocadura:

Representación de las desembocaduras de cursos de agua que desaguan en el mar. Están constituidos por nodos de conexión.

f. Tramo de curso de agua:

Elemento lineal o arco, y constituye el elemento mínimo en que se conforma una red geométrica. Se encuentra limitada entre dos nodos (inicial y final).

En una red geométrica hídrica, es el segmento entre su desembocadura y su confluencia, o un segmento entre dos confluencias, o un segmento entre una confluencia y su naciente.

g. Curso de agua:

Unión de tramos de cursos de agua, desde la desembocadura hasta la cabecera, utilizando el criterio Pfafstetter de definición del río principal.

h. Río:

Unión de tramos de cursos de agua continuos que poseen una misma toponimia.

i. Aguas arriba:

Tramos de cursos de agua cuyos flujos discurren hacia un punto de referencia seleccionado, en una red geométrica hídrica. Altitudinalmente, estos cursos de agua se poseen mayor altitud que el punto de referencia.

j. Aguas abajo:

Tramos de cursos de agua cuyos flujos discurren alejándose de un punto de referencia seleccionado, en una red geométrica hídrica. Altitudinalmente, estos cursos de agua se poseen menor altitud que el punto de referencia.

7.1.1. Recopilación de información

La información recopilada está constituida por información digital geoespacial, tanto de tipo vectorial como ráster. La información vectorial está conformada principalmente por la Carta Nacional Topográfica 1:100.000, del Instituto Geográfico Nacional, y por las unidades hidrográficas del Perú, vigentes mediante R.M. N°033-2008-AG. En cuanto a la información ráster, está conformada por modelos digitales de elevación de los proyectos SRTM de la NASA, HydroSHEDs de la WWF y ASTER GDEM de METI-NASA. A continuación, en el cuadro 7.1, se muestran las principales características de la información recopilada:

Cuadro 7.1
Características de la información recopilada

INFORMACIÓN VECTORIAL				
N°	Nombre	Formato	Escala	Organismo
1	Red hídrica	Shapefile	1:100.000	IGN
2	Lagos y lagunas	Shapefile	1:100.000	IGN
3	Isohipsas	Shapefile	1:100.000	IGN
4	Hidronimia	Shapefile	1:100.000	IGN
5	Señales geodésicas	Shapefile	1:100.000	IGN
6	Cotas	Shapefile	1:100.000	IGN
7	Ámbito de estudio	Shapefile	1:100.000	ANA
INFORMACIÓN RASTER				
N°	Nombre	Formato	Resolución	Organismo
1	Modelo digital de elevación	TIF	90 m (3")	SRTM-NASA

2	Modelo digital de elevación	GRID	90 m (3")	HydroSHEDs - WWF
3	Modelo digital de elevación	TIF	30 m (1")	Aster GDEM

Fuente: Elaboración propia

7.1.2. Acondicionamiento SIG y cartográfico de la red hídrica

7.1.2.1. Creación y organización de la Geodatabase

La **geodatabase** es la estructura de datos nativa para ArcGIS y es el formato de datos primario usado para la edición y administración de los datos geográficos.

En su nivel más básico, una geodatabase es una colección de datasets geográficos de varios tipos, contenida en una carpeta de sistema de archivos común, con una base de datos relacional multiusuario DBMS (Oracle, Microsoft SQL Server, PostgreSQL, Informix o IBM DB2).

A. Creación de las geodatabases de archivo

Crear una geodatabase de archivos implica crear una carpeta de archivos especial en el disco mediante ArcGIS. Esto se puede hacer desde el árbol de catálogo en ArcCatalog o la ventana catálogo en ArcMap.

Los pasos realizados para crear las geodatabases de archivos, correspondientes a cada ámbito de Administración Local de Agua, fueron los siguientes:

- 1) Se Inició ArcMap y se abrió la ventana Catálogo.
- 2) Se hizo clic con el botón derecho en la carpeta de archivos del árbol de catálogo donde decidió crear la geodatabase de archivos.
- 3) Se situó el puntero en "New".
- 4) Se hizo clic en "File Geodatabase".
- 5) Se creó una nueva geodatabase de archivos en la ubicación seleccionada.
- 6) Se cambió el nombre de la geodatabase de archivos haciendo clic con el botón derecho en el nombre de la geodatabase de archivos, eligiendo "Rename" y, por último, escribiendo un nuevo nombre. Para nuestro caso, se introdujeron el nombre: "ALA_Barranca".

B. Organización de las geodatabases de archivo

La estructura interna de las geodatabases de archivo, fue diseñada teniendo en consideración el tipo de datos que se almacenarán en ellas. Para esta organización de datos, se creyó necesario la creación de tres (03) "feature datasets" (datasets de entidad): "Base", "Hidro" y "Unidades_Hidrograficas".

Un **dataset de entidad** es una colección de clases de entidad relacionadas, que comparten un sistema de coordenadas común. Los datasets de entidades se utilizan para integrar espacial o temáticamente clases de entidad relacionadas. Su propósito primario es organizar **clases de entidad** (features clases) relacionadas en un dataset común, para generar una topología, un dataset de red, un dataset de terreno o una red geométrica.

Los pasos realizados para la creación de los mencionados datasets de entidad, en las cuatro (04) geodatabases de archivo creadas, fueron los siguientes:

- 1) En el árbol de catálogo, se hizo clic con el botón derecho, en la geodatabase en la que desea crear un nuevo dataset de entidad.
- 2) Se hizo clic en “New” > “Feature Dataset”
- 3) Se escribió el nombre para el dataset de entidad. En nuestro caso, “Base”, “Hidro” y “Unidades_Hidrograficas”, respectivamente.
- 4) Nos desplazamos hasta la referencia espacial y elegimos WGS_1984_UTM_Zone_17S ó WGS_1984_UTM_Zone_18S, según sea el caso, y se hizo clic en “Aceptar”.
- 5) No se requirió un sistema de coordenadas verticales para las unidades z, por lo que seleccionamos “Ninguno” y se hizo clic en “Aceptar”.
- 6) En los valores para la tolerancia xy, la tolerancia z y la tolerancia m, se aceptó el valor predeterminado, que es el equivalente de 1 mm en unidades del mundo real; y para terminar, se hizo clic en finalizar.

7.1.2.2. Conversión de shapefiles a features classes

Un “feature class” (**clase de entidad**), es una colección de entidades geográficas que comparten el mismo tipo de geometría (tal como punto, línea o polígono) y los mismos campos de atributo para un área común. Las calles, pozos, parcelas, tipos de tierra y distritos censales son ejemplos de clases de entidad.

En las geodatabases, las clases de entidad relacionadas se agrupan a menudo en un **dataset de entidad**.

Para convertir una fuente de datos externa (shapefiles) en una clase de entidad de geodatabase, se utilizó las herramientas de importación del árbol de catálogo.

Previamente al proceso de importación, se procuró que los shapefiles estuvieran en el mismo sistema de coordenadas del dataset de entidad destino. Luego, en el árbol de catálogo, se hizo clic con el botón derecho en el dataset de entidad al que desea importar una clase de entidad. Se hizo clic en *Import > Feature Class (single)*; esto abrió la herramienta “Feature Class To Feature Class” y se establecieron los parámetros para esta herramienta, por ejemplo:

Input Features: *rios100.shp*
 Output Location: *I:\Gis-2015\Proyectos\ALA_Barranca.gdb\Hidro*
 Output Feature Class: *Red_hidrica*

Siguiendo este mismo proceso, se llevaron a cabo todas las conversiones necesarias, obteniendo una estructura organizacional de las geodatabases tal como se muestra en el cuadro siguiente. Se ha tomado como ejemplo la geodatabase ALA Barranca.

Cuadro 7.2
Estructura organizativa de la Geodatabase de Archivo

GEODATABASE DE ARCHIVO	ALA_BARRANCA
DATASET DE ENTIDAD	Base
CLASES DE ENTIDAD	ALA_Barranca Cota_100 Hidronimia_rios_100

	Isohipsas_100 Lagunas_100 Rios_100 Señales_geodesicas_100
DATASET DE ENTIDAD	Hidro
CLASES DE ENTIDAD	Lagunas Red_hidrica Nodos
DATASET DE ENTIDAD	Unidades_hidrograficas
CLASES DE ENTIDAD	UH_ALA_Barranca UH_ALA_Barranca_vigente UH_ALA_Barranca_N6

Fuente: Elaboración propia

7.1.2.3. Creación de topología para detección de errores

La importancia de la clase de entidad “Red_hidrica”, radica en que está conformada por los tramos de cursos de agua, que serán objeto del proceso de codificación; y para que este proceso sea posible se debe contar con una red hídrica exenta de errores topológicos, que garantice la conectividad entre sus elementos. Un método aplicado para la detección de errores en la red hídrica, es la creación de topología.

Las topologías de geodatabase ayudan a garantizar la integridad de los datos. El uso de una topología permite comprobar la integridad de los datos y ayuda a validar y a mantener mejores representaciones de las entidades en la geodatabase.

Además, las topologías se pueden usar para modelar numerosas relaciones espaciales entre las entidades. De este modo, se pueden realizar diversas operaciones analíticas, como buscar entidades adyacentes, usar límites coincidentes entre las entidades y navegar por entidades conectadas.

El flujo de trabajo adecuadamente formulado para este proceso, comprende las siguientes tareas de topología:

A. Creación de Topología

El principal método implica el uso de herramientas en la ventana ArcCatalog. A continuación, se describe el proceso que se empleó para crear una topología mediante esta herramienta.

- 1) Se hizo clic con el botón derecho en el dataset de entidades al que desee agregar una topología (Ej. “Hidro”), elija “New” y, a continuación, se hizo clic en “Topology”.
- 2) Se hizo clic en “Siguiente”.
- 3) Se asignó un nombre a la nueva topología y se especificó la tolerancia clúster. El valor predeterminado es la tolerancia x,y del dataset de entidades. Un buen valor predeterminado es 0,001 metros o su equivalente en las unidades de su referencia espacial.
- 4) Se hizo clic en “Siguiente”.

- 5) A continuación, se eligió las clases de entidad que van a formar parte de la topología. Se mostrará una lista de todas las clases de entidad del dataset de entidades. En nuestro caso, se eligió “Red_hidrica”.
- 6) Se hizo clic en “*Siguiente*”.
- 7) Se definió las clasificaciones de precisión de las coordenadas para cada clase de entidad de la topología. El valor predeterminado de la tolerancia z es el mismo que el de la tolerancia x,y (0,001 metros en unidades del mundo real).
- 8) Se hizo clic en “*Siguiente*”.
- 9) Se agregó las reglas topológicas que ayudan a estructurar las relaciones espaciales entre las entidades y a controlar y validar la forma en que las entidades compartan la geometría. Las reglas topológicas elegidas fueron:
 - “*Must Not Overlap*” (“No deben superponerse”): Una línea de una entidad no debe superponerse en líneas de la misma entidad. Una línea que superpone es un error.
 - “*Must Not Have Dangles*” (“No deben tener nodos colgantes”): Una línea de una entidad debe tocar líneas de la misma entidad en ambos extremos. Cualquier extremo donde una línea no toca otra línea es un error.
 - “*Must Not Pseudo Nodes*” (“No deber haber nodos falsos”): Una línea de una entidad debe tocar más de una línea de la misma entidad en sus extremos. Cualquier extremo donde una línea toca una sola línea es un error.
 - “*Must Not Self-Overlap*” (“No deben superponerse a sí mismo”): Una línea de una entidad no debe intersectar o superponerse a sí misma. Cualquier línea donde se superpone a sí misma es un error.
- 10) Se hizo clic en “*Siguiente*”.
- 11) Se revisó el resumen y, a continuación, se hizo clic en “*Finalizar*”, logrando agregar la nueva topología al dataset de entidades. Luego, se nos preguntó si desea validar ahora la topología en el dataset de entidades, para lo cual se eligió “*Sí*”.

B. Generación y validación de la topología

Durante la validación, se realizan las siguientes tareas de procesamiento:

- Generación y clustering de vértices de entidad para buscar las entidades que comparten geometría (tienen coordenadas en común).
- Inserción de vértices de coordenada comunes en las entidades que comparten geometría.
- Ejecución de un conjunto de comprobaciones de integridad para identificar cualquier infracción de las reglas definidas para la topología.

Una vez validada una nueva topología, las ediciones subsiguientes se señalan mediante áreas sin validar que identifican los subconjuntos del dataset de entidades que se deben volver a validar. De este modo, se ahorra tiempo y mejora el rendimiento porque se podrán procesar solo las áreas que se deben volver a validar.

Para validar una topología en la ventana de ArcCatalog, en la vista de árbol, se hizo clic con el botón derecho en la topología creada y, a continuación, se hizo clic en “*Validar*”.

C. Incorporación de la topología a ArcMap

Para acceder a las propiedades de visualización de una capa de topología, debe proceder exactamente de la misma manera que para cualquier otra capa: Se hizo clic con el botón derecho en el nombre de la capa y, a continuación, se hizo clic en “*Properties*” (“Propiedades”). Después, Se hizo clic en la ficha Simbología para cambiar las propiedades de dibujo de la topología.

D. Edición de topología

ArcMap contiene varias funciones y herramientas avanzadas para administrar y editar una topología. A continuación, se describe el proceso general que se empleó para editar una topología:

- 1) En ArcMap se agregó las capas de mapa para las clases de entidad de la topología a editar. Asimismo, se agregó la topología que se va editar.
- 2) Se llevó a cabo la edición.
- 3) Se agregó la barra de herramientas “*Topology*” (“Topología”) a ArcMap; para ello, se hizo clic en “*Customize*” (“Personalizar”), se eligió la barra de herramientas y, a continuación, se hizo clic en “*Topology*”.
- 4) Se realizaron los cambios respectivos y se guardaron.
- 5) Se realizó la validación de la topología.
- 6) Se revisaron los errores en la ventana “*Error Inspector*” (Inspector de Errores) y se corrigieron errores de topología. A continuación, se validó y guardaron los cambios.

7.1.2.4. Estructuración de la base de datos

La concepción final es constituir una base de datos hidrográfica topológica que sirva como soporte para la gestión de los recursos hídricos. Para el logro de este objetivo, es preciso diseñar e implementar un modelo de base de datos, lo cual se logrará a medida que se construya y adecue la base geoespacial y se defina la información requerida por el usuario final.

En este primer paso, se diseñó una estructura inicial de la base de datos de cursos de agua; así como, de lagos y lagunas. Posteriormente, estas tablas, y otras que se irán incorporando, experimentarán procesos de normalización y conformarán un sistema relacional de base de datos.

En el cuadro siguiente, se muestra la estructura de la tabla de atributos de la clase de entidad “Red_hidrica”.

Cuadro 7.3
Estructura de la Tabla de Atributos de la Clase de entidad “Red_hidrica”

ID	Campo	Tipo de dato	Longitud	Descripción
1	OBJECTID	Object ID		Identificador interno del sistema
2	Shape	Geometry		Geometría de la clase de entidad
3	Shape_Length	Double		Longitud calculada por el sistema automáticamente (m)
4	Enable	Short		Indicador de disponibilidad del elemento a ser utilizado

5	TxCodcur	Text	12	Código de de curso de agua
6	EnNivcur	Short		Nivel alcanzado por el curso de agua
7	TxCodrio	Text	15	Código de río
8	TxCuerpodag	Text	25	Tipo de cuerpo de agua
9	TxEnlace	Text	8	Enlace en el nombre de río
10	TxNomrio	Text	30	Nombre de río
11	TxNomriocom	Text	50	Nombre de río completo
12	TxCodtramN1	Text	1	Código de tramo en el nivel 1
13	TxCodtramN2	Text	2	Código de tramo en el nivel 2
14	TxCodtramN3	Text	3	Código de tramo en el nivel 3
15	TxCodtramN4	Text	4	Código de tramo en el nivel 4
16	TxCodtramN5	Text	5	Código de tramo en el nivel 5
17	TxCodtramN6	Text	6	Código de tramo en el nivel 6
18	TxCodtramN7	Text	7	Código de tramo en el nivel 7
19	TxCodtramN8	Text	8	Código de tramo en el nivel 8
20	TxCodtramN9	Text	9	Código de tramo en el nivel 9
21	TxCodtramN10	Text	10	Código de tramo en el nivel 10
22	TxCodtramN11	Text	11	Código de tramo en el nivel 11
23	TxCodtramN12	Text	12	Código de tramo en el nivel 12
24	TxCodtram	Text	12	Código final del tramo de curso de agua
25	EnNivtram	Short		Nivel alcanzado por el tramo de curso de agua
26	TxTiptram	Text	3	Tipo de cuerpo de agua en el tramo
27	DeLontramkm	Double		Longitud cartográfica del tramo de curso de agua (km)
28	DeZmintram	Double		Altitud mínima del tramo de curso de agua (msnm)
29	DeZmaxtram	Double		Altitud máxima del tramo de curso de agua (msnm)
30	DeMtrampor	Double		Pendiente del tramo de curso de agua (%)
31	EnStrah	Short		Clasificación ordinal de Strahler del tramo de curso de agua
32	EnShrev	Short		Clasificación ordinal de Shreve del tramo de curso de gua

Fuente: Elaboración propia

7.1.3. Codificación de los cursos de agua

El proceso de codificación de cursos de agua se sustenta en la metodología del ingeniero brasileño Otto Pfafstetter, de codificación de unidades hidrográficas, en la que se ha creído conveniente incorporar una variación, referida principalmente a la exclusión de los códigos impares que, en la indicada metodología, son empleadas para codificar las unidades hidrográficas de tipo intercuenca.

Al igual que en las unidades hidrográficas, esta codificación permite la jerarquización de los cursos, además identifica y define la ubicación del curso principal y sus tributarios, estableciendo una relación topológica entre ellos en la cuenca. (Figura 7.1)

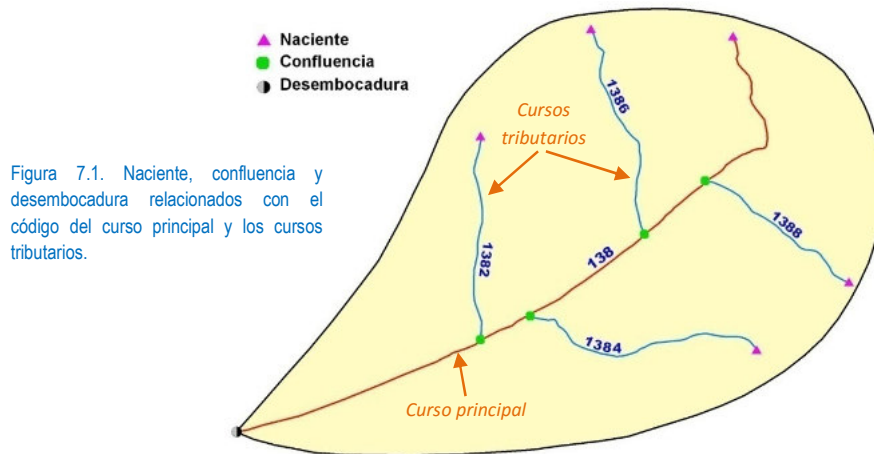


Figura 7.1. Naciente, confluencia y desembocadura relacionados con el código del curso principal y los cursos tributarios.

En suma, la metodología aplicada a los cursos de agua, asigna los códigos de las cuencas hidrográficas a sus cursos principales, permitiendo establecer una relación tanto topológica como espacial entre ambas entidades geográficas.

7.1.3.1. Características de la metodología Pfafstetter para cursos de agua

Teniendo como referencia las características de la metodología Pfafstetter para unidades hidrográficas, se presentan las siguientes adaptaciones para la codificación de cursos de agua:

- El sistema de codificación de cursos de agua es jerárquico, basado en su ubicación dentro del sistema de drenaje continental.
- El código del curso es único dentro del continente.
- A cada curso se le asigna un código par, que es el mismo que posee su cuenca, en la que es curso principal.
- El código hace un uso mínimo de dígitos, siendo concordante con el nivel de jerarquía del curso y de la cuenca.
- La distinción entre curso principal y tributario está en función del área de drenaje. Así, en cualquier confluencia, el curso principal será siempre aquel que posee la mayor área drenada entre ambos.
- Para la codificación de los cursos principales será necesario determinar su recorrido, desde su desembocadura, o punto de confluencia, hasta su nacimiento.
- En la automatización SIG, en la red hídrica, a los tramos de curso de agua que conforman un curso de agua, les son asignados el mismo código de ese curso de agua.

7.1.3.2. Proceso de codificación

A. Metodología para la codificación de cursos de agua

1) Definición del curso principal de la cuenca

La codificación de los cursos en una cuenca hidrográfica se inicia con la determinación del curso principal, desde su desembocadura hasta su nacimiento. (Figura 7.2)

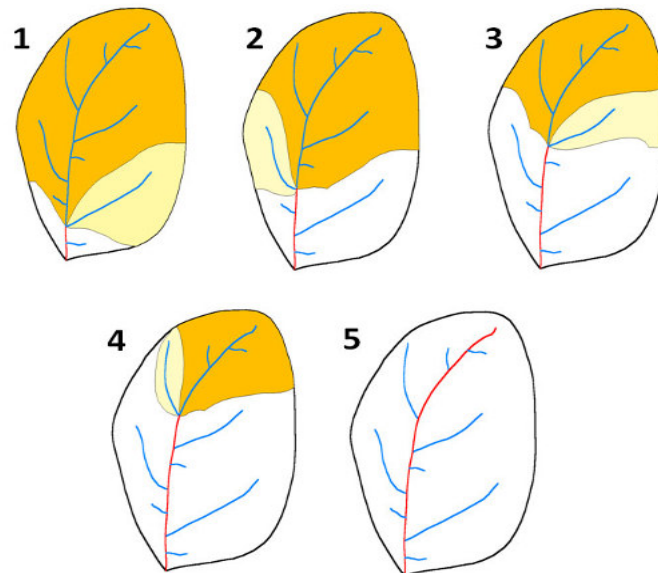


Figura 7.2. Definición del curso principal (línea roja) de una cuenca hidrográfica.

En cualquier confluencia, el curso principal será siempre aquel que posea la mayor área de drenaje.

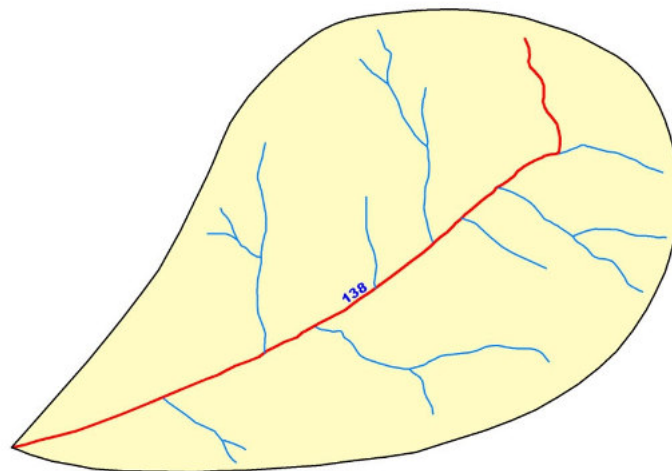


Figura 7.3. El código del curso principal posee el código de la cuenca a la que pertenece.

2) Codificación de cursos tributarios en unidades hidrográficas de tipo cuenca

La definición de los cursos tributarios se basa en las unidades hidrográficas de tipo cuenca, determinadas como cuencas tributarias con la metodología Pfafstetter (Refiérase a los pasos 2 y 3 del Subcapítulo 5.3 del presente documento: “Proceso de Codificación”).

Los cursos tributarios son cursos principales de las cuencas tributarias, y reciben el código de éstas.

A los cursos tributarios le son asignados códigos pares (terminados en “2”, “4”, “6” y “8”), codificados en sentido desde aguas abajo hacia aguas arriba, tal como indica el método Pfafstetter. (Figura 7.4)

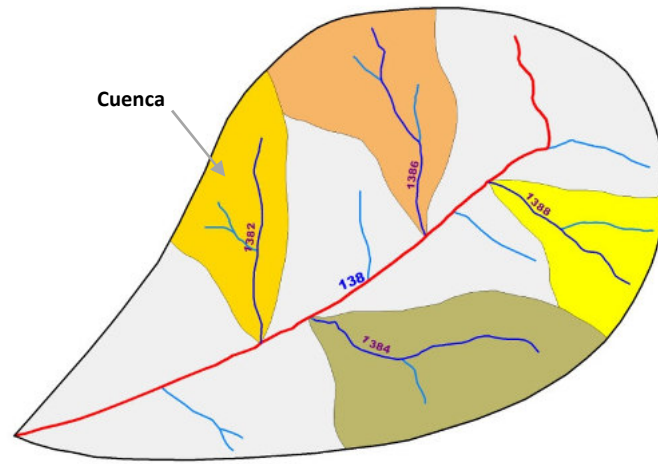


Figura 7.4. Codificación de los cursos tributarios.

3) Codificación de cursos tributarios en unidades hidrográficas de tipo intercuenca

Las intercuenca son unidades hidrográficas de paso del curso principal y, de acuerdo a la metodología Pfafstetter, son codificadas con códigos impares (terminados en “1”, “3”, “5”, “7” y “9”) (Figura 7.5), codificadas en sentido de aguas abajo hacia aguas arriba (Refiérase al paso 3 del Subcapítulo 5.3 de este documento: “Proceso de Codificación”). La unidad hidrográfica con código terminado en “9”, es una excepción, no obstante de poseer código impar, será geomorfológicamente una unidad hidrográfica de tipo cuenca y en ella se encontrará la naciente del río principal.

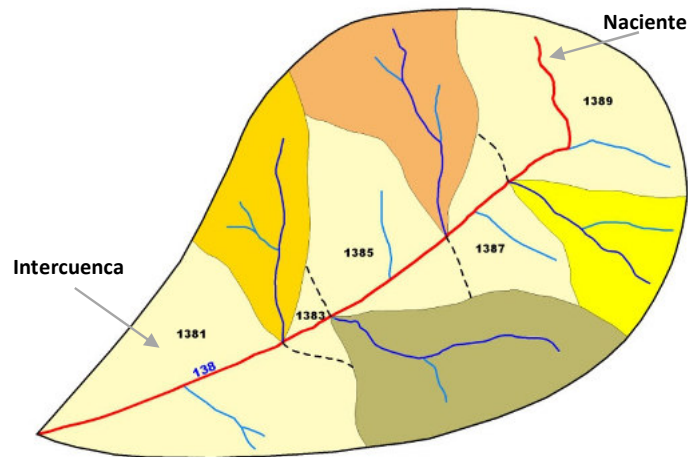


Figura 7.5. Codificación de los cursos tributarios en unidades hidrográficas de tipo intercuenca.

La codificación de los cursos de agua en intercuenas, conservará el principio de definir las cuatro cuencas de mayor área de drenaje y asignar sus códigos a sus cursos principales respectivos.

En este ejemplo aplicativo (Figura 7.6), se muestra el proceso de codificación de cursos de agua en unidades hidrográficas de tipo intercuenca. Las intercuenas poseen solamente un curso de agua; estos cursos por ser únicos, se les asigna el primer código par (terminado en "2"), así tenemos los cursos de agua con sus códigos: "13812", "13852", "13872" y "13892".

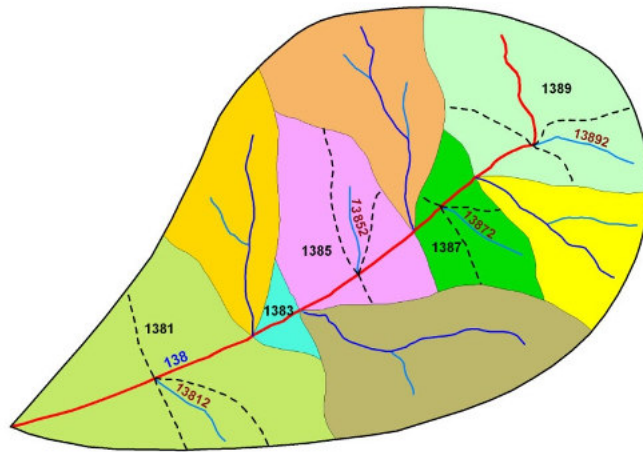


Figura 7.6. Codificación de cursos en unidades tipo intercuenca.

4) Subdivisión y Codificación de cursos de agua en unidades de menor jerarquía

La codificación de los cursos menores sigue el mismo procedimiento anteriormente explicado (Figura 7.7).

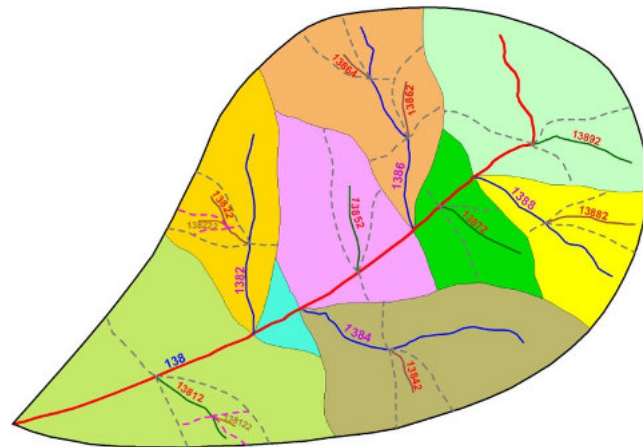


Figura 7.7. Codificación de cursos de agua de menor jerarquía.

5) Disposición final de cursos de agua

Finalmente, los cursos de agua de la red hídrica quedan codificados. (Figura 7.8)

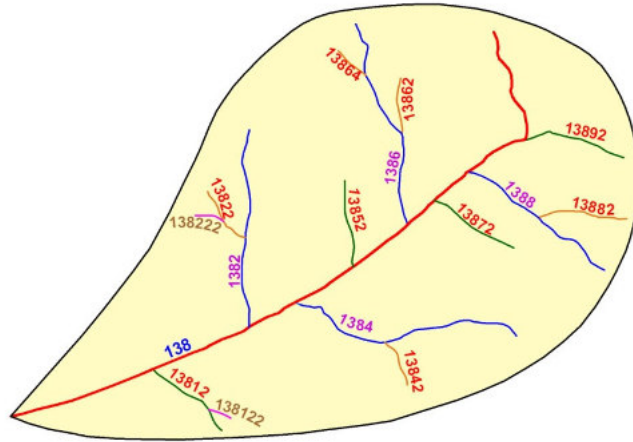


Figura 7.8. Red hídrica con sus cursos de agua codificados.

Cabe recordar que, en una red hídrica digital, los cursos de agua están conformados por un conjunto de tramos de cursos de agua conectados, los cuales le son asignados el código del curso de agua en el que se encuentran comprendidos.

B. Codificación basada en unidades hidrográficas pre-definidas

La codificación de cursos de agua basada en unidades hidrográficas predeterminadas, es el proceso de mayor frecuencia y el más sencillo que se lleva a cabo.

Para este proceso solo se requiere contar con una cobertura, o clase de entidad, de unidades hidrográficas, de las cuales se obtendrán los códigos para los cursos de agua. Los códigos requeridos provendrán de las unidades hidrográficas de tipo cuenca, que permitirán que éstas se relacionen con sus cursos de agua principales, a los cuales se les asigna el mismo código.

La principal tarea, en este proceso, es la definición de los cursos de agua principales para cada cuenca predeterminada, seleccionando adecuadamente los tramos de cursos de agua comprometidos, los cuales tendrán registrados el mismo código del curso principal y, en consecuencia, de su cuenca.

Este proceso de codificación, no obstante de constituirse el proceso más sencillo de llevar a cabo, tiene su limitación, la cual reside en el nivel alcanzado por la delimitación y codificación de unidades hidrográficas pre-definidas. El nivel de codificación alcanzado por las unidades hidrográficas será el mismo que alcance la codificación de cursos de agua, tal como se muestra en la figura 7.9.

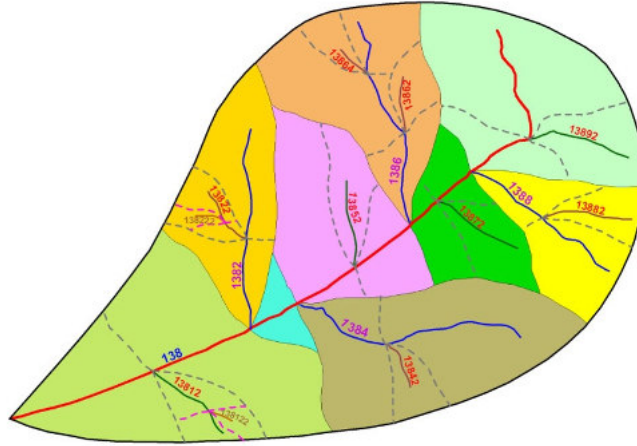


Figura 7.9. Codificación de cursos de agua basada en unidades hidrográficas pre-definidas.

C. Codificación mediante el empleo de modelos digitales de elevación

La codificación de cursos de agua mediante el empleo de modelos digitales de elevación es un proceso de mayor laboriosidad, requiriendo experiencia y concentración en las tareas de definición y codificación de los cursos de agua.

La ventaja de este proceso de codificación radica en la posibilidad de alcanzar niveles mayores de codificación de los cursos de agua, permitiendo, incluso, lograr la codificación integral de los cursos de agua de la red hídrica presente en la Carta Nacional 1:100.000, tal como lo evidencian los resultados del trabajo, que se expone en el presente documento.

Este proceso se basa principalmente en la manipulación de los valores de acumulación de flujo de la red hídrica ráster, con el propósito de encontrar el umbral de acumulación adecuado para la definición de cursos de agua, en determinada unidad hidrográfica. Con este proceso se logra prescindir de una cobertura de unidades hidrográficas pre-definidas, superando la limitación que experimentaba el proceso anterior de codificación (Codificación basada en unidades hidrográficas pre-definidas), posibilitando la codificación de los cursos de agua menores.

Las tareas comprendidas en este proceso de codificación, se describen a continuación:

1) Obtención de la acumulación de flujo de la red hídrica

La acumulación de flujo ("Flow Accumulation"), es el resultado de un proceso que se inicia con el modelo digital de elevación (Para mayor detalle refiérase al Capítulo VI – "Actualización de Unidades Hidrográficas", Subcapítulo 6.1 - "Metodología para el Sistema de Información Geográfica").

Los modelos digitales de elevación empleados en este proceso, provienen de los proyectos SRTM (Misión Espacial para Topografía de Radar) – NASA, HydroSHED – WWF y ASTER GDEM – METI/NASA, que están disponibles en Internet, los cuales poseen una resolución espacial de 3 segundos de arco (90 metros aproximadamente); a excepción del último, que posee una resolución espacial de 30 metros.

El modelo digital de elevación, una vez acondicionado hidrológicamente, mediante el empleo de la herramienta "Fill" de ArcGis, permite la subsanación de incoherencias

topográficas, creando un nuevo modelo digital de elevación exento de los errores indicados, quedando expedito para el siguiente paso. (Figura 7.10)

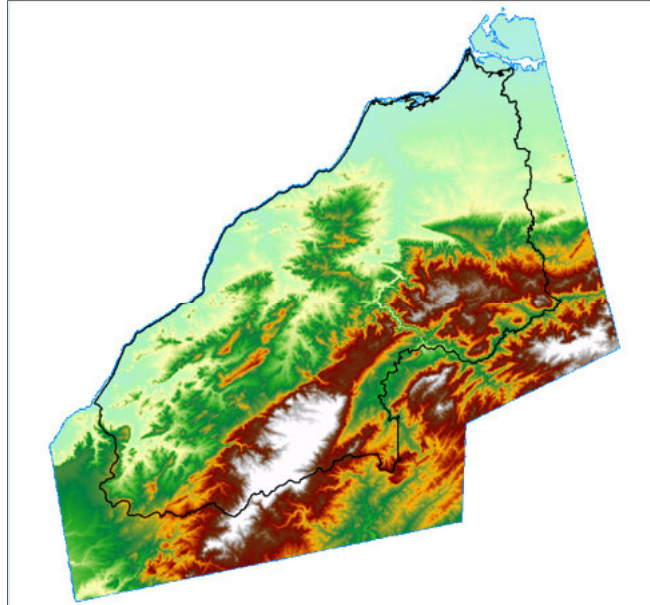


Figura 7.10. Modelo digital de elevación HydroSHED.

Con el modelo digital de elevación corregido, es posible generar el ráster de dirección de flujo de la red hídrica en estudio, mediante el empleo de la herramienta, “*Flow Direction*” de ArcGis. Este ráster generado, consiste en una matriz de celdas (píxeles) con valores enteros determinados, los cuales indican la dirección del flujo de los cursos comprendidos en la red hídrica estudiada (Para mayor detalle refiérase al Capítulo VI – “Actualización de Unidades Hidrográficas”, Subcapítulo 6.1 - “Metodología para el Sistema de Información Geográfica”). (Figura 7.11)

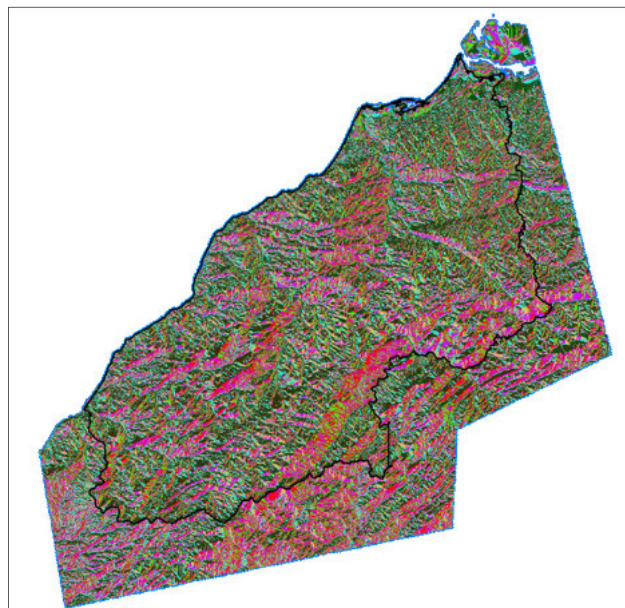


Figura 7.11. Ráster de dirección de flujo.

Teniendo como insumo el ráster de dirección de flujo, con el empleo de la herramienta “*Flow Accumulation*” de ArcGis, se generó el ráster de acumulación de flujo, conformado por píxeles con valores enteros, lo cuales representan el flujo acumulado para cada celda, determinado por la acumulación de la cantidad de celdas que fluyen hacia cada celda de pendiente descendente. (Figura 7.12)



Figura 7.12. Ráster de acumulación de flujo.

2) Definición del umbral de acumulación

Entiéndase como umbral, al valor mínimo de un estímulo, a partir del cual un fenómeno se vuelve perceptible.

Basados en la definición anterior, se puede expresar que este proceso consiste en determinar el valor de acumulación mínimo que permita obtener visualmente los cursos necesarios para la conformación de unidades hidrográficas, de acuerdo con la metodología Pfafstetter: “cuatro (04) unidades de drenaje tipo cuenca (cuyas áreas de drenaje sean las mayores) y cinco (05) de tipo intercuena. Para esto, es importante conocer que **las mayores áreas de drenaje corresponden a las mayores acumulaciones de flujo**. Por tanto, los cuatro tributarios con las mayores acumulaciones de flujo, corresponden a las cuatro unidades hidrográficas con las mayores áreas de drenaje.

Este es un procedimiento iterativo de ensayo y error, aplicado directamente sobre el ráster de acumulación de flujo; siendo, hasta el momento, la manera más sencilla de determinar el umbral de acumulación óptimo para obtener los tributarios necesarios. En este proceso, se debe procurar que el valor de acumulación de flujo sea adecuadamente definido con el propósito de visualizar el flujo principal y cuatro (04) tributarios. (Figura 7.13)

En ArcGis, este procedimiento se realiza en la ventana “*Layer Properties*”, haciendo doble clic sobre el tema de acumulación de flujo (Para mayor detalle refiérase al

Capítulo VI – “Actualización de Unidades Hidrográficas”, Subcapítulo 6.1 - “Metodología para el Sistema de Información Geográfica”).

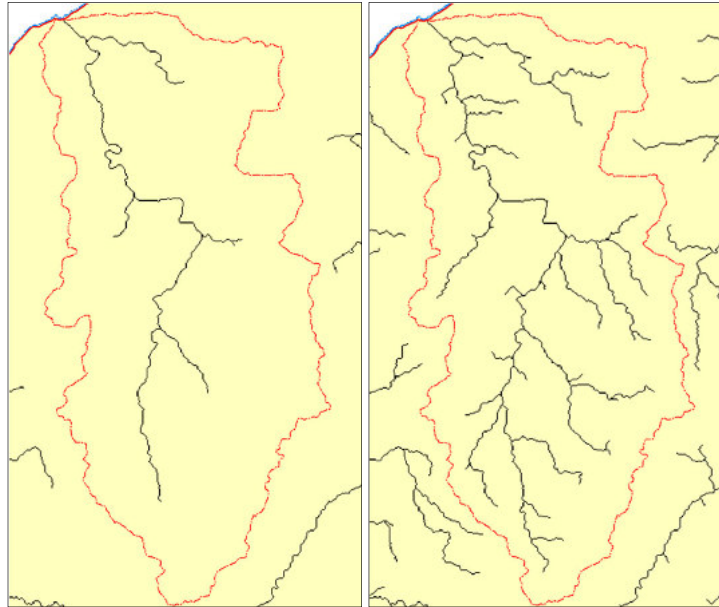


Figura 7.13. Comparación de dos (02) valores de umbral de acumulación: 5000 (izquierda) y 1000 (derecha). A mayor valor del umbral, menores cursos serán visibles.

3) Codificación

En el proceso de codificación, a los tramos de cursos de agua de la red hídrica digital, le son asignados códigos Pfafstetter; los cuales son almacenados en la tabla de atributos correspondiente, diseñada y organizada adecuadamente con anterioridad (Refiérase al ítem 7.1.2.4: “Estructuración de la base de datos”).

Este código es obtenido como resultado de la aplicación de la metodología Pfafstetter en la definición del umbral de acumulación adecuado, (Refiérase ítem anterior, 2: “Definición del umbral de acumulación”). Este umbral de acumulación, para una unidad hidrográfica cualquiera, permite la visualización de un curso principal y sus cuatro cursos tributarios, lo cual posibilita definir visualmente los códigos para cada uno de los nueve (09) tramos de cursos de agua generados: cinco (05) tramos en el curso de agua principal, más cuatro (04) cursos tributarios. (Figura 7.14)

a. Metodología para el Sistema de Información Geográfica

En el ambiente SIG, este proceso se realiza mediante el empleo del ráster de acumulación de flujo como capa de fondo, el cual es manipulado para obtener adecuados umbrales de acumulación, según sea el caso. Sobre esta capa de fondo, se ubica la red hídrica vectorial, la misma que contiene los tramos de cursos de agua a codificar.

Para codificar los tramos de curso de agua de la red hídrica vectorial, se busca obtener visualmente los cursos ráster análogos a los cursos vectoriales que se desea codificar, a través de ensayos con los valores del umbral de acumulación, procurando cumplir con los requisitos básicos de la metodología Pfafstetter (un curso principal y cuatro

cursos tributarios). Conociendo previamente, la codificación de los cursos de niveles mayores, es posible deducir los códigos de los cursos de niveles menores subsiguientes. (Figura 7.15). Este proceso se repetirá hasta alcanzar el último curso de agua de la red hídrica vectorial, con lo que se conseguirá la codificación completa de la misma.

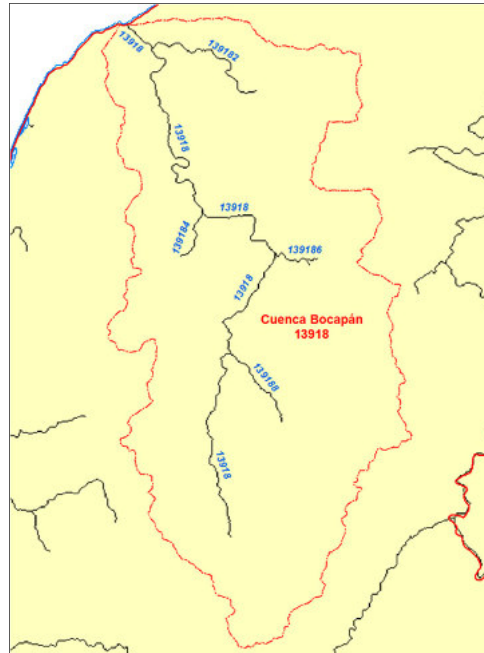


Figura 7.14. Definición de la codificación de los tramos de cursos de agua obtenidos luego de la aplicación del umbral de acumulación adecuado.

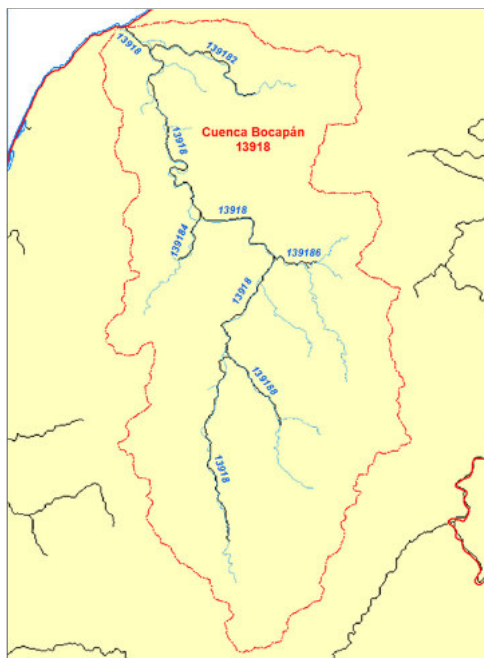


Figura 7.15. Identificación y codificación de los cursos análogos vectoriales.

Después de que cada tramo de curso de agua recibe su codificación, el código puede ser almacenado en un banco de datos relacional y, por medio de consultas, seleccionar todas las cuencas e intercuenas aguas arriba o aguas debajo de un tramo. La codificación de cuencas de Otto Pfafstetter y su adaptación para la codificación de cursos de agua, actúan como índices espaciales específicos para reglas de negocio en los sistemas de información de gestión de recursos hídricos.

7.1.4. Codificación de lagos y lagunas

La codificación de lagos y lagunas consiste en asignar a estos cuerpos de agua, el código del curso de agua con el cual tiene relación hídrica más cercana. En el caso que más de un lago o laguna se encuentren relacionados a un curso de agua, estos recibirán el mismo código del curso asociado, más la letra “a”, “b”, “c” o “d”, etc., de acuerdo a su ubicación altitudinal, iniciando desde la más baja hacia la más alta. (Figura 7.16)

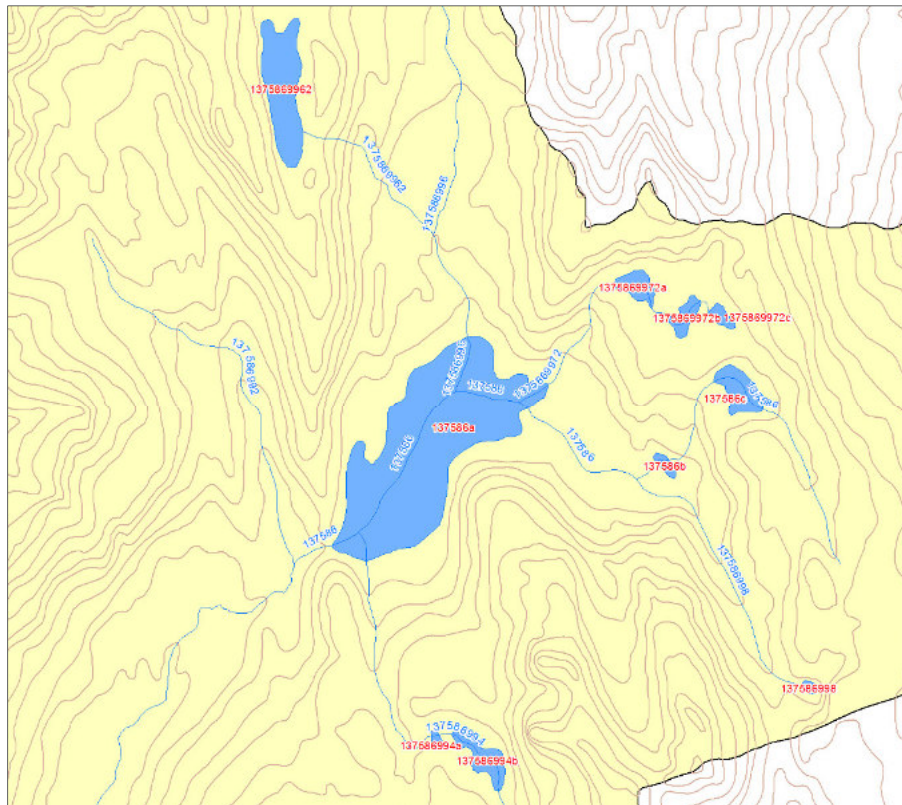


Figura 7.16. Ejemplos de codificación de lagunas, las cuales asumen el código del curso de agua con el que se relacionan. En uno de los casos que puede apreciarse en la figura, las lagunas del curso de agua 137586, desde aguas abajo hacia aguas arriba, asumen los códigos 137586a, 137586b y 137586c, respectivamente.

7.1.5. Generación de datos complementarios

Con la red hídrica construida topológicamente y la codificación de cursos de agua concluida, fue posible, con la ayuda de las herramientas SIG y los modelos digitales de elevación, generar datos adicionales de sus componentes hídricos, los cuales fueron incorporados a la base de datos de la red hídrica.

Fueron ocho (08) los datos complementarios generados, de los cuales seis (06) de ellos fueron obtenidos mediante cálculos independientes, y los restantes (02), mediante cálculos y procesos, donde se requirió la participación de algunos de los datos independientes. A continuación, se describirán brevemente estos datos complementarios:

A. Tipología

Se refiere a los tipos de cursos de agua respecto a su régimen fluvial y características geomorfológicas, pudiendo distinguirse los siguientes tipos: río, quebrada, quebrada intermitente, quebrada seca, estuario, entre otros. Esta tipología es concordante con la registrada en la Carta Nacional Topográfica 1:100.000.

Es importante mencionar que, a algunos tramos de curso de agua le fueron asignados como tipo, “lago” o “laguna”, debido a que estos representan a dichos cuerpos de agua en la red hídrica. Esta representatividad tiene como propósito evitar la discontinuidad de la red, procurando mantener la conectividad entre sus elementos.

B. Hidronimia

Son los nombres que le fueron asignados a cada tramo de curso de agua en la red hídrica, de acuerdo a la información topónima registrada en la Carta Nacional Topográfica 1:100.000.

C. Clasificación ordinal de Strahler

Es la aplicación de la clasificación ordinal de Strahler a los cursos de agua de la red hídrica, logrando definir una jerarquización de sus elementos hídricos, basada en la distribución espacial de sus cursos de agua, asignando un orden superior al curso de agua que resulta de la confluencia de dos cursos de agua del mismo orden.

D. Clasificación ordinal de Shreve

Es la aplicación de la clasificación ordinal de Shreve a los cursos de agua de la red hídrica, logrando definir una jerarquización de sus elementos hídricos, basada en la suma de tramos de curso de agua, desde las nacientes hacia la desembocadura. En suma, esta clasificación es la acumulación de cursos de agua de la red hídrica.

E. Longitud horizontal

Es el cálculo de la longitud horizontal (plana) de los tramos de curso de agua de la red hídrica, tal como son observados en los documentos cartográficos. Este valor no refleja la longitud real de los cursos de agua, pues no se encuentra afectada por la pendiente, principalmente. La longitud horizontal es calculada en kilómetros.

F. Altitud de nodos

Tal como se mencionó anteriormente, los nodos son elementos que establecen conexión topológica entre tramos de curso de agua, y en ese sentido, se ubican en los extremos de estos; existiendo siempre dos nodos por cada tramo de curso de agua.

Existe una convención en denominar al nodo, desde donde parte el flujo de agua, como “nodo inicial”, y como “nodo final”, al nodo hacia donde llega el flujo de agua.

Mediante el empleo de los modelos digitales de elevación (SRTM) fue posible obtener los valores altitudinales de los nodos, los cuales permitirán calcular la diferencia altitudinal entre los extremos de los tramos de curso de agua. En consecuencia, los “nodos iniciales” siempre poseerán mayor altitud que los “nodos finales”.

La diferencia altitudinal se obtiene empleando la expresión siguiente:

$$\Delta Alt. = Alt. NI - Alt. NF$$

Donde:

$\Delta Alt.$ = Diferencia altitudinal

$Alt. NI$ = Altitud del nodo inicial

$Alt. NF$ = Altitud del nodo final

G. Pendiente

Es el cálculo de la pendiente, en porcentaje, de los tramos de curso de agua de la red hídrica, mediante el empleo de la siguiente expresión:

$$\% m = \frac{\Delta Alt.}{Lh} \times 100$$

Donde:

$\% m$ = Pendiente en porcentaje

$\Delta Alt.$ = Diferencia altitudinal

Lh = Longitud horizontal en metros

H. Longitud superficial

Es el cálculo de la longitud superficial o inclinada de los tramos de curso de agua de la red hídrica. Este valor presenta una mejor aproximación a la longitud real, debido a que ha sido afectada por la pendiente del tramo correspondiente. La longitud superficial es calculada en kilómetros.

Para el cálculo de la longitud superficial se empleó la expresión siguiente:

$$Ls = \frac{\sqrt{(\Delta Alt.)^2 + (Lh)^2}}{1000}$$

Donde:

Ls = Longitud superficial en kilómetros

$\Delta Alt.$ = Diferencia altitudinal

Lh = Longitud horizontal en metros

Los resultados alcanzados en estos temas se describen detalladamente en el subcapítulo siguiente, 7.2 (“Resultado de la Codificación de Cursos de Agua Superficial”).

7.1.6. Creación de la red geométrica hídrica

Una red geométrica es una relación de conectividad entre una colección de clases de entidad de un dataset de entidad. Cada entidad tiene en la red geométrica una función de eje o de cruce. Varias clases de entidad pueden tener la misma función en una única red geométrica.

La metodología básica para crear una red geométrica es determinar qué clases de entidad participarán en la red y qué papel desempeñará cada una. Las redes geométricas se generan en "ArcCatalog".

Pasos:

- 1) Se hizo clic con el botón derecho en el dataset de entidad que contendrá la red.
- 2) Se situó el puntero en "New".
- 3) Se hizo clic en "Geometric Network".
- 4) Aparece la información del primer panel y se hizo clic en "Siguiente".
- 5) Se escribió un nombre para la nueva red geométrica.
- 6) Se aceptó el valor predeterminado de la tolerancia x,y del dataset de entidades.
- 7) Se hizo clic en "Siguiente".
- 8) Se hizo clic en las clases de entidad que desea incluir en esta red geométrica.
- 9) Se hizo clic en "Siguiente".
- 10) La tolerancia z (0,001 metros en unidades del mundo real). Se eligió "No" y se hizo clic en "Siguiente" para no utilizar valores z para la conectividad.
- 11) Se hizo clic en "Yes" en "Do you want to preserve existing enable value?"; esto está seleccionada de manera predeterminada.
- 12) Se hizo clic en "Siguiente".
- 13) Se hizo clic en la lista desplegable bajo Rol y se aceptó el valor predeterminado "Borde simple".
- 14) Se hizo clic en la lista desplegable bajo "Sources & Sinks" ("Orígenes y Sumideros") y se eligió "Yes", para que las clases de entidad de cruce actúen como fuentes o sumideros para la dirección del flujo de modelado y se hizo clic en "Siguiente".
- 15) En "Add weights to you network", se hizo clic en "Siguiente".
- 16) Se revisó las opciones que especificó para la nueva red, si son satisfactorias se hace clic en "Finish" para crear la nueva red geométrica.

A. Especificar la dirección del flujo basándose en orígenes y sumideros

Para establecer la dirección del flujo en una red geométrica utilizando los orígenes y sumideros, debe elegir los cruces de la red para actuar como orígenes y sumideros que producen la dirección de flujo correcta. En nuestro caso, basta con establecer como sumidero el punto de desembocadura de las redes hídricas para que la dirección de flujo se establezca en toda la red.

Después de establecer la dirección del flujo para la red, se puede producir flujo indeterminado aunque se conozca la dirección del flujo porque esté determinada por

propiedades de la red o por las entidades que componen la red, además de la conectividad o las ubicaciones de orígenes y sumideros.

En Arcmap, con la barra de herramientas *“Análisis de Redes de Servicios”*, se puede mostrar la dirección del flujo para los tramos de curso de agua, y puede mostrar qué cursos tienen dirección de flujo determinada, dirección de flujo indeterminada o flujo no inicializado.

Pasos:

- 1) En la barra de herramientas *“Análisis de Redes de Servicios”*, se hizo clic en *“Flujo > Mostrar flechas para”* y se hizo clic en las capas para las que desea mostrar la dirección del flujo.
- 2) Se hizo clic en *“Propiedades”*.
- 3) Se hizo clic en la ficha *“Propiedades de flecha”*.
- 4) Se hizo clic en una categoría de flujo en la lista y se hizo clic en el botón para especificar el tamaño y color de las flechas de dirección del flujo.
- 5) Se hizo clic en la ficha *“Escala”* y especifique las escalas con las que desea mostrar las flechas de dirección del flujo.
 - Para mostrar las balanzas a todas las escalas, haga clic en *“Mostrar flechas a todas las escalas”*.
 - Para mostrar solo las flechas dentro de un rango de escala, haga clic en *“No mostrar flechas cuando se haga zoom”* y escriba los límites del rango de escala en los cuadros de texto.
- 6) Se hizo clic en *“Aceptar”*.
- 7) Se hizo clic en *“Flujo > Mostrar Flechas”*.

Se muestran las flechas que simbolizan la dirección del flujo. (Figura 7.17)

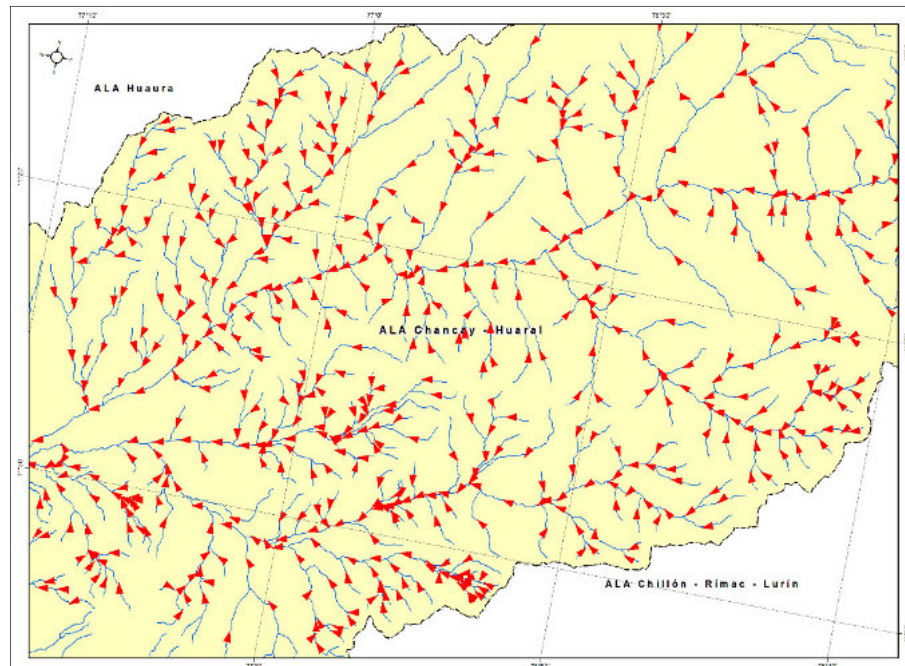


Figura 7.17. Direcciones de flujo en los tramos de curso de agua de la red hídrica, evidenciadas por flechas de color rojo.

7.2 Resultado de la codificación de cursos de agua superficial

En las siguientes líneas se ha procurado describir detalladamente los resultados obtenidos en el proceso de codificación realizado en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca. De igual manera, se describen los productos adicionales obtenidos en los mencionados procesos, que guardan importancia en la gestión de los recursos hídricos superficiales.

7.2.1. Administración Local de Agua Barranca

7.2.1.1. Codificación de cursos de agua superficial

En conjunto, las representaciones digitales (SIG) de las redes hídricas comprendidas en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca, suman 3.210 tramos de curso de agua, de los cuales, luego del proceso de codificación, se obtuvieron 1.600 cursos de agua, de acuerdo a la metodología adoptada para la codificación de cursos de agua, basada en el sistema de codificación Pfafstetter para unidades hidrográficas. (Figura 7.18)

En cuanto a los niveles de jerarquía, los cursos de agua codificados presentan la siguiente distribución: un curso de agua es de nivel 5, 8 son de nivel 6, 49 son de nivel 7, 302 de nivel 8, 703 son de nivel 9, 463 cursos son de nivel 10, 71 son de nivel 11 y 3 cursos de agua son de nivel 12. (Cuadro 7.4 y Figura 7.19)

Cuadro 7.4
Distribución de cursos de agua codificados por niveles de jerarquía en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca

NIVELES	Nivel 5	Nivel 6	Nivel 7	Nivel 8	Nivel 9	Nivel 10	Nivel 11	Nivel 12	TOTAL
Número de cursos de agua	1	8	49	302	703	463	71	3	1.600

Fuente: Elaboración propia

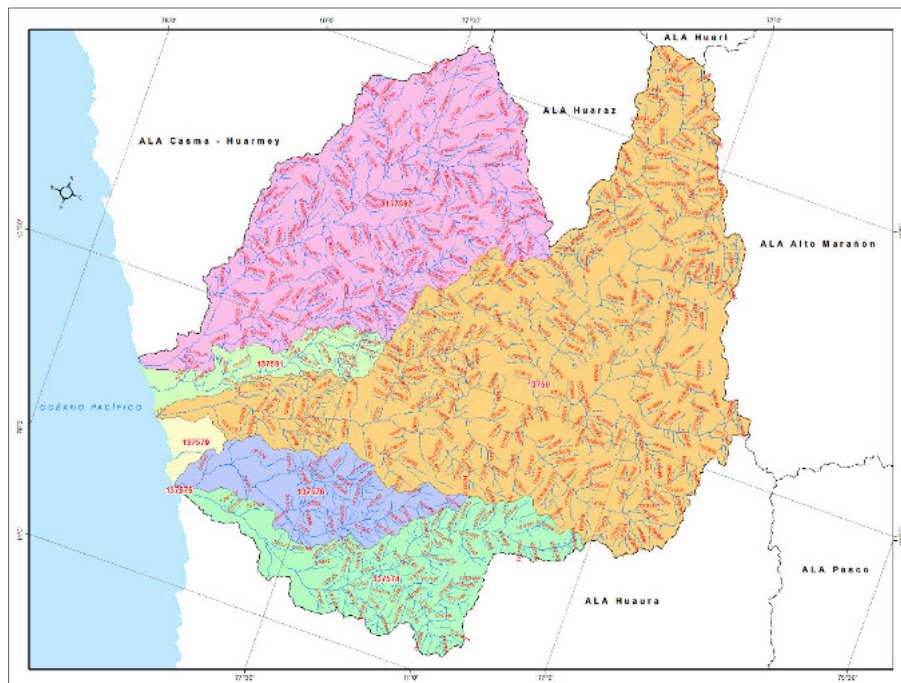


Figura 7.18. Administración Local de Agua Barranca: 1.600 cursos de agua obtenidos del proceso de codificación.

7.2.1.2. Codificación de lagos y lagunas

Se codificaron trescientos dos (302) lagunas en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca, doce (12) de ellas alcanzaron el nivel 6, veintinueve (29) llegaron al nivel 7, setenta y ocho (78) tienen el nivel 8, ciento dieciséis (116) se encuentran en el nivel 9, cincuenta y siete (57) son del nivel 10 y diez (10) alcanzaron el nivel 11. Toda esta información se encuentra registrada en su respectiva base de datos. En el Cuadro 7.5, se muestra el contenido de la mencionada base de datos.

Cuadro 7.5
Resumen del contenido de la Base de Datos de lagunas codificadas en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca

ID	CODIGO CURSO	CODIGO LAGUNA	TIPO	NOMBRE	NIVEL	SUP. (has.)
1	1375749292	1375749292a	Lagunas	Totorococha	10	0.02
2	1375749292	1375749292b	Lagunas	Totorococha	10	0.01
3	1375749294	1375749294	Laguna	Segua	10	0.02
4	1375749542	1375749542	Laguna	NN	10	0.01
5	13757495422	13757495422a	Laguna	Chalhuacocha	11	0.01
6	13757495422	13757495422b	Laguna	Chalhuacocha	11	0.01
7	1375749644	1375749644	Laguna	Leon Jato	10	0.01
8	137574966	137574966	Laguna	Zapatococha	9	0.00
9	137574968	137574968	Laguna	NN	9	0.02
10	13757498	13757498	Laguna	Rascusuman	8	0.11
11	137574984	137574984	Laguna	Achumanca	9	0.00
12	1375749852	1375749852	Laguna	NN	10	0.01
13	137574986	137574986	Laguna	NN	9	0.06
14	1375749872	1375749872	Laguna	Vinococha	10	0.02
15	137574992	137574992	Lagunas	Shulushcocha	9	0.01
16	13757499322	13757499322	Laguna	Chutococha	11	0.01
17	1375749962	1375749962	Laguna	NN	10	0.01
18	1375749972	1375749972	Laguna	Marcahuain	10	0.02
19	137574998	137574998	Laguna	Goyarcocha	9	0.09
20	13757499912	13757499912	Lagunas	Champacocha	11	0.02
21	13757499914	13757499914	Laguna	NN	11	0.01
22	13757499922	13757499922	Laguna	NN	11	0.01
23	1375749996	1375749996	Laguna	Estrellacocha	10	0.02

24	137574	137574a	Laguna	NN	6	0.12
25	137574	137574b	Lagunas	Jururcocha	6	0.16
26	137574	137574c	Laguna	Aguascocha	6	0.10
27	137574	137574d	Laguna	NN	6	0.02
28	1375822	1375822	Laguna	Pascacocha	7	0.01
29	13758226	13758226	Laguna	Millishcocha	8	0.01
30	13758228	13758228	Laguna	Carcuycocha	8	0.01
31	137582292	137582292	Laguna	Tillishcocha	9	0.02
32	1375822922	1375822922	Laguna	Condorcocha	10	0.07
33	137582296	137582296	Laguna	Yanacocha	9	0.01
34	137582642	137582642	Laguna	NN	9	0.01
35	13758264	13758264a	Laguna	NN	8	0.01
36	13758264	13758264b	Laguna	Aracocha	8	0.05
37	13758266	13758266	Laguna	Tacracocha	8	0.06
38	13758268	13758268	Laguna	NN	8	0.01
39	137582692	137582692a	Laguna	Abascocha	9	0.03
40	137582692	137582692b	Laguna	NN	9	0.01
41	137582692	137582692c	Laguna	NN	9	0.01
42	137582692	137582692d	Laguna	NN	9	0.00
43	137582692	137582692e	Laguna	NN	9	0.01
44	137582832	137582832a	Laguna	NN	9	0.01
45	137582832	137582832b	Laguna	NN	9	0.00
46	13758288	13758288	Laguna	Yanacocha	8	0.17
47	1375828	1375828a	Laguna	Quimacocha	7	0.12
48	1375828	1375828b	Laguna	Quimacocha	7	0.05
49	1375828	1375828c	Laguna	Quimacocha	7	0.03
50	13758294	13758294	Laguna	Yanacocha	8	0.07
51	137582942	137582942	Laguna	Yanacocha	9	0.03
52	137582952	137582952	Laguna	Pucayacu	9	0.02
53	13758296	13758296	Laguna	Huancarican	8	0.06
54	137582962	137582962	Laguna	Huancarican	9	0.02
55	137582982	137582982	Laguna	Huachhuacocha	9	0.06

56	13758298	13758298a	Laguna	Aradococha	8	0.04
57	13758298	13758298b	Laguna	Sacnacocha	8	0.06
58	137582	137582a	Laguna	Chonta baja	6	0.06
59	137582	137582b	Laguna	Chonta baja	6	0.05
60	1375832992	1375832992a	Laguna	NN	10	0.01
61	1375832992	1375832992b	Laguna	NN	10	0.01
62	1375832994	1375832994	Laguna	NN	10	0.01
63	1375832996	1375832996	Lagunas	Urupunchi	10	0.02
64	1375832	1375832a	Lagunas	Urupunchi	7	0.03
65	1375832	1375832b	Lagunas	Urupunchi	7	0.23
66	13758436	13758436	Laguna	Huacra	8	0.01
67	1375844	1375844	Laguna	Palococha	7	0.01
68	137584522	137584522	Laguna	Pausha	9	0.01
69	13758454	13758454	Laguna	Champacocha	8	0.01
70	137584564	137584564	Laguna	NN	9	0.01
71	137584566	137584566	Laguna	NN	9	0.01
72	137584586	137584586	Laguna	Vinococha	9	0.01
73	1375845882	1375845882	Laguna	Estrellacocha	10	0.01
74	13758458	13758458a	Laguna	NN	8	0.01
75	13758458	13758458b	Laguna	NN	8	0.02
76	13758464	13758464	Laguna	Sullacocha	8	0.01
77	13758472	13758472	Laguna	Torococha	8	0.01
78	137584842	137584842	Laguna	Yanagaga	9	0.02
79	137584844	137584844	Laguna	NN	9	0.03
80	13758484	13758484a	Laguna	Zapatococha	8	0.03
81	13758484	13758484b	Laguna	NN	8	0.01
82	137584882	137584882a	Laguna	Raracocha	9	0.02
83	137584882	137584882b	Laguna	Agnashcocha	9	0.01
84	13758488	13758488a	Laguna	Torococha	8	0.02
85	13758488	13758488b	Laguna	Murucocha	8	0.06
86	13758488	13758488c	Laguna	Gallococha	8	0.01
87	137584922	137584922a	Laguna	Rucma	9	0.05

88	137584922	137584922b	Laguna	NN	9	0.05
89	137584922	137584922c	Laguna	NN	9	0.02
90	1375849242	1375849242	Laguna	NN	10	0.01
91	137584924	137584924a	Laguna	Sondoriana	9	0.08
92	137584924	137584924b	Laguna	Tayacocha	9	0.09
93	137584924	137584924c	Laguna	Huillacocha	9	0.01
94	137584926	137584926	Laguna	NN	9	0.01
95	137584938	137584938	Laguna	Peñicocha	9	0.03
96	1375849422	1375849422a	Laguna	NN	10	0.01
97	1375849422	1375849422b	Laguna	NN	10	0.00
98	13758494	13758494a	Laguna	Tocto	8	0.17
99	13758494	13758494b	Laguna	NN	8	0.01
100	1375849542	1375849542	Laguna	NN	10	0.01
101	137584956	137584956	Laguna	Huachac	9	0.01
102	1375864	1375864	Laguna	Secra	7	0.02
103	137586444	137586444	Laguna	Saquicocha	9	0.01
104	137586494	137586494	Laguna	NN	9	0.01
105	1375864942	1375864942	Laguna	Chunchor	10	0.01
106	137586498	137586498	Laguna	Saquicocha	9	0.02
107	1375866	1375866	Laguna	Shishan	7	0.01
108	13758668	13758668	Laguna	Lacsha	8	0.02
109	137586692	137586692	Laguna	NN	9	0.01
110	1375868	1375868	Laguna	Sarapococha	7	0.25
111	137586822	137586822	Laguna	Yanacocha	9	0.01
112	137586826	137586826a	Laguna	NN	9	0.01
113	137586826	137586826b	Laguna	Suerococha	9	0.06
114	13758682	13758682a	Laguna	NN	8	0.02
115	13758682	13758682b	Laguna	NN	8	0.03
116	137586832	137586832	Laguna	Uccococha	9	0.03
117	13758684	13758684	Laguna	Caramarca	8	0.04
118	13758686	13758686	Laguna	NN	8	0.03
119	137586862	137586862	Laguna	Lacsacocha	9	0.04

120	137586872	137586872	Laguna	Rincón	9	0.04
121	13758688	13758688	Laguna	Jurau	8	0.27
122	137586892	137586892	Laguna	Rurigallay	9	0.11
123	137586912	137586912	Laguna	Suerococha	9	0.01
124	137586944	137586944	Laguna	Piñacocha	9	0.01
125	13758694	13758694a	Laguna	NN	8	0.01
126	13758694	13758694b	Laguna	NN	8	0.01
127	13758694	13758694c	Laguna	NN	8	0.01
128	137586962	137586962	Laguna	NN	9	0.02
129	13758696	13758696a	Laguna	NN	8	0.01
130	13758696	13758696b	Laguna	NN	8	0.02
131	13758696	13758696c	Laguna	Jancacuta	8	0.10
132	1375869822	1375869822a	Laguna	NN	10	0.00
133	1375869822	1375869822b	Laguna	NN	10	0.01
134	137586982	137586982a	Laguna	NN	9	0.01
135	137586982	137586982b	Laguna	Challhuacocha	9	0.09
136	137586982	137586982c	Laguna	NN	9	0.01
137	137586986	137586986	Laguna	Patococha	9	0.01
138	13758698	13758698a	Laguna	Collorcocha	8	0.22
139	13758698	13758698b	Laguna	Huarmicocha	8	0.04
140	13758698	13758698c	Laguna	NN	8	0.06
141	137586994	137586994a	Laguna	NN	9	0.01
142	137586994	137586994b	Laguna	Purectishgo	9	0.06
143	1375869962	1375869962	Laguna	Suerococha	10	0.21
144	1375869972	1375869972a	Laguna	Aguascocha	10	0.04
145	1375869972	1375869972b	Laguna	Aguascocha	10	0.03
146	1375869972	1375869972c	Laguna	NN	10	0.02
147	137586998	137586998	Laguna	NN	9	0.01
148	137586	137586a	Laguna	Viconga	6	1.08
149	137586	137586b	Laguna	NN	6	0.01
150	137586	137586c	Laguna	NN	6	0.07
151	1375872	1375872	Laguna	Estrellacocha	7	0.01

152	137587292	137587292	Laguna	NN	9	0.01
153	137587296	137587296	Laguna	Ñahuincocha	9	0.01
154	1375874	1375874	Laguna	NN	7	0.01
155	13758746	13758746	Laguna	Purgacocha	8	0.03
156	137587482	137587482	Laguna	Querococha	9	0.01
157	1375874822	1375874822	Laguna	Querococha	10	0.01
158	1375874892	1375874892	Laguna	NN	10	0.01
159	13758748	13758748a	Laguna	NN	8	0.00
160	13758748	13758748b	Laguna	NN	8	0.01
161	137587492	137587492	Laguna	Minacocha	9	0.01
162	137587494	137587494	Laguna	NN	9	0.01
163	13758758	13758758a	Laguna	Shinuacocha	8	0.02
164	13758758	13758758b	Laguna	Shinuacocha	8	0.02
165	137587624	137587624	Laguna	NN	9	0.01
166	13758768	13758768	Laguna	NN	8	0.01
167	137587682	137587682	Laguna	NN	9	0.01
168	1375878282	1375878282a	Laguna	NN	10	0.01
169	1375878282	1375878282b	Laguna	NN	10	0.00
170	1375878452	1375878452	Laguna	Huachac	10	0.01
171	13758784	13758784a	Laguna	Ichicarhuacocha	8	0.01
172	13758784	13758784b	Laguna	NN	8	0.01
173	13758822	13758822	Laguna	Azulcocha	8	0.01
174	137588224	137588224	Laguna	Huaracanacocha	9	0.01
175	137588242	137588242	Laguna	Sacra	9	0.01
176	137588262	137588262a	Laguna	Carhuacocha	9	0.08
177	137588262	137588262b	Laguna	NN	9	0.01
178	137588264	137588264	Laguna	Jancacula	9	0.01
179	13758828	13758828	Laguna	Azulcocha	8	0.07
180	137588284	137588284	Laguna	Huayso	9	0.00
181	137588286	137588286	Laguna	NN	9	0.01
182	137588288	137588288a	Laguna	Lozacocha	9	0.01
183	137588288	137588288b	Laguna	Huincococha	9	0.01

184	137588298	137588298	Laguna	Ñahuincocha	9	0.02
185	13758846	13758846	Laguna	Caracocha	8	0.04
186	1375884	1375884a	Laguna	Matará	7	0.02
187	1375884	1375884b	Laguna	Matará	7	0.01
188	13758862	13758862a	Laguna	Berraco	8	0.02
189	13758862	13758862b	Laguna	NN	8	0.00
190	13758866	13758866	Laguna	Susococha	8	0.03
191	13758874	13758874	Laguna	NN	8	0.01
192	13758882	13758882	Laguna	Sacra	8	0.04
193	13758884	13758884	Laguna	Auxilio	8	0.02
194	1375888	1375888a	Laguna	Auxilio	7	0.07
195	1375888	1375888b	Laguna	NN	7	0.02
196	13758896	13758896a	Laguna	Gochacotan	8	0.06
197	13758896	13758896b	Laguna	Rasac	8	0.06
198	137588	137588a	Laguna	Jahuacocha	6	0.46
199	137588	137588b	Laguna	Solteracocha	6	0.40
200	1375892	1375892	Laguna	Solita Janca	7	0.02
201	137589222	137589222	Laguna	NN	9	0.00
202	1375892246	1375892246	Laguna	Sacracocha	10	0.01
203	137589226	137589226	Laguna	NN	9	0.01
204	13758923422	13758923422a	Laguna	Jaracocha	11	0.01
205	13758923422	13758923422b	Laguna	Diablococha	11	0.01
206	1375892344	1375892344	Laguna	Ullcococho	10	0.02
207	1375892494	1375892494	Laguna	NN	10	0.01
208	1375892496	1375892496	Laguna	NN	10	0.01
209	13758924	13758924a	Laguna	Condorcococha	8	0.13
210	13758924	13758924b	Laguna	Huincococho	8	0.09
211	137589262	137589262	Laguna	NN	9	0.01
212	137589266	137589266	Laguna	Diablococha	9	0.00
213	1375892662	1375892662	Laguna	NN	10	0.00
214	137589268	137589268	Laguna	Calupuyoc	9	0.00
215	137589284	137589284	Laguna	NN	9	0.00

216	13758928	13758928a	Laguna	Contaycocha	8	0.11
217	13758928	13758928b	Laguna	Gayco	8	0.04
218	137589294	137589294	Laguna	Calupuyoc	9	0.30
219	1375892942	1375892942	Laguna	Yurac Calapu	10	0.01
220	137589312	137589312	Laguna	Jatuncarhuacocho	9	0.02
221	13758936	13758936	Laguna	Huamán Hueque	8	0.05
222	1375893622	1375893622	Laguna	Mishacocho	10	0.01
223	137589362	137589362a	Laguna	Ultococho	9	0.09
224	137589362	137589362b	Laguna	NN	9	0.00
225	137589384	137589384	Laguna	NN	9	0.00
226	137589412	137589412	Laguna	NN	9	0.01
227	13758942	13758942	Laguna	NN	8	0.01
228	137589462	137589462	Laguna	NN	9	0.00
229	137589464	137589464	Laguna	NN	9	0.00
230	137589482	137589482	Laguna	NN	9	0.01
231	1375894	1375894a	Laguna	NN	7	0.02
232	1375894	1375894b	Laguna	NN	7	0.03
233	13758956	13758956	Laguna	NN	8	0.03
234	137589562	137589562	Laguna	Carhuaccocho	9	0.01
235	13758964	13758964a	Laguna	NN	8	0.03
236	13758964	13758964b	Laguna	NN	8	0.00
237	137589682	137589682	Laguna	NN	9	0.01
238	13758984	13758984	Laguna	Tancan	8	0.05
239	137589842	137589842a	Laguna	NN	9	0.01
240	137589842	137589842b	Laguna	Pallaccocho	9	0.01
241	137589842	137589842c	Laguna	NN	9	0.00
242	1375898492	1375898492	Laguna	NN	10	0.01
243	13758992	13758992	Laguna	NN	8	0.01
244	13758994	13758994	Laguna	NN	8	0.01
245	137589942	137589942	Laguna	NN	9	0.01
246	1375899422	1375899422	Laguna	NN	10	0.01
247	13758996	13758996	Laguna	NN	8	0.01

248	1375899712	1375899712	Laguna	NN	10	0.01
249	137589974	137589974	Laguna	Sacaj Ruri	9	0.01
250	137589984	137589984	Laguna	Cajat	9	0.04
251	137589992	137589992a	Laguna	NN	9	0.01
252	137589992	137589992b	Laguna	NN	9	0.01
253	137592	137592	Laguna	NN	6	0.01
254	137592298	137592298a	Laguna	Huicsococha	9	0.04
255	137592298	137592298b	Laguna	Maqui	9	0.02
256	1375922992	1375922992	Laguna	Pariacancha	10	0.01
257	1375922994	1375922994	Laguna	Yahuarcocha	10	0.04
258	1375922996	1375922996	Laguna	Contaycocha	10	0.02
259	1375922	1375922a	Laguna	Chalhuacocha	7	0.02
260	1375922	1375922b	Laguna	Huacacocha	7	0.03
261	137592478	137592478	Laguna	Allco	9	0.02
262	137592492	137592492	Laguna	Jacrón	9	0.02
263	1375924932	1375924932	Laguna	Jacrón	10	0.02
264	137592494	137592494	Laguna	Tuctucocha	9	0.04
265	137592496	137592496	Laguna	Shullococha	9	0.06
266	1375924962	1375924962	Laguna	NN	10	0.02
267	1375924972	1375924972	Laguna	NN	10	0.01
268	137592498	137592498	Laguna	Chaquicocha	9	0.02
269	1375924	1375924a	Laguna	Purísima	7	0.04
270	1375924	1375924b	Laguna	NN	7	0.01
271	1375924	1375924c	Laguna	Purísima	7	0.03
272	1375924	1375924d	Laguna	Quellacocha	7	0.01
273	13759268	13759268a	Laguna	Ventanilla	8	0.02
274	13759268	13759268b	Laguna	NN	8	0.01
275	13759268	13759268c	Laguna	NN	8	0.00
276	137592692	137592692	Laguna	NN	9	0.01
277	1375926	1375926a	Laguna	NN	7	0.01
278	1375926	1375926b	Laguna	NN	7	0.02
279	13759286	13759286a	Laguna	Carhuacocha	8	0.02

280	13759286	13759286b	Laguna	Carhuacocha	8	0.01
281	13759288	13759288	Laguna	NN	8	0.02
282	137592882	137592882	Laguna	Meseta	9	0.01
283	137592884	137592884a	Laguna	NN	9	0.01
284	137592884	137592884b	Laguna	NN	9	0.02
285	137592884	137592884c	Laguna	Tunshucocha	9	0.00
286	137592886	137592886a	Laguna	Tunshucocha	9	0.00
287	137592886	137592886b	Laguna	NN	9	0.00
288	137592888	137592888	Laguna	NN	9	0.00
289	1375928	1375928a	Laguna	NN	7	0.01
290	1375928	1375928b	Laguna	NN	7	0.05
291	137592984	137592984	Laguna	Saquicocha	9	0.02
292	1375929892	1375929892	Laguna	Cashurococha	10	0.02
293	1375929894	1375929894	Laguna	Yahuarcocha	10	0.01
294	1375929982	1375929982	Laguna	Shinuacocha	10	0.01
295	1375929994	1375929994a	Laguna	Huamblac	10	0.01
296	1375929994	1375929994b	Laguna	Huamblac	10	0.01
297	1375929994	1375929994c	Laguna	NN	10	0.00
298	1375929996	1375929996	Laguna	NN	10	0.00
299	13759299982	13759299982a	Laguna	Macato	11	0.00
300	13759299982	13759299982b	Laguna	Macato	11	0.01
301	1375929998	1375929998a	Laguna	Macato	10	0.01
302	1375929998	1375929998b	Laguna	Macato	10	0.00

Fuente: Elaboración propia

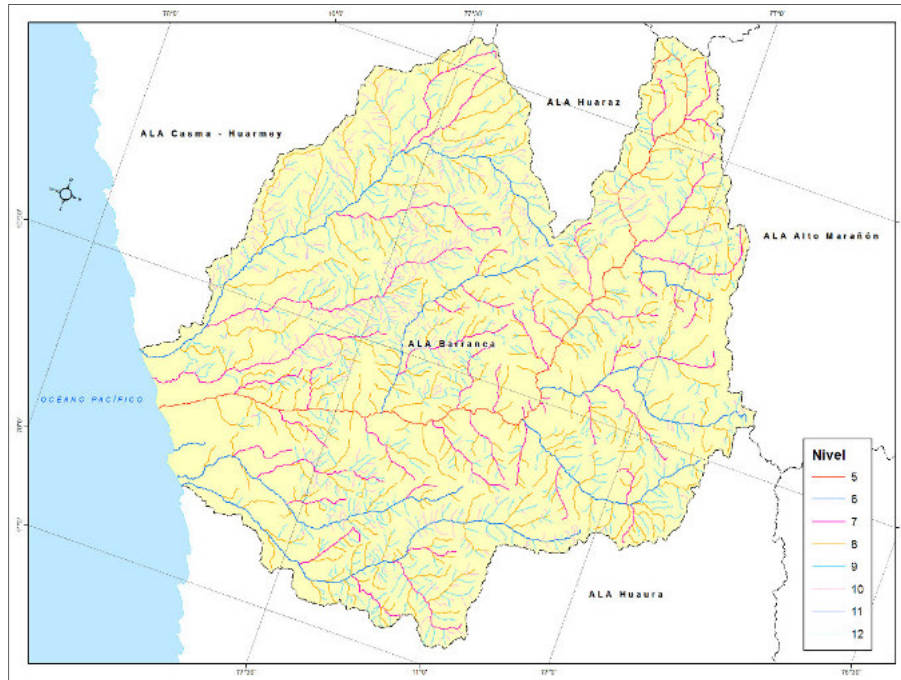


Figura 7.19. Administración Local de Agua Barranca: Distribución de cursos de agua por niveles de jerarquía.

7.2.1.3. Información complementaria

a. Clasificación ordinal de Strahler

Teniendo en consideración la totalidad de los tramos de cursos de agua (3.210) de las redes hídricas comprendidas en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca, en el cuadro siguiente se muestra la distribución de estos cursos de agua respecto a la clasificación ordinal de Strahler. (Figura 7.20)

Cuadro 7.6
Distribución de tramos de cursos de agua según la clasificación ordinal de Strahler en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca

ORDEN	1	2	3	4	5	6	TOTAL
Números de tramos de cursos de agua	1.608	791	396	256	119	40	3.210

Fuente: Elaboración propia

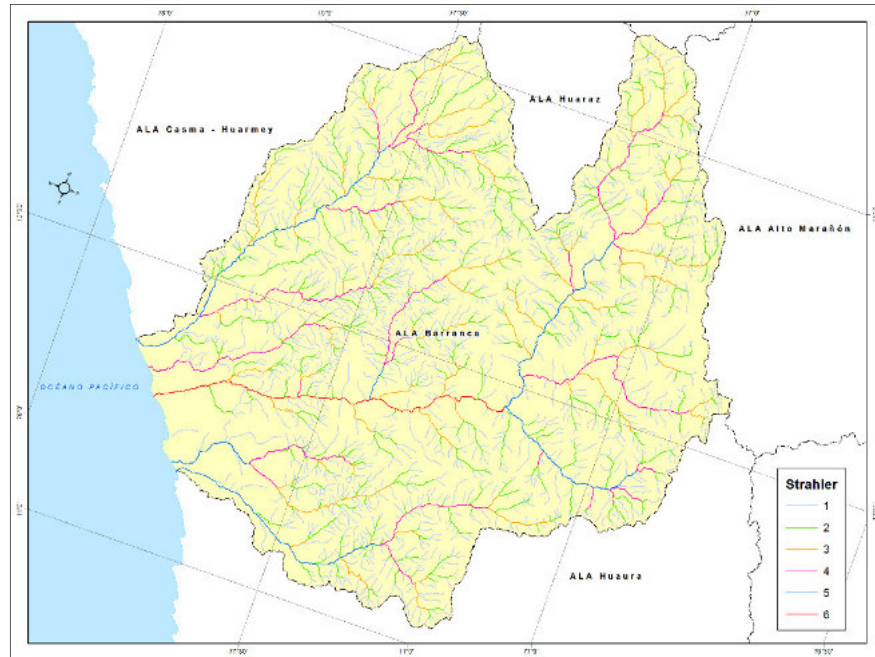


Figura 7.20. Administración Local de Agua Barranca: Distribución de tramos de cursos de agua según la clasificación ordinal de Strahler.

b. Clasificación ordinal de Shreve

En la clasificación ordinal de Shreve, el máximo valor alcanzado fue 776, correspondiente al río Pativilca. En el Cuadro 7.7 y en el mapa de la Figura 7.21, se muestra la distribución de los cursos de agua de acuerdo a cinco (05) rangos, definidos por el método Jenks.

Cuadro 7.7
Distribución de tramos de cursos de agua según la clasificación ordinal de Shreve, en cinco rangos, en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca

Rango	Número de tramos de cursos de agua
1 - 32	2.854
33 - 112	228
113 - 217	48
218 - 473	40
474 - 776	40
TOTAL	3.210

Fuente: Elaboración propia

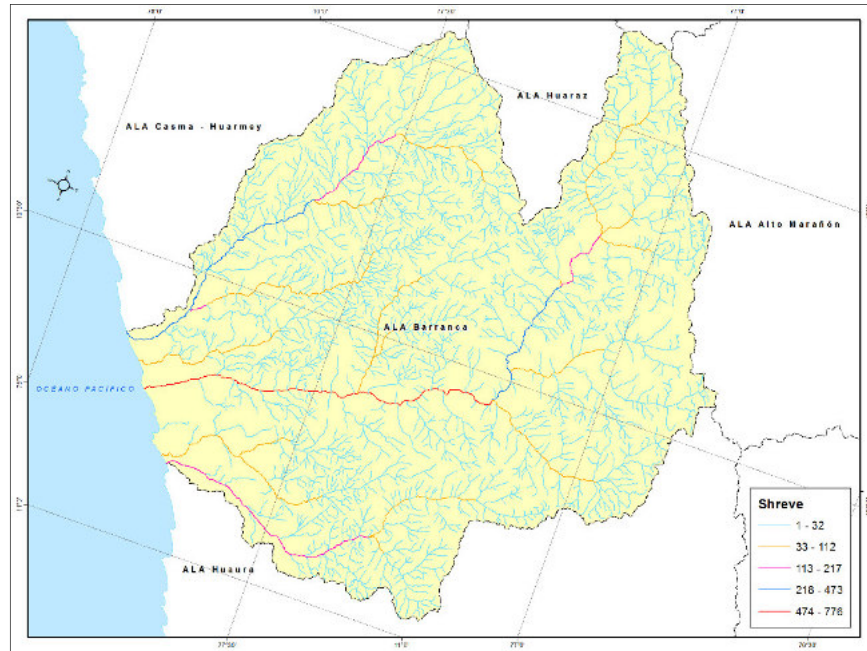


Figura 7.21. Administración Local de Agua Barranca: Distribución de tramos de cursos de agua según la clasificación ordinal de Shreve en cinco rangos Jenks.

c. Tipo

En el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca, teniendo en consideración la información hidrográfica de la Carta Nacional 1:100.000, se identificaron cinco tipos de tramos de cursos de agua: río, río seco, quebrada, quebrada intermitente y quebrada seca. En el Cuadro 7.8 y Figura 7.22, se muestra la distribución de los tramos de cursos de agua de acuerdo a los tipos identificados.

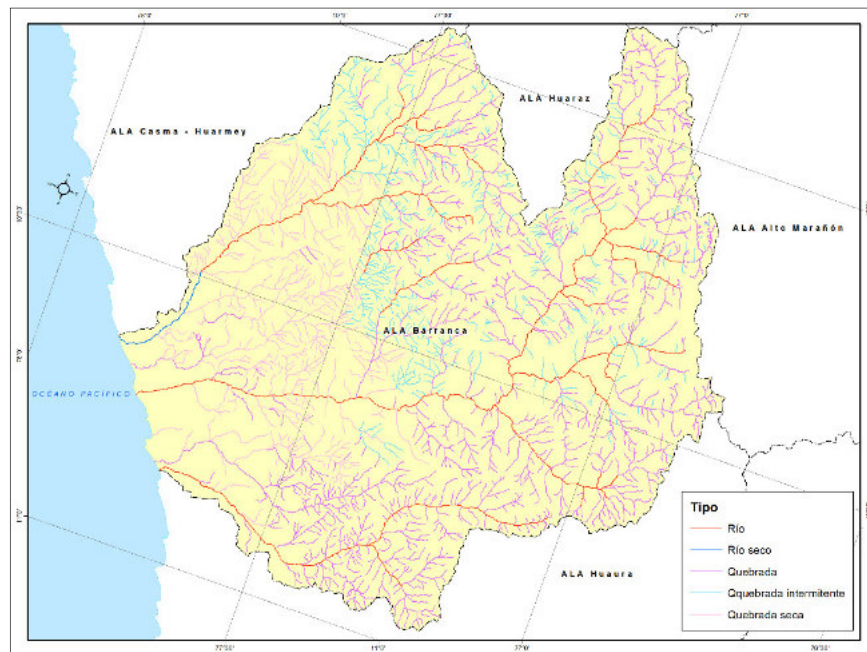


Figura 7.22. Administración Local de Agua Barranca: Distribución de tramos de cursos de agua según su tipo.

Cuadro 7.8
Distribución de tramos de cursos de agua de acuerdo a sus tipos en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca

Tipo de curso	Número de tramos de cursos de agua
Río	379
Río seco	4
Quebrada	1.662
Quebrada intermitente	584
Quebrada seca	581
TOTAL	3.210

Fuente: Elaboración propia

d. Hidronimia

De acuerdo a la Carta Nacional 1:100.000, en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca, se identificaron 630 nombres de ríos, los cuales fueron codificados tomando como base la codificación de los cursos de agua. Estos nombres fueron asignados a 521 cursos de agua, lo que significa que cerca del 33% de dichos cursos de agua poseen un nombre (Figura 7.23); así mismo, se deduce que algunos cursos de agua pueden haber tomado más de un nombre de río.

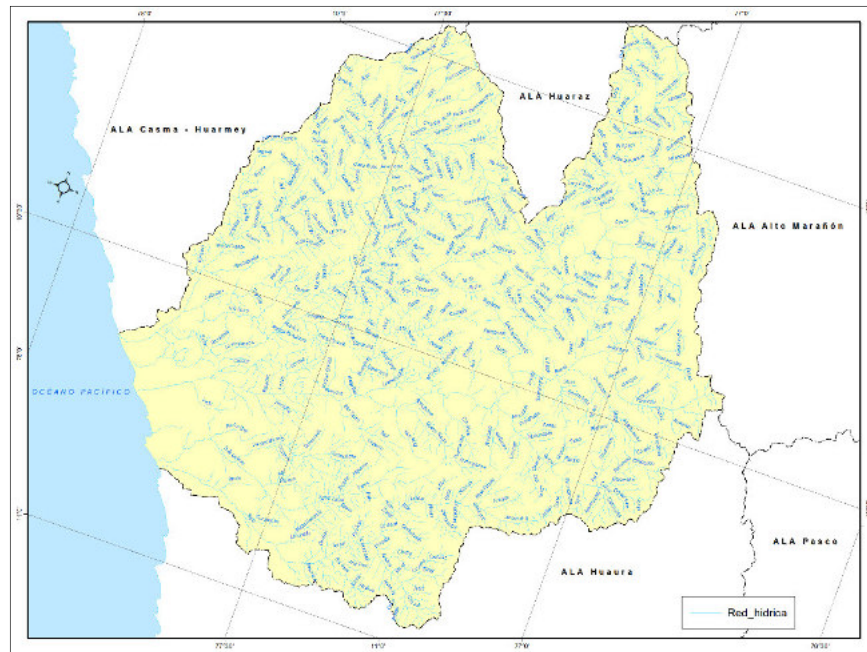


Figura 7.23. Administración Local de Agua Barranca: Nombre de ríos asignados a los cursos de agua.

e. Pendiente

De acuerdo a los intervalos de pendiente porcentual establecidos en el presente estudio, la distribución de los tramos de cursos de agua comprendidos en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca, resulta tal como se puede apreciar en el Cuadro 7.9 y en el mapa de la Figura 7.24.

Cuadro 7.9
Distribución de tramos de cursos de agua de acuerdo a intervalos porcentuales de pendiente en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca

Intervalo de pendiente (%)	Descripción	Número de tramos de cursos de agua
Menos de 4	Plana a ligeramente inclinada	329
4 - 15	Moderada a fuertemente inclinada	1.217
15 - 25	Moderadamente empinada	754
25 - 50	Empinada	820
50 - 75	Muy empinada	90
Más de 75	Extremadamente empinada	0
TOTAL		3.210

Fuente: Elaboración propia

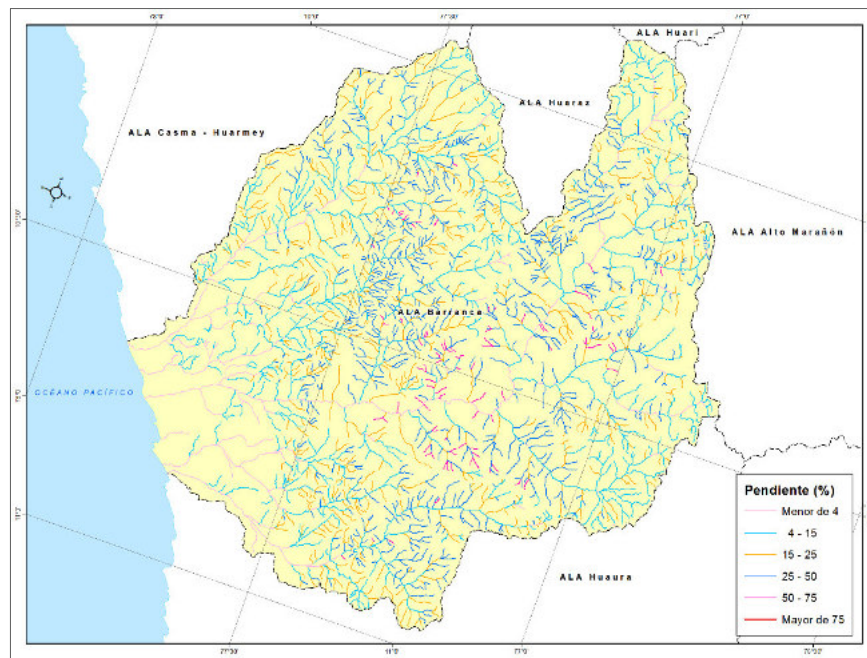


Figura 7.24. Administración Local de Agua Barranca: Distribución espacial de pendientes porcentuales

De acuerdo a las pendientes obtenidas, podemos afirmar que más del 50% de la red hídrica de la Administración Local de Agua Barranca presenta una pendiente igual o mayor a 15% (1.664), lo que indica que el mencionado ámbito presenta dos zonas claramente diferenciadas: la primera, netamente costera con un relieve plano a ligeramente inclinado y la segunda, con un relieve accidentado que evidencia la presencia de la cordillera andina.

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

- 8.1.1. El método Pfstetter, de delimitación y codificación de unidades hidrográficas, ha demostrado una aplicabilidad eficiente en la elaboración del mapa de unidades hidrográficas no solo en el Perú sino también en los países en los que se ha aplicado. Sin embargo, se debe indicar que la precisión de la delimitación, al igual que en cualquier otra metodología de delimitación estará en función de la información cartográfica utilizada, en cuanto a escala y precisión del levantamiento topográfico.
- 8.1.2. Las unidades hidrográficas actualizadas, comprendidas en el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca, son treinta y uno (31): trece (13) de nivel 6 y dieciocho (18) de nivel 7.
- 8.1.3. En el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca se codificaron un total de 3.210 tramos de curso de agua; cuya mayor concentración estuvo en la cuenca Pativilca con 1.549 tramos de curso de agua codificados, mientras que la cuenca Supe presentó la menor concentración con 377 tramos de curso de agua codificados.
- 8.1.4. De los 3.210 tramos de curso de agua digitales obtenidos en total, se definieron y codificaron 1.600 cursos de agua, en razón a la metodología adoptada (Pfsttter modificado para cursos de agua).
- 8.1.5. El máximo nivel alcanzado en la codificación de los cursos de agua, en el ámbito de la zona de estudio fue 12. Solamente las redes hídricas de la cuenca Supe y Fortaleza alcanzaron este nivel.
- 8.1.6. En cuanto a los tipos de cursos de agua, estos fueron definidos de acuerdo a la información presente en la Carta Nacional Topográfica 1:100.000, obteniéndose el resultado siguiente: 379 ríos (R), 4 ríos secos (Rs), 1.662 quebradas (Q), 584 quebradas intermitentes y 581 quebradas secas (Qs).
- 8.1.7. La hidronimia asignada a los cursos de agua digitales proviene de la información hidronímica de la Carta Nacional Topográfica, logrando incorporar 630 elementos hidronímicos a la base de datos, con lo que se logró codificar el mismo número de ríos, agrupando un total de 521 cursos de agua.
- 8.1.8. Se empleó dos (02) criterios de clasificación ordinal de cursos de agua: Strahler y Shreve. En el primer caso, se alcanzó el nivel 6, siendo la red hídrica de la cuenca Pativilca la única en alcanzar ese nivel. En cuanto a la clasificación de Shreve, el máximo valor acumulado obtenido fue 776, el cual corresponde a la red hídrica de la cuenca Pativilca, lo que indica que es la red hídrica de mayor densidad.
- 8.1.9. Los valores de las pendientes porcentuales promedio por ámbito administrativo, constituyen índices que puede ayudarnos a comprender el relieve en aquellas zonas de estudio. En la Administración Local de Agua Barranca se obtuvo una pendiente promedio de 18.68%; en consecuencia, aplicando la clasificación de pendientes que emplea el presente trabajo, se concluye que el ámbito de la Administración Local de Agua Barranca, es moderadamente empinado.

- 8.1.10. En cuanto a la codificación de lagos y lagunas naturales, se lograron codificar un total de 302 lagunas.
- 8.1.11. La información geoespacial raster de acumulación de flujo, obtenida de los modelos digitales de elevación, constituye un instrumento importante en el proceso de codificación integral de los cursos de agua, a través de la búsqueda y definición adecuada de los valores de umbral de acumulación, que posibilitaron alcanzar codificaciones hasta el nivel 12 de jerarquía.

8.2 Recomendaciones

- 8.2.1. Recomendamos continuar con el proceso de actualización de unidades hidrográficas del Perú, cuya precisión requiere ser mejorada mediante la incorporación de información topográfica de mayor resolución espacial, obtenida mediante procedimientos tecnológicos de sensoramiento remoto de última generación.
- 8.2.2. Recomendamos que las experiencias técnicas contenidas en el presente documento, respecto a la codificación de fuentes naturales de agua superficial, sienten las bases del Inventario Nacional de Fuentes de Agua para su posterior incorporación al Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos.
- 8.2.3. Recomendamos que el Inventario Nacional de Fuentes de Agua, como base de datos de las fuentes de agua del territorio nacional, debe estar organizado de acuerdo a un modelo de base de datos geoespacial, diseñado e implementado para tal fin.

BIBLIOGRAFÍA

- ArcGIS Resources. Ayuda de ArcGIS 10.1. Geodatabase. EEUU.
<http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#na/003n000000100000/>
- ArcGIS Resources. Ayuda de ArcGIS 10.1. Crear una geodatabase de archivos desde el árbol de Catálogo. EEUU.
<http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#na/003n00000026000000/>
- ArcGIS Resources. Ayuda de ArcGIS 10.1. Crear un dataset de entidad. EEUU.
<http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#na/002300000002000000/>
- ArcGIS Resources. Ayuda de ArcGIS 10.1. Crear una topología. EEUU.
<http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#na/006200000005000000/>
- ArcGIS Resources. Ayuda de ArcGIS 10.1. Validar una topología. EEUU.
<http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#na/006200000006000000/>
- ArcGIS Resources. Ayuda de ArcGIS 10.1. Clasificación de Arroyos. EEUU.
<http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//009z000000z3000000>
- ArcGIS Resources. Ayuda de ArcGIS 10.1. Redes Geométricas. EEUU.
<http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#na/002r00000001000000/>
- Aster Global Digital Elevation Model (GDEM). Japón.
<http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>
- ESRI. 2005. Cartografía Digital. EEUU.
- ESRI. 2006. Smooth Line. EEUU.
<http://webhelp.esri.com/>
- NIMA, ESRI. 1997. Digital Chart Of The World. EEUU.
<http://www.maproom.psu.edu/dcw>
- Ruiz, Rosa; Torres, Humberto; Aguirre, Mario. 2007. Memoria Descriptiva de la Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Perú. INRENA. Lima.
- Ruiz, Rosa; Torres, Humberto. 2008. Memoria Descriptiva de la Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas de Sudamérica. UICN. Quito.
- Ruiz, Rosa; Torres, Humberto. 2009. Memoria Descriptiva de la Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas de la Comunidad Andina. UICN. Quito.
- Ruiz, Rosa. 2010. Clasificación y Codificación de Cursos de Agua Superficial del Perú. ANA. Lima.
- The CGIAR Consortium for Spacial Information (CGIAR-CSI). EEUU.
<http://www.cgiar-csi.org/>
- World Wildlife Fund. 2006. HydroSHEDS. EEUU.
<http://www.worldwildlife.org/hydrosheds>

ANEXOS

A. Mapa de Actualización de Unidades Hidrográficas. Escala 1:225.000

B. Mapa de Codificación de Fuentes de Agua Superficial. Escala 1:225.000