

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



Delimitación de la cuenca y unidades hidrográficas del
Arroyo La Encantada Saltillo Coahuila Mediante el Método Pfafstetter

POR:

Mateo Juárez Gómez

TESIS

Presentada como Requisito Parcial

Para obtener el Título de:

Ingeniero Agrónomo en Irrigación

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

Delimitación de la cuenca y unidades hidrográficas del
Arroyo La Encantada Saltillo Coahuila. Mediante el Método Pfafstetter

POR:

Mateo Juárez Gómez

TESIS

Que someto a consideración del H. Jurado Examinador como
Requisito Parcial para Obtener el Título de:

Ingeniero Agrónomo en Irrigación

Aprobada:



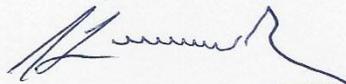
Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho
Asesor Principal



Dr. Luis Samaniego Moreno
Coasesor



Dr. Jorge Méndez González
Coasesor



Dr. Alejandro Zermeño González
Coasesor



Dr. Luis Samaniego Moreno
Coordinador de la División de Ingeniería

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México Mayo 2000
Coordinación de
Ingeniería

AGRADECIMIENTOS

Después de haber culminado una meta más en mi vida y al término de la tesis me doy cuenta que hay tantas personas e instituciones a las cuales tengo que agradecer de una otra manera por todo el apoyo brindado durante este largo proceso.

Primeramente te doy gracias a ti **Dios** por haberme permitido llegar hasta este punto darme la sabiduría, la fuerza pero sobre todo el coraje para seguir adelante, por estar a mi lado y no abandonarme nunca.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro mi “**Alma Terra Mater**” y a los **profesores de la Universidad** por haberse convertido en mi segundo hogar, brindándome los conocimientos necesarios preparándome para mi vida profesional como Ingeniero Agrónomo en Irrigación, gracias por las enseñanzas.

Al Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho

Por brindarme su tiempo, paciencia, y conocimientos durante la realización de este trabajo.

A mis **compañeros de carrera** por los buenos y malos momentos que pasamos durante nuestra formación profesional

DEDICATORIA

Con especial dedicatoria a Mis padres

Sra. Herlinda Gómez García

Sr. Mateo Juárez Juárez (†)

Por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en mi educación no solo académica sino también de vida, por los ejemplos de perseverancia y constancia que me han inculcado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor incondicional a pesar de las circunstancias.

En especial a ti madre por darme la vida, por creer en mí y porque siempre me apoyaste en los momentos que más necesite de ti, porque nunca te apartaste de mi lado, gracias por darme la mejor herencia y el mejor regalo mi carrera, mi arma para el futuro, por todo esto y muchas cosas más te doy las gracias.

A mis hermanos

Isaac Juárez Gómez

Herlinda Juárez Gómez

Porque ustedes han sido pieza clave en mi vida, por todos aquellos momentos que hemos vivido juntos, por estar siempre a mi lado apoyándome en cada paso que doy, nunca faltaron las palabras de ánimo con tal de verme lograr esta meta. Los quiero mucho.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
INDICE DE FIGURAS.....	vii
INDICE DE CUADROS.....	ix
RESUMEN.....	x
I INTRODUCCIÓN	11
1.1 Objetivo General	2
1.2 Objetivos Específicos	2
II REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Cuencas hidrográficas	3
2.2. Manejo de Cuencas Hidrológicas.....	3
2.3. Partes de la cuenca hidrográfica.....	3
2.4. Tipos de cuencas hidrológicas.....	4
2.5. Tipos de corrientes	4
2.6. Delimitación de cuencas.....	5
2.7. Método Pfafstetter	5
2.7.1 Características de la Metodología.....	6
2.7.2 Tipos de Unidades Hidrográficas	7
2.7.3 Proceso de Codificación	7
2.7.4 Particularidades del método.....	9
2.8. Parámetros morfológicos.....	13
2.9 Parámetros de forma.....	14
2.9.1 Área de la cuenca (A)	14
2.9.2 Perímetro (P).....	14

2.9.3 Longitud de la cuenca (L).....	14
2.9.4 Cota inicial y cota final del cauce principal.....	15
2.9.5 Coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc).	15
2.9.6 Relación de elongación (R).....	16
2.9.7 Factor Forma (F).....	16
2.10 Parámetros de drenaje.....	17
2.10.1 Patrón de drenaje (Pd).....	17
2.10.2 Número de orden de cauce.....	18
2.10.3. Longitud total de los cursos de agua (Lt)	19
2.10.4 Densidad de drenaje (Dd)	20
2.11 Parámetros de relieve	21
2.11.1 Pendiente media de la cuenca	21
2.11.2. Pendiente y perfil del cauce principal.....	21
2.12 Curvas características de la cuenca	22
2.12.1 Curva hipsométrica.....	22
2.12.2 Polígono frecuencias de altitudes	23
2.12.3 Alturas características	23
III MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1 Descripción de la zona de estudio	24
3.1.1 Ubicación	24
3.1.2. Clima.....	25
3.1.3. Precipitación.....	25
3.1.4. Provincias fisiográficas	26
3.1.5. Subprovincias Fisiográficas	26
3.1.6. Regiones hidrológicas	28

3.2. Metodología.....	29
3.2.1 Delimitación de la cuenca.	29
3.2.2. Método semiautomático para delimitación de cuencas.	30
3.2.3. Mosaico del MDE	30
3.2.4. Fill	31
3.2.5 Flow Direction	32
3.2.6 Flow accumulation.....	33
3.2.7 Stream definition. (Determinación del umbral de acumulación).....	33
3.2.8 Stream Link.....	36
3.2.9 Stream to Feature	36
3.2.10 Watershed	37
3.2.11 Raster to Polilyne.....	38
3.2.12 Generación Vectorial de Unidades Hidrográficas	39
3.2.13. Obtención de Unidades hidrográficas.....	40
3.3. Determinación de parámetros morfológicos.	41
3.4. Parámetros de forma.....	41
3.5. Parámetros de drenaje.....	41
3.6. Parámetros de relieve.	42
3.7. Productos obtenidos	42
IV RESULTADOS	43
4.1. Delimitación de la cuenca	43
4.2. Codificación de la cuenca en el nivel 3	46
4.3. Morfología de la cuenca del arroyo La Encantada.	47
4.3.1. Parámetros de forma.	48
4.3.2. Parámetros de drenaje.....	48

4.3.3. Parámetros de relieve.....	50
4.4. Morfología de la Subcuenca 922.....	52
4.4.1 Parámetros de forma.	53
4.4.2. Parámetros de drenaje.....	53
4.4.3. Parámetros de relieve.....	53
4.5. Morfología de la Subcuenca 924.....	55
4.5.1. Parámetros de forma.	57
4.5.2. Parámetros de drenaje.....	57
4.5.3. Parámetros de relieve.....	57
4.6. Morfología de la Subcuenca 926.....	59
4.6.1. Parámetros de forma.	61
4.6.2. Parámetros de drenaje.....	61
4.6.3. Parámetros de relieve.....	61
4.7. Morfología de la Subcuenca 928.....	63
4.7.1. Parámetros de forma.	64
4.7.2. Parámetros de drenaje.....	65
4.7.3. Parámetros de relieve.....	65
V. CONCLUSIONES	68
VI. RECOMENDACIONES.....	69
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	70

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Proceso de codificación del Sistema Pfafstetter	9
Figura 2.2 Proceso de codificación del Sistema Pfafstetter – Caso especial	10
Figura 2.3. Proceso de codificación del Sistema Pfafstetter – Cuencas internas.....	10
Figura 2.4. Patrones de drenaje típicos, los cuales pueden ocurrir a escalas variables. (Howard, 1967)	18
Figura 2.5. Curvas hipsométricas, características del ciclo de erosión (según Strahler). 22	
Figura 3.1. Área estudio perteneciente a la cuenca del arroyo la Encantada	24
Figura 3.2. Tipos de clima de área de la cuenca del arroyo La Encantada.	25
Figura 3.3. Mapa de subprovincias fisiográficas	28
Figura 3.4. Localización de la cuenca arroyo la Encantada en la Región Hidrológica Rio Bravo.	29
Figura 3.5. Mosaico del modelo de elevación digital de área de estudio.....	31
Figura 3.6. Corrección del modelo de elevación digital	32
Figura 3.7. Raster de dirección del flujo	32
Figura 3.8. Raster de flujo acumulado	33
Figura 3.9. Raster red de flujo muestra el arroyo principal y los cuatro tributarios de mayor tamaño.....	35
Figura 3.10. Segmentos no interrumpidos.	36
Figura 3.11. Shape de red hidrográfica.	37
Figura 3.12. Shape de cuencas hidrográficas del área de estudio.	38
Figura 3.13. Polígono de las cuencas del área de estudio	38
Figura 3.14. Selección del área de la cuenca de la arroyo La Encantada.	39
Figura 3.15. Recorte del área de la cuenca de la arroyo La Encantada.....	40

Figura 3.16. Subcuencas e intercuencas del arroyo la Encantada.....	40
Figura 4.1. Delimitación continental de las cuencas de América del Norte, Nivel 1, Método Pfafstetter.....	43
Figura 4.2. Delimitación continental de las cuencas de América del Norte, Nivel, 2 Método Pfafstetter.....	44
Figura4.3. Delimitación las cuencas del arroyo La Encantada, Método Pfafstetter.	45
Figura 4.4. Codificación las cuencas del arroyo La Encantada, Método Pfafstetter	46
Figura 5.5. Área total de la cuenca con cauces y curvas de nivel.	47
Figura 4.6. Mapa de número de orden de cauces.....	49
Figura 4.7. Curva Hipsométrica de la cuenca del arroyo La Encantada.	50
Figura 4.8. Frecuencia de altitudes de la cuenca del arroyo La Encantada.	51
Figura 4.9. Área de la subcuenca 922	52
Figura 4.10. Curva Hipsometrica de la subcuenca 922 del arroyo La Encantada.	54
Figura 4.11. Polígono de frecuencia de altitudes para la subcuenca 922.....	54
Figura 4.12. Área de la subcuenca 924	56
Figura 4.13. Curva Hipsometrica de la subcuenca 924 del arroyo La Encantada.	58
Figura 4.14. Polígono de frecuencia de altitudes para la subcuenca 924.....	58
Figura 4.15. Área de la subcuenca 926.	60
Figura 4.16. Curva Hipsometrica de la subcuenca 926 del arroyo La Encantada	62
Figura 4.17. Polígono de frecuencia de altitudes para la subcuenca 926.....	62
Figura 4.18. Área de la subcuenca 928	64
Figura 4.19. Curva Hipsometrica de la subcuenca 928 del arroyo La Encantada.	66
Figura 4.20. Polígono de frecuencia de altitudes para la subcuenca 928.....	66

INDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Formas de la cuenca de acuerdo al Índice de compacidad.....	15
Cuadro 2.2 Formas de la cuenca de acuerdo al Factor Forma.	17
Cuadro 2.3 Clases de orden de cauce.....	19
Cuadro 2.4 Clases de densidad de drenaje.	20
Cuadro 2.5 Clasificación de pendientes.	21
Cuadro 4.1 Resumen de resultados de valores morfológicos para la cuenca del arroyo La Encantada	51
Cuadro 4.2 Resumen de resultados de valores morfológicos para la subcuenca 922	55
Cuadro 4.3 Resumen de resultados de valores morfológicos para la subcuenca 924.	59
Cuadro 4.4 Resumen de resultados de valores morfológicos para la subcuenca 926.	63
Cuadro 4.5 Resumen de resultados de valores morfológicos para la subcuenca 928.	67

RESUMEN

Los sistemas de información geográfica (SIG) y la hidrología son dos campos de trabajo que comparten muchos intereses debido al avance científico y tecnológico es posible representar digitalmente la superficie de una cuenca a través de una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua, cuando la variable a representar es la cota o altura del terreno se denomina Modelo Digital de Elevación (MDE), estos grandes aportes ayudan en las diferentes aplicaciones del estudio de la cuenca, siendo fundamental para delimitar la cuenca y para la determinación de parámetros morfométricos.

El presente trabajo muestra la delimitación y codificación de las unidades hidrográficas de la cuenca del arroyo La Encantada utilizando técnicas de análisis espacial para la delimitación y el método Pfafstetter para la división y codificación de estas unidades hidrográficas.

La delimitación de las unidades hidrográficas se desarrolló mediante procesos semiautomatizados con el uso de programa (software) ArcGIS.10.1 de sistemas de información geográfica SIG y análisis espacial en modelos digitales de elevación MDE, creando redes de drenaje hasta la obtención de las cuencas.

En este trabajo, se han determinado parámetros fundamentales en base a las características morfométricas de una cuenca hidrográfica que dan idea de las propiedades particulares de cada cuenca; estas propiedades o parámetros facilitan el empleo de fórmulas hidrológicas, que generalmente son empíricas, y sirven para relacionarlas con los parámetros de forma, drenaje y de relieve. El empleo del SIG facilitó el cálculo de los principales parámetros morfométricos de las cuencas, la red hidrográfica derivados con el programa ArcGIS.10.1.

Palabras clave: Subcuenas, Intercuenas, Confluencia, SIG, MDE. Codificación.

Correo electrónico; Mateo Juárez Gomez, oetamhds@gmail.com

I INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas representan divisiones naturales del paisaje, también funcionan como fronteras naturales de territorios para separar asentamientos territoriales tales como países y regiones administrativas las cuales albergan una gran variedad de fauna y flora. Dentro de ellas se presentan actividades que ofrecen numerosos servicios a la sociedad, como el suministro de agua dulce para uso doméstico, agrícola e industrial, estas depende mucho de los caudales que se producen y regulan en las cuencas. Siendo el agua para uso agrícola la principal función de las cuencas hidrográficas respecto a su rol en una sociedad.

Las cuencas hidrográficas constituyen el contexto idóneo para la planeación y gestión de los recursos naturales. Pero la obtención de una imagen clara de la condición de las cuencas no es simple; los datos son a menudo limitados y las perspectivas sobre la manera de evaluar su estado son distintas entre las diferentes instituciones. La complejidad y heterogeneidad de las cuencas requieren el establecimiento de una escala geográfica de análisis adecuada para analizar y sintetizar la información disponible, con la finalidad de establecer parámetros fundados en un principio precautorio.

La unidad más adecuada para la planificación y gestión de los recursos naturales es la cuenca hidrográfica (Cotler, 2010). Este concepto se expresa como un área delimitada por la dirección de sus cursos de agua y la superficie del terreno definida por el contorno topográfico a partir del cual la precipitación drena por esa sección (López, 1998). De manera tradicional, la delimitación de cuencas se ha realizado mediante la interpretación de los mapas cartográficos. Este proceso ha ido evolucionando con la tecnología.

Hoy en día, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) proporcionan una amplia gama de aplicaciones y procesos que permiten realizar de una forma más sencilla y

rápida el análisis y delimitación de una cuenca. Con el desarrollo de estas técnicas y metodologías, se generan cambios en innovaciones conceptuales con el objeto de que puedan ser aplicados en cualquier latitud y se formulen nuevas propuestas que incorporen criterios de delimitación y estándares en métodos de clasificación y codificación para la demarcación de cuencas hidrográficas.

Es por tal motivo que el presente trabajo ha tenido como objetivo la delimitación y codificación de las unidades hidrográficas de la cuenca del arroyo La Encantada, aplicando una metodología la metodología de Pfafstetter. La cual es reconocida como estándar mundial en la codificación de cuencas a nivel continental.

1.1 Objetivo General

Delimitar la cuenca y unidades hidrográficas del arroyo La Encantada por medio del Método Pfafstetter para su división, codificación y determinación de parámetros morfométricos utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG).

1.2 Objetivos Específicos

1. Delimitar la cuenca y unidades hidrográficas.
2. Determinar parámetros morfométricos y las características de la cuenca.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Cuencas hidrográficas

Las cuencas hidrográficas son espacios territoriales delimitados por un parteaguas (partes más altas de montañas) donde se concentran todos los escurrimientos (arroyos y/o ríos) que confluyen y desembocan en un punto común llamado también punto de salida de la cuenca, que puede ser un lago (formando una cuenca denominada endorreica) o el mar (llamada cuenca exorreica). En estos territorios hay una interrelación e interdependencia espacial y temporal entre el medio biofísico (suelo, ecosistemas acuáticos y terrestres, cultivos, agua, biodiversidad, estructura geomorfológica y geológica), los modos de apropiación (tecnología y/o mercados) y las instituciones (organización social, cultura, reglas y/o leyes). Las cuencas hidrográficas son unidades de manejo integrado de los recursos y servicios que brindan los ecosistemas (Swank y Crossley, 1988).

2.2. Manejo de Cuencas Hidrológicas

El manejo de cuencas hidrológicas incluye la manipulación del suelo y de la vegetación de un área en particular para reducir la erosión, mejorar la calidad del agua, estabilizar descargas, incrementar el suplemento del agua, controlar la infiltración, escurrimiento, contaminación y erosión. Debe ser en respuesta a las oportunidades y a los retos de protección, rehabilitación y mejoramiento de los objetivos del manejo de cuencas, de las libertades individuales y de las metas de los individuos a las cuales pertenecen los recursos y quienes, en última instancia, son los que lo manejan (Black, 1996).

2.3. Partes de la cuenca hidrográfica

Las partes de una cuenca hidrográfica utilizando el criterio de altura son: parte alta, parte media y parte baja. En la parte alta abundan los afloramientos rocosos, materiales leñosos y sedimentos más gruesos, con pendientes pronunciadas en las laderas; la anchura del cauce es pequeña, los árboles de los lados dan sombra a la mayor parte del cauce. En la parte media, el ancho del cauce tiende a ser mayor que en la parte alta, sin embargo puede presentarse lo contrario, si el cauce presenta un marcado disturbio.

En la parte baja de la cuenca los cauces tienden a ser todavía más anchos que las partes altas y media de la cuenca; el fondo del cauce presenta sedimentos más finos, que se depositan o transportan más fácilmente; las áreas riparias en esta parte de la cuenca generalmente se ven impactadas por el uso urbano agrícola y ganadera (González, 1998).

2.4. Tipos de cuencas hidrológicas

Schumm (1977). Menciona que por el destino de los escurrimientos se clasifican en:

- Cuencas arréicas: No vierten sus aguas a los embalses internos ni al mar, los escurrimientos se pierden en los cauces por evaporación o infiltración sin convertirse en corrientes subterráneas. No existe una red permeable.
- Cuencas criptorréicas: Los escurrimientos se infiltran y corren como ríos subterráneos, careciendo de una red fluvial permanente y organizada.
- Cuencas endorréicas o lacustre: El área de captación de la cuenca forma un medio de corrientes que desemboca en una represa o lago interior sin llegar al mar.
-
- Cuencas exorréica: El sistema de drenaje llega al mar por vía superficial o subterránea.

2.5. Tipos de corrientes

Comúnmente se clasifican en tres tipos: perennes, intermitentes y efímeras, con base en persistencia de su escurrimiento o flujo. Las corrientes perennes conducen agua todo el

tiempo, excepto en algunas ocasiones durante las sequías extremas. Las corrientes intermitentes llevan agua la mayor parte del tiempo pero principalmente en época de lluvias o inmediatamente después de ésta, mientras que las corrientes efímeras responden a sólo a eventos de lluvia (Leopold, 1994).

2.6. Delimitación de cuencas

Consiste en definir la línea divisoria de las aguas, que es una línea curva cerrada que parte y llega al punto de captación o salida mediante la unión de todos los puntos altos e interceptando en forma perpendicular a todas las curvas de altitudes del plano o carta topográfica, por cuya razón a dicha línea divisoria también se le conoce con el nombre de línea neutra de flujo. La longitud de la línea divisoria es el perímetro de la cuenca y la superficie que encierra dicha curva es el área proyectada de la cuenca sobre un plano horizontal.

La cuenca hidrográfica se puede delimitar por medio de una carta topográfica, que tenga suficiente detalle de relieve del terreno. Entre las escalas más comunes se tienen, 1/25 000 y 1/50 000, aunque para fines de diseño e intervención, las escalas más recomendables pueden ser 1/10 000 ó 1/5 000; el tamaño y complejidad del relieve de la cuenca indicarán tomar en cuenta la escala más apropiada. Terrenos planos requieren más detalle de las curvas de nivel y la escala será mayor, por los contrarios terrenos muy accidentados requerirán menor detalle de curvas a nivel y la escala podría ser menor (Faustino, 2006).

2.7. Método Pfafstetter

El Sistema de Codificación Pfafstetter fue desarrollado por Otto Pfafstetter en 1989, difundido a partir de 1997 por Verdín y adoptado a partir de entonces por la United States Geological Survey (UGS – Servicio Geológico de los Estados Unidos), como estándar internacional.

Es una metodología para asignar Identificadores (Ids) a unidades de drenaje basado en la topología de la superficie o área del terreno; asigna Ids a una unidad hidrográfica para relacionarla con las unidades hidrográficas que contiene y de las unidades hidrográficas con las que limita.

Proceso, que va desde la determinación del río principal, selección de las cuatro redes de drenaje de mayor tamaño hasta la generación de las cuencas.

2.7.1 Características de la Metodología

- El sistema es jerárquico y las unidades son delimitadas desde las unidades de los ríos (punto de confluencia de ríos), ó desde el punto de desembocadura de un sistema de drenaje en el océano.
- A cada cuenca hidrográfica se le asigna un específico código Pfafstetter, basado en su ubicación dentro del sistema de drenaje que ocupa, de tal forma que éste es único dentro al interior de un continente.
- Este método hace un uso mínimo de la cantidad de dígitos en los códigos, la longitud del código depende solamente del nivel que se está codificando.
- 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.
- Este sistema de codificación permitirá asimismo, una eficiente codificación de la red hidrográfica.

- El código de la unidad hidrográfica provee información importante como el tipo de unidad de drenaje, nivel de codificación y ubicación al interior de la unidad que lo contiene (Ruiz y Torres, 2008).

2.7.2 Tipos de Unidades Hidrográficas

El sistema Pfafstetter describe tres clases de unidades de drenaje: cuenca, intercuenca y cuenca interna.

Cuenca: área que no recibe drenaje de ninguna otra área, pero sí contribuye con flujo a otra unidad de drenaje a través del curso del río, considerando como principal, al cual confluye.

Intercuenca: área que recibe drenaje de otra unidad aguas arriba, exclusivamente, del curso del río considerado como el principal, y permite el paso de éste hacia la unidad de drenaje contigua hacia aguas abajo. En otras palabras, una intercuenca, es una unidad de drenaje de tránsito del río principal.

Cuenca interna: área de drenaje que no recibe flujo de agua de otra unidad ni contribuye con flujo de agua a otra unidad de drenaje o cuerpo de agua.

La distinción entre río principal y tributario, está en función del criterio del área drenada. Así, en cualquier confluencia, el río principal será siempre aquel que posee la mayor área drenada entre ambos. Denominándose cuencas a las áreas drenadas por los tributarios e intercuenca a las áreas restantes drenadas por el río principal (Ruiz y Torres, 2008).

2.7.3 Proceso de Codificación

Para iniciar el proceso de codificación se debe en principio determinar el curso del río principal de la unidad que se va codificar. 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.

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 (desde la confluencia) hacia aguas arriba, con los dígitos impares **1, 3, 5, 7 y 9**. (Ver Figura 2.1).

Por la metodología de delimitación y codificación de las unidades hidrográficas, el código 9 siempre resulta o se reserva para la unidad de drenaje de mayor tamaño de la parte superior de la cuenca o cabecera de cuenca la misma que generalmente contiene el origen del río cuya unidad de drenaje se está codificando.

Cada una de las unidades de drenaje de tipo cuenca o intercuenca, delimitadas y codificadas en un determinado nivel (por ejemplo el primero) 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 drenaje tipo cuenca de código **8** se subdivide y codifica en nueve unidades hidrográficas, cuatro de tipo cuenca códigos **82, 84, 86 y 88** y cuatro de tipo intercuenca de códigos **81, 83, 85 y 87** así como la unidad hidrográfica de cabecera de código **89**. El mismo proceso se aplica a las unidades de tipo intercuenca, de modo que por ejemplo la unidad tipo intercuenca de código **3**, se subdivide en las unidades de tipo cuenca de códigos **32, 34, 36 y 38** y en las unidades tipo intercuenca **31, 33, 35, 37 y 39**. Los códigos de las unidades menores deben llevar siempre al inicio el código o los dígitos de la unidad que lo contiene.

El proceso de codificación consiste en: subdividir una cuenca hidrográfica, cualquiera que sea su tamaño, determinándose los cuatro mayores afluentes del río principal, en términos de área de sus cuencas hidrográficas. Todas estas áreas pueden ser subdivididas hasta describir el último trecho de la red de drenaje, generando subdivisiones de nivel “n” (Aguirre, 2005).

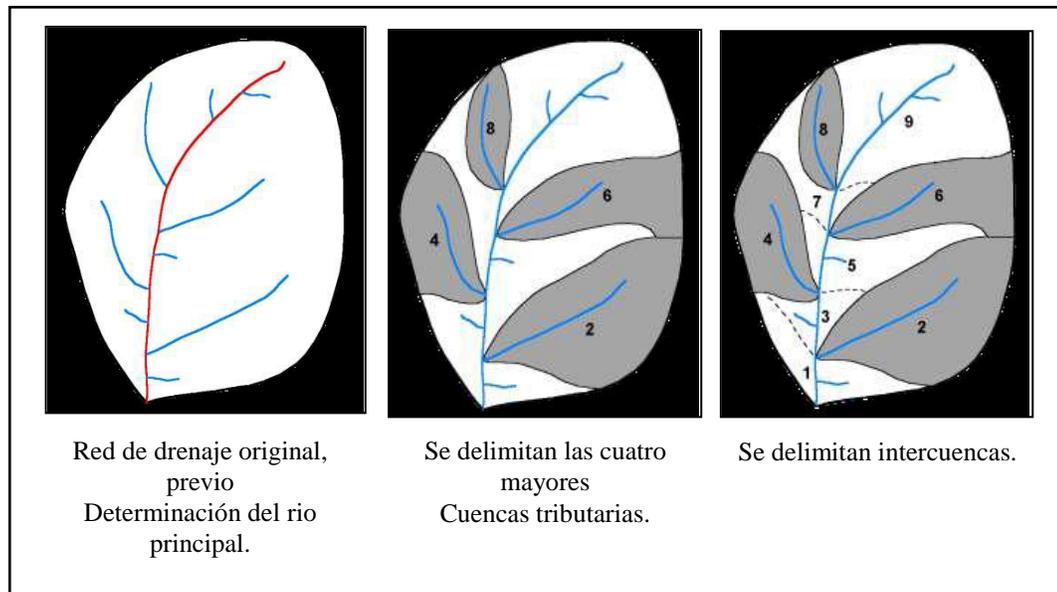


Figura 2.1. Proceso de codificación del Sistema Pfafstetter

2.7.4 Particularidades del método

- Una complicación puede aparecer en que las dos unidades finales y más altas del río principal, son cuencas. En este caso la unidad que presente mayor área de drenaje es asignado el código “9” y la otra, más pequeña, el código “8”. Esta particularidad del método permite identificar la cuenca donde se origina el río. (Ver Figura 2.2).

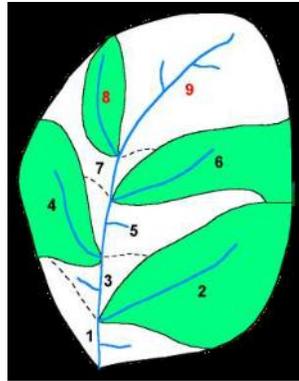


Figura 2.2 Proceso de codificación del Sistema Pfafstetter – Caso especial

- Si un área contiene cuencas internas, la cuenca interna más grande es asignado código “0” y las otras cuencas internas son incorporadas a las cuencas o intercuenas aledañas (Ver Figura 2.3).

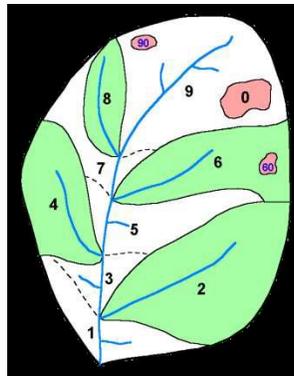


Figura 2.3. Proceso de codificación del Sistema Pfafstetter – Cuencas internas.

- Si una unidad hidrográfica contiene más de una unidad tipo cuenca interna o endorréica, se asigna el código “0” en el nivel que corresponda a la unidad de mayor tamaño y las otras unidades se incorporan a las unidades que lo contienen en el siguiente nivel.
- Para las regiones hidrográficas cuyas unidades drenan de forma paralela a los océanos, el sistema de codificación de Pfafstetter determina que se identifique las cuatro unidades hidrográficas de mayor área de drenaje y luego la asignación de

códigos se realiza considerando el sentido de las agujas del reloj, es decir las vertientes cuyas aguas desembocan en un mar oriental, serán codificadas de norte a sur; y las vertientes cuyas aguas desemboquen 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.

- Cuencas internas cuya red de drenaje confluye en una laguna, Es uno de los casos más comunes de unidades cerradas, en las cuales los ríos que descienden por sus laderas desembocan en la zona más baja de ésta conformando un lago o laguna.

No es posible en este caso determinar un curso o río principal, en tal sentido se definen primero las cuatro unidades de mayor extensión que constituirán las cuencas, y luego las áreas de drenaje comprendidas entre las cuatro cuencas constituirán las unidades tipo intercuenca que también serán cuatro unidades; añadiéndose a las anteriores una novena unidad que será constituida por el mismo cuerpo de agua ubicado en la parte inferior. La codificación de las unidades es en sentido horario, iniciando por la cuenca que se encuentre más al nor-oeste, a la cual se le asignará el código 2.

- 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 cauce principal, se determinan las cuatro unidades hidrográficas de mayor extensión que constituirán las unidades tipo cuenca y las áreas de drenaje comprendidas entre la cuencas pasarán a constituir las cinco unidades de tipo intercuenca, cuya delimitación respectiva, de ser necesario, atravesarán los cuerpos de agua tipo laguna, considerados como parte del curso

principal. La codificación se realizará, siguiendo el criterio establecido por el método desde la parte más baja hacia la más alta de la unidad de drenaje.

- 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.

Para este caso, la información topográfica es de mucha utilidad, pues al ser información captada por radar posee información del relieve aún debajo del agua, lo cual posibilita determinar unidades hidrográficas en esa zona. Debido a que todos los cursos confluyen en un punto común o en un área común de muy poca extensión, las unidades interiores que se forman son de tipo cuenca.

La codificación, al igual que en el caso anterior, se realiza desde la unidad más al noroeste, siguiendo el sentido horario para la codificación del resto de las unidades; la unidad que se forme debajo del agua llevará el código 1.

- Cuencas internas conformadas también por un conjunto de cuencas internas o cerradas. Son unidades características de la Región Hidrográfica 0, y se presentan en la parte central de ésta región o unidad hidrográfica, conformando un grupo de unidades endorreicas independientes. La única manera de poder 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 de unidades menores sigue el mismo procedimiento anterior, apoyándose de los valores de altitud de sus cumbres, se conformarán en lo posible nueve agrupaciones, considerándose las de mayor tamaño. La inspección de la morfología del terreno también es de mucha ayuda. La codificación como en los casos anteriores, sigue el mismo sentido, pero esta vez, iniciándose con el código 1.

- Unidades hidrográficas o Cuencas arreicas. Son aquellas que presentan cursos de agua de bajo caudal, los cuales desaparecen durante su recorrido debido a filtración o 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.
- Islas. Este es otro de los casos especiales. Estas porciones de territorio si se encuentran cercanas a la costa, serán consideradas para la codificación parte de la unidad hidrográfica continental más cercana, asumiendo el código de ésta, en el nivel que se encuentre.

En consecuencia, se debe considerar si las unidades hidrográficas tienen áreas de drenaje suficientemente extensas como para ser consideradas entre las cuatro unidades tipo cuenca (Ruiz y Torres, 2008).

2.8. Parámetros morfológicos

Las características físicas y biofísicas de una cuenca hidrográfica tienen estrecha relación con el comportamiento de las lluvias y de los caudales que por ella transitan. La escasa información hidrológica, meteorológica, geológica y cartográfica disponible hace que investigar dicha relación no sea fácil. No se puede garantizar que toda la información morfométrica de las cuencas utilizadas en un estudio se pueda obtener en una misma escala, lo que aumenta el grado de incertidumbre.

Caracterización cuantitativa de los rasgos propios de la corteza terrestre que permiten compararlos y establecer en forma previa relaciones hidrológicas de generalización. A pesar de la incertidumbre su uso se hace indispensable. Se seleccionan los parámetros más relevantes para el análisis del proyecto hidrológico que se investiga.

La caracterización de una cuenca está dirigida fundamentalmente a cuantificar todos los parámetros que describen su estructura física y territorial con el fin de establecer las posibilidades y limitaciones de sus recursos naturales pero también para identificar los problemas presentes y potenciales. (Umaña, 2002).

Los parámetros morfológicos o características geomorfológicas de una cuenca hidrográfica dan una idea de las propiedades particulares de cada cuenca; estas propiedades o parámetros facilitan el empleo de fórmulas hidrológicas.

2.9 Parámetros de forma

2.9.1 Área de la cuenca (A)

La superficie de la cuenca corresponde a la proyección de ésta en un plano horizontal; y su tamaño influye en forma directa sobre las características de los escurrimientos. La unidad de medida es en km^2 .

2.9.2 Perímetro (P)

El perímetro de la cuenca (P), es definido por la longitud de la línea de división de aguas, que se conoce como el “parte aguas o Divortium Acuarium”. La unidad de medida es en km.

2.9.3 Longitud de la cuenca (L)

Longitud de la cuenca queda definida como la distancia horizontal, medida a lo largo del cauce principal, entre el Punto de Salida de la Cuenca (desde el cual queda definida) y el límite definido para la cuenca, esta línea es paralela al cauce principal.

2.9.4 Cota inicial y cota final del cauce principal.

Altura máxima y altura mínima (msnm): Elevación sobre el nivel del mar del punto más alto y más bajo de la cuenca hidrográfica.

2.9.5 Coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc).

Coeficiente de Compacidad (Kc) o Índice de Gravelius (1914). Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el de una circunferencia; sus resultados estarán basados en la clasificación de Campos (1992) mostrados en el Cuadro 2.1. Cuánto más cercano esté el índice a la unidad, la cuenca será más circular y por tanto más compacta, y en la medida que aumenta, la cuenca adquiere una forma más oval. Este se obtiene al relacionar el perímetro de la cuenca, con el perímetro de un círculo, que tiene la misma área de la cuenca.

La fórmula de Gravelius, está dada por:

$$Kc = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

Kc: Coeficiente de compacidad de Gravelius

P: Perímetro de la cuenca en km.

A: Área de la Cuenca en km²

Cuadro 2.1 Formas de la cuenca de acuerdo al Índice de compacidad.

Clase de Forma.	Índice de Compacidad (Cc)	Forma de la Cuenca
Clase I	1.0 a 1.25	Casi redonda a oval-red
Clase II	1.26-1.50	Oval-redonda a oval oblonga onda
Clase III	1.51 a más de 2	Oval-oblonga a rectangular-oblonga

(Campos, 1992)

2.9.6 Relación de elongación (R)

Esta relación fue definida por Schumm, (1977) como el cociente entre el diámetro de un círculo con la misma superficie de la cuenca y la longitud máxima de la cuenca, definida como la más grande dimensión de la cuenca, a lo largo de una línea recta desde la salida hasta el límite extremo del parteaguas, paralela al río principal (Díaz *et al*, 1999).

Su expresión matemática es:

$$R = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{L}$$

Donde:

R= Relación de elongación (adimensional)

L = Longitud de la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (km²)

La fórmula anterior, es la más extendida para calcular este índice debido a la alta correlación que guarda con la hidrología de la cuenca. Valores cerca a la unidad implicará formas redondeadas y cuanto menor sea a la unidad, será más alargada (González, 2004).

2.9.7 Factor Forma (F)

Factor de Forma (F). Este factor fue propuesto por Horton (1945) donde relaciona el área de la cuenca y la longitud de la misma. En este sentido, valores inferiores a la unidad indican cuencas alargadas y aquellos cercanos a uno, son redondeados (Ver Cuadro 2.2). Se estima a partir de la relación entre área de captación y la longitud de la cuenca, longitud que se mide desde la salida hasta el punto más alejado a ésta.

El factor de forma, viene dado por:

$$F = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

L: Longitud de la cuenca (km).

A: Área de captación (km²)

Este factor relaciona la forma de la cuenca con la de un cuadrado, correspondiendo un $F= 1$ para regiones con esta forma, que es imaginaria. Un valor de (F) superior a la unidad nos proporciona el grado de achatamiento de la cuenca o el de un río principal corto. En consecuencia, con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas.

Cuadro 2.2 Formas de la cuenca de acuerdo al Factor Forma.

Clases de valores de forma	
Rangos de F	Clases de forma
0.01 - 0.18	Muy poco achatada
0.18 - 0.36	Ligeramente achatada
0.36 - 0.54	Moderadamente achatada

2.10 Parámetros de drenaje

2.10.1 Patrón de drenaje (Pd)

El patrón o red de drenaje es el sistema de cauces o corrientes por el que fluyen los escurrimientos superficiales de manera temporal o permanente. Su importancia se manifiesta por sus efectos en la formación y rapidez de drenado de los escurrimientos normales o extraordinarios además de proporcionar síntomas sobre las condiciones físicas del suelo y de la superficie de la cuenca. Entre los patrones más comunes se puede encontrar el paralelo, dendrítico, enrejado, angular, contorneado, entre otros (Deagostini, 1978). En la Figura 2.4 se observan los principales patrones de drenaje en las zonas montañosas (Howard, 1967). Relaciona la disposición del drenaje con el medio geológico y establece una serie de drenajes tipo en función de la estructura.

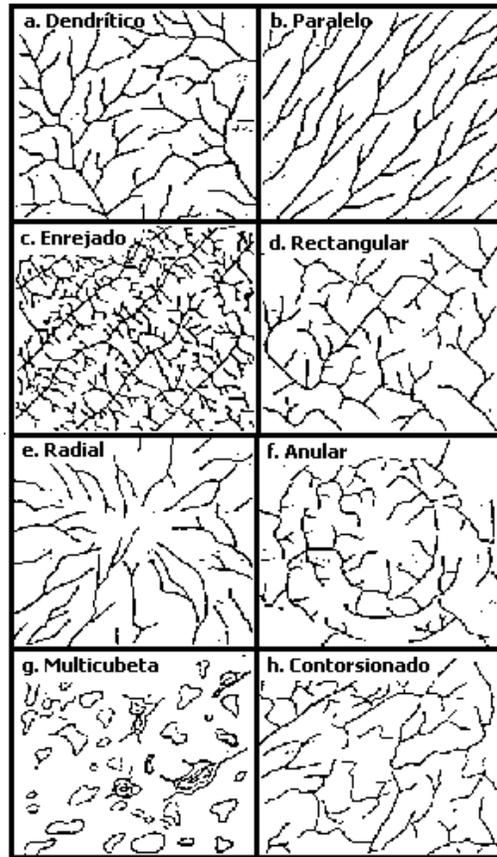


Figura 2.4. Patrones de drenaje típicos, los cuales pueden ocurrir a escalas variables. (Howard, 1967)

2.10.2 Número de orden de cauce.

El orden de cauce es una clasificación que refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una cuenca (Linsley 1977).

Horton (1945), sugirió la clasificación de cauces de acuerdo al número de orden de un río como una medida de la ramificación del cauce principal de una cuenca hidrográfica. Un río de primer orden es un tributario pequeño sin ramificaciones. Un río de segundo orden posee únicamente ramificaciones de primer orden. Un río de tercer orden es uno que posee ramificaciones de primero y segundo orden. Un río de cuarto orden es uno que tiene ramificaciones de primer orden, segundo y tercer orden, y así sucesivamente.

El orden de una cuenca hidrográfica está dado por el número de orden del cauce principal.

Entonces el orden de la corriente o colector principal será un indicador de la magnitud de la ramificación y de la extensión de la red dentro de la cuenca.

Al respecto la determinación del cauce principal, se lleva acabo del punto de salida de la cuenca hacia aguas arriba, siguiendo a la corriente de más alto orden, hasta alcanzar una bifurcación de dos corrientes de igual orden, entonces, la rama o cauce que tenga una mayor área de cuenca es seleccionado; a partir de tal punto el proceso se repite hasta terminar un tributario de orden uno.

Este índice indica el grado de estructura de la red de drenaje. En general, mientras mayor sea el grado de corriente, mayor será la red y su estructura más definida se clasifica de acuerdo al Cuadro 2.3. Asimismo, un mayor orden indica en general la presencia de controles estructurales del relieve y mayor posibilidad de erosión o bien, que la cuenca podría ser más antigua (en determinados tipos de relieve)

Cuadro 2.3 Clases de orden de cauce.

Rangos de ordenes	Clases de orden
1-2	Bajo
2-4	Medio
4-6	Alto

2.10.3. Longitud total de los cursos de agua (Lt)

Es la suma de la distancia total recorrida por los diferentes cursos de agua que forman parte de la red hidrográfica de la cuenca. La distancia recorrida por un curso de agua se mide desde su origen hasta su desembocadura en el cuerpo receptor.

2.10.4 Densidad de drenaje (Dd)

La cantidad de ríos y quebradas que llegan o tributan al río principal dentro del área de la cuenca se conoce como densidad de drenaje. Este es un parámetro revelador del régimen y de la morfología de la cuenca, porque relaciona la longitud de los cursos de agua con el área total. De esta manera, los valores altos reflejan un fuerte escurrimiento (Ver Cuadro 2.4)

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

Donde:

Dd = Densidad de drenaje (km/km²)

Lt = Longitud total de los causes (km)

A = Área total de la cuenca (km²)

Este es un índice importante, puesto que refleja la influencia de la geología, topografía, suelos y vegetación, en la cuenca hidrográfica, y está relacionado con el tiempo de salida del escurrimiento superficial de la cuenca. Una densidad de drenaje alta, refleja una cuenca muy bien drenada que debería responder, relativamente rápido, al influjo de la precipitación. Una cuenca con baja densidad de drenaje refleja un área pobremente drenada, con respuesta hidrológica muy lenta (Villón, 2002).

Cuadro 2.4 Clases de densidad de drenaje.

Rangos de Densidad	Clases
0.1 – 1.8	Baja
1.9 – 3.6	Moderada
3.7 – 5.6	Alta

2.11 Parámetros de relieve

2.11.1 Pendiente media de la cuenca

Tiene una importante pero compleja relación con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al flujo en los cauces. Es uno de los factores físicos que controlan el tiempo del flujo superficial y tiene influencia directa en la magnitud de las avenidas o inundaciones. Caracterización de relieve según Heras (1976) ver Cuadro 2.5.

Pendiente media de la cuenca es la longitud total de todas las curvas de nivel (LCN) comprendidas dentro de la cuenca (km), (D) es la equidistancia entre curvas de nivel del mapa topográfico (km) y A es el área de la cuenca (km²).

$$P = \frac{LCN * D}{A}$$

Cuadro 2.5 Clasificación de pendientes.

Pendiente en %	Tipo de terreno
2	Llano
5	Suave
10	Accidentado medio
15	Accidentado
25	Fuerte Accidentado
50>50	Escarpado Muy escapado

2.11.2. Pendiente y perfil del cauce principal

La pendiente del colector principal se relaciona con las características hidráulicas del escurrimiento, en particular con la velocidad de propagación de las ondas de avenidas y con la capacidad para el transporte de sedimentos (Klohn, 1970). La Pendiente del cauce

principal es la relación entre la altura total del cauce principal (cota máxima menos cota mínima) entre la longitud del cauce principal.

2.12 Curvas características de la cuenca

2.12.1 Curva hipsométrica

La curva hipsométrica sugerida por Langbein (1947), proporciona una información sintetizada sobre la altitud de la cuenca, que representa gráficamente la distribución de la cuenca vertiente por tramos de altura. Dicha curva presenta, en ordenadas, las distintas cotas de altura de la cuenca, y en abscisas la superficie de la cuenca que se halla por encima de dichas cotas, bien en km^2 o en tanto por cien de la superficie total de la cuenca.

De esta curva se puede obtener una importante relación:

$$Rh = \frac{Ss}{Si}$$

Donde Ss y Si son, respectivamente, las áreas sobre y bajo la curva hipsométrica. Según Strahler mencionado por Llamas (1993) la importancia de esta relación reside en que es un indicador del estado de equilibrio dinámico de la cuenca. Así, cuando $Rh = 1$, se trata de una cuenca en equilibrio morfológico. La Figura 2.5 muestra tres curvas hipsométricas correspondientes a otras tantas cuencas que tienen potenciales evolutivos distintos.

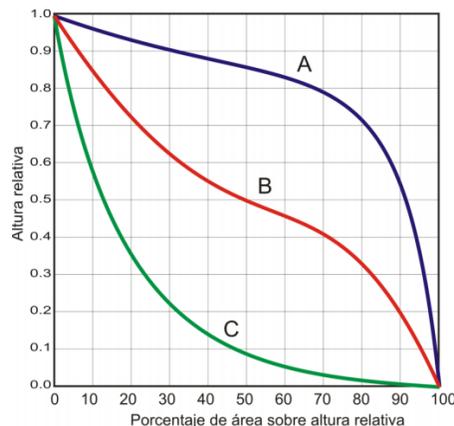


Figura 2.5. Curvas hipsométricas, características del ciclo de erosión (según Strahler).

La curva superior (curva A) refleja una cuenca con un gran potencial erosivo; la curva intermedia (curva B) es característica de una cuenca en equilibrio; y la curva inferior (curva C) es típica de una cuenca sedimentaria.

2.12.2 Polígono frecuencias de altitudes

Representa el grado de incidencia de las áreas comprendidas entre curvas de nivel con respecto al total del área de la cuenca (Ibáñez *et al*, 2011).

2.12.3 Alturas características

Altura media. Es la ordenada media de la curva hipsométrica.

Altura más frecuente. Es la altitud cuyo valor porcentual es el máximo de la curva de frecuencia de altitudes.

Altitud de frecuencia media. Es la altitud correspondiente al punto de abscisa media (50 % del área) de la curva hipsométrica (Villón, 2002).

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción de la zona de estudio

3.1.1 Ubicación

El arroyo La Encantada.- Esta corriente tiene su formación en la parte sur del Municipio de Saltillo en el poblado denominado la Encantada y en las sierras del municipio de Arteaga, siguiendo una trayectoria hacia el este pasando por la ciudad de Saltillo y Ramos Arizpe y el poblado de Paredón, con una longitud de 77 Km hasta su confluencia con el arroyo Patos y sus escurrimientos se aprovechan para riego, principalmente en el municipio de Ramos Arizpe (CONAGUA, 2011) Figura 3.1.

En su paso por Saltillo, a este arroyo se le conoce como “El Pueblo”. Después de su confluencia con el arroyo Cárdenas (o Madre), al sur del municipio de Ramos Arizpe, recupera su nombre.



Figura 3.1. Área estudio perteneciente a la cuenca del arroyo la Encantada

3.1.2. Clima

El tipo de clima del área de estudio de acuerdo a la clasificación Köppen y modificada por García (1973). Es predominado por el seco estepario (BS) para las partes altas de cuenca y el muy árido o muy secos (BW) para el área de la desembocadura de la cuenca (Ver Figura 3.2).

La temperatura media es de 18°C a 22°C, la temperatura del mes más frío es menor de 18°C y temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. Los subtipos de climas son el semiseco, templado, grupos de climas secos y semifríos.

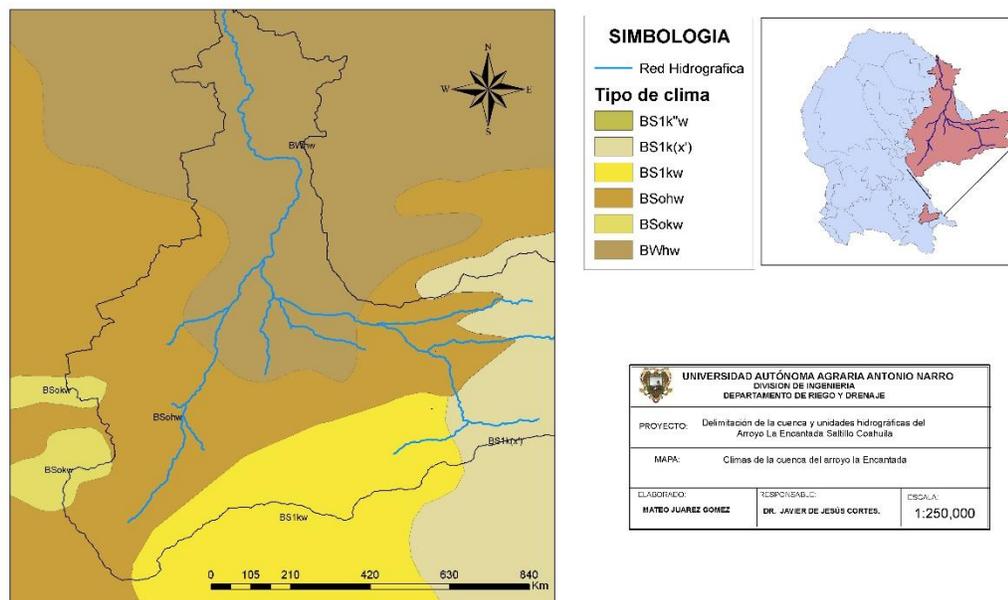


Figura 3.2. Tipos de clima de área de la cuenca del arroyo La Encantada.

3.1.3. Precipitación

La precipitación promedio anual en el estado se encuentra representado en seis rangos que van desde 100 mm hasta los 700 mm, el rango que mayor porcentaje estatal que se reporta es de 400-500 mm con un 32.80% y el mínimo de 200-300 mm con una

superficie de 3.77% del estado. Por su parte la precipitación promedio anual en el municipio de Saltillo está en un rango de 300 a 400 mm; con un régimen de lluvias de los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre siendo escasa en noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, siendo igual para el área de correspondiente a la cuenca del arroyo la Encantada (CONAGUA, 2009).

3.1.4. Provincias fisiográficas

El área de la cuenca se encuentra totalmente ubicado en provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental. Cuya principal característica geológica de esta provincia es la predominancia de rocas mesozoicas de origen sedimentario marino, las cuales fueron sometidas a esfuerzos corticales de tensión y compresión, que dieron lugar a levantamiento serranos abruptos constituidos por rocas calizas, que se alternan con valles intermontanos. Esta provincia se caracteriza por sus estructuras geológicas que han dado lugar a la formación de valles y sierras, cuyas orientaciones predominantes son noreste-sureste y este-oeste. Existe un gran número de fallas normales e inversas, así como de pliegues anticlinales y sinclinales que siguen la orientación de las sierras. Las estructuras ígneas se encuentran diseminadas en la parte de la provincia que corresponde al estado y están constituidas por cuerpos intrusivos y derrames de lava. También existen fracturas de diferentes magnitudes, algunas de las cuales han sido rellenadas por soluciones mineralizantes para formar vetas de importancia económica, como es el caso de las minas de verita, fluorita y de minerales metálicos (Dow AgroSciences de México S.A. de C.V. 2012).

3.1.5. Subprovincias Fisiográficas

Las subprovincias fisiográficas que abarca el área de la cuenca de arroyo La Encanta son la Gran Sierra Plegada la cual en menor proporción y se ubica en la zona de la naciente

de la corriente del arroyo en la parte de Arteaga. Y la subprovincia Pliegues Saltillo-Parras que está presente en la mayoría de área de la cuenca (Ver Figura 3.3).

La Gran Sierra Plegada la región flexionada al este de Saltillo y sur de Monterrey se conoce como Anticlinorio de Arteaga, un anticlinorio es la sucesión estructural de pliegues, que juntos integran un anticlinal general. La parte oeste del Anticlinorio de Arteaga es lo que de esta Subprovincia corresponde a Coahuila, y está constituida por los sistemas de topoformas designados sierra pliegue flexionada, bajada, bajada con sierras y valle intermontano. Esta porción cubre 2,178.18 km² de la superficie total estatal, y abarca partes importantes del municipio de Arteaga (95%) y una fracción muy reducida del de Saltillo. Suelos presentes en ésta subprovincia: En la Subprovincia dominan los Litosoles, los cuales se presentan asociados a Rendzinas y Regosoles calcáricos. También se encuentran Xerosoles háplicos y cálcicos.

La subprovincia los Pliegues Saltillo-Parras los 9,195.35 km² de la mitad sur de esta Subprovincia se encuentran incluidos dentro del territorio del estado de Coahuila, incluye partes de los municipios de Parras, General Cepeda, Saltillo, Arteaga, Ramos Arizpe, Castaños, Candela y Monclova. Suelos presentes en ésta subprovincia: Los tipos de suelo presentes en esta región son Litosoles, Regosoles calcáricos, Luvisoles crómicos, Xerosoles háplicos y cálcicos, Fluvisoles, Rendzinas, Feozems calcáricos, Castañozems y Solonchak órticos (Dow AgroSciences de México S.A. de C.V. 2012).

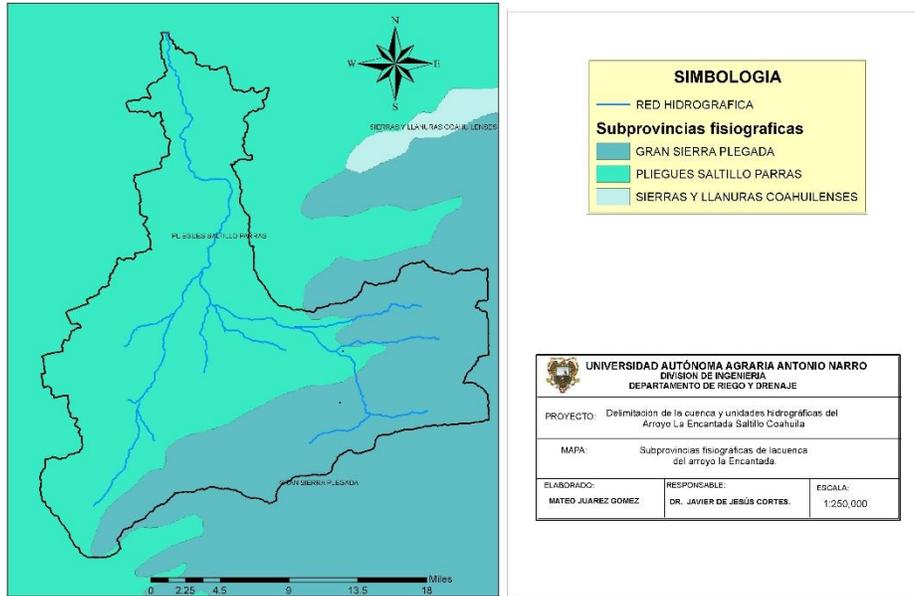


Figura 3.3. Mapa de subprovincias fisiográficas

3.1.6. Regiones hidrológicas

La cuenca de arroyo La Encantada se localiza dentro la región hidrológica (RH24) de la cuenca Rio Bravo – San Juan. (B) y subcuenca Rio San Miguel (e), teniendo como clave (RH24Be) hasta su delimitación como subcuenca como se muestra en la Figura 3.4.

La Región Hidrológica Bravo-Conchos (No. 24). En su mayoría está constituida por tierras planas, con altitud media de 1000 m a 1800 m. Es una región árida cuya sequedad se agudiza el norte. La mayoría de las corrientes del norte desaguan en el río Bravo, y hay además algunas cuencas endorreicas, como las de las lagunas Tortuguillas y Chancaplio, dentro del área de la cuenca del río Conchos.

La cuenca del Río San Juan pertenece a la región hidrológica río Bravo-San Juan (24 B), con una superficie de alrededor de 32,972 Km², comprendida entre las coordenadas 25°15' y 26°45' de latitud norte, 99°15' y 101°45' longitud oeste, abarca parte de los

estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas. La mayor parte de esta cuenca está dentro del estado de Nuevo León.

Región hidrológica (RH24) de la cuenca
Río Bravo – San Juan. (B) y subcuenca Río San Miguel (e)

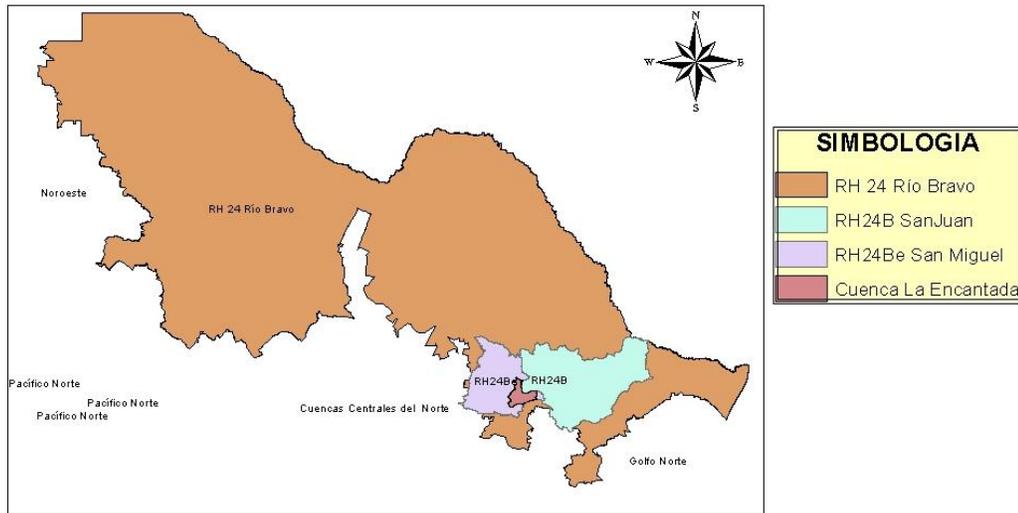


Figura 3.4. Localización de la cuenca arroyo la Encantada en la Región Hidrológica Río Bravo.

3.2. Metodología

3.2.1 Delimitación de la cuenca.

La selección del área de estudio se realizó con las cartas topográficas escala 1:50,000 G14C23 San Miguel, imagen digital, Coordenadas: O 101°00 - O 101°20/N 25°30 - N 25°45. G14C24 Ramos Arizpe, imagen digital, Coordenadas: O 100°40 - O 101°00/N 25°30 - N 25°45. Carta G14C33 – Saltillo, imagen digital, Coordenadas: O 101°00 - O 101°20/N 25°15 - N 25°30. Carta G14C34 – Arteaga, Imagen digital, Coordenadas: O 100°40 - O 101°00/N 25°15 - N 25°30. Las cuales se delimitaron las 4 unidades tipo subcuencas y 5 unidades intercuenas se delimitaron en pantalla con el programa ArcGIS 10.1 se realizó los 9 polígonos de las unidades hidrográficas y los cauces de la cuenca del arroyo La Encantada.

3.2.2. Método semiautomático para delimitación de cuencas.

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

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.

Para la delimitación de cuencas hidrográficas es necesario contar con un Modelo Digital de Elevación de la zona de estudio, para ello se procesaron cartas digitales MDE correspondientes al flujo del agua del arroyo La Encantada.

3.2.3. Mosaico del MDE

Unir dos o más ráster desde un mosaico de imágenes en ArcGIS, es un proceso sumamente sencillo y muy útil cuando se necesita fusionar varios modelos de elevación digital o imágenes ráster dentro en uno solo, cabe señalar que los datos de entradas deben contener la misma cantidad de bandas, profundidad de bit; caso contrario, la herramienta se cerrará con un mensaje de error.

Se trabajó con cuatros archivos correspondientes a las cartas que cubre el territorio de estudio, con la herramienta Mosaic To New Raster del ArcToolbox.

ArcToolbox > Data Management Tools > Raster > Raster Dataset > Mosaic to New Raster

En esta herramienta en Input Raster agregar los rásters, definir el directorio de salida, la extensión del nuevo archivo (img), referencia espacial (WGS84_14N) y el número de bandas (1), el resto de campos son opcionales (configurar de acuerdo a nuestras necesidades), aceptar y el resultado se muestra al final como se observa en la Figura 3.5.

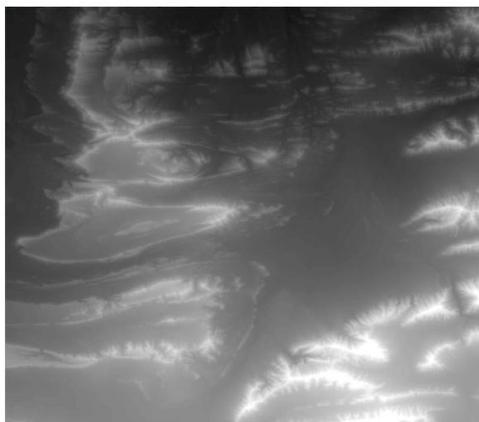


Figura 3.5. Mosaico del modelo de elevación digital de área de estudio

Un modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo.

Estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializados.

En los modelos digitales de elevación existen dos cualidades esenciales que son la exactitud y la resolución horizontal o grado de detalle digital de representación en formato digital, las cuales varían dependiendo del método que se emplea para generarlos y para el caso de los que son generados con tecnología LIDAR se obtienen modelos de alta resolución y gran exactitud (valores submétricos).

3.2.4. Fill

Una vez que se ha cargado el DEM del área de estudio, se procede con la “herramienta fill” con esta herramienta se rellenan las imperfecciones existentes en la superficie del modelo digital de elevaciones, de tal forma que las celdas en depresión alcancen el nivel del terreno de alrededor, con el objetivo de poder determinar de forma adecuada la dirección del flujo. (Figura 3.6)

Para ello a partir de *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Fill*,

Como resultado se obtiene el raster de correcciones del MDE.

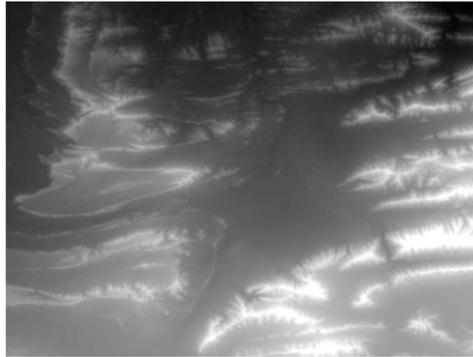


Figura 3.6. Corrección del modelo de elevación digital

3.2.5 Flow Direction

La dirección del flujo está determinada por la dirección más empinada de descendencia de cada celda o pixel o caracterización de los pixeles en función de las pendientes que se tengan, buscando el camino descendente para indicar por donde el flujo correría en caso de escurrimientos (Figura 3.7).

Para establecer la dirección del flujo hidrológico de la pendiente se procede con la herramienta Flow Direction.

ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow Direction

Como resultado se obtiene el raster de dirección del flujo.

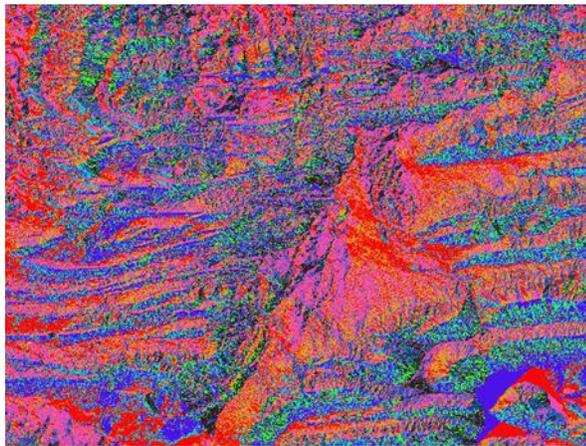


Figura 3.7. Raster de dirección del flujo

3.2.6 Flow accumulation.

Crea el raster de acumulación de flujo en cada celda. Se determina el número de celdas de aguas arriba que vierten sobre cada una de las celdas inmediatamente aguas abajo de ella. Construye sobre la base de la dirección del flujo los canales principales como se muestra en la Figura 3.8. Para determinar la acumulación del flujo de las celdas que fluyen hacia cada celda descendiendo sobre la pendiente se utiliza la herramienta Flow Accumulation.

ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow Accumulation



Figura 3.8. Raster de flujo acumulado

3.2.7 Stream definition. (Determinación del umbral de acumulación)

Consiste en determinar el flujo de acumulación adecuado que permita a su vez obtener las unidades de drenaje (watersheds) según la metodología Pfafstetter: “cuatro unidades de drenaje tipo cuenca (cuencas cuyas áreas de drenaje sean las más grandes) y cinco unidades de drenaje de tipo inter-cuenca (que incluye a la unidad de drenaje de cabecera”. Se debe indicar que las mayores áreas de drenaje corresponden a las unidades con las mayores acumulaciones de flujo. Por tanto las cuatro tributarios con las mayores acumulaciones de flujo de una cuenca, corresponden a las cuatro mayores áreas de drenaje.

Este es un procedimiento iterativo de ensayo y error; siendo la manera más sencilla de determinar el umbral de acumulación adecuado para obtener los tributarios necesarios. En este ensayo, se debe procurar que la acumulación de flujo elegida finalmente, sea lo suficientemente adecuada para visualizar el flujo principal y cuatro 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 esta fase se clasifican las celdas con acumulación de flujo superior a un umbral especificado por el usuario como celdas pertenecientes a la red de flujo. El umbral debe ser especificado como el número de celdas vertientes a la que se está clasificando en cada momento. Aquí se debe entrar a sopesar que valor sería el más indicado, ya que si el valor de acumulación es muy bajo muchos pixeles serán seleccionados como pertenecientes a la red hídrica, si por lo contrario, el valor del pixel es muy alto solo aquellos drenajes de orden alto serían definidos como red hídrica. En otras palabras, seleccionar un valor bajo del umbral significa que obtendremos afluentes pequeños en nuestra red de drenajes, en cambio un valor alto, modela los drenajes de mayor tamaño (Ver Figura 3.9).

Recordar que para la delimitación basada en el sistema de Otto Pfasftetter se tienen que identificar al interior de la cuenca a lo largo del arroyo principal los cuatro tributarios con mayor volumen que contribuyan con flujo hídrico y descarguen directamente hacia el primero, donde se ubicarán cuatro confluencias, que indican el punto de unión entre los arroyos. Para crear una red de corriente a partir del raster de acumulación de flujo, se procede de la siguiente forma.

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

ArcToolbox > Spatial Analyst > Map Algebra > Raster Calculator.

b. Con el fin de crear una red de drenajes, tendrá que especificar un umbral para la cantidad de píxeles adyacentes que constituyen una corriente. Aquí vamos a especificar un valor límite de alto píxeles de acumulación. Necesitaremos formar cuatro

confluencias con el arroyo principal para ello se necesitara hacer pruebas hasta obtenerlas.

Después de hacer varias pruebas para la obtención de las 4 confluencias hacia el arroyo principal (paso c) se consiguió con un valor límite de 325000 píxeles de acumulación.

c. En la calculadora raster escribimos la expresión siguiente:

```
Stream_Red = Con ("FlowAcc_Flow." > 325000, 1)
```

Como resultado se obtiene el raster red de flujo

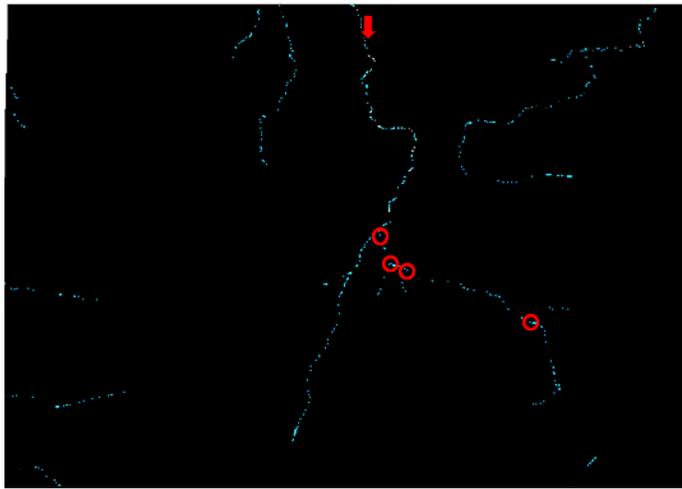


Figura 3.9. Raster red de flujo muestra el arroyo principal y los cuatro tributarios de mayor tamaño.

Una vez obtenido el umbral adecuado para visualizar los cuatro tributarios de mayor tamaño se realizó el cálculo de los umbrales con drenajes de más pequeños para obtener un panorama más amplio de los tipos de unidades de drenaje que describe el sistema Pfafstetter: cuenca, intercuenca y cuenca interna. El cual se obtuvo con el mismo proceso descrito anteriormente.

En este caso: $\text{stream_Red} = \text{con}(\text{FlowAcc_flow1} > 124500, 1)$.

3.2.8 Stream Link

Divide el cauce en segmentos no interrumpidos. Es decir, que dichas secciones en las que se divide el recorrido del flujo serán segmentos que conectan dos uniones sucesivas, una unión y un punto de desague o una unión y una división del área de drenaje ver Figura 3.10. Para ello se procede de la siguiente forma.

ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Stream Link

Como resultado se obtiene el siguiente raster.



Figura 3.10. Segmentos no interrumpidos.

3.2.9 Stream to Feature

Crea un shape de drenajes. El procedimiento es el siguiente: *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Stream Feature*.

Como resultado se obtiene la red de flujo en vector (Ver Figura 3.11).

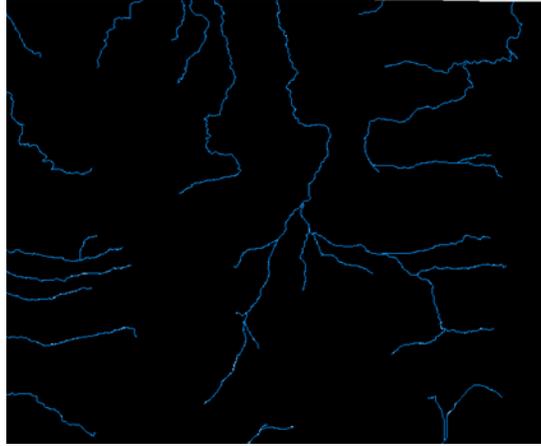


Figura 3.11. Shape de red hidrográfrica.

3.2.10 Watershed

Para la generación automática de watersheds – cuencas hidrográficas -, se requiere principalmente de la dirección de flujo y el enlace de cursos o “stream link” (Ver Figura 3.12). Ciertamente, no es el único método de generación de unidades de drenaje o watersheds, 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 la unidades de drenaje o watersheds.

Se definen las cuencas hidrográficas del sistema. El procedimiento es el siguiente: *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Watershed*. Como resultado se obtiene la delimitación de las cuencas.

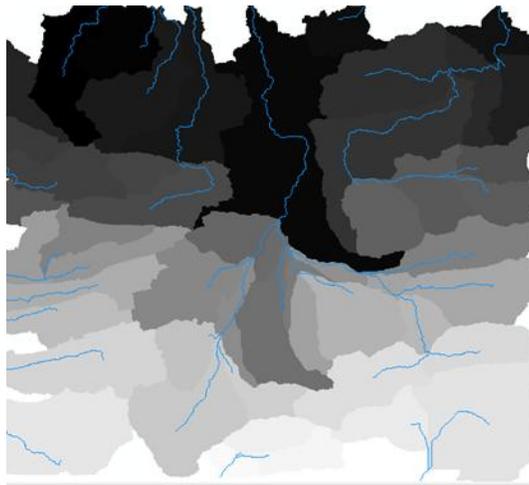


Figura 3.12. Shape de cuencas hidrográficas del área de estudio.

3.2.11 Raster to Polyline.

Ahora que se ha elaborado la red hídrica, convertir el ráster a shapefile con la herramienta Raster to Polyline (Ver Figura 3.13).

ArcToolbox > Conversion Tools > From Raster > Raster to Polyline

Como resultado se obtiene el polígono de las cuencas.

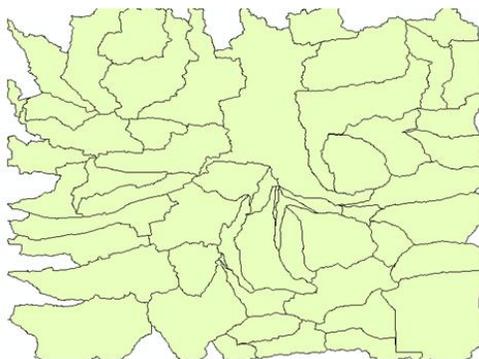


Figura 3.13. Polígono de las cuencas del área de estudio

3.2.12 Generación Vectorial de Unidades Hidrográficas

Extrae entidades de entrada que se superponen a las entidades del clip. Esto es particularmente útil para crear una nueva clase de entidad, también conocida como área de estudio o área de interés, que contenga un subconjunto geográfico de las entidades de otra clase de entidad mayor.

Se procede a recortar el polígono del perímetro de la cuenca del arroyo La Encantada. Considerando el cauce principal y los cuatro afluentes que están dentro del sistema que queremos delimitar y codificar.

Para ello es necesario seleccionar el área de estudio con la herramienta *select features* o selección de entidades que permite identificar o trabajar con un subconjunto de entidades en el mapa como se observa en la Figura 3.14.

Para seleccionar entidades se utiliza la herramienta *select features*  en la barra de herramientas. Con el puntero del ratón, se hace clic en el área a seleccionar, para agregar las demás solo se mantiene presionando la tecla *shift*, hasta tener completar el área de estudio a recortar.

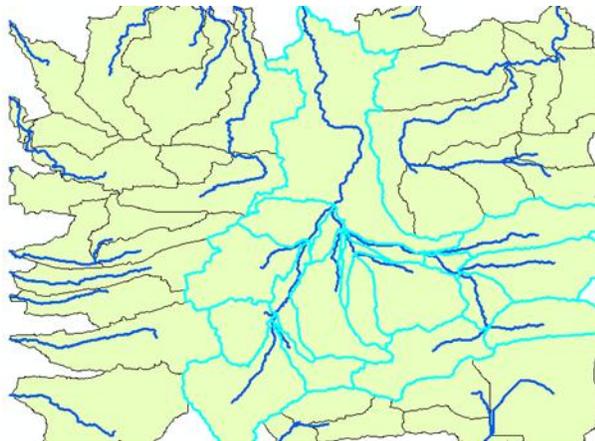


Figura 3.14. Selección del área de la cuenca de la arroyo La Encantada.

Se procede con la extracción del polígono como se resultado se obtiene el recorte de la cuenca del arroyo (Ver Figura 3.15).

ArcToolbox > Analysis Tools > Extract > Clip

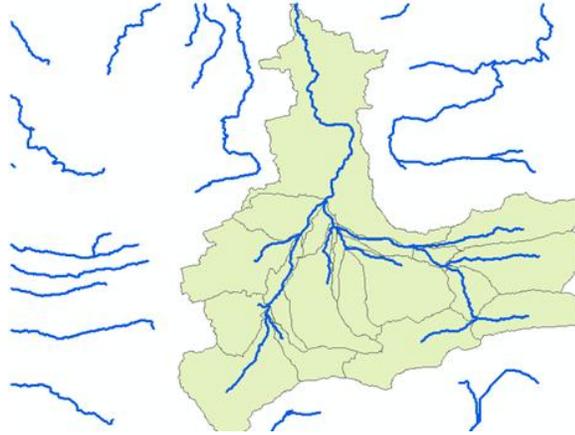


Figura 3.15. Recorte del área de la cuenca de la arroyo La Encantada.

3.2.13. Obtención de Unidades hidrográficas

Se radia líneas sobre los parteaguas cercanos partiendo de estos puntos de unión (confluencia) hacia la parte alta del área de drenaje. El resultado de este proceso será la obtención de nueve territorios, intercuenas son áreas que drenan directamente hacia el río principal y a las subcuencas son áreas que drenan hacia un principal a través de un tributario. Como resultado se obtuvieron 4 subcuencas y 5 intercuenas. Ver Figura 3.16.



Figura 3.16. Subcuencas e intercuenas del arroyo la Encantada.

3.3. Determinación de parámetros morfológicos.

Con el área de la cuenca del arroyo La Encantada ya digitalizada, se realizaron las mediciones de los parámetros físicos con la ayuda del programa ArcGIS.10.1 y el cálculo algunos parámetros mediante las ecuaciones ya citadas. La determinación de los parámetros se realizó para el área total de la cuenca y para las 4 unidades tipos subcuencas obtenidas.

3.4. Parámetros de forma.

Mediante el programa ArcGIS.10.1 y con el área de la cuenca ya digitalizada se realizaron los cálculos de estos parámetros área, perímetro, y longitud de la cuenca, con la ayuda de herramientas de ArcGIS mediante la tabla de atributos, se agregaron los campos a calcular y se hizo uso del cálculo de la geometría de la cuenca se checaron las unidades en kilómetros cuadrados posteriormente se corrió y se obtuvo el área y perímetro y con la extensión 3D analyst para obtener la longitud de la cuenca se hizo uso de measure (herramienta de ArcGIS 10.1) con el cual se obtuvo el resultado directo de la longitud de la cuenca. El coeficiente de compacidad (K_c) se calculó de acuerdo a la fórmula de Gravelius (1914). La relación de elongación (R) se obtuvo aplicando la fórmula de Schumm (1977). El factor forma (F) se calculó mediante la ecuación propuesta por Horton (1945).

3.5. Parámetros de drenaje.

El patrón de drenaje se determinó mediante la clasificación de Howard (1967) relaciona la disposición del drenaje con el medio geológico y establece una serie de drenajes tipo en función de la estructura. El número de orden de cauce se realizó para la cuenca total del arroyo La Encantada y para las cuatro unidades tipo subcuenca a través de la herramienta Stream Order de ArcGIS.10 usando el método propuestos por Strahler (1957). En el método de Strahler, se asigna un orden de 1 a todos los vínculos sin afluentes y se los

conoce como de primer orden. La longitud total de los cursos de agua (L_t) es la medición lineal de la longitud total de cauces (L) se realizó con la suma total del número de causes mediante la ayuda de la tabla de atributos se calculó la longitud expresada en km. Para la densidad de drenaje se aplicó la fórmula ya mencionada en la revisión de literatura.

3.6. Parámetros de relieve.

La pendiente media de la cuenca se calculó a través de un mapa de pendientes interpolado con datos de altimetría de la cuenca, las herramientas utilizadas para este proceso fueron Slope y Zonal Statistics as Table de ArcGIS.10.1, donde se obtuvo el resultado en porcentaje de la pendiente media de la cuenca. La pendiente del cauce principal se obtuvo con la relación entre la altura total del cauce principal (cota máxima menos cota mínima) entre la longitud del cauce principal. La curva hipsométrica se obtuvo a través de ArcGIS.10 con la generación de un archivo TIN del área de cuenca, del cual se creó un raster que se reclasificó con 8 clases y curvas a cada 300 metros para el área total de la cuenca empezando con la cota menor a la cota más alta de la cuenca. Para determinar el área que hay en las curvas clasificadas a cada 300 metros se usó la herramienta Zonal Statistics as Table donde se tomó dato del área que se pasó a Km^2 para generar la tabla de construcción de la curva hipsométrica. El polígono frecuencias de altitudes se realizó con tabla de construcción de la curva hipsométrica graficando Área/Área Total [por ciento] y alturas. Las Alturas características se calcularon con la ayuda de la curva hipsométrica y del polígono de frecuencias de altitudes tomando en cuenta que la altura media es la ordenada media de la curva hipsométrica, la altura más frecuente es la altitud cuyo valor porcentual es el máximo de la curva de frecuencia de altitudes y la altitud de frecuencia media es la altitud correspondiente al punto de abscisa media (50 % del área) de la curva hipsométrica.

3.7. Productos obtenidos

Mapa de delimitación y codificación de la cuenca y cauces de los arroyos. Mapas las 4 unidades hidrográficas tipo subcuenca y cauces de los arroyos. Parámetros morfométricos del área total de cuenca y de las 4 subcuencas obtenida.

IV RESULTADOS

4.1. Delimitación de la cuenca

Para el presente estudio, se partió con base al mapa elaborado por el Eros Data Center (USGS, 1997) a nivel mundial, que da inicio de la delimitación continental separando el continente en América del Norte y América del Sur; por lo tanto América del Norte se delimita para el Nivel 1 en 9 cuencas, correspondiéndole a México y Centroamérica el dígito 9, correspondiente a una intercuenca tal como se muestra en la Figura 4.1.

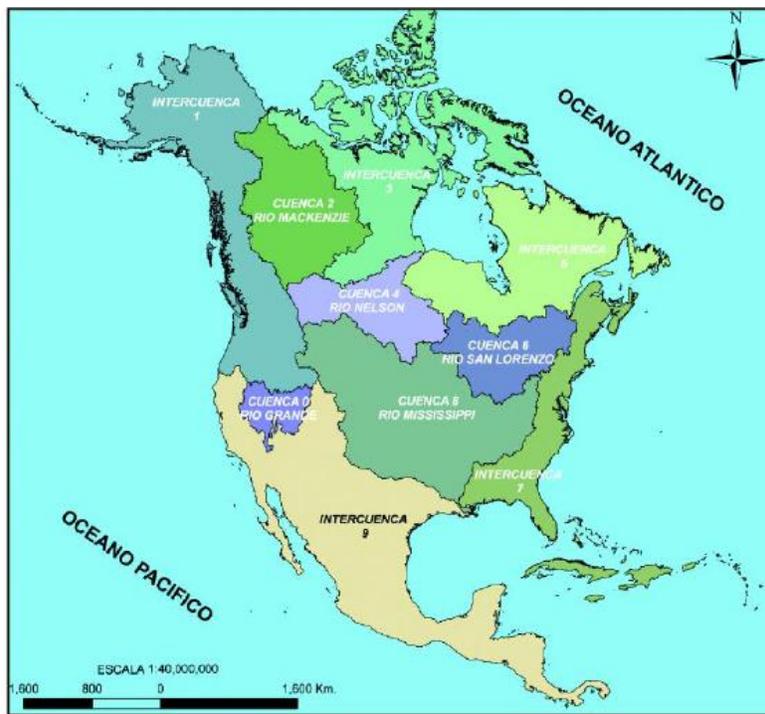


Figura 4.1. Delimitación continental de las cuencas de América del Norte, Nivel 1, Método Pfafstetter.

Para el nivel 2 el USGS delimita a nivel continental 80 cuencas, para nuestro caso se observa área delimitada correspondiente a la intercuenca con el código 9 correspondiente a México y Centroamérica donde se encuentra el área de estudio de la cuenca el arroyo La Encantada la cual se ubica en la cuenca con código 92 como se muestra en la Figura 4.2.

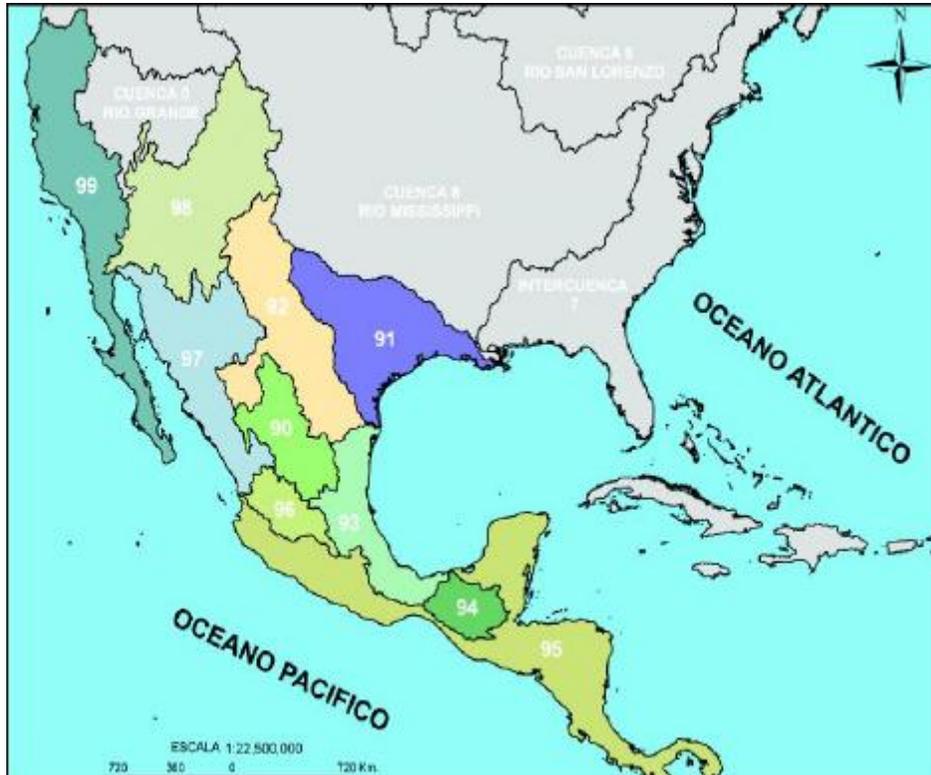
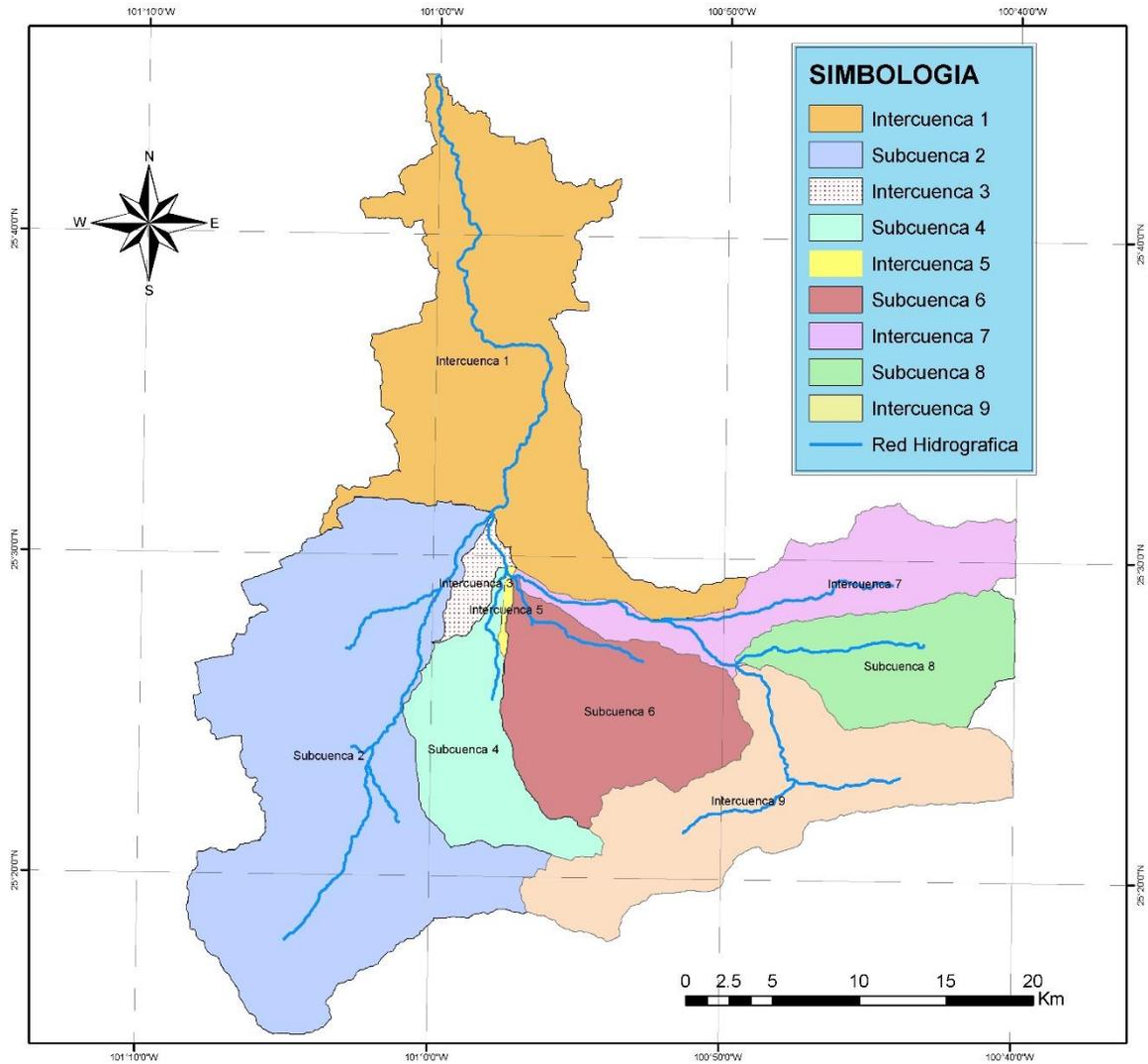


Figura 4.2. Delimitación continental de las cuencas de América del Norte, Nivel, 2 Método Pfafstetter.

Dado que México no utiliza el método Pfafstetter para la delimitación de sus cuencas se parte asumiendo que el área del arroyo La Encantada es de nivel 3 para ejemplificar la aplicación del método, ya que para realizar su aplicación a nivel continental y generar los códigos correspondientes, se necesita delimitar el área correspondiente con el código 92 hasta llegar al área del arroyo La Encantada generando así, niveles mayores que representarían mosaicos cada vez más finos de la superficie del terreno en unidades de drenaje más pequeñas.

El resultado de la delimitación del área de estudio consistió en subdividir el territorio llamado cuenca del arroyo La Encantada, ubicando las cuatro confluencias en la desembocadura de los cuatro tributarios más importantes sobre el río principal, y a partir de ahí, como indica la metodología, se generó nueve territorios que de acuerdo con su ubicación respecto a éste serán intercuencas o subcuencas, se obtuvieron 9 unidades hidrográficas 4 cuencas y 5 intercuencas como se observa en la Figura 4.3.

Delimitación y codificación de unidades hidrográficas de la cuenca del arroyo la encantada.

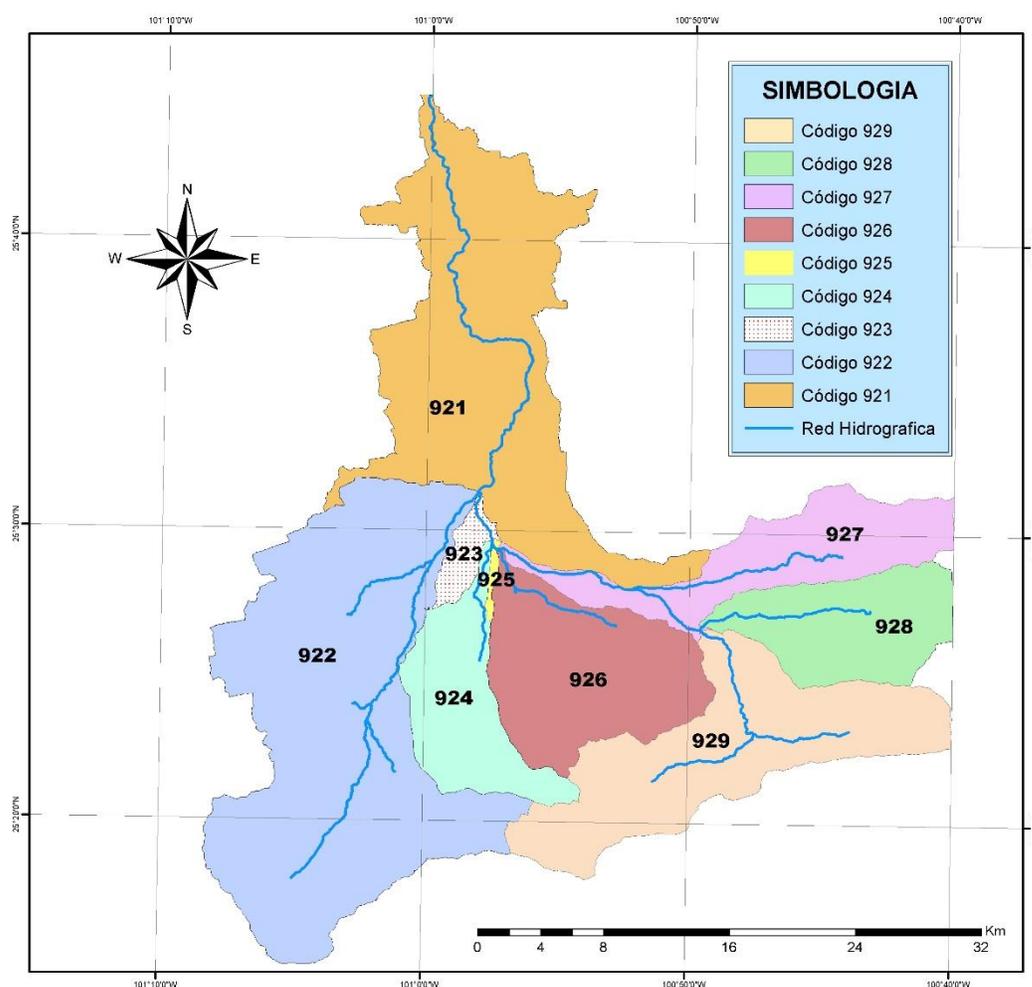


 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO DIVISION DE INGENIERIA DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE		
PROYECTO: Delimitación de la cuenca y unidades hidrográficas del Arroyo La Encantada Saltillo Coahuila		
MAPA: Codificación de unidades hidrográficas de la cuenca del arroyo La Encantada.		
ELABORO: MATEO JUAREZ GOMEZ	RESPONSABLE: DR. JAVIER DE JESUS CORTES B.	ESCALA: 1:250,000

Figura4.3. Delimitación las cuencas del arroyo La Encantada, Método Pfafstetter.

4.2. Codificación de la cuenca en el nivel 3

En el nivel 3 de la cuenca, queda comprendida 9 unidades, codificadas con códigos 921, 923, 925, 927, 929 para las intercuenas y 922, 924, 926 y 228 para las subcuencas como se muestra en la Figura 4.4.



 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO DIVISION DE INGENIERIA DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE		
PROYECTO: Delimitación de la cuenca y unidades hidrográficas del Arroyo La Encantada Saltillo Coahuila		
MAPA: Codificación de unidades hidrográficas de la cuenca del arroyo La Encantada.		
ELABORO: MATEO JUAREZ GOMEZ	RESPONSABLE: DR. JAVIER DE JESUS CORTES B.	ESCALA: 1:250,000

Figura 4.4. Codificación las cuencas del arroyo La Encantada, Método Pfafstetter

4.3. Morfología de la cuenca del arroyo La Encantada.

En la Figura 4.5 se observa el área total de la cuenca así como los cauces de los arroyos y las curvas a nivel. Los parámetros de forma, drenaje y los de relieve se analizaron en una sola serie para el área completa de la cuenca ver Cuadro 4.1.

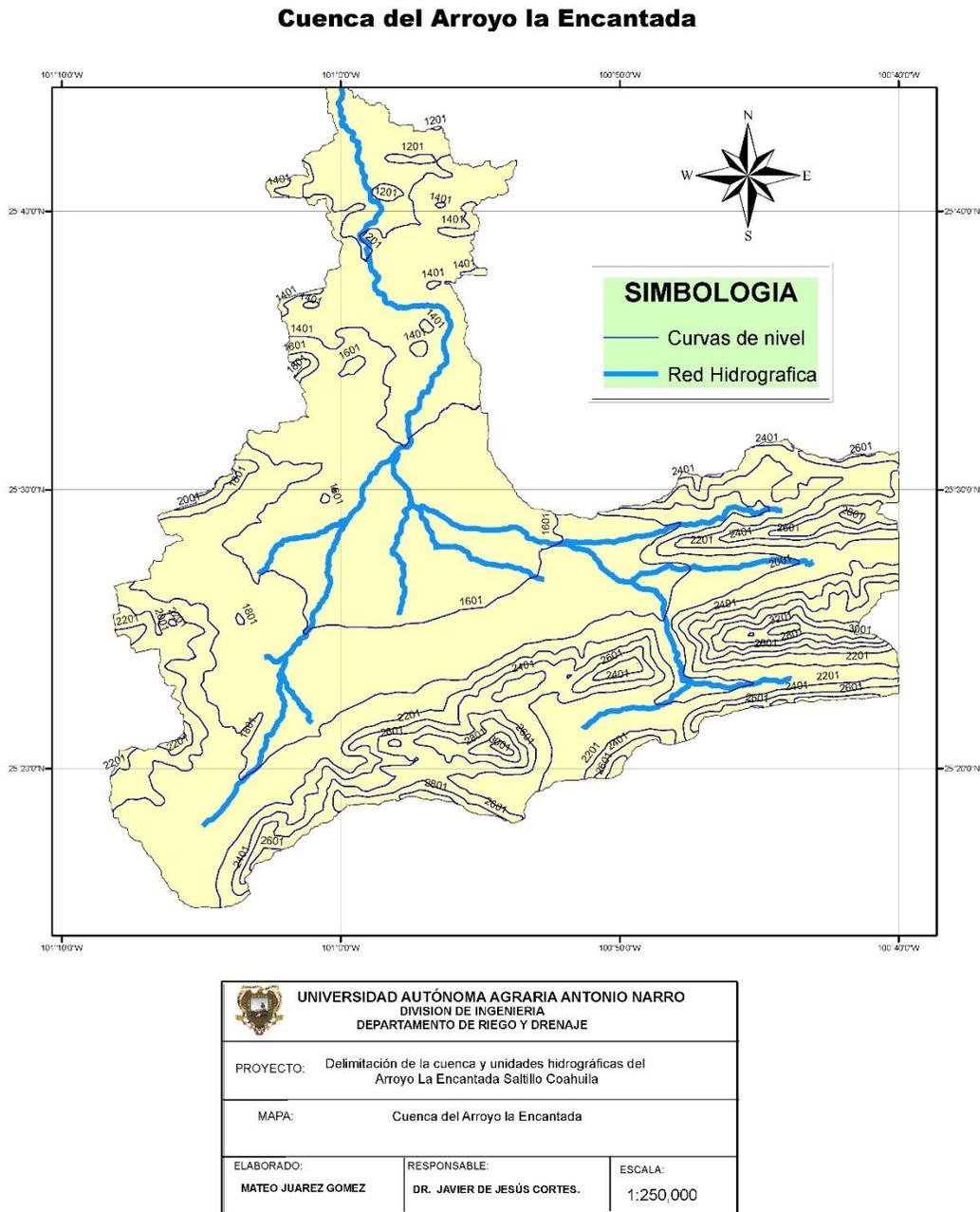


Figura 5.5. Área total de la cuenca con cauces y curvas de nivel.

4.3.1. Parámetros de forma.

Esta cuenca cuenta con un área de 1169.81 km² el área de la cuenca tiene gran importancia, por constituir el criterio de la magnitud del caudal, en condiciones normales, los caudales promedios, mínimos y máxima instantáneos crecen a medida que crece el área de la Cuenca.

Tiene un perímetro de 242.80 km, si bien el perímetro es una medida o parámetro que no indica nada por si solo se convierte en un insumo fundamental para el cálculo de los parámetros de forma de la cuenca al igual que la longitud de la cuenca que es de 49.45 km.

El coeficiente de compacidad de Gravelius es de 1.99, se considera una cuenca de clase III de acuerdo a la clasificación de Campos (1992) es Oval-oblonga a rectangular-oblonga. Parámetro que indica que la duración de escurrimiento de la lámina de agua será menor al tener que recorrer menos longitud en cauces secundarios. A mayor coeficiente menos redonda es la forma de la cuenca y más rápidamente alcanza la lámina de agua el cauce principal (Maldonado *et al*, 2001).

La relación de elongación es de 0.78 los valores de (R) inferiores a 1, implican formas alargadas. Los índices bajos obtenidos, indican cuencas poco circulares y corresponden a cuencas de montaña, escarpadas y alargadas (Jardí, 1985)

El factor de forma de la cuenca es de 0.48 de acuerdo a las clases de valores de forma moderadamente achatada. Una cuenca con un factor de forma bajo esta menos sujeta a crecidas y se caracteriza por ser una cuenca alargada, con un colector de mayor longitud que la totalidad de los tributarios.

4.3.2. Parámetros de drenaje

Patrón de drenaje el patrón de drenaje observado en la cuenca fue el dendrítico se caracteriza por tener materiales aproximadamente homogéneos en composición, sin control estructural, constituye uno de los patrones más comunes y se presenta en muchos ambientes de acuerdo a Howard (1967) los cuales pueden ocurrir a escalas variables.

Número de orden de cauce de acuerdo a la clasificación de Horton (1945) fue de clase media correspondiente a un cauce de tercer orden que posee ramificaciones de primero y segundo orden. Como se observa en la Figura 4.6. Entre más alto es el orden de la cuenca, indica un drenaje más eficiente que desalojará rápidamente el agua.

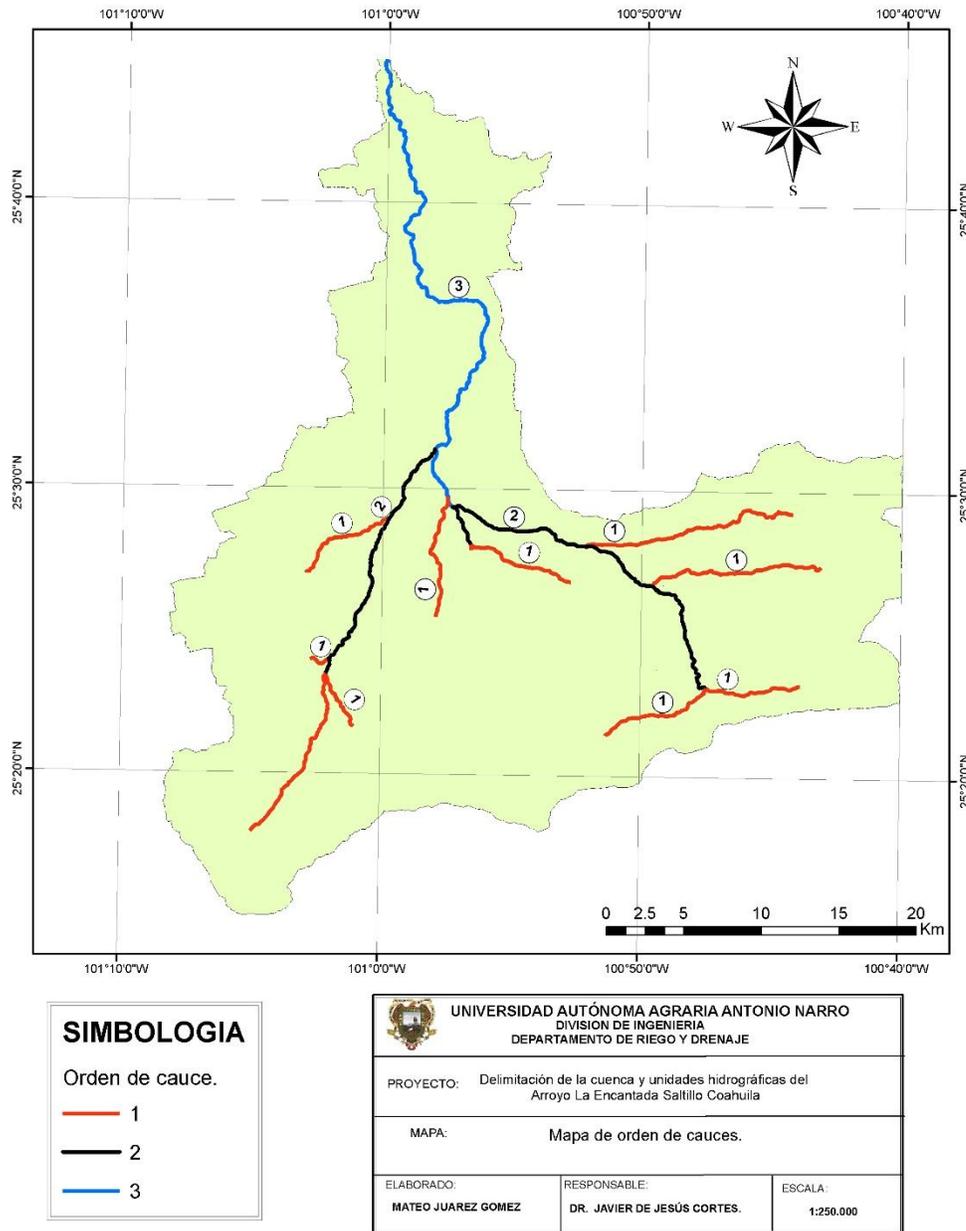


Figura 4.6. Mapa de número de orden de cauces.

Longitud total de los cursos de agua este parámetro fue medido a través de suma total de órdenes de cauces, el cual fue de 171 km. El resultado de este valor se utiliza para definir la densidad de drenaje de la cuenca.

La densidad de drenaje fue de 0.15 es una cuenca de clase baja refleja un área pobremente drenada, con respuesta hidrológica muy lenta.

4.3.3. Parámetros de relieve

Pendiente media de la cuenca fue de 14 % de acuerdo a la caracterización de relieve según Heras que representa un suelo accidentado a medio accidentado que evidentemente favorece parcialmente la escorrentía, favoreciendo el escurrimiento superficial y potenciando algunos procesos erosivos.

La pendiente del cauce principal fue del 17% favorece la escorrentía y procesos erosivos.

La curva hipsométrica proporciona una información sintetizada sobre la altitud de la cuenca, que representa gráficamente la distribución de la cuenca vertiente por tramos de altura. La curva hipsométrica es una distribución del área de acuerdo con la elevación, es decir, una representación bidimensional, que grafica en el eje vertical la elevación y en el eje horizontal el porcentaje del área sobre cada curva de nivel, en términos del área total como se muestra en la Figura 4.7.

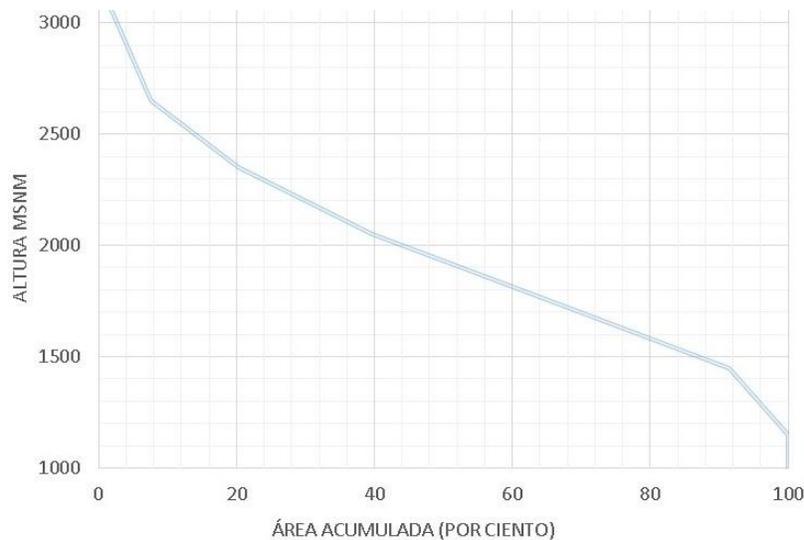


Figura 4.7. Curva Hipsométrica de la cuenca del arroyo La Encantada.

Al comparar la curva hipsométrica de cuenca del arroyo La Encantada que se muestra en la Figura 4.7, con las curvas propuestas por Strahler, citado por Llamas (1993), es posible señalar que esta cuenca se encuentra en una etapa intermedia (curva B) es característica de una cuenca en equilibrio.

El polígono de frecuencia de altitudes para la cuenca del arroyo La Encantada se muestra en la siguiente Figura 4.8.

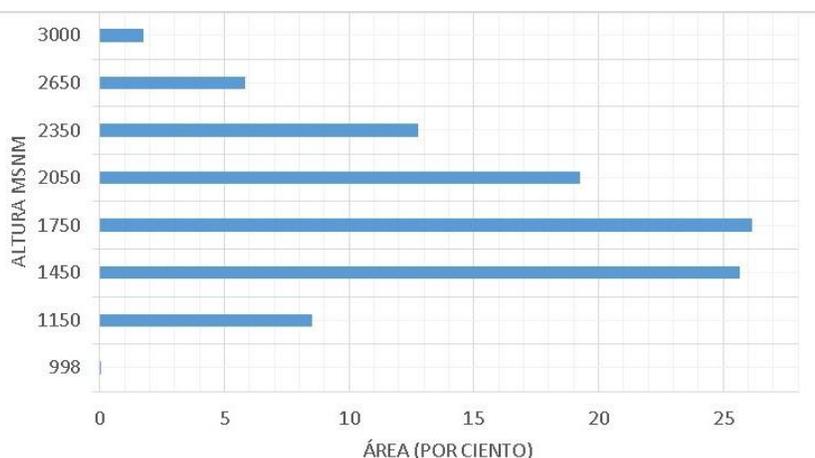


Figura 4.8. Frecuencia de altitudes de la cuenca del arroyo La Encantada.

Con las figuras de la curva hipsométrica y el polígono de frecuencias de alturas se determinan las alturas características. Altura media: 1900 msnm es la ordenada media de la curva hipsométrica. Altura más frecuente: 1750 msnm es la altitud cuyo valor porcentual es el máximo de la curva de frecuencia de altitudes. Altitud de frecuencia media: 1832 msnm Es la altitud correspondiente al punto de abscisa media (50 % del área) de la curva hipsométrica.

Cuadro 4.1 Resumen de resultados de valores morfológicos para la cuenca del arroyo La Encantada

Cuenca	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud de la cuenca (km)	Cota Inicial del cauce (msnm)	Cota Final de cauce (msnm)	Índice de Compacidad (K):	Relación de elongación (R):	Factor de forma (F):	Patrón de drenaje (Pd)
Arroyo la Encantada	1169.81	242.80	49.45	2100	1000	1.99	0.78	0.48	Dendrítico
Cuenca	Número de orden de cauce.	Longitud total de los cauces (km)	Densidad de drenaje	Longitud total Cauce Principal (km)	Pendiente media de la cuenca (%)	Pendiente cauce principal (%)	Altitud media de la Cuenca (msnm)	Altitud más frecuente: (msnm)	Altitud de Frecuencia media (msnm)
Arroyo la Encantada	3	171	0.14617716	64	14	17	1900	1750	1832

4.4. Morfología de la Subcuenca 922

En la Figura 4.9 se observa el área correspondiente a la subcuenca 922 así como los cauces de los arroyos. Los parámetros de forma, drenaje y los de relieve se analizaron en una sola serie para esta área ver Cuadro 4.2.

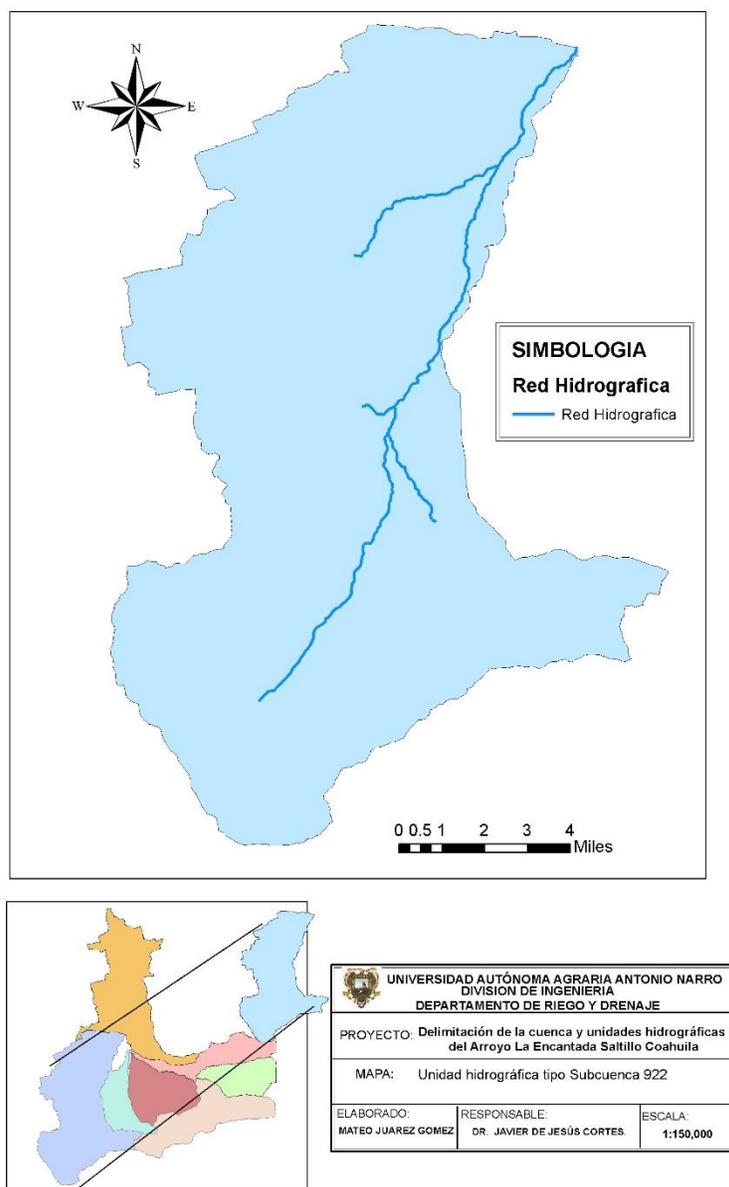


Figura 4.9. Área de la subcuenca 922

4.4.1 Parámetros de forma.

Esta subcuenca cuenta con un área de 344.73 km², tiene un perímetro de 113.70 km, la longitud de la cuenca es de 32.5 km. El coeficiente de compacidad de Gravelius es de 1.71, se considera una cuenca de clase III de acuerdo a la clasificación de Campos (1992) es Oval-oblonga a rectangular-oblonga. La relación de elongación es de 0.64 los valores de (R) inferiores a 1, implican formas alargadas. El factor de forma de la cuenca es de 0.33 de acuerdo a las clases de valores de forma ligeramente achatada.

4.4.2. Parámetros de drenaje

Patrón de drenaje el patrón de drenaje observado en la cuenca fue el dendrítico, el número de orden de cauce de acuerdo a la clasificación de Horton (1945) fue de clase baja a media correspondiente a un cauce de segundo orden que posee únicamente ramificaciones de primer orden.

Longitud total de los cursos de agua este parámetro fue medido a través de suma total de órdenes de cauces, el cual fue de 44 km el resultado de este valor se utiliza para definir la densidad de drenaje de la cuenca.

La densidad de drenaje fue de 0.13 es una cuenca de clase baja refleja un área pobremente drenada, con respuesta hidrológica muy lenta.

4.4.3. Parámetros de relieve

Pendiente media de la cuenca fue de 13 % de acuerdo a la caracterización de relieve según Heras que representa un suelo medio accidentado que favorece parcialmente la escorrentía, favoreciendo el escurrimiento superficial y potenciando algunos procesos erosivos. La pendiente del cauce principal fue del 13%.

En la Figura 4.10 se aprecia la curva hipsométrica de la subcuenca 922 la cual presenta el comportamiento de la elevación y el área acumulada que proyecta la subcuenca es posible señalar que esta cuenca se encuentra entre la etapa intermedia (curva B) es característica de una cuenca en equilibrio y la curva inferior (curva C) es típica de una cuenca sedimentaria.

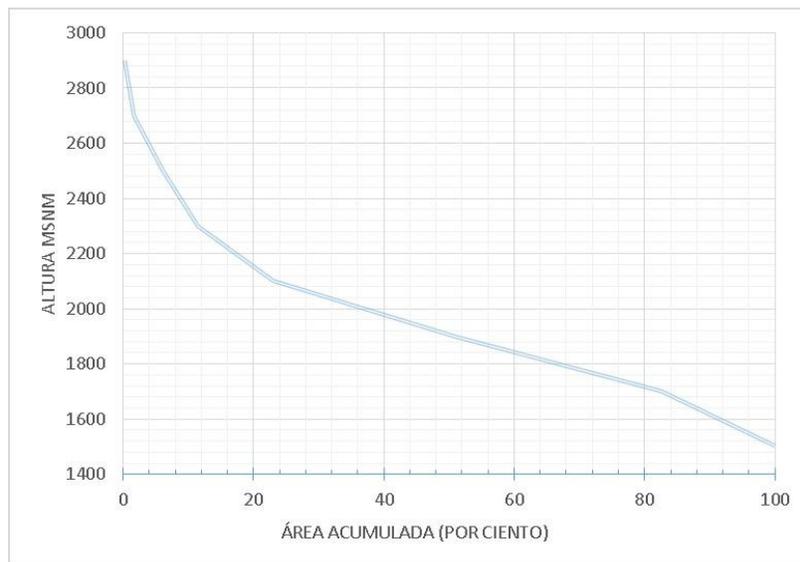


Figura 4.10. Curva Hipsométrica de la subcuenca 922 del arroyo La Encantada.

El polígono de frecuencia de altitudes para la subcuenca 922 del arroyo La Encantada se muestra en la siguiente Figura 4.11.

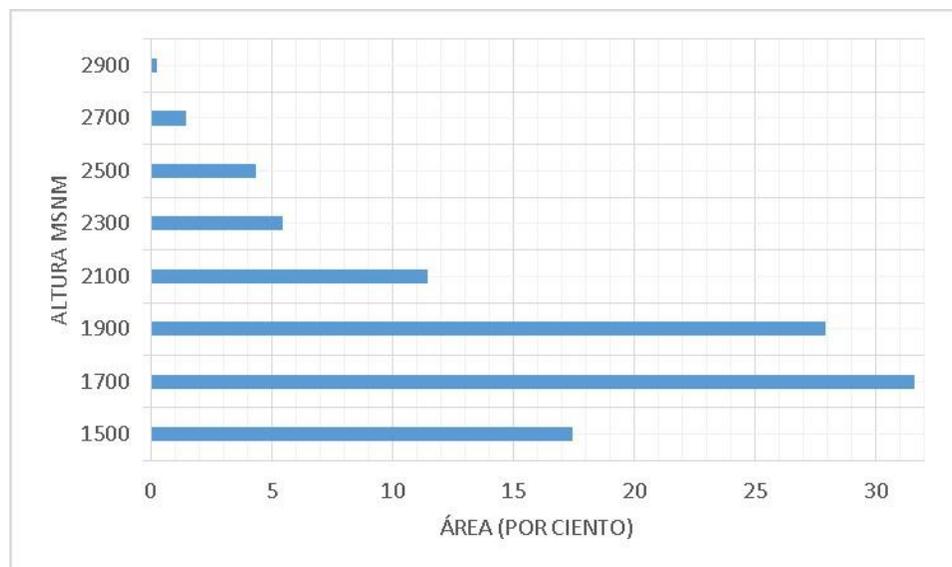


Figura 4.11. Polígono de frecuencia de altitudes para la subcuenca 922.

Con las figuras de la curva hipsométrica y el polígono de frecuencias de alturas se determinan las alturas características.

Altura media: 1900 msnm es la ordenada media de la curva hipsométrica. Altura más frecuente: 1700 msnm es la altitud cuyo valor porcentual es el máximo de la curva de frecuencia de altitudes. Altitud de frecuencia media: 1852 msnm es la altitud correspondiente al punto de abscisa media (50 % del área) de la curva hipsométrica.

Cuadro 4.2 Resumen de resultados de valores morfológicos para la subcuenca 922

Cuenca	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud de la cuenca (km)	Cota Inicial del cauce (msnm)	Cota Final de cauce (msnm)	Índice de Compacidad (K):	Relación de elongación (R):	Factor de forma (F):	Patrón de drenaje (Pd)
Subcuenca 922	344.73	113.70	32.5	1900	1505	1.71	0.64	0.33	DENTRIFICO
Cuenca	Número de orden de cauce.	Longitud total de los cauces (km)	Densidad de drenaje	Longitud total Cauce Principal (km)	Pendiente media de la cuenca (%)	Pendiente cauce principal (%)	Altitud media de la Cuenca (msnm)	Altitud más frecuente: (msnm)	Altitud de Frecuencia media (msnm)
Subcuenca 922	2	44	0.13	31	13	13	1900	1700	1852

4.5. Morfología de la Subcuenca 924

En la Figura 4.12 se observa el área correspondiente a la subcuenca 926 así como los cauces de los arroyos. Los parámetros de forma, drenaje y los de relieve se analizaron en una sola serie para esta área ver Cuadro 4.3.

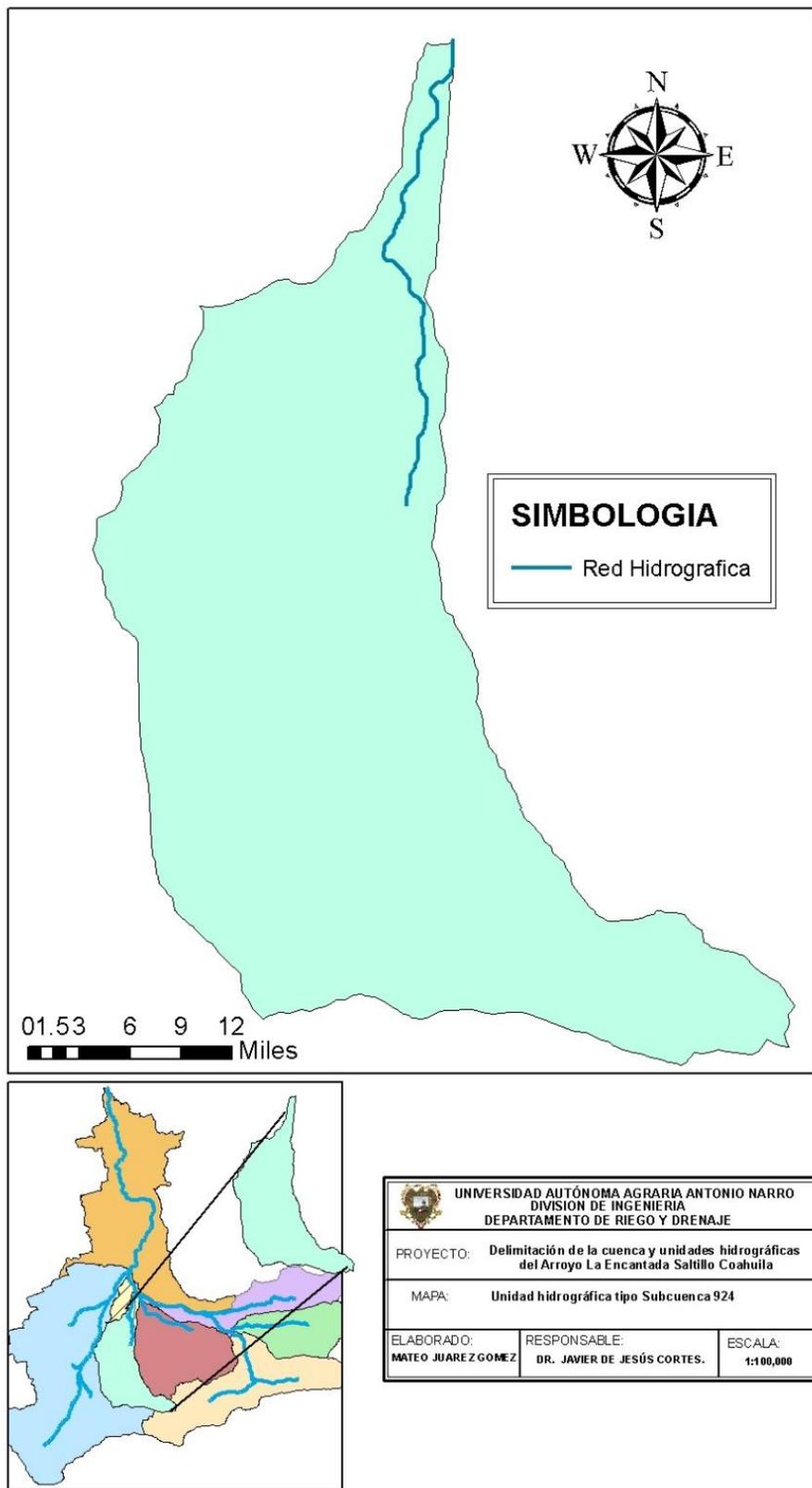


Figura 4.12. Área de la subcuenca 924

4.5.1. Parámetros de forma.

Esta subcuena cuenta con un área de 75.90 km², tiene un perímetro de 50.74 km, la longitud de la cuenca es de 16.40 km. El coeficiente de compacidad de Gravelius es de 1.63, se considera una cuenca de clase III de acuerdo a la clasificación de Campos (1992) es Oval-oblonga a rectangular-oblonga. La relación de elongación es de 0.60 los valores de (R) inferiores a 1, implican formas alargadas. El factor de forma de la cuenca es de 0.28 de acuerdo a las clases de valores de forma es ligeramente achatada.

4.5.2. Parámetros de drenaje

El número de orden de cauce de acuerdo a la clasificación de Horton (1945) fue de clase baja correspondiente a un cauce de primer orden.

Longitud total de los cursos de agua este parámetro fue medido a través de suma total de órdenes de cauces, el cual fue de 9 km. El resultado de este valor se utiliza para definir la densidad de drenaje de la cuenca.

La densidad de drenaje fue de 0.12 es una cuenca de clase baja refleja un área pobremente drenada, con respuesta hidrológica muy lenta.

4.5.3. Parámetros de relieve

Pendiente media de la cuenca fue de 13 % de acuerdo a la caracterización de relieve según Heras que representa un suelo medio accidentado que favorece parcialmente la esorrentía, favoreciendo el escurrimiento superficial y potenciando algunos procesos erosivos. La pendiente del cauce principal fue del 9%.

En la Figura 4.13 se aprecia la curva hipsométrica de la subcuena 924 la cual presenta el comportamiento de la elevación y el área acumulada que proyecta la subcuena es posible

señalar que esta cuenca se encuentra en la etapa intermedia (curva B) es característica de una cuenca en equilibrio y la curva inferior (curva C) es típica de una cuenca sedimentaria.

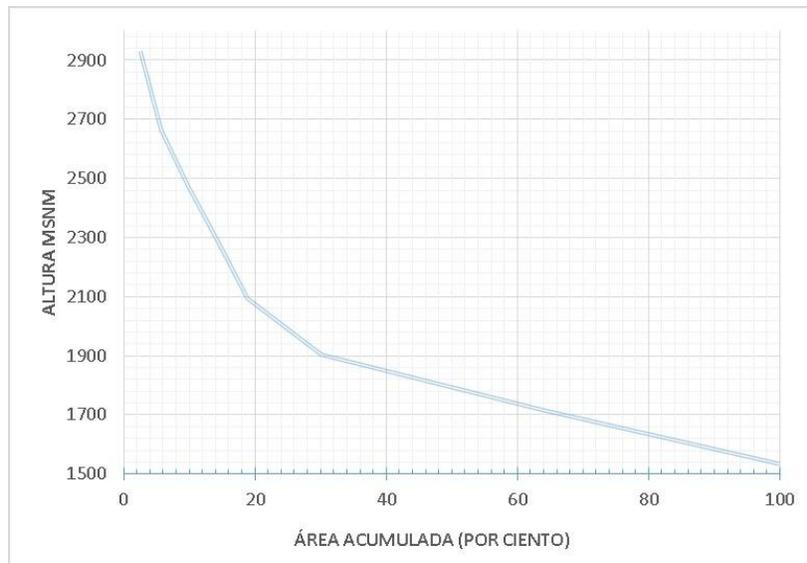


Figura 4.13. Curva Hipsométrica de la subcuenca 924 del arroyo La Encantada.

El polígono de frecuencia de altitudes para la subcuenca 924 del arroyo La Encantada se muestra en la siguiente Figura 4.14.

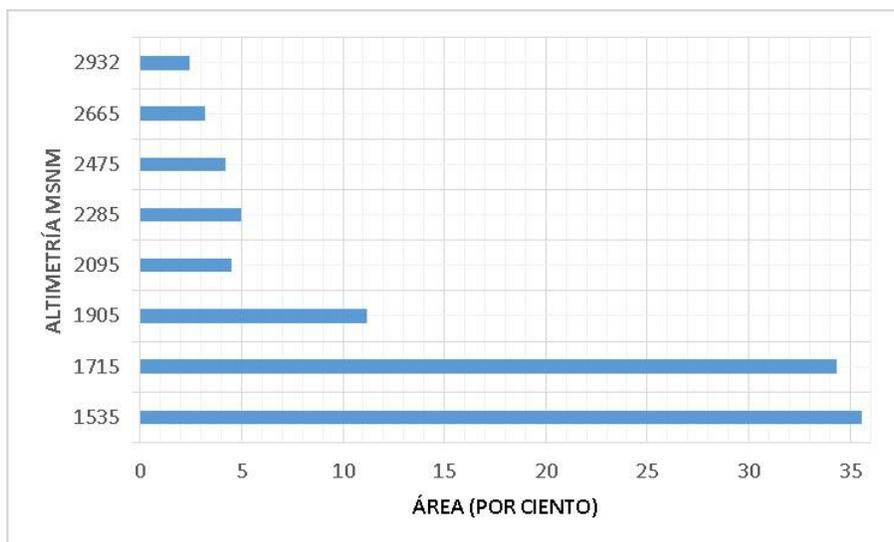


Figura 4.14. Polígono de frecuencia de altitudes para la subcuenca 924.

Con las figuras de la curva hipsométrica y el polígono de frecuencias de alturas se determinan las alturas características. Altura media: 1800 msnm es la ordenada media de la curva hipsométrica. Altura más frecuente: 1535 msnm es la altitud cuyo valor porcentual es el máximo de la curva de frecuencia de altitudes. Altitud de frecuencia media: 1808 msnm es la altitud correspondiente al punto de abscisa media (50 % del área) de la curva hipsométrica.

Cuadro 4.3 Resumen de resultados de valores morfológicos para la subcuenca 924.

Cuenca	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud de la cuenca (km)	Cota Inicial del cauce (msnm)	Cota Final de cauce (msnm)	Índice de Compacidad (K):	Relación de elongación (R):	Factor de forma (F):	Patrón de drenaje (Pd)
Subcuenca 924	75.90	50.74	16.4	1581	1500	1.63	0.60	0.28	S/Pd
Cuenca	Número de orden de cauce.	Longitud total de los cauces (km)	Densidad de drenaje	Longitud total Cauce Principal (km)	Pendiente media de la cuenca (%)	Pendiente cauce principal (%)	Altitud media de la Cuenca (msnm)	Altitud más frecuente: (msnm)	Altitud de Frecuencia media (msnm)
Subcuenca 924	1	9	0.12	9	13	9	1800	1535	1808

4.6. Morfología de la Subcuenca 926

En la Figura 4.15 se observa el área correspondiente a la subcuenca 926 así como los cauces de los arroyos. Los parámetros de forma, drenaje y los de relieve se analizaron en una sola serie para esta área ver Cuadro 4.4.

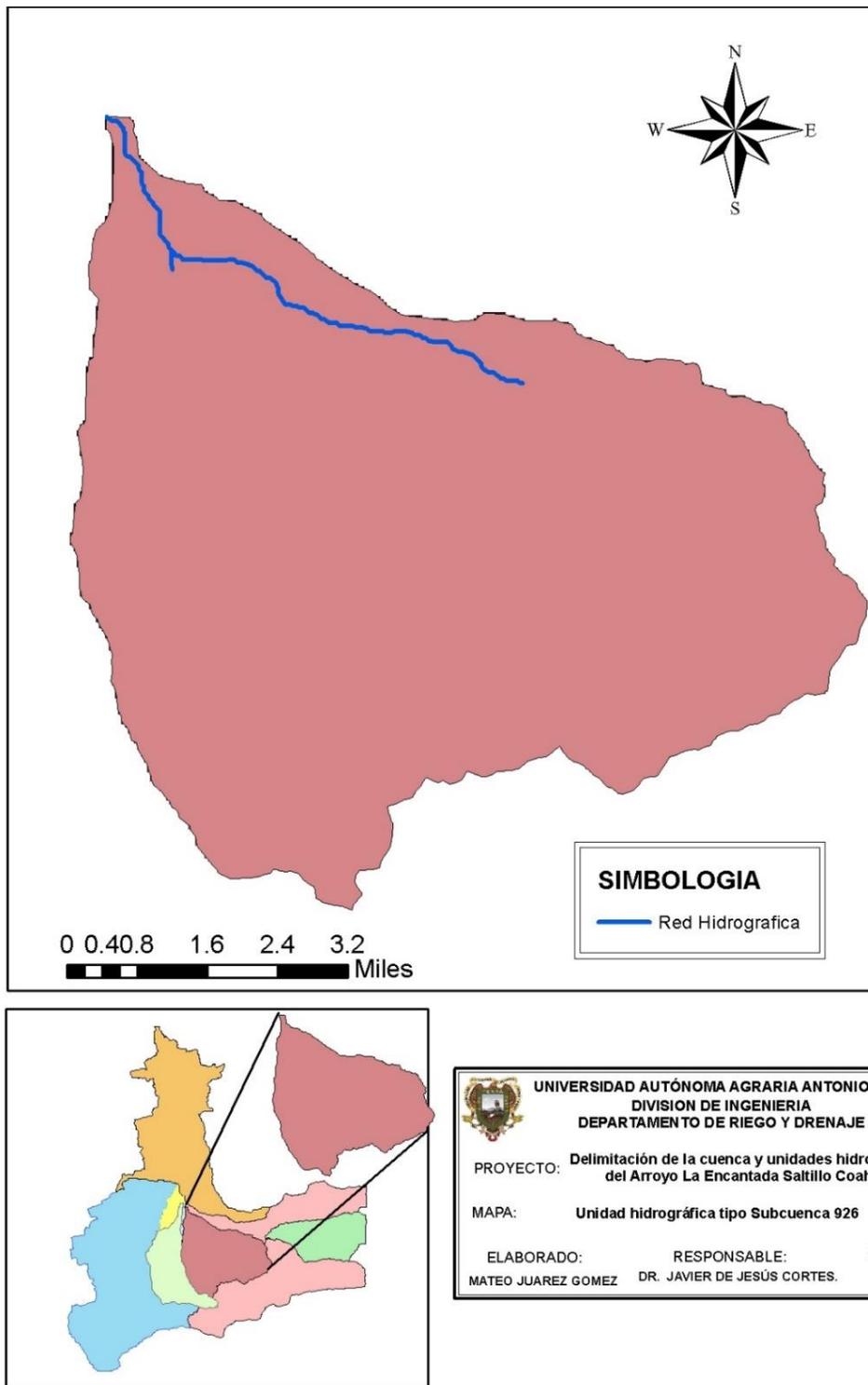


Figura 4.15. Área de la subcuenca 926.

4.6.1. Parámetros de forma.

Esta subcuenca cuenta con un área de 122.18 km², tiene un perímetro de 51.16 km, la longitud de la cuenca es de 15.60 km. El coeficiente de compacidad de Gravelius es de 1.30, se considera una cuenca de clase II de acuerdo a la clasificación de Campos (1992) es Oval-redonda a oval oblonga onda. La relación de elongación es de 0.80 los valores de (R) inferiores a 1, implican formas alargadas. El Factor de forma de la cuenca es de 0.50 de acuerdo a las clases de valores de forma moderadamente achatada.

4.6.2. Parámetros de drenaje

El número de orden de cauce de acuerdo a la clasificación de Horton (1945) fue de clase baja correspondiente a un cauce de primer orden.

Longitud total de los cursos de agua este parámetro fue medido a través de suma total de órdenes de cauces, el cual fue de 11 km. El resultado de este valor se utiliza para definir la densidad de drenaje de la cuenca.

La densidad de drenaje fue de 0.09 es una cuenca de clase baja refleja un área pobremente drenada, con respuesta hidrológica muy lenta.

4.6.3. Parámetros de relieve

Pendiente media de la cuenca fue de 14% de acuerdo a la caracterización de relieve según Heras que representa un suelo medio accidentado que favorece parcialmente la esorrentía, favoreciendo el escurrimiento superficial y potenciando algunos procesos erosivos. La pendiente del cauce principal fue del 14%.

En la Figura 4.16 se aprecia la curva hipsométrica de la subcuenca 926 la cual presenta el comportamiento de la elevación y el área acumulada que proyecta la subcuenca, es posible señalar que esta cuenca se encuentra en la etapa intermedia (curva B) es característica de una cuenca en equilibrio y la curva inferior (curva C) es típica de una cuenca sedimentaria.

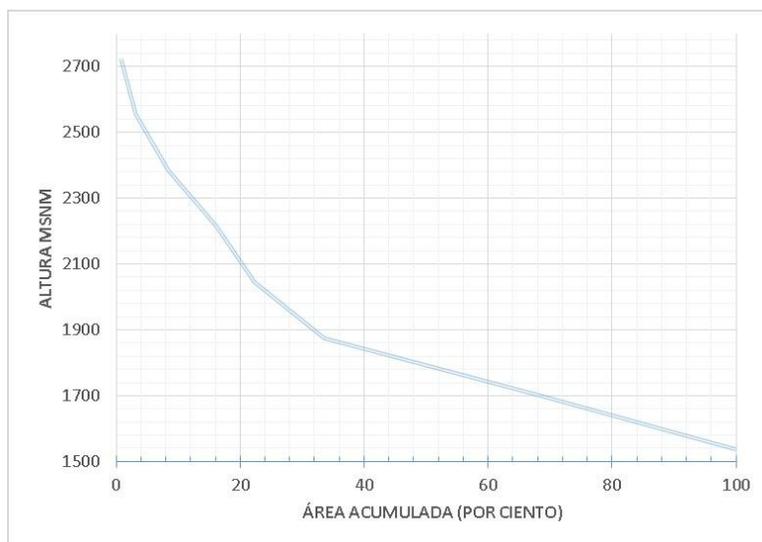


Figura 4.16. Curva Hipsometrica de la subcuenca 926 del arroyo La Encantada

El polígono de frecuencia de altitudes para la subcuenca 926 del arroyo La Encantada se muestra en la siguiente Figura 4.17.

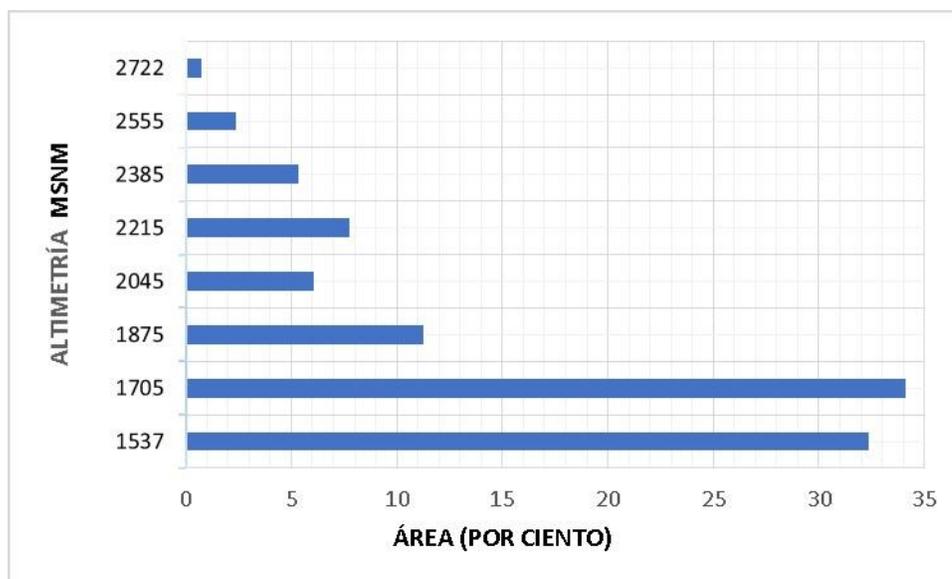


Figura 4.17. Polígono de frecuencia de altitudes para la subcuenca 926.

Con las figuras de la curva hipsométrica y el polígono de frecuencias de alturas se determinan las alturas características. Altura media: 1800 msnm es la ordenada media de la curva hipsométrica. Altura más frecuente: 1705 msnm es la altitud cuyo valor porcentual es el máximo de la curva de frecuencia de altitudes. Altitud de frecuencia media: 1794 msnm es la altitud correspondiente al punto de abscisa media (50 % del área) de la curva hipsométrica.

Cuadro 4.4 Resumen de resultados de valores morfológicos para la subcuenca 926.

Cuenca	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud de la cuenca (km)	Cota Inicial del cauce (msnm)	Cota Final de cauce (msnm)	Índice de Compacidad (K):	Relación de elongación (R):	Factor de forma (F):	Patrón de drenaje (Pd)
Subcuenca 926	122.18	51.16	15.60	1659	1500	1.30	0.80	0.50	S/Pd
Cuenca	Número de orden de cauce.	Longitud total de los cauces (km)	Densidad de drenaje	Longitud total Cauce Principal (km)	Pendiente media de la cuenca (%)	Pendiente cauce principal (%)	Altitud media de la Cuenca (msnm)	Altitud más frecuente: (msnm)	Altitud de Frecuencia media (msnm)
Subcuenca 926	1	11	0.09	11	14	14	1800	1705	1794

4.7. Morfología de la Subcuenca 928

En la Figura 4.18 se observa el área correspondiente a la subcuenca 928 así como los cauces de los arroyos. Los parámetros de forma, drenaje y los de relieve se analizaron en una sola serie para esta área ver Cuadro 4.5.

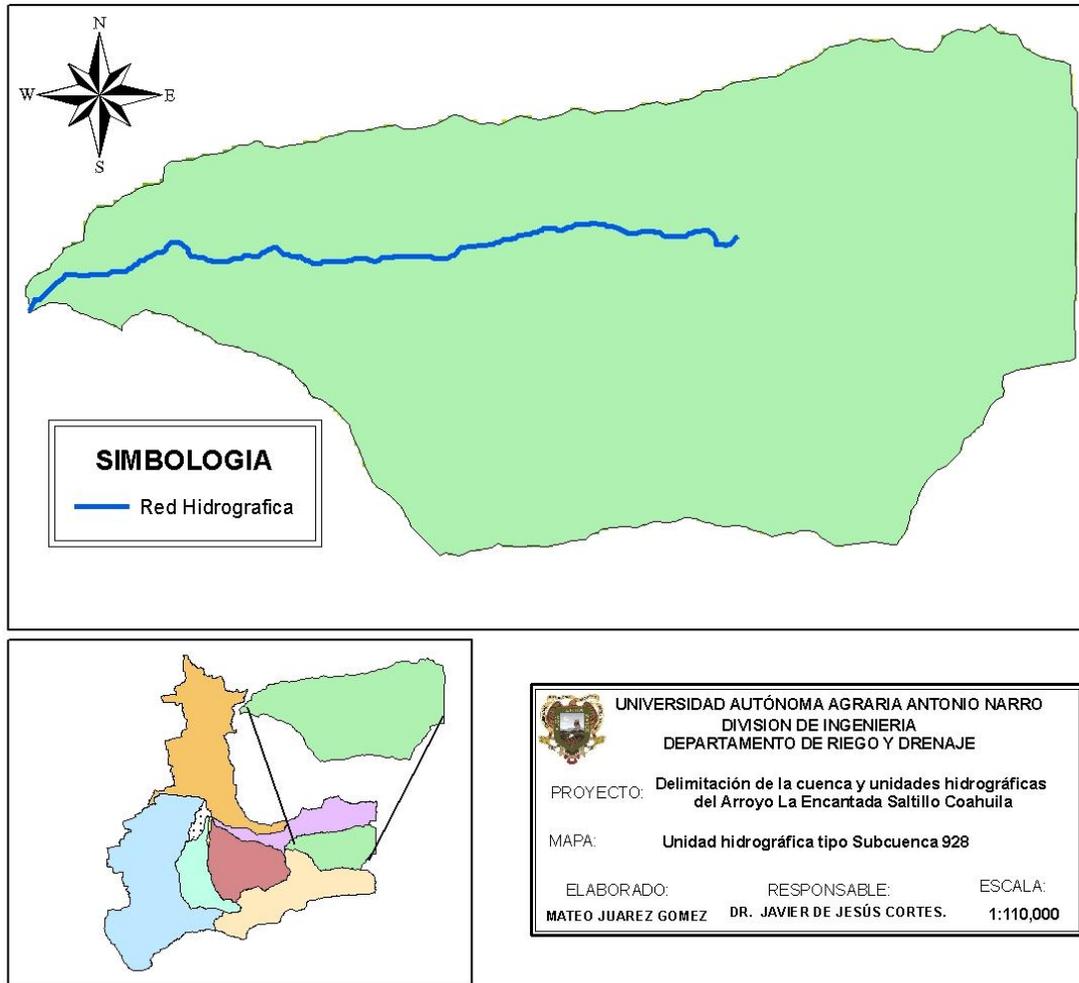


Figura 4.18. Área de la subcuenca 928

4.7.1. Parámetros de forma.

Esta subcuenca cuenta con un área de 83.84 km^2 , tiene un perímetro de 43.19 km , la longitud de la cuenca es de 16 km . El coeficiente de compacidad de Gravelius es de 1.32 , se considera una cuenca de clase II de acuerdo a la clasificación de Campos (1992) es Oval-redonda a oval oblonga onda. La relación de elongación es de 0.65 los valores de (R) inferiores a 1 , implican formas alargadas. El factor de forma de la cuenca es de 0.33 de acuerdo a las clases de valores de forma ligeramente achatada.

4.7.2. Parámetros de drenaje

El número de orden de cauce de acuerdo a la clasificación de Horton (1945) fue de clase baja correspondiente a un cauce de primer orden.

Longitud total de los cursos de agua este parámetro fue medido a través de suma total de órdenes de cauces, el cual fue de 12 km, el resultado de este valor se utiliza para definir la densidad de drenaje de la cuenca.

La densidad de drenaje fue de 0.14 es una cuenca de clase baja refleja un área pobremente drenada, con respuesta hidrológica muy lenta.

4.7.3. Parámetros de relieve

Pendiente media de la cuenca fue de 33% de acuerdo a la caracterización de relieve según Heras representa un suelo fuerte accidentado que favorece la capacidad de arrastre de sedimentos e incrementa la velocidad del caudal en caso de tormentas, la pendiente del cauce principal fue del 28%.

En la Figura 4.19 se aprecia la curva hipsométrica de la subcuenca 928 la cual presenta el comportamiento de la elevación y el área acumulada que proyecta la subcuenca es posible señalar que esta cuenca se encuentra en la etapa intermedia (curva B) es característica de una cuenca en equilibrio.

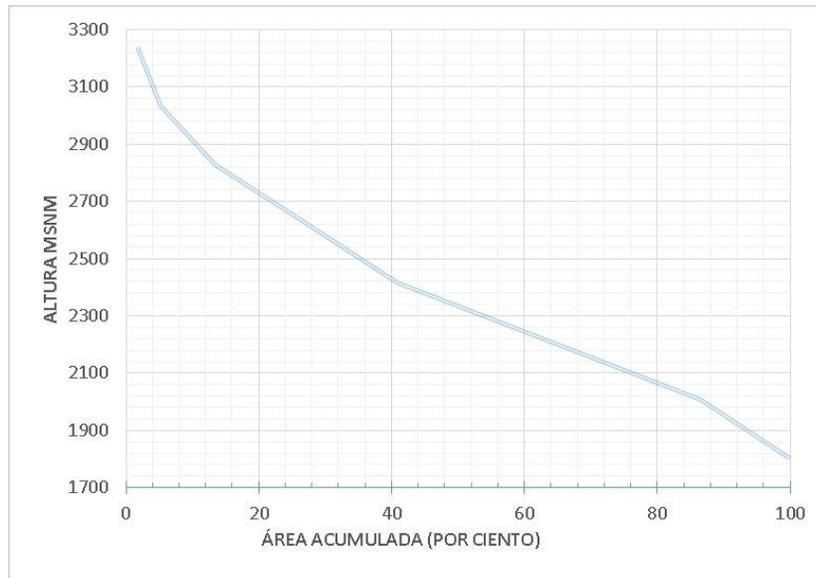


Figura 4.19. Curva Hipsometrica de la subcuenca 928 del arroyo La Encantada.

El polígono de frecuencia de altitudes para la subcuenca 928 del arroyo La Encantada se muestra en la siguiente Figura 4.20.

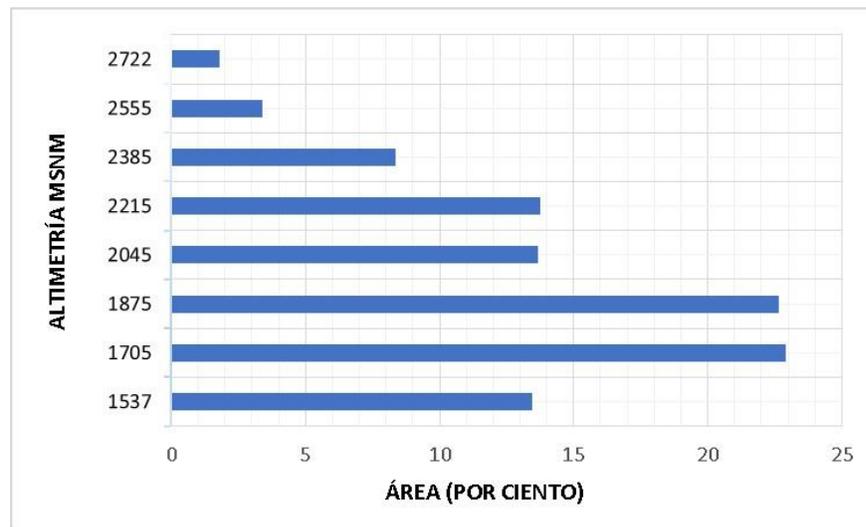


Figura 4.20. Polígono de frecuencia de altitudes para la subcuenca 928.

Con las figuras de la curva hipsométrica y el polígono de frecuencias de alturas se determinan las alturas características. Altura media: 2350 msnm es la ordenada media de la curva hipsométrica. Altura más frecuente: 2008 msnm es la altitud cuyo valor porcentual es el máximo de la curva de frecuencia de altitudes. Altitud de frecuencia media: 2292 msnm es la altitud correspondiente al punto de abscisa media (50 % del área) de la curva hipsométrica.

Cuadro 4.5 Resumen de resultados de valores morfológicos para la subcuenca 928.

Cuenca	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud de la cuenca (km)	Cota Inicial del cauce (msnm)	Cota Final de cauce (msnm)	Índice de Compacidad (K):	Relación de elongación (R):	Factor de forma (F):	Patrón de drenaje (Pd)
Subcuenca 928	83.84	43.19	16	2037	1700	1.32	0.65	0.33	S/Pd
Cuenca	Número de orden de cauce.	Longitud total de los cauces (km)	Densidad de drenaje	Longitud total Cauce Principal (km)	Pendiente media de la cuenca (%)	Pendiente cauce principal (%)	Altitud media de la Cuenca (msnm)	Altitud más frecuente: (msnm)	Altitud de Frecuencia media (msnm)
Subcuenca 928	1	12	0.14	12	0.33	28	2350	2008	2292

V. CONCLUSIONES

Se obtuvieron nueve unidades hidrográficas 4 cuencas y 5 intercuencas a las cuales solo el área total de la cuenca y las 4 unidades tipos subcuencas se les determinó un cierto número de parámetros fundamentales en base a las características morfométricas de una cuenca hidrográfica que dieron idea de las propiedades particulares de cada cuenca; estas propiedades o parámetros facilitan el empleo de fórmulas hidrológicas, que generalmente son empíricas, y sirven para relacionarlas con los parámetros de forma, drenaje y de relieve.

La interpretación de los parámetros morfométricos deben tomarse con cautela por que pueden representar valores subjetivos; sin embargo, la información aportada ofrece un panorama general que puede ayudar a formar diversos escenarios necesarios para prevenir contingencias y tomar medidas para preservar los recursos naturales de la zona.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir subdividiendo las unidades hidrográficas que aún presentan una importante extensión en este nivel 3 para obtener mosaicos cada vez más finos de la superficie del terreno y representar unidades de drenaje más pequeñas.
- Realizar la caracterización de las intercuencas y subcuencas con un umbral independiente al generado con el área completa de la cuenca, que determine el flujo de acumulación adecuado para el cálculo de parámetros de cada unidad hidrográfica.
- No obstante, que la información obtenida fue elaborada para una escala de: 1:50.000, es posible emplear válidamente a escalas de mayor detalle, hasta un límite máximo de: 1:25.000.
- Homogeneizar criterios de delimitación entre las distintas instituciones académicas y dependencias gubernamentales así como brindar una base estandarizada de cuencas a nivel nacional.
- Con la información obtenida del área de estudio se pueden tomar nuevas medidas como la toma de decisiones para el diseño de obras hidráulicas futuras, establecer áreas vulnerables a los eventos hidro meteorológicos extremos, etc. Para ello es necesario realizar un estudio hidrológico a partir de los datos obtenidos en este trabajo.
- Equilibrar los usos que se den a los recursos naturales de la cuenca ya que ello genera impactos negativos si no se tienen un adecuado manejo de los recursos, las intervenciones antropogénicas son el causante de muchos desastres dentro de la cuenca, ya que se sobreexplota la cuenca quitándole recursos o desnudándola de vegetación y trayendo inundaciones en las partes bajas.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, M. 2005. Marco Conceptual y Manejo de Cuencas en el Perú. Documentos del Instituto Nacional de Recursos Naturales. Intendencia de Recursos Hídricos. Consultado en enero del 2016. : http://www.cepal.org/deype/noticias/noticias/7/44607/delimitacion_codificacion_cuencas.pdf

Black, P.E. 1996. Watershed hydrology, Chelsea, Michigan. 435 pp.

Campos, A. 1992. Proceso del Ciclo Hidrológico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 1ª ed. San Luis Potosí, México. Págs. 22-23.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA 2009). Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea acuífero (0502) cañón del derramadero. 36 pp. Consultado en Febrero 2016. <http://www.conagua.gob.mx>

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2011. Hidrografía del estado de Coahuila. Consultado en Febrero del 2016. <http://www.conagua.gob.mx/dlcoah/Contenido.aspx?n1=1>

Conesa, C. 1996. Áreas de aplicación medioambiental de los SIG. Modelización y avances recientes. Universidad de Murcia, Murcia. 111 pp.

Cotler H. 2010. Las cuencas hidrográficas de México: Diagnóstico y priorización. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT-Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P., México D.F. 231 pp.

Deagostini R.E. 1978 Introducción a la Fotogrametría. Publicaciones culturales LTDA, Bogotá, Colombia. 245 pp.

Díaz Delgado, C., Mamadou Bâ K., Iturbide Posadas, A., Esteller, Ma. V. Reyna Sáeng F. 1999. Estimaciones de las características fisiográficas de una cuenca con del SIG y MEDT: caso del curso Alto del río Lerma, Estado de México. CIENCIA ergo-sum.

Dow AgroSciences de México S.A. de C.V. 2012. Solicitud de liberación al ambiente en Etapa piloto de maíz Herculex I en la Región de La Laguna. Págs. 7 - 10. Consultado Enero 2016. <http://www.dowagro.com/mx/>

Faustino, J. 2006. Curso Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, Cali, Colombia Octubre de 2006.

García, E. 1973. Modificaciones para el Sistema de Clasificación Climática Koopen. 1ª. Edición UNAM, México. 246 pp.

González, M. A. 2004. Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. Boletín de la A.G.E. No. 38. Págs. 311-329.

González, T. M. y García, J.L.D. 1998. Restauración de Ríos y Riberas. ATIM.

Gravelius, H. 1914. Flusskunde: Grundriss des gesamten Gewasserkunde. Goschenesche Verlagshandlung, Berlin, En: S.I. Munguía y A.M.

- Heras, R. 1976. Hidrología y recursos hidráulicos. Tomo 1 Dirección General de Obras Hidráulicas - Centro de Estudios Hidrográficos. Madrid, España.
- Horton, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Geol. Soc. America Bull. Págs. 275-280.
- Howard, A.D. 1967. Drainage Analysis in geologic interpretation: A summation. Am Assoc. Petr. Geol. (AAPG), vol 51/11. Págs. 2246-2259.
- Ibáñez, A. S., H. R. Moreno, J. M. I. B. Gisbert. 2011. Morfología de las cuencas hidrográficas. Valencia: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural-Universidad Politécnica de Valencia. 9 pp.
- INE 2005. Instituto Nacional de Ecología: Dirección en Manejo Integral de Cuencas: Instructivo para la revisión de la delimitación de las Cuencas Hidrográficas de México a escala 1:250 000. www.inecc.gob.mx. 4 pp.
- INEGI 2015. Instituto Nacional de Geografía e Informática, Continuo de Elevaciones Mexicano CEM
- Jardí, M. 1985 Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. Revista de Geografía. Volumen XIX. Departamento de Geografía de la Universidad de Barcelona. Págs. 41-68.

Klohn, W. 1970. Magnitudes fisiográficas e índices morfométricos relacionados con la hidrología. Publicación aperiódica No. 12 del Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología. Bogotá, Colombia.

Langbein, W. B. 1947. Topographic characteristics of drainage basins. U. S. Geol. Surv., Water-Supply Paper 968-C, p. 125-155. Larsson, W., 1940.

Leopold, L. B. 1994. A View of the River. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

Linsley, 1977. Hidrología para Ingenieros. 2da Edición, Editorial McGRAW-HILL. Págs. 347-351.

LLamas, J. 1993. Hidrología general: Principios y aplicaciones. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.

López Cadenas de Llano, F. 1998. Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión. Ingeniería medioambiental. TRAGSATEC. Min. Medio Ambiente. Ed. Mundi. Prensa. Madrid España. Págs. 319-945.

Maldonado De León, O. A., Palacios, O. L., Oropeza, J. L., Springall, R. G., & Fernández, D. S. 2001. Empleo del modelo SWRRB para generar alternativas de manejo en la cuenca de Iztapa, Guatemala. Agrociencia. Págs. 335-345.

Pfafstetter, O. 1989. Classificação de bacias hidrográficas. Rio de Janeiro, RJ: Departamento Nacional de Obras de Saneamento. (Manuscrito não publicado).

Ruiz, R y Torres, H. 2008. Manual de Procedimientos de Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas: Caso América del Sur. UICN Quito, Ecuador. Págs. 10-16.

Schumm, S. A. 1977. The fluvial system, Ed. J. Wiley & Sons, N.Y., U.S.A.

Strahler, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Am. Geophys. Union Trans. Págs. 913-920.

Swank, W.T; Crossley, D.A. Jr. 1988. Forest hydrology and ecology at Coweeta. Edit. Springer. New York (USA).

Umaña G, E. 2002. Manejo de Cuencas Hidrográficas Y Protección de Fuentes de Agua. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. Págs. 13-14.

Verdin, K.L. and J.P. Verdin, 1999. A topological system for delineation and codification of the Earth's river basins, Journal of Hydrology, vol. 218, .Págs. 1-12.

Villón Béjar, M. 2002. Hidrología. Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico De Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 37 pp.