



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS
DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOBRE LOS
RECURSOS NATURALES**

INIRENA – UMSNH

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN LIMNOLOGÍA Y
ACUICULTURA**

**“ESTADO DE LA RED HIDROGRÁFICA DE LAS SUBCUENCAS
MIL CUMBRES – AZUFRES Y ALTERNATIVAS DE
RECUPERACIÓN”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
EN LIMNOLOGÍA Y ACUICULTURA**

PRESENTA

BIOLOGO FABRICIO MARIANO DOMÍNGUEZ

DIRECTOR DE TESIS

DR. ALBERTO GÓMEZ-TAGLE ROJAS

**Morelia, Mich., México
Agosto 2008**

RESUMEN

Un sistema fluvial ofrece al hombre además de agua, toda una serie de recursos y valores cada vez mas apreciados cuyo disfrute y conservación plantean un conflicto de usos del agua que es necesario considerar en la planificación hidrológica de una cuenca. Dentro de los elementos principales que constituyen a los ecosistemas fluviales tenemos su cuenca vertiente, el régimen de caudales, la morfología y dinámica del cauce, la fauna acuática y la vegetación de las riberas. Los ecosistemas de ribera se reconocen como ecosistemas únicos que presentan alta sensibilidad a la degradación y son el reflejo de los procesos que ocurren en la cuenca que los rodea de tal manera que permite identificar de forma rápida y confiable el estado de salud de la cuenca. Con base en esto se evaluó el estado de conservación que presenta la red hidrográfica de la zona mil cumbres – azufres en la cuenca de Cuitzeo, se calificó el ecosistema ripario y se obtuvo la morfología de 45 cauces en diferentes ordenes en tres cubiertas de suelo, los resultados muestran que las cubiertas de suelo y las actividades inmersas en ellas afectan a éstos ecosistemas de diferente forma ya que la red hidrográfica se encuentra mejor conservada en las cubiertas de bosque, mientras que la actividad que más la daña es la ganadería extensiva llevada a acabo en toda el área pero principalmente en los agostaderos, por lo que se concluye que los cauces mejor conservados se encuentran en las partes altas bajo cubiertas de bosque en donde la accesibilidad al ganado es menor, mientras que los cauces más afectados se encuentran en la parte media y baja de la cuenca en las que se localiza la actividad agrícola y pecuaria promotoras de la degradación de éstos ecosistemas.

CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	JUSTIFICACIÓN.....	3
III.	HIPÓTESIS	4
IV.	OBJETIVOS.....	4
	IV.1 Objetivo General.....	4
	IV.2 Objetivos Particulares.....	4
V.	ANTECEDENTES.....	5
	V.1 Acerca del Agua.....	5
	V.2 Uso consuntivo del agua en el País.....	6
	V.3 Cuencas.....	6
	V.4 Trabajos relacionados con la presente investigación.....	8
	V.4.1 Morfometría de cuencas.....	8
	V.4.2 Ecosistemas riparios.....	11
	V.4.3 Morfología de cauces.....	16
VI.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	17
	VI. 1 Localización.....	17
	VI. 2 Fisiografía.....	17
	VI. 3 Topoformas.....	18
	VI. 4 Hidrología e Hidrografía.....	18
	VI. 5 Suelos.....	18
	VI. 6 Clima.....	19
	VI. 7 Vegetación.....	19
	VI. 8 Precipitación.....	19
	VI. 9 Temperatura.....	20
VII.	METODOLOGÍA.....	21
	VII. 1 Procesamiento SIG.....	23
	VII. 1. 1 Generación del mapa base y definición del área de estudio.....	23
	VII. 1. 2 Análisis Morfométrico.....	23
	VII. 1. 3 Diseño del muestreo.....	25
	VII. 2 Trabajo de Campo.....	25
	VII. 2. 1 Clasificación de la Red Hidrográfica.....	25
	VII. 2. 2 Evaluación del ecosistema ripario.....	27

VII. 3 Trabajo de Gabinete.....	30
VII.3.1 Índice de estrechamiento.....	30
VII.3.2 Índice ancho / profundo.....	31
VII.3.3 Índice de Sinuosidad.....	31
VII.3.4 Estado de conservación del área de estudio.....	31
VII.3.5 Representación cartográfica de las condiciones de la red hidrográfica.....	32
VII.3.6 Alternativas de manejo.....	32
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
VIII. 1 Análisis Morfométrico.....	34
VIII.1.1 Parámetros morfométricos.....	35
VIII.1.2 Análisis de la Red de Drenaje.....	42
VIII.1.3 Tiempos de concentración.....	48
VIII.1.4 Exposición.....	49
VIII. 2 Caracterización y clasificación de la red hidrográfica.....	50
VIII. 3 Evaluación de los ecosistemas de ribera.....	56
VIII. 4 Análisis de varianza.....	59
VIII. 5 Relación de los resultados de la caracterización de la red hidrográfica y de la evaluación de los ecosistemas riparios con los procesos de degradación o conservación del ecosistema.....	65
VIII.5.1 Ecosistema ripario.....	65
VIII.5.2 Cultivos en la zona de estudio.....	67
VIII.5.3 Bosques de la zona de estudio.....	68
VIII.5.4 Agostaderos en la zona de estudio.....	70
VIII.5.5 Relación con los resultados obtenidos para el área de estudio.....	73
VIII.6 Representación cartográfica de las condiciones de la red hidrográfica.....	76
VIII.7 Alternativas de manejo para el área de estudio.....	77
IX. CONCLUSIONES.....	80
X. BIBLIOGRAFÍA.....	81
XI. ANEXO 1.....	91

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Material cartográfico empleado.....	22
Tabla 2. Estratificación de muestreo.....	25
Tabla 3. Clases del material del cauce y tamaños.....	26
Tabla 4: Metodología rápida para la evaluación de ecosistemas riparios en zonas templadas (Zepeda, <i>et al.</i> 2002).....	28
Tabla 5. Tipo de Cuenca (Marín P. <i>et al.</i> ; 2005).....	33
Tabla 6. Parámetros morfométricos de la subcuencas y microcuencas.....	35
Tabla 7. Forma de la cuenca (FAO, 1985).....	37
Tabla 8. Clases de desnivel altitudinal (Fuentes, 2004).....	39
Tabal 9. Número de cauces de cada uno de los órdenes.....	43
Tabla 10. Densidad de corrientes/Km ²	44
Tabla 11. Radio de bifurcación.....	45
Tabla 12. Longitud de cauces en Km.....	45
Tabla 13. Densidad de drenaje en Km. /Km ²	46
Tabla 14. Pendientes promedio de los órdenes.....	47
Tabla 15. Parámetros calculados para los cauces principales.....	48
Tabla 16. Tiempos de concentración de las áreas calculadas con las formulas de Kirpich y Californiana.....	49
Tabla 17. Tabla de Frecuencias de Órdenes y Subtipos de cauces obtenidos con la metodología Rosgen (1994).....	52
Tabla 18. Tabla de frecuencias de los subtipos de cauces obtenidos en las diferentes cubiertas de suelo.....	54
Tabla 19. Descripción general de los principales tipos de Ríos clasificados (Rosgen, 1994).....	55
Tabla 20. Resumen de variables obtenidas.....	56
Tabla 21. ANOVA de dos vías para el estado del ecosistema ripario ($p < .05$).....	62
Tabla 22. Matriz cruzada de valores de p para la prueba de diferencia honesta significativa de Tukey en el estado de conservación del ecosistema ripario.....	62

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Uso consuntivo del agua en el año 2000. (BIODIVERSITAS, 2003)...	6
Figura 2. Localización del área de estudio.....	17
Figura 3. Precipitación en la cuenca de Cuitzeo (Bocco, <i>et al</i> , 2001).....	19
Figura 4. Temperaturas en la cuenca de Cuitzeo (Bocco, <i>et al</i> , 2001).....	20
Figura 5. Diagrama de flujo metodológico.....	21
Figura 6. Flujo Metodológico del Análisis Morfométrico.....	24
Figura 7. Clave para la clasificación de Ríos (Rosgen, 1994).....	32
Figura 8. Subcuencas y Microcuencas del área de estudio.....	33
Figura 9. Subcuenca uno que evidencia una forma alargada.....	38
Figura 10. La Subcuenca cuatro presenta la forma mas parecida a un círculo.....	38
Figura 11. Subcuenca uno.....	40
Figura 12. Microcuenca dos.....	40
Figura 13. Microcuenca tres.....	40
Figura 14. Subcuenca cuatro.....	40
Figura 15. Microcuenca cinco.....	41
Figura 16. Microcuenca seis.....	41
Figura 17. Ordenamiento de una red de canales según Strahler (1952, 1957).....	43
Figura 18. Perfil longitudinal del cauce principal de la subcuenca uno.....	47
Figura 19. Perfil longitudinal del cauce principal de la subcuenca cuatro.....	47
Figura 20. Perfil longitudinal del cauce principal de la microcuenca seis.....	47
Figura 21. Perfil longitudinal del cauce principal de la microcuenca dos.....	47
Figura 22. Perfil longitudinal del cauce principal de la microcuenca tres.....	48
Figura 23. Perfil longitudinal del cauce principal de la microcuenca cinco.....	48
Figura 24. Exposiciones de las subcuencas y microcuencas del área de estudio.....	50
Figura 25. Porcentajes de los cauces clasificados.....	51
Figura 26. Tipos de cauces más comunes en los diferentes órdenes.....	51
Figura 27. Tipos de cauces en las diferentes cubiertas de suelo.....	53

Figura 28. Promedios de calificaciones de los diferentes órdenes.....	58
Figura 29. Promedios de calificaciones del ecosistema ripario en las diferentes cubiertas de suelo.....	58
Figura 30. Intervalos de calificaciones y porcentajes de sitios que las presentan.....	59
Figura 31. Distribución de los datos de la variable calificaciones del Método Rápido para la evaluación de ecosistemas riparios (Zepeda <i>et al.</i> , 2002).....	60
Figura 32. Conjuntos de Valores de la metodología rápida para la evaluación de ecosistemas riparios y su relación con la cubierta del suelo.....	63
Figura 33. Conjuntos de valores de la metodología rápida para la evaluación de ecosistemas riparios y su relación con el orden del cauce.....	64
Figura 34. Actividades que dañan el ecosistema ripario.....	65
Figura 35: Actividad agrícola adyacente al área riparia en cauces de orden cinco(a) y cuatro (b).....	68
Figura 36. Cauce de orden cuatro (a) y cinco (b) en una cubierta de bosque.....	69
Figura 37. Restos de maderas en un cauce de orden uno bajo una cubierta de bosque.....	69
Figura 38. Desgajamiento de cerros provocados por la construcción de caminos para la extracción de madera.....	69
Figura 39. Movimientos de suelo en masa como consecuencia de la tala clandestina en pendientes fuertes.....	70
Figura 40. Efectos de la ganadería extensiva sobre la estructura de los ecosistemas.....	71
Figura 41. Características por las que el ganado prefiere los ambientes riparios.....	72
Figura 42. Efecto de la presencia del ganado en la morfología de un canal de orden dos en una cubierta de agostadero.....	72
Figura 43. Cauce con índices que corresponden a un tipo de cauce E, en condiciones que no corresponden.....	74
Figura 44. Cauces de orden uno en las tres cubiertas de suelo evaluadas, agostadero (a), bosque (b) y cultivos (c).....	74

Figura 45. Cauces de orden cinco en las tres cubiertas de suelo evaluadas, agostadero (a), bosque (b) y cultivos (c).....	75
Figura 46. Cubiertas de suelo en el área de estudio.....	76
Figura 47. Red hidrográfica en las tres cubiertas de suelo evaluadas.....	77

I. INTRODUCCIÓN

La accidentada topografía de nuestro país y su ubicación favorecen el desarrollo de una gran variedad de cuerpos de agua epicontinentales dentro de su territorio, así como una flora y fauna diversificadas y ricas en especies nativas que solo ahí existen (endémicas). Por ello, estos sistemas acuáticos desempeñan un papel fundamental desde el punto de vista ecológico y social por lo que es necesario atender los problemas relativos a su integridad, al sostenimiento de sus ecosistemas y a la supervivencia de sus especies, (BIODIVERSITAS, 2003).

Un sistema fluvial ofrece al hombre no solo "agua" susceptible de ser embalsada y aprovechada para consumo doméstico y en la mayoría de las actividades humanas. El Río ofrece también toda una serie de recursos y valores cada vez mas apreciados cuyo disfrute y conservación plantean un conflicto de usos del agua que es necesario considerar en la planificación hidrológica de cada cuenca. La necesidad de adaptar en la gestión y conservación de los ecosistemas fluviales una estrategia a nivel de cuenca vertiente se pone en evidencia considerando el origen de los caudales que circulan por los ríos (red hidrográfica), consecuencia de los procesos hidrológicos que tiene lugar en las laderas vertientes. (González y García, 1998).

Dentro de los elementos principales que constituyen a los ecosistemas fluviales tenemos su cuenca vertiente, el régimen de caudales, la morfología y dinámica del cauce (red hidrológica), la fauna acuática (indicadora del funcionamiento ecológico del río) y la vegetación de las riberas (González y García, 1998). En los ríos y arroyos, el ecosistema ripario, incluye tanto el ecosistema acuático como el ecotono hacia el ecosistema terrestre que lo rodea y es perfectamente diferenciable por la estructura característica de áreas de alta humedad constante. Se reconocen como ecosistemas únicos que presentan alta sensibilidad a la degradación y son el reflejo de los procesos que ocurren en la cuenca que los rodea (De Bano y Schmidt, 1989, *In* Zepeda *et al*, 2002), de tal manera que permite identificar de forma rápida y confiable el estado de salud de la cuenca o de las partes que la componen (Zepeda *et al*, 2002).

Los Ríos son indicadores sensibles del estrés medioambiental, como ocurre cuando hay un excesivo aporte de sedimento, el cauce es reducido como consecuencia de la deforestación, sobrepastoreo, fragmentación para el desarrollo y otras actividades en la cuenca que incrementan el impacto en la red hidrográfica (Rosgen, 1996).

Se sabe que en las diferentes partes de una cuenca se genera una erosión lenta y constante por causa de la deforestación, de las tierras agrícolas sin proteger y de las superficies sometidas a un pastoreo abusivo, el suelo desplazado de su lugar original por éste fenómeno puede ser depositado cerca del lugar de origen; puede hacer el máximo recorrido posible y terminar por depositarse en el mar o puede sedimentarse en cualquier punto intermedio entre estos dos extremos (FAO, 1967). Durante las primeras lluvias, este suelo erosionado es arrastrado a través de la escorrentía superficial hasta el ecosistema ripario el cual responde ante este hecho de maneras diferentes, dependiendo del grado de conservación que presente.

La integridad de los sistemas epicontinentales o superficiales y su diversidad biológica cada vez están más amenazadas por las actividades humanas en todo el mundo, la gran variedad de éstas actividades intersectoriales se contraponen entre sí y con las necesidades de las especies, la reducción del volumen de aguas superficiales y subterráneas disponibles y el deterioro de su calidad demuestran claramente que las aguas interiores no son recursos inagotables. El bienestar social y económico de cualquier región del país depende, en gran medida, de la capacidad que tienen estos ecosistemas de brindar sus servicios ambientales; de ahí la importancia de que su uso sea racional y sustentable (BIODIVERSITAS, 2003).

II. JUSTIFICACIÓN

El crecimiento desmedido y anárquico de la población, aunado a la sobreexplotación y contaminación de los recursos hídricos, provoca que la demanda de agua sea cada vez más difícil de satisfacer y que la presión sobre los recursos naturales y en general sobre los servicios ambientales vaya en aumento, además, provoca cambios de usos de suelo, alteran el régimen hidrológico y las relaciones suelo – agua en las laderas, teniendo una repercusión inmediata en el aumento de los cauces y en la carga de sedimentos o erosión neta transportada por estos.

La condición que presentan estos cauces (arroyos y ríos) que constituyen la red hidrológica, reflejan el estado de su cuenca vertiente, de manera paralela, la condición en la que se encuentra el ecosistema ripario que acompañan estos cauces, al presentar alta sensibilidad a la degradación, nos reflejan los procesos que están ocurriendo en dicha cuenca, además de que juegan un papel determinante como fuentes de agua de alta calidad, como refugio y fuente de germoplasma de una gran variedad de especies de importante valor comercial y ecológico, como fuente de energía para el ecosistema acuático y como zona de amortiguamiento de los efectos del escurrimiento superficial durante las precipitaciones pluviales, evitando grandes avenidas que ocasionan inundaciones en las partes bajas (De Bano y Schmidt, 1989; Fitzjohn *et al.*, 1998; *In* Zepeda *et al.*, 2002).

En el área de estudio se realizan diversas actividades productivas, cuyos efectos, de acuerdo con lo que se reporta en la bibliografía referente al tema, se refleja en los ecosistemas riparios, además existe una gran cantidad de pequeños arroyos que alimentan diversos ríos cuyas aguas son empleadas en éstas actividades a lo largo de sus cursos, por otra parte, las pendientes en la zona representan riesgos potenciales de grandes avenidas, por lo que se propone en este proyecto determinar las condiciones en que se encuentran su red hidrográfica y su sistema ripario ya que no existe información referente a éstos temas para el área de estudio. Los resultados permitirán la recomendación de estrategias que conduzcan a un aprovechamiento más adecuado de los recursos naturales que brindan estas subcuencas.

III. HIPOTESIS

Las actividades productivas (agricultura, agostadero, forestal) que se realizan en el área de estudio generan un impacto en el ambiente ripario.

IV. OBJETIVOS

IV.1 GENERAL

- Evaluar las condiciones de la Red Hidrográfica de las Subcuencas Mil Cumbres-Azufres, en la Cuenca de Cuitzeo, Mich.

IV.2 PARTICULARES

- Realizar el análisis morfométrico de la zona de estudio.
- Caracterizar y clasificar la morfología de la red hidrográfica con base en las propiedades de los arroyos y ríos.
- Evaluar la condición de los ecosistemas riparios.
- Relacionar los resultados de la caracterización y evaluación de ecosistemas riparios con los procesos de degradación o conservación con base en el estado que guarda el ecosistema.
- Representar cartográficamente las condiciones de la Red Hidrográfica.
- Proponer alternativas de manejo para su conservación.

V. ANTECEDENTES

V.1 ACERCA DEL AGUA

De acuerdo con la CONAGUA (2008), según una de las estimaciones más aceptadas, poco más del 97% del volumen de agua existente en nuestro planeta es agua salada y está contenida en océanos y mares; mientras que apenas algo menos del 3% es agua dulce o de baja salinidad. Del volumen total de agua dulce, estimado en unos 38 millones de kilómetros cúbicos, poco más del 75% está concentrado en casquetes polares, nieves eternas y glaciares; el 21% está almacenado en el subsuelo, y el 4% restante corresponde a los cuerpos y cursos de agua superficial (lagos y ríos).

La fuente principal de abastecimiento de agua en México es la lluvia; la precipitación anual promedio es de 777 mm., que equivale a una precipitación total de 1 570 km³ al año. Se estima que si el escurrimiento superficial es de 410 km³ y la recarga subterránea de 40 km³, la diferencia (1 120 km³, 71. 34%) se pierde por evapotranspiración (BIODIVERSITAS, 2003). Esto significa que la atmósfera, ya sea en forma de nubes o humedad ambiental, transporta la mayor parte del agua evaporada, mas del doble de la que escurre por todos los ríos del país.

La densidad poblacional no tiene una correspondencia con la disponibilidad de los recursos dulceacuícolas; mas de tres cuartas partes de los recursos hídricos están alejados de las comunidades con mayor densidad de población y actividad económica, lo que origina un desequilibrio entre la oferta y la demanda de los recursos y conduce a la sobreexplotación de los acuíferos y a tener que hacer transferencia de agua entre cuencas (BIODIVERSITAS, 2003).

A la gran variación latitudinal y altitudinal en la distribución del agua se añade el hecho de que 90% de la precipitación cae entre mayo y octubre, lo que se traduce en una carencia de agua pluvial durante los seis meses restantes. Es evidente la ineficaz distribución altitudinal, ya que 80% del agua epicontinental está localizada por debajo de la cota de los 500 msnm y tan solo un 5% por encima de la cota de los 2000 m. Tres cuartas partes de la población y dos

terceras partes de las industrias de manufactura, agricultura y ganadería se encuentran en las tierras altas y en las regiones secas del Centro y Norte. Con 4 500 reservorios, que incluyen 840 grandes presas, nuestra capacidad de almacenamiento es de 150 km³ de agua dulce. La construcción y operación de ésta infraestructura ha tenido altos costos debido a la alteración de flujo y de morfología de las cuencas, a los cambios en el uso de suelo, el desplazamiento de la población y la pérdida de tierras bajas productivas y hábitat para la vida silvestre. Contraria al sentido común, la experiencia mexicana del siglo XX ha mostrado que es posible manejar el agua como un recurso natural NO renovable (CONABIO-SEMARNAT, 2003).

V.2 USO CONSUNTIVO DEL AGUA EN EL PAÍS.

En el País existen marcadas diferencias regionales debido a las condiciones geográficas y las características sociales y económicas que prevalecen. Estas condiciones determinan diferencias en el valor que el agua adquiere en cada una de las regiones. Por lo tanto, el problema del agua adquiere matices diferentes y su solución se debe planificar atendiendo a estas peculiaridades.

El agua disponible está distribuida de la siguiente manera:

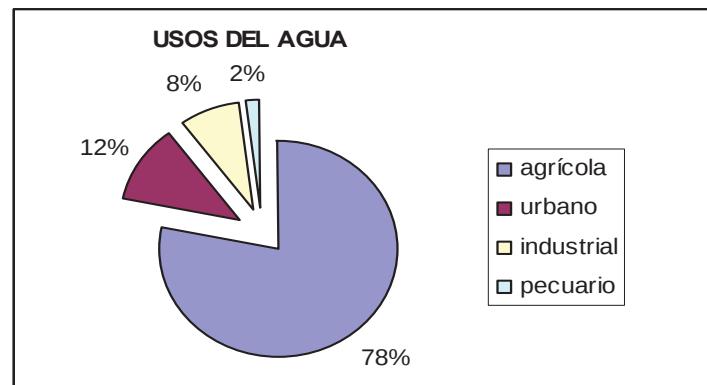


Figura1. Uso consuntivo del agua en el año 2000. (BIODIVERSITAS, 2003).

V.3 CUENCAS

Para dar un sentido integral a la planeación, administración y al manejo sustentable del recurso, en 1996 la CNA estableció a la cuenca hidrológica como unidad básica de gestión. Una cuenca hidrográfica puede definirse como

"el área físico-geográfica, definida por sistemas topográficos y geológicos, que permiten delimitar territorialmente un área de drenaje común, donde interdependen e interactúan, en un proceso permanente y dinámico, los subsistemas físico, biótico y socioeconómico" (Cardoza, 1993).

El estudio y manejo de cuencas hidrológicas es una disciplina de gran trascendencia a todos los niveles. Como unidades naturales, las cuencas contienen un cúmulo de recursos que interactúan como un sistema, es decir, las entradas y salidas de agua y/o energía dependen de los componentes naturales como el clima, la topografía, el suelo, la vegetación, la fauna y los componentes no naturales como el uso del suelo y el desarrollo de la comunidad humana (Gómez-Tagle y Chávez, 2004).

De acuerdo con el Plan Estatal de Desarrollo Michoacán 2003-2008 (CIDEM, 2006), la Entidad cuenta con un elevado potencial de recursos hidrológicos, que son favorecidos por los embalses, cuencas y subcuencas existentes. Sin embargo, se estima que en los últimos cien años se ha perdido el 70% de los cuerpos de agua superficiales por el azolve, la sobreexplotación y la contaminación, lo que ha provocado la modificación de equilibrios ecológicos en las regiones.

Un plan dirigido a potenciar y capitalizar recursos acuáticos deberá incluir, entre otros aspectos, estrategias de (i) protección de zonas de recarga en las regiones de montaña; (ii) manejo eficiente de pozos profundos; (iii) optimización de los sistemas de riego; (iv) mantenimiento de la capacidad de volumen de lagos y embalses; y (v) manejo eficiente del ciclo hidrológico a través del bosque y el suelo.

Los usos del agua en el Estado de Michoacán de Ocampo para los dos tipos de fuente de abastecimiento, a saber: superficiales y subterráneas, son variados pero en general, el uso más frecuente y el que mayor volumen de agua consume es el agrícola (CNA, 2004a); CNA, 2004b). Se debe señalar que en la generación de energía eléctrica no se consume el agua que se utiliza.

V.4 TRABAJOS RELACIONADOS CON LA PRESENTE INVESTIGACIÓN

V.4.1 Morfometría de cuencas.

De acuerdo con Méndez y Marcucci (2005), el análisis morfométrico de una cuenca de drenaje es de gran importancia para comprender e interpretar su comportamiento morfodinámico e hidrológico, así como para inferir indirecta y cualitativamente la estructura, características y formas de los hidrogramas resultantes de eventos de crecidas (respuesta hidrológica). También permiten analizar y comprender los elementos geométricos básicos del sistema, que ante la presencia de externalidades (precipitaciones extremas por ejemplo), interactúan para originar y/o activar procesos geomorfológicos (movimientos de masa) de vertientes y aludes torrenciales. Este análisis morfométrico aporta elementos de gran importancia y peso para la concepción y/o reevaluación, de ser el caso, del diseño hidráulico e hidrológico de estructuras para el control de crecientes y de sedimentos, así como para el análisis, evaluación y zonificación de la amenaza por inundaciones, movimientos de masa y aludes torrenciales y el diseño de sistemas de alerta.

Guerra y González, (2002), analizan las características morfométricas de la cuenca de la quebrada La Bermeja, Sn. Cristóbal, Edo. Táchira, Venezuela para establecer el comportamiento de la red de drenaje y la evolución topográfica e hipsométrica, asociada a la morfodinámica de la cuenca. Emplean mapas a escala 1:25000 y 1:5000, para el cálculo de las mediciones básicas (superficie, perímetro, longitud de la cuenca, cauces, elevación, desnivel del cauce principal y número de cauces de menor orden) y de éstas se derivaron las variables utilizadas en la mayoría de los análisis morfométricos. Sus resultados muestran que la cuenca presenta una distribución de áreas asimétricamente positiva, encontrándose en una etapa intermedia entre la fase de desequilibrio o juventud, evolucionando hacia madurez. La cuenca en su parte alta y media se caracteriza por vertientes asimétricas con entallamiento profundo en forma de "V". Los tipos litológicos en superficie y la intervención de la cobertura vegetal, determinan la ocurrencia en esas vertientes de procesos erosivos, los cuales aportan volúmenes de materiales que en el pasado originaron los abanicos aluviales en la parte baja y en el presente causan

acumulaciones caóticas (tapones) y daños a la infraestructura existente, principalmente durante eventos lluviosos intensos.

González de Matauco, A. I. (2004), realiza un análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del Río Zadorra (España) y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas, mediante el uso de la cartografía en escala 1:50000 delimitaron las cuencas y calcularon los índices morfométricos, obtuvieron las pendientes y generaron la red hidrográfica para su análisis. Concluyen que la rapidez en la concentración de las aguas (crecidas) se ve favorecida especialmente por las pendientes más que por los índices de compacidad y elongación obtenidos, la densidad de drenaje indica una amplia cobertura vegetal y una litología dura, además de altas tasas de infiltración y alimentación de flujo subsuperficial. Finalmente, argumentan que las características morfométricas en general no incrementan, si no que más bien, atenúan los efectos y vigorosidad de las crecidas.

Fuentes Junco, J. J. A. (2004), realiza el Análisis Morfométrico de las Cuencas del Parque Nacional Pico de Tancítaro, mediante la interpretación del mapa topográfico de la zona obtienen los límites topográficos de las cuencas y la red de drenaje, la interpretación fue digitalizada y rasterizada en el programa ILWIS v. 2 y 3.0 (ITC, 1998 y 2001). La obtención de ciertos parámetros como la densidad de drenaje y la cantidad de población fue realizada en forma totalmente automatizada en el SIG ILWIS, mientras que los datos necesarios para los índices fueron extraídos de tablas generadas por ILWIS a partir de los mapas rasterizados de topografía (del modelo digital del terreno o MDT), de cuencas y de ríos; y posteriormente tratados en una hoja de cálculo en el programa Excel v.2000 para Windows. Los resultados obtenidos le permiten concluir que las cuencas del Tancítaro presentan grandes irregularidades entre sí, tomando en cuenta su tamaño las agrupa en cuencas muy pequeñas, cuencas de pequeñas a medianas y cuencas grandes y en cuanto a formas encuentra grupos de cuencas alargadas, ovaladas y muy irregulares asociadas a las lavas del Parícutín.

Méndez W. y Marcucci E., 2005, Realizan un Análisis morfométrico de la microcuenca de la Quebrada Curucutí, Estado Vargas, Venezuela, con el

propósito de determinar e interpretar los parámetros morfométricos de la microcuenca de la quebrada Curucutí, en términos de su incidencia en el comportamiento y respuesta hidrológica del sistema, y en su potencial morfodinámico a fin de contribuir a la generación y/o ampliación de una plataforma de información básica, que permita estimar los hidrogramas y caudales pico de crecidas para el análisis y evaluación de la amenaza por inundaciones y aludes torrenciales. Los resultados indican que esta microcuenca es un sistema hidrogeomorfológico, cuyas respuestas morfodinámica e hidrológica están determinadas por la pequeña área del mismo y por fuertes pendientes en las vertientes y cauces del sector montañoso, obtienen una densidad de drenaje media de 6.09 km/km^2 , el orden 4 de la microcuenca, una relación de bifurcación media de 4.69, alta torrencialidad y tiempo de concentración bastante corto de 38,56 minutos. En breves palabras, la respuesta morfodinámica e hidrológica de la microcuenca son condicionadas y controladas por las características morfométricas del sistema y de su red de drenaje.

Doffo, N. y González, B. G., 2005, en su trabajo titulado Caracterización morfométrica de la cuenca alta del arroyo Las Lajas, Córdoba, (Argentina) realizan en base a un análisis estadístico de los principales parámetros morfométricos, una caracterización hidrológica de la cuenca alta del arroyo Las Lajas. En particular discuten la influencia de la estructura y litología sobre el diseño de la red de drenaje. El relieve está conformado por serranías bajas, valles de fondo plano, con relleno aluvial y coluvial. La forma de la cuenca está parcialmente controlada por la Falla Las Lajas. Los parámetros morfométricos utilizados son: densidad de drenaje, frecuencia de cursos de primer orden, rugosidad de la cuenca, relación de bifurcación, relación de longitudes y relación de elongación. Estos se aplicaron a subcuencas de tercer orden, agrupadas en un sector oriental y otro occidental, delimitados por la Falla Las Lajas. De cada parámetro medido se obtuvieron estadísticos de posición y de dispersión y se realizaron, previa prueba de normalidad y de correlación, tests estadísticos, análisis de agrupamiento y factorial. Sus resultados no demuestran que exista un control litológico sobre el diseño de la red de drenaje. Un análisis de agrupamiento sobre las subcuencas indica una división

en dos conjuntos que no muestran una relación obvia con la estructura ni la litología del sustrato.

V.4.2 Ecosistemas Riparios.

Los ecosistemas riparios son muy importantes ya que mantienen una biodiversidad alta de plantas y animales en comparación con las áreas no riparias y en muchos casos, es el refugio de especies vulnerables tanto de plantas, como de animales (Robins y Cain, 2002). Estas áreas proveen de hábitat a gran cantidad de especies silvestres, a la vez que actúan como corredores para el movimiento entre parches de vegetación en el paisaje fragmentado. Por lo general son ecosistemas más fértiles y productivos, con mejor calidad de suelos, *y es la última línea de defensa para la protección de la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos* (Robins y Cain, 2002). Otra de las características importantes de las zonas riparias es la influencia marcada sobre la organización de la diversidad y la dinámica de las comunidades asociadas con ecosistemas acuáticos y terrestres (Robert *et al.* 2000), complementando sus valores ecológicos al brindar un amplio rango de valor económico y social, ofreciendo a las comunidades y productores agua y algunos recursos maderables como no maderables (Robins y Cain, 2002).

El problema de la escasez creciente y de la demanda de agua representa un riesgo para la salud, además la seguridad alimentaría se ve amenazada por la falta de agua para el riego (Blinn y Kilgore, 2001). Sin la protección de la cubierta boscosa riparia y por el acelerado efecto del cambio climático tanto el agua como los suelos están expuestos a los rigores del clima, lo que puede ocasionar la rápida erosión del suelo y la sedimentación de los arroyos (Arcos, 2005).

Muchos estudios han demostrado la relación existente entre la vegetación riparia y la estabilidad de los bancos de los arroyos (Rowntree y Dollar, 1999; Simon y Collison, 2002; Hession *et al.*, 2003). Gregory y Gurnell (1998) sugieren que el incremento de la resistencia al flujo de agua y la estabilización de los bancos de los arroyos son los dos efectos principales relacionados con la estructura de los arroyos que provee la vegetación riparia. Debido a la

disminución de la velocidad del flujo, resultado de la presencia de vegetación, se reduce la erosión del banco (Thorne y Furbish, 1995) y por ende la sedimentación del cauce. Por otra parte Malkinson y Wittenberg (2007) sugieren que los arbustos y los árboles presentes en estos ecosistemas pueden tener una función similar en la estabilización de los bancos debido al sistema de raíces que presentan, pero que en la parte superficial del suelo estos tipos de vegetación pueden tener efectos diferentes dependiendo del porcentaje de su cobertura vegetal que presenten.

Estas relaciones específicas que se presentan entre los componentes del ecosistema ripario son afectadas negativamente por las actividades productivas que se realizan en la cuenca (Zepeda, 1999 , Robert *et al.* 2000, Lowrance *et al.* 2001, In Arcos, 2004). Existe una gran cantidad de estudios internacionales que proporcionan información acerca de las interacciones que ocurren en éstos ecosistemas. Recordemos que éstos incluyen tanto a la vegetación como a los cursos de agua (objetos de estudio en la presente investigación) los cuáles están íntimamente relacionados y cuya afectación se refleja en la disminución de los servicios ecológicos que proporcionan y en la calidad de los mismos. Por tal motivo, solo mencionaremos algunos de los tantos trabajos relacionados con la presente investigación.

Malkinson y Wittenberg, 2007, estudian los efectos de la vegetación riparia sobre la morfología del canal y discuten la relación existente entre el porcentaje de cobertura de árboles y arbustos con lo ancho y lo profundo del canal. Sus resultados muestran una evidente relación entre los altos porcentajes de cobertura vegetal que estabilizan el banco de orilla con bajos valores de índices ancho / profundo, lo que indica un canal estrecho y profundo, además discuten que las bajas velocidades de flujo provocan la deposición de las partículas finas de sedimento, lo que facilita el establecimiento y desarrollo de la vegetación y por lo tanto el estrechamiento del canal. Finalmente sugieren que a largo plazo, la formación de los arroyos es determinado por el equilibrio dinámico entre el tipo de vegetación y el régimen de flujo y que las tasas de formación de arroyos en sistemas fluviales efímeros son ampliamente determinados por eventos de caudales extremos.

Beeson y Doyle, 1995, después de una inundación ocurrida en 1990 en British Columbia, evalúan el efecto de la vegetación riparia en la disminución de la erosión de los bancos de orilla. El trabajo se lleva a cabo en 748 meandros de 4 arroyos y utilizan fotografías aéreas para hacer comparaciones antes y después de la inundación mencionada, encontraron una proporción de 5 veces más meandros no vegetados que han sufrido una erosión 30 veces mayor en los eventos de inundación en comparación con los vegetados, por lo que argumentan que la vegetación riparia contribuye en disminuir la cantidad de suelo erosionado de los bancos de orilla de los arroyos.

Harmel, R. D., 1997, en un estudio sobre el impacto de la vegetación riparia en la erosión del banco de orilla realizado en el Río Illinois en Oklahoma, concluye que de acuerdo a sus análisis, a largo plazo la vegetación arbórea es importante en la prevención y reducción de la erosión.

Huang y Nanson, 1997, comparan la vegetación del canal de cuatro arroyos pequeños en el sureste de Australia, sus resultados demuestran que una vegetación densa de los bancos de orilla producen el estrechamiento de los canales y que la vegetación que se encuentra en el lecho del cauce incrementa la resistencia al flujo propiciando la aparición de canales amplios poco profundos y con un flujo de agua lento. Concluyen que estos resultados permiten interpretar que la amplitud de los canales depende en gran medida de los diferentes tipos de vegetación presentes en el interior y en los bancos de orilla del canal.

Arcos, T. I., 2005, realiza un estudio sobre el efecto del ancho de los ecosistemas riparios en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad, genera insumos e información básica sobre los ecosistemas riparios, los cuales producen y conservan la biodiversidad en los paisajes fragmentados por la agricultura y ganadería. Encuentra que las franjas mas anchas de los bosques riparios son preferidos por las comunidades de aves, ya que ofrecen mayor disponibilidad de alimento y refugio en comparación con las franjas riparias angostas. Argumenta que necesario incluir a los ecosistemas riparios en la formulación estrategias operativas y políticas que respondan a las condiciones de nivel local y regional en la Microcuenca del Río Sesesmiles,

departamento de Copán, Honduras, para la conservación de la biodiversidad y la calidad del agua.

Medina, A. L. et al., 1994, realizan una propuesta de ecosistema para el diagnóstico de condiciones y manejo de ecosistemas ribereños en la Cuenca del Carrizal, Tapalpa, Jalisco. Méx. en el que los investigadores del INIFAP en conjunto con los investigadores del Servicio Forestal, Estación Montañas Rocallosas crean un diagnóstico de la cuenca que revela que las actividades que produce disturbios mayores son la extracción de madera, pastoreo de ganado, extracción en mina de piedras, incendios, caminos que atraviesan corrientes, uso de pastizales intensivos de riego y desviación del agua de rivera. Uno de los resultados más importantes fue la habilidad de propietarios y científicos mexicanos de reconocer el valor de los ecosistemas ribereños como componentes extremadamente importantes del manejo de cuencas.

Medina, A. L. et al., 1994, realizan un estudio sobre los Insectos acuáticos de la cuenca El Carrizal y su relación a la condición de cuenca, en Tapalpa, Jal. Colectan insectos durante la época de lluvias en varios sitios y los identifican, los datos demuestran que hay condiciones de calidad de sitios muy variables y que existen problemas de calidad de agua en sitios relacionados con actividades de manejo de bosques y pastizales. La evaluación preliminar de los insectos acuáticos es una herramienta que se utiliza para evaluar la calidad de las áreas ribereñas. Fueron identificadas especies que son indicadoras de aguas enriquecidas por materia orgánica a nivel de género tales como: *Chironommi*, *Orthoclaadiinae*, *Heptagenia* y *Baetis*.

Chávez, H. Y., et al., 1994, realizan un estudio sobre la vegetación ribereña de la cuenca del arroyo el Carrizal, Tapalpa, Jalisco, con la finalidad de identificar las asociaciones vegetales del ecosistema ribereño de ésta zona, con el método de conglomerados muestrean 27 sitios y obtienen ocho tipos de asociaciones vegetales, entra las que podemos mencionar: *Agnus arguta* – *Cornus excelsa* – *Salix oxypelis*; *Alnus arguta* – *Cornus excelsa* – *Salix bonplandiana* – *Salix oxypelis*; *Prunas* – *Salix oxypelis* – *Rhamus mucronata*. Proponen utilizar la información obtenida para aumentar el conocimiento de la

estructura y composición de las asociaciones vegetales, proporcionar información básica esencial para el desarrollo de planes de manejo de cuencas y crear un modelo para comparar las condiciones de sanidad con otras cuencas de la región.

Madrigal, S. et al., 1994, realiza un estudio sobre la vegetación de rivera de la cuenca el carrizal en Tapalpa, Jalisco, con la finalidad de identificar las especies por estrato y definir las especies ribereñas obligatorias, las facultativas y las ruderales, la familia con mayor numero de especies identificadas es la *Compositae* con 27 especies, le siguen la *polipodiaceae* con 10, la *rosaceae* con 9, la *Gramineae* con 8 entre otras, concluyen que el estudio es fundamental y provee las bases para comprender la estructura y función de la vegetación en el ciclo hidrológico, provee las bases para la identificación y la clasificación del hábitat de la fauna silvestre, orienta sobre las especies a utilizar para la restauración y conservación de los hábitat acuáticos para producir agua de buena calidad.

Zepeda, C. H., 1999, en un estudio sobre la conservación de las áreas riparias en el Arroyo Tiquio perteneciente a la cuenca del Río Chiquito, en el municipio de Morelia, Michoacán, determina la relación entre los usos del suelo y el grado de conservación de 48 tramos del arroyo. Concluye que las formas de uso del suelo de la cuenca, son las responsables del grado de conservación de las áreas riparias del arroyo estudiado.

Zepeda, C. H., et al., 2002, propone una metodología rápida para la evaluación de los ecosistemas riparios en zonas templadas, esta permite obtener grados de estabilidad en términos cuantitativos. Parte de la premisa de que la funcionalidad es una propiedad que en el ecosistema hace mas eficiente la interacción de los componentes estructurales, por ello los procesos de degradación de un ecosistema pueden detectarse mediante la interpretación de las características de dichos componentes si se analizan de manera integrada.

V.4.3 Morfología de Cauces.

Rosgen D. 1994, genera un sistema de clasificación de Ríos Naturales basado en las características morfológicas de 450 ríos estudiados en los Estados Unidos, Canadá y Nueva Zelanda. Los agrupa de siete tipos principales de arroyos que difieren entre sí por sus radios de atrincheramiento, anchura/profundidad, pendiente y sinuosidad ubicados en las diferentes geoformas. Recomienda el uso de éste sistema de clasificación para trabajos de ingeniería hidráulica, mejora de los hábitats de peces y para la restauración y ordenamiento de los recursos hídricos entre otros.

Espinoza, A. J., et al., 1994, realiza una Clasificación morfológica de los canales de la cuenca del arroyo El Carrizal, Tapalpa, Jal., Méx. En la que describen los canales basados en características como pendiente, ancho, profundidad, tipo de lecho, pendiente de taludes, relación ancho profundidad utilizando la metodología Rosgen, obtienen que los cauces son principalmente de tipo A (confinados, con poca relación ancho profundidad, poco sinuosos y con pendientes superiores a 2%).

Utrilla, S. B., (2006), Realiza un estudio sobre la Degradación de la Red Hidrográfica de la Subcuenca de Cointzio, aplicando la metodología Rosgen para la evaluación de los ríos y la metodología de Zepeda *et al*, 2002, para la evaluación de las áreas riparias, sus resultados muestran que la región mas degradada dentro de la subcuenca Cointzio se encuentra al NE en las faldas del cerro del Águila.

Ramírez, L. J. E., (2006), realiza una clasificación de la red hidrográfica con la metodología Rosgen (1994) en la subcuenca de Mil Cumbres, en la Cuenca de Morelia, concluye que ésta metodología no aplica para clasificar los ríos de la zona de estudio, debido a que contempla intervalos distintos a los que realmente poseen los arroyos y ríos de México, posiblemente por las diferencias en la diversidad orográfica y el origen del agua. Menciona que este método es una buena guía y una herramienta inicial útil para un primer nivel de aproximación en la clasificación, sin embargo es necesario adaptarlo a la

geomorfología abrupta y accidentada del país. Es por lo anterior que los ríos estudiados se encasillaron a solo tres tipos de ríos (Aa+, A y G).

VI. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

VI.1 LOCALIZACIÓN

El área de estudio del presente proyecto comprende la parte Este de la cuenca de Cuitzeo en la sierra de Mil Cumbres y los Azufres en el Estado de Michoacán de Ocampo. Se localiza entre los 19° 40' 23" y 19° 53' 41" de Latitud Norte y los 100° 58' 29" y 100° 37' 58" de Longitud Oeste (Figura 2).

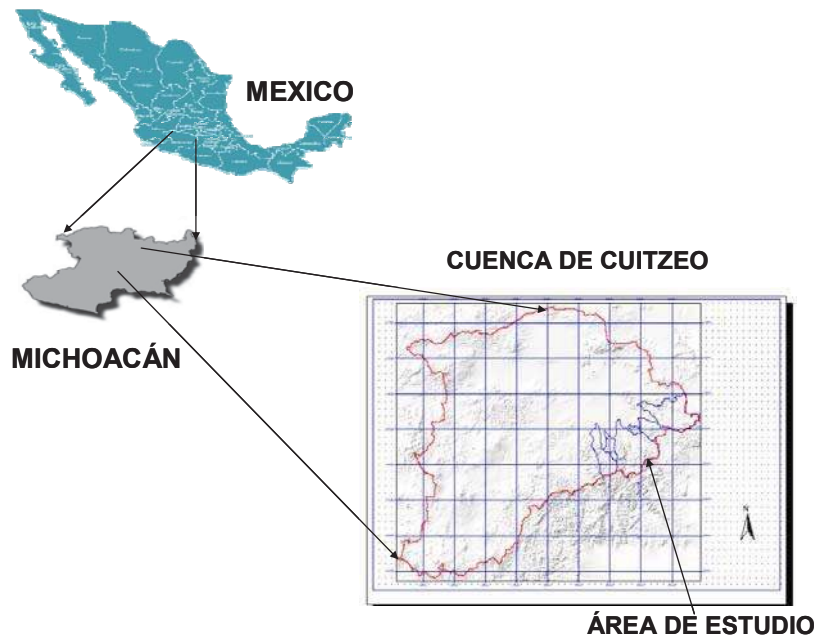


Figura 2. Localización del área de estudio.

VI.2 FISIOGRAFÍA

El área de estudio se encuentra al Sureste de la Laguna de Cuitzeo, dentro de la Provincia Fisiográfica denominada Cinturón Volcánico Transmexicano (también denominado Eje Neovolcánico y Sistema Volcánico Trasversal). Esta región se formó con rocas volcánicas, a partir del cenozoico superior por un gran número de aparatos volcánicos cuya actividad continúa en la actualidad; por ejemplo con la formación de volcanes modernos como el Jorullo (1959) y el Parícutín (1943) (A.G.E.M, 2003).

VI.3 TOPOFORMAS

La parte del Cinturón Volcánico Transmexicano entre Atécuaro, Cd. Hidalgo, Ucareo, Benito Juárez, Zitácuaro y Epitacio Huerta, incluye una parte del sistema volcánico que es de sierras (asociaciones mas o menos lineales de montañas y cerros), entre ellas las de Mil Cumbres, San Andrés –Los Azufres, Tlalpujahua y Anganguero, también se encuentran sierras de laderas tendidas o abruptas, los volcanes de escudo, los lomeríos, las mesas lávicas, los planos y valles intermontanos, entre otros. En Mil Cumbres, las elevaciones superan los 2585 m y llegan, al Este de Morelia, a los 3145 m. (A.G.E.M, 2003).

VI.4 HIDROLOGÍA E HIDROGRAFÍA.

El Lago de Cuitzeo es un conjunto endorreico, una cuenca cerrada de hecho, pero se considera como una subcuenca del Río Lerma, debido a que se une a éstos por su sistema de canales alimentadores que comunican al Lago de Cuitzeo con el de Yuriria, y a éste con el Río Lerma, en el estado de Guanajuato. Al lago de Cuitzeo la alimentan los Ríos Grande o Morelia y Queréndaro (ubicado en la zona de estudio). El Río Queréndaro nace en la Sierra de Otzumatlán y sigue una dirección general de Sur a Norte. Recibe aportaciones de los Ríos San Lucas y Zinapécuaro (A.G.E.M, 2003).

V.5 SUELOS

De acuerdo con las cartas edafológicas de INEGI, en el área de estudio, se presentan los tipos de suelos denominados: Andosoles, Luvisoles (en mayor proporción), Vertisoles, Feozem y Regosoles. Mientras que en el Municipio de Zinapécuaro, se presentan los Andosoles, Acrisoles, Luvisoles (en mayor proporción), Vertisoles, Feozem y Solonchak.

En la sierra de Mil Cumbres, en la zona montañosa se aprecia una variedad edáfica atribuible a la conjugación de factores geomorfológicos, litológicos y climáticos. Los andosoles se encuentran en las partes mas elevadas, en conos volcánicos que varían con pendientes que varían de moderadas a muy fuertes, presentan vegetación natural de bosque de pino-encino, aunque existen grandes extensiones abiertas a la agricultura de temporal.

Descendiendo a través de un gradiente altitudinal, se localizan los acrisoles y luvisoles, con pendientes variables, tanto en laderas de cerro como en barrancas y valles, al suavizarse las pendientes en pequeñas depresiones en donde convergen escurrimientos, se forma otro tipo característico de suelos, los Feozem, que se encuentran normalmente en lo que constituye la frontera agrícola en sitios que permiten la acumulación de materia orgánica. En las partes mas bajas y en terrenos planos, en donde el movimiento de agua es lento, se dan las condiciones adecuadas para la formación de arcillas características de los Vertisoles.

VI.6 CLIMA

De acuerdo con la clasificación climática de Koppen, el clima corresponde al Cw (templado con lluvias en verano; comprende el norte del estado) y una pequeña porción al Cf (templado con lluvias todo el año; se presenta en las partes mas altas del Sistema Volcánico Transversal). Ambos de tipo Ganges g; es decir, la temperatura mas alta se presenta antes del solsticio de verano, casi siempre en el mes de mayo. (A. G. E. M, 2003).

VI.7 VEGETACIÓN

De acuerdo con Bocco *et al.*, 2001, predominan los Bosques de pinos y se encuentran pequeñas porciones de arbustos, pastizales y cultivos de temporal.

VI.8 PRECIPITACIÓN

La precipitación varía de 600 mm/a en las partes más bajas del área de estudio hasta los 1000 mm/a en las partes más altas (Figura 3).

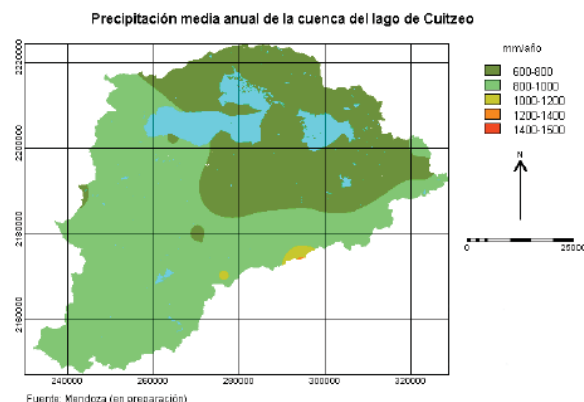


Figura 3. Precipitación en la cuenca de Cuitzeo (Bocco, *et al*, 2001).

VI.9 TEMPERATURA

Como se muestra en la figura tres, se presentan temperaturas que van desde los 10° C en las partes mas altas hasta los 18° C en las partes bajas.

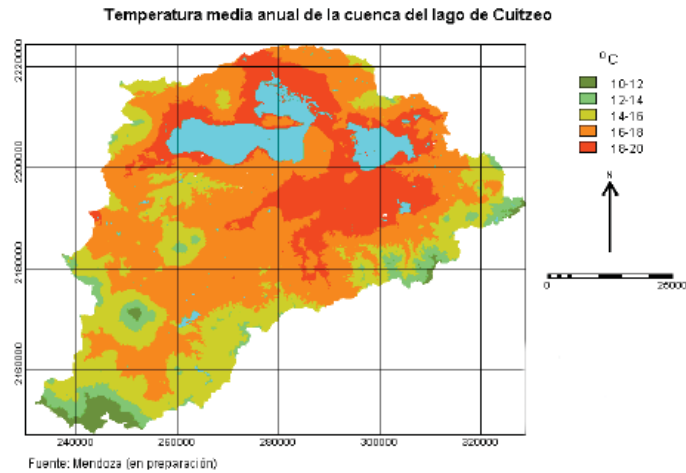


Figura 4. Temperaturas en la cuenca de Cuitzeo (Bocco, *et al*, 2001).

VII. METODOLOGÍA

Se realizó una búsqueda exhaustiva de información bibliográfica y cartográfica del área de estudio para la caracterización del medio físico-biótico. El procedimiento metodológico para cumplir con los objetivos planteados se esquematiza en el siguiente diagrama de flujo.

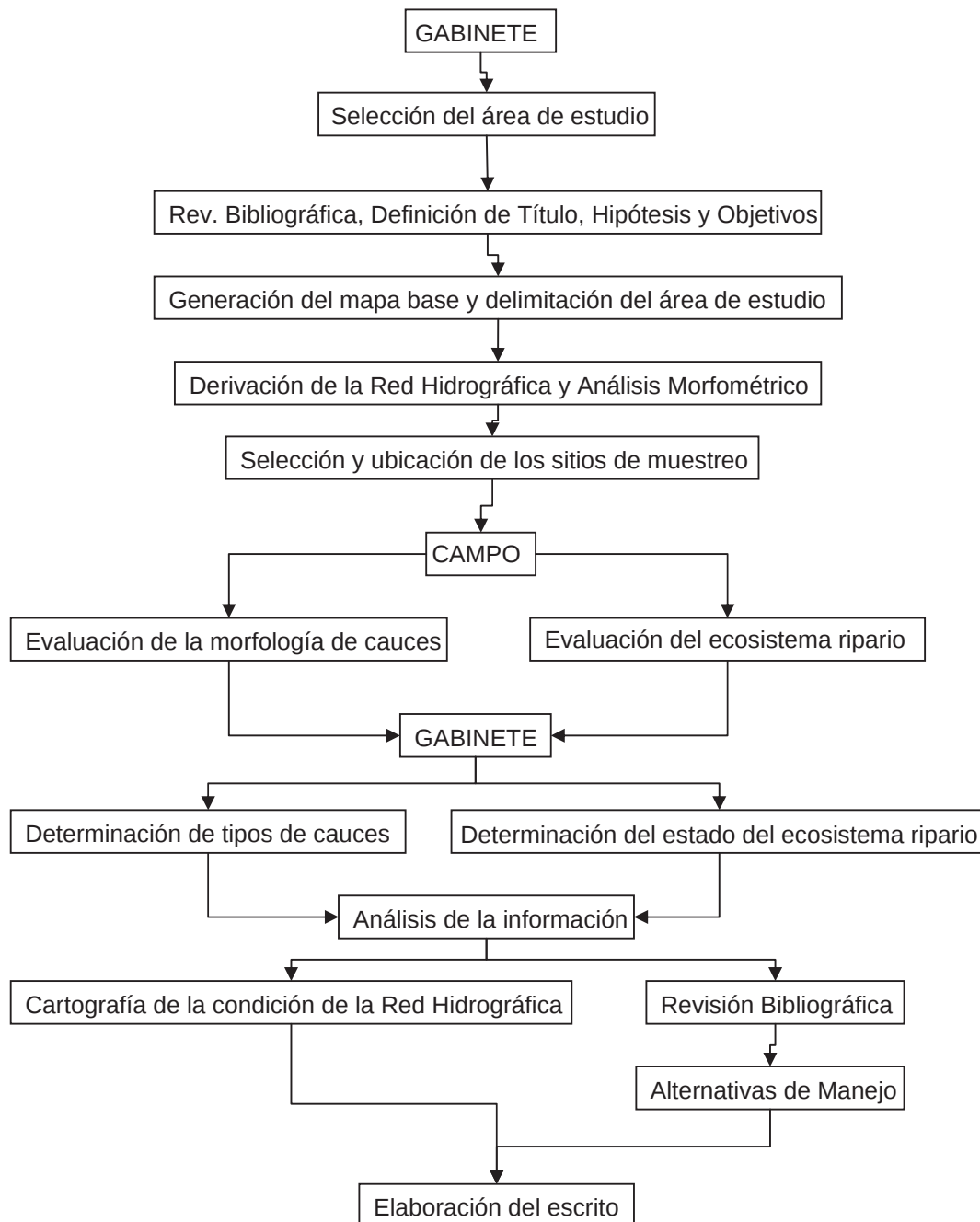


Figura 5. Diagrama de flujo metodológico.

El material cartográfico utilizado se resume en la Tabla 1.

Tabla 1. Material cartográfico empleado.

Material	Escala	Año	Formato	Clave
Carta	1:50,000	1998	Analógico	E14A14
Topográfica			(impresión en	E14A15
		2000	papel),	E14A24
			Vectoriales	
			formato digital	
			*.dxf y carta	
			escaneada	
			georreferenciada	
Ortofotografía	1:20,000	2000, vuelo	Digital raster	E14A14C
digital		de 1995	*.BIL	E14A14D
				E14A14E
				E14A14F
				E14A15D
				E14A24A
				E14A24B
				E14A24C

Los Sistemas de Información Geográfica o SIG (denominados GIS en la literatura en inglés) son sistemas computarizados que permiten la entrada, almacenamiento, representación, análisis de datos; así como la salida eficiente de información espacial (mapas) y atributos (tablas) (Burrough, 1986 y Valenzuela, 1989), de acuerdo a especificaciones y requerimientos del usuario. La tarea principal de un SIG es servir de apoyo en la toma de decisiones espaciales para el manejo y conservación de recursos (Valenzuela, 1989). Esto implica que tienen como objetivo el transformar datos geográficos en información válida para la toma de decisiones ambientales, utilizando herramientas y modelos analíticos provenientes de diferentes disciplinas (López, 1999).

VII.1 PROCESAMIENTO SIG.

VII.1.1 Generación del mapa base y definición del área de estudio.

Con el empleo de las cartas topográficas en formato digital como base, en el programa CartaLinx versión 1.2 (Clark labs, 1999) se delimitaron las subcuencas y microcuencas (Marín P. *et al*; 2005) tributarias de la zona de estudio empleando el criterio de cuencas hidrográficas, trazando una línea divisoria por las partes de mayor elevación (Zepeda, 1999) y se les asignó un nombre con base en el cauce principal o comunidad más importante incluida en el área, además de un identificador numérico para su fácil identificación y rápido procesamiento. Esta información se exportó al SIG Arcview versión 3.2 (Environmental Systems Research Institute, 1998) en el cuál se visualizaron y analizaron los límites, las ortofotografías, los archivos vectoriales de curvas de nivel, hidrología superficial, toponimia y vías de comunicación que forman parte de la zona de estudio. Los archivos de los conjuntos vectoriales fueron adquiridos inicialmente en formato para AutoCad *.DXF, y se convirtieron a *.SHP para su procesamiento e inclusión en el Arc View y demás programas.

VII.1.2 Análisis morfométrico y de la red de drenaje mediante el modelo Terrestrial Analysis System (TAS) versión 1.6.7. (John Lindsay, 2002)

De acuerdo con Méndez y Marcucci (2005), el análisis morfométrico de una cuenca de drenaje es de gran importancia para comprender e interpretar su comportamiento morfodinámico e hidrológico, así como para inferir indirecta y cualitativamente la estructura, características y formas de los hidrogramas resultantes de eventos de crecidas (respuesta hidrológica, tiempos de concentración). También permite analizar y comprender los elementos geométricos básicos del sistema, que ante la presencia de externalidades (precipitaciones extremas por ejemplo) interactúan para originar y/o activar procesos geomorfológicos (movimientos de masa) de vertientes y aludes torrenciales. Este análisis morfométrico aporta elementos de gran importancia y peso para la concepción y/o reevaluación, de ser el caso, del diseño hidráulico e hidrológico de estructuras para el control de crecientes y de sedimentos, así como para el análisis, evaluación y zonificación de la amenaza por

inundaciones, movimientos de masa, aludes torrenciales y el diseño de sistemas de alerta.

El análisis morfométrico de las subcuencas y microcuencas tributarias se realizó como se ilustra en la figura dos.

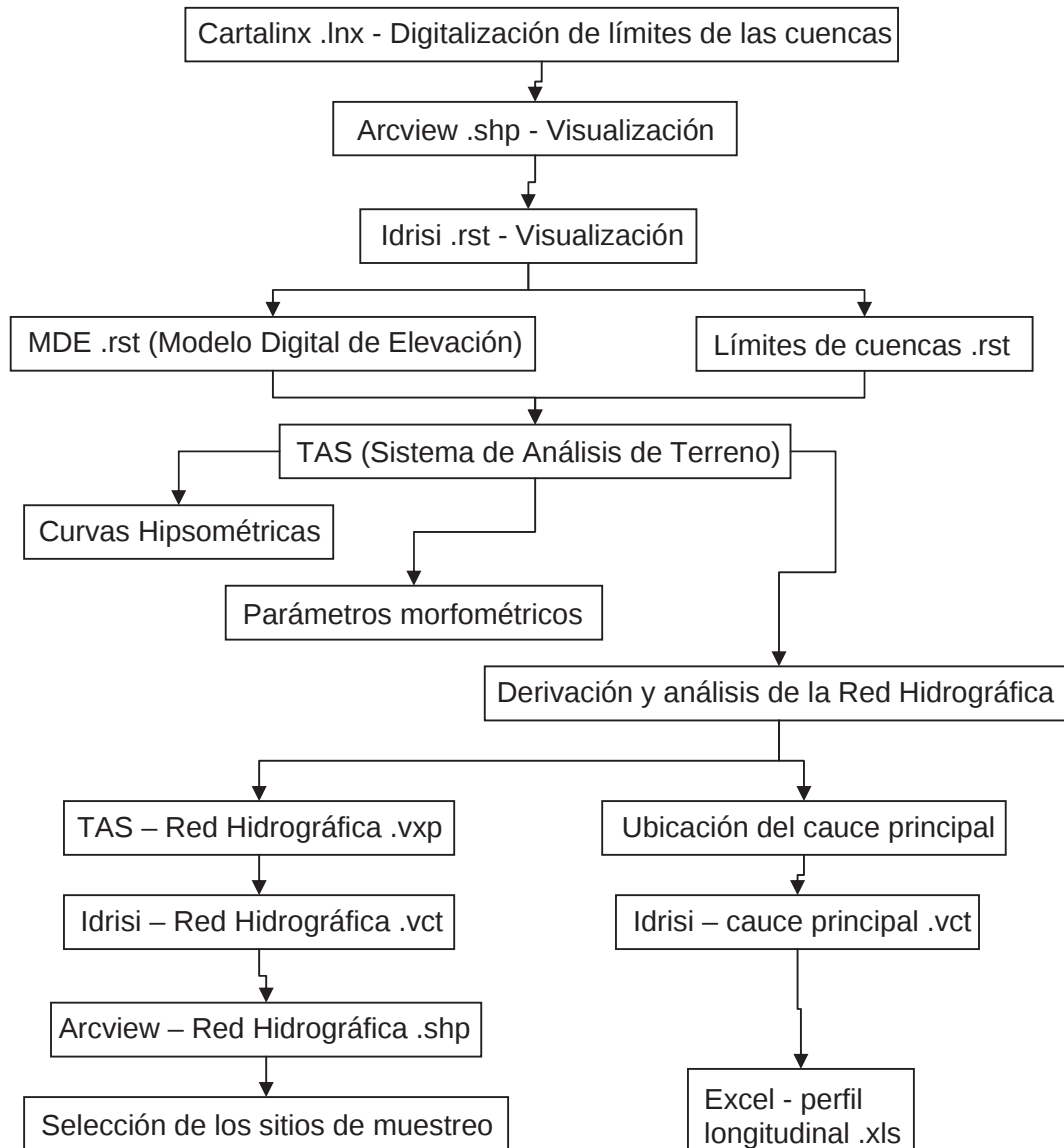


Figura 6. Flujo Metodológico del Análisis Morfométrico.

La red hidrográfica obtenida en formato Raster en el TAS, se transformó a formato vectorial y posteriormente fue exportado al SIG ArcView para su visualización y posterior selección de los sitios de muestreo (Figura 6).

VII.1.3 Diseño del Muestreo.

El muestreo se efectuó con base en los órdenes de los cauces, tres cubiertas de suelo (cultivos, agostadero y bosque) presentes en la zona de estudio con tres repeticiones y la posibilidad de acceso debido a que la topografía que se presenta en la zona es muy accidentada (Tabla 2). A continuación, en el SIG Arcview y con los vectoriales de vías de comunicación y toponimia se ubicaron los puntos a muestrear. Con esta información se generaron e imprimieron los mapas base de trabajo.

Tabla 2. Estratificación de muestreo.

Cubierta del suelo	Orden 1	Orden 2	Orden 3	Orden 4	Orden 5
Cultivos	3	3	3	3	3
Pecuario	3	3	3	3	3
Bosque	3	3	3	3	3

VII.2 TRABAJO DE CAMPO.

El material y equipo requerido para ésta fase del trabajo incluye los mapas de trabajo impresos con la ubicación de sitios de muestreo, medio de transporte, estacas metálicas, hilo con un nivel de mano, estatal, longímetros (30 y 100 m), clinómetro, botas impermeables, GPS, cámara digital, formatos de campo, tablas de apoyo y lápiz.

VII.2.1 Clasificación de la Red Hidrográfica con la Metodología Rosgen (1994).

Los parámetros en que se basa éstas clasificación son: **índice de estrechamiento, índice anchura / profundidad, sinuosidad, pendiente y material del cauce**. Una vez ubicado el punto de muestreo en campo, se toman las coordenadas del sitio, con un longímetro, se midieron 50 m aguas arriba y 50 m aguas abajo y se ubican tres puntos, para las secciones cruzadas, A) al inicio del sitio, B) a los 50 m y C) a los 100 m y se caracterizó el perfil del cauce de la siguiente manera:

- a) Se localiza el **Banco de orilla (Bankfull)**, que se encuentra inmediatamente después del espejo de agua y se caracteriza por

presentar un alto índice de humedad que indica su límite con la huella de inundación, se posiciona una estaca en uno de los extremos y se nivela con otra estaca que se ubica en el otro extremo, para esto es necesario un hilo con un nivel de mano.

- b) Se coloca una cinta métrica a lo largo del hilo y en un extremo del banco de orilla se llevan a cabo las mediciones de profundidad con un estadal cada 10 o 20 cm. (dependiendo de la anchura del cauce) hasta llegar al otro extremo. Estos datos se registran en los formatos de campo.
- c) El valor de profundidad máxima obtenida en la sección cruzada se multiplica por dos y se tiende el hilo con ésta nueva altura, se nivela y se proyecta ésta línea hasta las orillas, allí se ubica la **huella de inundación máxima** (Rosgen, 1994); ésta representa el área que se inunda por lo menos cada año y mantiene un índice de humedad que permite la sobrevivencia de la vegetación indicadora de humedad y se registra la distancia entre uno y otro extremo (Rosgen, 1994).
- d) Posteriormente se realiza el muestreo del material predominante del cauce tomando tres mediciones en la sección cruzada o a lo largo del sitio. El tipo y distribución del material del cauce son importantes para interpretar las funciones biológicas y la estabilidad de los ríos, El tipo de material se define conforme a las características de tamaño (Tabla 3).

Tabla 3. Clases del material del cauce y tamaños.

Clase de partícula	Tamaño de partícula
Lecho rocoso (<i>Bedrock</i>)	
Cantos rodados (<i>Boulders</i>)	Grandes: >20 pulgadas Pequeños: 10 a 20 pulgadas
Guijarros (<i>Cobbles</i>)	2.5 a 10 pulgadas
Grava (<i>Gravel</i>)	0.08 a 2.5 pulgadas
Arena (<i>Sand</i>)	0.062 – 2.0 milímetros
Arcilla / Limo (<i>Silt / Clay</i>)	<0.062 milímetros

- e) A continuación se mide la **pendiente** en porcentaje empleando un clinómetro SUUNTO y un estadal. Esta variable ésta constituye uno de los principales determinantes de la morfología del canal y está relacionada con las características hidráulicas y las funciones biológicas.

- f) El índice de **sinuosidad** se obtiene de la división de la longitud del río entre la longitud del valle en línea recta. Se obtuvo en gabinete con el empleo del SIG Arcview tomando como base 500 m de longitud recta del valle debido a que en longitudes menores la sinuosidad no varía considerablemente dificultando la clasificación del cauce en cuestión. Se traza una línea recta de 500 m en el valle del cauce y se mide la longitud de este siguiendo su recorrido, la longitud obtenida se divide entre los 500 m rectos y el valor obtenido representa la sinuosidad. Esta puede ser modificada por el contenido del material del lecho, caminos, confinamiento del cauce y vegetación. De acuerdo con Rosgen (1996); cuando el gradiente del cauce y el tamaño de partícula del canal disminuye, hay un incremento en la sinuosidad.
- g) Se tomaron fotografías de los sitios para ilustrar la condición de los cauces y de la vegetación presente, así como el uso que presenta la zona aledaña al cauce.

VII.2.2 Evaluación del ecosistema ripario con el método rápido (Zepeda, et al; 2002).

Este método se utiliza para evaluar ecosistemas riparios en zonas templadas, adaptado por Zepeda, et al., (2002), constituye una herramienta útil para el diagnóstico y monitoreo de las redes fluviales y sus cuencas. El propósito del método es deducir el grado de funcionalidad del ecosistema, con base en la condición actual de los distintos componentes estructurales del mismo, la cual se evalúa mediante indicadores asignando valores de 0 a 10 a cada componente, de acuerdo con sus características predominantes, obteniéndose así un valor cuantitativo, susceptible de análisis para entender diferencias espaciales y temporales en el estado de salud de los arroyos y sus componentes. La metodología se resume en la tabla cuatro.

Tabla 4: Metodología rápida para la evaluación de ecosistemas riparios en zonas templadas (Zepeda, *et al.* 2002).

Componente	Variable	Forma de medición	Significado	Calificación
Vegetación	Presencia de especies riparias	Porcentaje de dominancia de especies indicadoras.	Mayor de porcentaje de dominancia de spp. Indicadoras riparias en sitios conservados.	80 – 100 (10)
				60 – 80 (8)
				40 – 60 (6)
				20 – 40 (4)
				1 – 20 (2)
	Cobertura de los estratos arbustivo y arbóreo.	Porcentaje de la cobertura del sitio por arbustos y árboles.	Mayor cobertura reduce la erosión y aporte de sedimentos al cauce más próximo.	0-1 (0)
				10-20 (2)
				20-40 (4)
				40-60 (6)
				60-80 (8)
	Cobertura de los bancos de arroyo por las plantas del estrato herbáceo y rasante.	Porcentaje de cobertura de los bancos de arroyo por el estrato herbáceo y rasante.	Bancos de arroyo con mayor porcentaje de cobertura son más estables.	80-100 (10)
				60-80 (8)
				40-60 (6)
				20-40 (4)
				1-20 (2)
Agua y Morfología	Tipo morfológico del cauce	Determinación de los índices de Confinamiento, Pendiente y Sinuosidad.	Los índices corresponden con lo esperado en sitios conservados.	Correspondencia
				Si : 10
				No: 0
	Estabilidad del cauce.	Porcentaje del cauce afectado.	Menor porcentaje de cauce afectado representa mayor estabilidad.	80-100 (0)
				60-80 (2)
				40-60 (4)
				20-40 (6)
				1-20 (8)
	Régimen de flujo del agua.	Régimen de flujo que presenta el cauce: - Perenne - Intermittente - Efímero	Cauces conservados en la misma zona geográfica y con la misma fuente de agua, tienen el mismo	0-1 (10)
				- Perenne (10)
				- Intermittente (5)
				- Efímero (0)

Continuación tabla 4...			régimen de flujo y corresponden al mismo tipo morfológico.		
Suelo	Colonización de los depósitos de materiales por las plantas.	Porcentaje total de depósitos colonizados.	del Mayor porcentaje de colonización de los depósitos en cauces poco alterados.	80-100 (10) 60-80 (8) 40-60 (6) 20-40 (4) 1-20 (2) 0-1 (0)	
	Evidencias de saturación periódica	Existe o evidencia saturación suelo.	no de conservación, existe saturación periódica del suelo que implica la presencia continua de agua	Sí: 10 No: 0	
	Evidencias de alta infiltración.	Porcentaje de sitio evidencias escorrentía superficial.	del sin mayor porcentaje del sitio sin escorrentía superficial	80-100 (10) 60-80 (8) 40-60 (6) 20-40 (4) 1-20 (2) 0-1 (0)	
	Compactación del suelo ocasionada por el pisoteo de ganado.	Porcentaje del banco pisoteado.	Menor porcentaje del banco pisoteado en sitios conservados.	80-100 (0) 60-80 (2) 40-60 (4) 20-40 (6) 1-20 (8) 0-1 (10)	
	Cobertura vegetal del banco de ribera en sitios pastoreados.	Porcentaje de cobertura. Vegetal banco.	de Menor porcentaje de cobertura de los bancos indica un mayor pastoreo del sitio.	80-100 (10) 60-80 (8) 40-60 (6) 20-40 (4) 1-20 (2) 0-1 (0)	
	La presencia de caminos y brechas	Presencia y ausencia.	o Sitios con una gran densidad de caminos	Sí: 0	

Continuación	adyacentes al		propician la	No: 10
tabla 4...	área riparia.		sedimentación de los cauces.	
	Evidencias de incendios en el área riparia.	Porcentaje de superficie incendiada	de Sitios ribereños degradados presentan altos porcentajes de superficie incendiada.	80-100 (0) 60-80 (2) 40-60 (4) 20-40 (6) 1-20 (8) 0-1 (10)
	Tala de árboles en la zona de ribera.	Si hay o No hay evidencias de tala de árboles.	Áreas ribereñas con tala de árboles indican sitios alterados.	Sí: 0 No: 10
	Presencia de terrenos de cultivo adyacentes al arroyo.	Presencia de ausencia.	Los terrenos de cultivo adyacentes al área riparia son fuentes directas de degradación.	Sí: 0 No: 10

Finalmente, la calificación general de cada sitio, se obtiene promediando los valores asignados a cada componente.

VII.3 TRABAJO DE GABINETE.

La información recabada en campo fue analizada en gabinete para realizar la clasificación de cauces, Rosgen (1994) de la siguiente manera:

VII.3.1 Se calculó el **índice de Estrechamiento**, el cual describe la relación del río, su valle y las características topográficas. El estrechamiento ha sido definido cuantitativamente por Rosgen (1996) como la relación del ancho del área propensa a inundación y el ancho de la superficie del banco de orilla. El ancho del área propensa a inundación es medida con la elevación resultante de multiplicar por dos la profundidad máxima del banco de orilla tomada del estado del estado del banco de orilla establecido.

$$I E = HI / BO$$

En donde:

I E: Índice de estrechamiento

HI = Ancho de la huella de inundación

BO = Ancho del banco de orilla

VII.3.2 Se realiza el cálculo del **índice ancho / profundo**, representado por el ancho del banco de orilla y la profundidad media del mismo. La relación ancho / profundo determina la estabilidad del canal. Ésta relación se determina con los datos del ancho del banco de orilla y la profundidad promedio desde los márgenes del banco de orilla.

$$I A / P = BO / P \overline{X}$$

En donde:

I A / P: Índice Ancho / Profundo

BO: Banco de Orilla

P $\overline{X}$: Profundidad media

VII.3.3 La **Sinuosidad** se obtuvo en gabinete con el empleo del SIG Arcview tomando como base 500 m de longitud recta del valle debido a que en longitudes menores la sinuosidad no varía considerablemente dificultando la aplicación de ésta variable en el sistema de clasificación empleado. Para calcular la sinuosidad se trazó una línea recta de 500 m en el valle del cauce y se mide la longitud de este siguiendo su recorrido, la longitud obtenida se divide entre los 500 m rectos y el valor obtenido representa la sinuosidad.

$$SINUOSIDAD = LONGITUD DEL RIO / LONGITUD DEL VALLE$$

Con los datos obtenidos tanto en campo como en gabinete se clasificaron los cauces (Figura 7) y se calificó el estado general de la red hidrográfica de la zona de estudio.

VII.3.4 Estado de conservación del área de estudio.

Con base en los resultados obtenidos de la clasificación de la red hidrográfica, las calificaciones de los ecosistemas riparios y el análisis de la información bibliográfica relacionada con el tema, se indicó el estado de conservación de las subcuencas y microcuencas evaluadas.

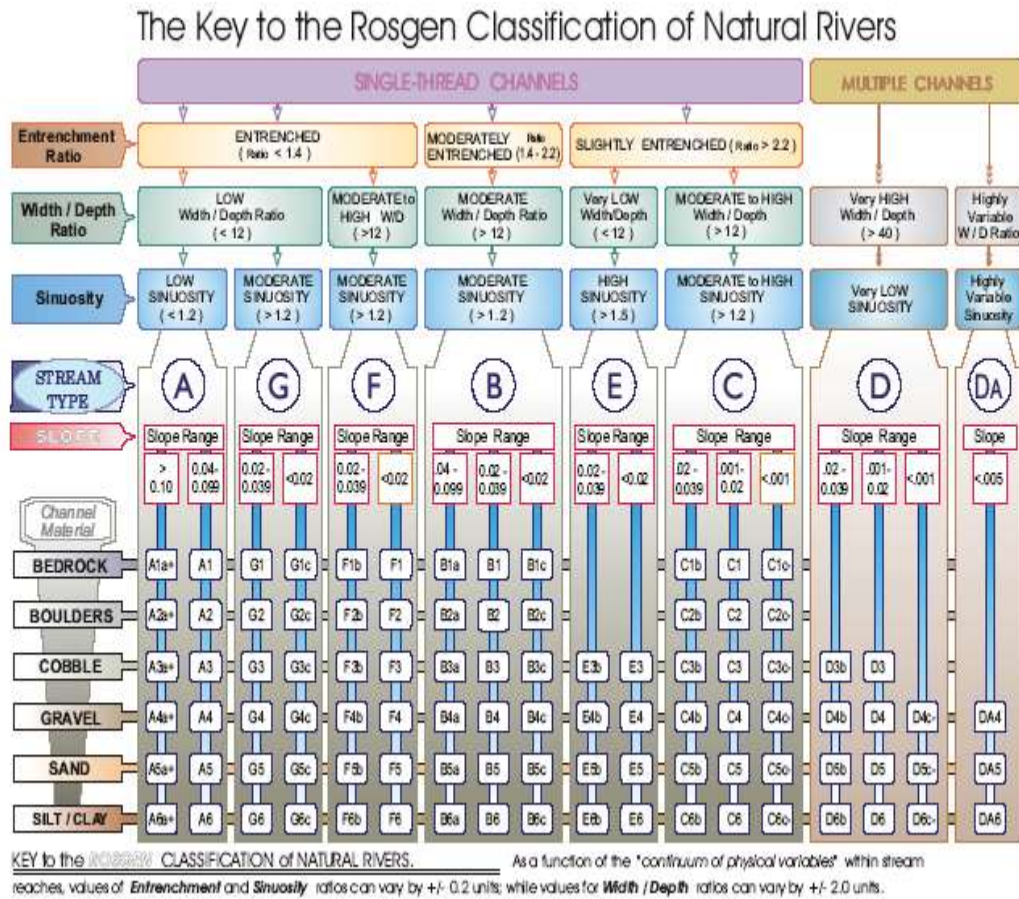


Figura 7. Clave para la clasificación de Ríos (Rosgen, 1994).

VII.3.5 Representación cartográfica de las condiciones de la Red Hidrográfica.

Con base en los resultados obtenidos que muestran que la red hidrográfica incluida en el ecosistema ripario, presenta diferentes estados de conservación dependiendo de la cubierta de suelo en la que se encuentre, se representó la condición de la red con el empleo del SIG Carta Linx versión 1.2 (Clark labs, 1999) para delimitar las diferentes cubiertas de suelo presentes en la zona de estudio asumiendo la condición de los cauces en cada una de estas.

VII.3.6 Alternativas de manejo para la conservación del ecosistema.

Mediante una revisión bibliográfica se propusieron alternativas para el manejo de los ecosistemas de ribera, asegurando que se adaptaran a las condiciones presentes en el área de estudio.

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La caracterización hidrográfica de la zona de Mil Cumbres – Los azufres, incluida en la Cuenca de Cuitzeo, basado en el criterio de superficie (Marín P. *et al*; 2005, Tabla 5), muestra la presencia de 2 Subcuencas y 4 Microcuencas tributarias, que de acuerdo al nombre del cauce principal o asentamiento humano incluida en ella fueron denominadas “Zinapécuaro” (1), “Queréndaro” (4), “Los Cedros – Jucapátaro” (2), “Laguna Agua Azul” (3), “Cañada del agua” (5) y “Los Naranjos – La Tinaja” respectivamente (6), las cuales se esquematizan en la Figura 8.

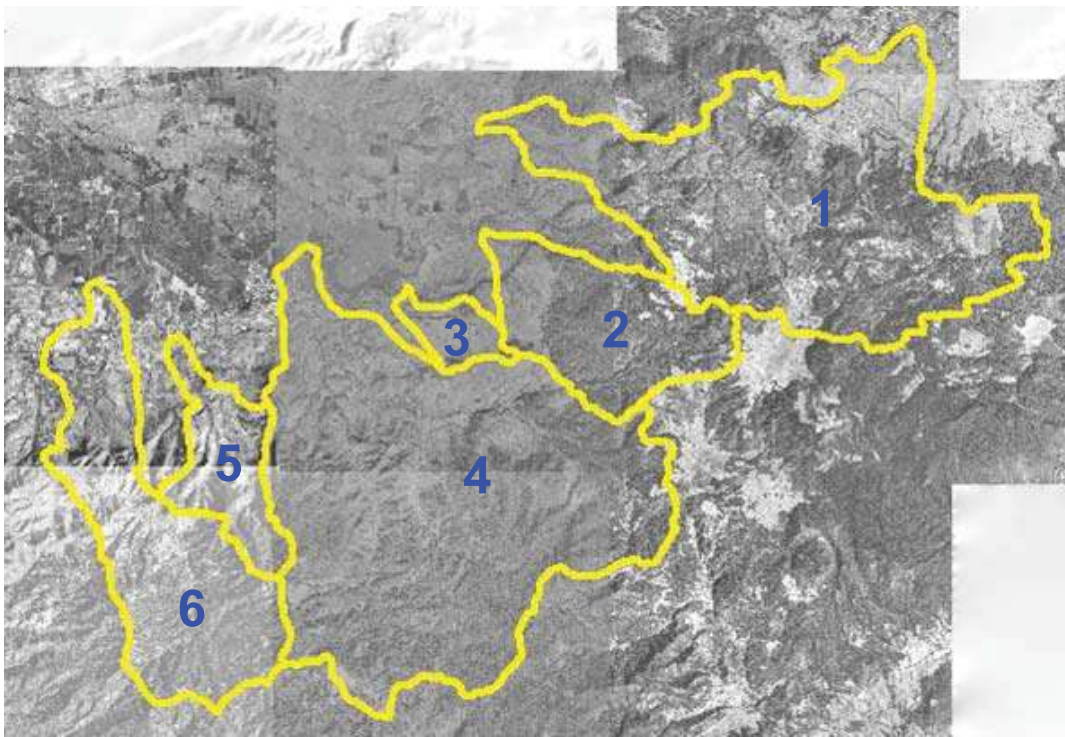


Figura 8. Subcuencas y Microcuencas del área de estudio.

Tabla 5. Tipo de Cuenca (Marín P. *et al*; 2005).

Área (ha)	Tipo de Cuenca	Tamaño	Área de estudio
Menos de 10000	Microcuenca	Pequeña	2, 3, 5 y 6
Entre 10001 y 60000	Subcuenca	Mediana	1 y 4
Mayores de 60001	Cuenca	Grande	

VIII.1 ANÁLISIS MORFOMÉTRICO

Las características físicas de una cuenca forman un conjunto que influye profundamente en el comportamiento hidrológico de dicha zona tanto a nivel de las provocaciones como de las respuestas de la cuenca tomada como un sistema. Así pues, el estudio sistemático de los parámetros físicos de las cuencas es de gran utilidad práctica, pues con base en ellos se puede lograr una transferencia de información de un sitio a otro donde exista poca información, si existe cierta semejanza geomorfológica y climática de las zonas en cuestión. El reciente desarrollo de programas de computo diseñados para el análisis de cuencas hidrográficas a partir de modelos digitales de terreno, abre un amplio campo de aplicaciones que van desde el análisis, formulación y validación de modelos teóricos sobre su geomorfología hasta su uso en aplicaciones prácticas como la estimación de caudales a través del balance hídrico o técnicas de regionalización (Mantilla *et al*; 2007).

La zona de estudio contiene una gran cantidad de pequeños cauces que alimentan diversos ríos que son aprovechados para diversos fines (agrícolas, recreación, pecuario, consumo humano) a lo largo de su recorrido, sin embargo las pendientes presentes en la zona representan riesgos potenciales de grandes avenidas que pone en riesgo a los habitantes de esas regiones así como algunas de sus actividades, por lo que en este trabajo se determinan los parámetros morfométricos básicos que nos permiten determinar el estado en el que se encuentra el área.

Se calcularon los parámetros morfométricos básicos, se obtuvieron las curvas hipsométricas y se localizaron los cauces principales y sus parámetros principales. Con las fórmulas de Kirpich (Kirpich, 1940; en Méndez y Marcucci, 2005) y la Californiana (La cuenca hidrográfica, 2007) que toman en cuenta los parámetros de longitud del cauce principal y la diferencia entre la altitud mayor (parteaguas) y menor (desembocadura) de la cuenca se calcularon los tiempos de concentración para cada una de las subdivisiones del área de estudio.

VIII.1.1 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS

Los parámetros morfométricos obtenidos para las Subcuencas y Microcuencas tributarias se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Parámetros morfométricos de la subcuencas y microcuencas.

Parámetro	Valores Subc. 1	Valores Microc. 2	Valores Microc. 3	Valores Subc. 4	Valores Microc. 5	Valores Microc. 6
Área (ha)	10298.32	3319.60	611.68	13498.92	1747.68	5227.32
Perímetro	77800	33840	15760	74700	30360	52740
Longitud	20112	9839.1	4479.7	16242.2	9112.7	15522.6
Índice de compacidad	2.15	1.64	1.78	1.8	2.03	2.04
Relación de circularidad	0.21	0.36	0.31	0.3	0.24	0.24
Relación de elongación	0.57	0.66	0.62	0.81	0.52	0.53
Factor de forma	0.26	0.34	0.31	0.51	0.21	0.22
Relieve máximo	1349.06	848.93	534.51	1341.48	1098.85	1112.39
Radio de relieve	0.07	0.09	0.12	0.08	0.12	0.07
Altitud mínima	1876.70	1897.17	1846.31	1832.86	1867.22	1848.00
Altitud máxima	3227.94	2749.15	2380.54	3181.26	2962.94	2965.60
Altitud promedio	2511.87	2375.96	2194.45	2449.36	2313.52	2305.43
Pendiente mínima	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
Pendiente máxima	45.97	49.30	34.68	49.91	51.93	50.85
Pendiente promedio	12.15	14.30	7.63	17.58	18.31	17.17

Doffo y González, 2005; mencionan que la diversidad de parámetros morfométricos es grande, existen por lo menos media docena de parámetros de forma, ¿cuál emplear?, es una pregunta que seguramente no tiene respuesta única. La ventaja de los parámetros morfométricos es que pueden ser procesados estadísticamente, sin embargo, muchos de ellos relacionan mediciones fundamentales similares, como por ejemplo el área, lo cual hace que queden más o menos correlacionados entre sí por lo que recomiendan que

el análisis estadístico debiera ser precedido por una inspección de la constitución de los parámetros a emplear para detectar aquellos más fuertemente interrelacionados y evitar que oscurezcan otras relaciones más significativas.

AREA

El área de la cuenca es quizá el parámetro mas importante, siendo determinante de varios fenómenos hidrológicos tales como el volumen de agua que ingresa por precipitación, la magnitud de los caudales entre otros (La cuenca hidrográfica, 2007). Las magnitudes calculadas denotan sistemas de medianas a pequeñas dimensiones que las califican bajo la categoría de Subcuencas (uno y cuatro) y Microcuencas (dos, tres, cinco y seis).

PERÍMETRO

El perímetro es la longitud del límite exterior de la subcuenca y depende de la superficie y de la forma de ésta.

LONGITUD

La longitud de la cuenca es una línea recta con dirección paralela al cauce principal, útil en la obtención de algunos parámetros morfométricos como la forma de la cuenca, la cual se refiere a la configuración geométrica de la cuenca tal como está proyectada sobre el plano horizontal (La cuenca hidrográfica, 2007), ésta ha sido comparada con diferentes formas ideales, algunas con más éxito que otras (González de Matauco, 2004).

FORMA

En el presente trabajo se emplean cuatro parámetros para obtener la forma de la cuenca, mismos que se explican a continuación. El índice de compacidad de Gravelius (Gravelius, 1914) compara la longitud del perímetro con la circunferencia de un círculo con igual superficie que la cuenca. El índice de circularidad de Miller (Miller, 1953) compara el área de la cuenca con el área de un círculo cuya circunferencia es igual al perímetro de la cuenca, es decir, lo contrario al índice de Gravelius. La razón de elongación compara la longitud del eje mayor de la cuenca con el diámetro de un círculo de igual área, mientras

que el factor de forma de Horton (Horton, 1932) compara el área de la cuenca con la de un cuadrado con los lados iguales al eje mayor de la cuenca.

La expresión morfológica del trazado del perímetro sobre la base cartográfica del análisis evidencia que las Subcuencas y Microcuencas del área de estudio presentan una forma alargada del sistema con base en los valores obtenidos del parámetro de Forma de la cuenca. El índice de compacidad tiene por definición un valor de uno para cuencas imaginarias de forma exactamente circular, por lo que sus valores nunca serán inferiores a uno. Cuanto mas cercano este el índice a la unidad se considera que la cuenca tiene una forma mas circular y que por tanto es mas compacta, pudiendo alcanzar valores próximos a tres en cuencas muy alargadas.

Los índices de compacidad obtenidos son mayores a 1.5 de manera que podemos considerar que los sistemas corresponden a una forma que va de oval oblonga a rectangular oblonga (Tabla 7), lo que indica que la forma de éstas distan en gran medida de la circularidad, considerando que cuanto más redonda es una cuenca mas tarda en llegar la onda de crecida a la desembocadura, pero al mismo tiempo más acusado es el caudal punta (González de Matauco, 2004); entonces se puede decir que la probabilidad a experimentar crecidas frecuentes es baja y los tiempos de concentración son mayores en comparación con otros sistemas de igual área pero de forma más circular.

Tabla 7. Forma de la cuenca (FAO, 1985).

Clase	Rango	Forma
Kc1	Entre 1 y 1.25	Redonda a oval redonda
Kc2	Entre 1.25 y 1.5	Oval redonda a oval oblonga
Kc3	Entre 1.5 y 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga.

En cuanto a los demás parámetros de forma de la cuenca, tenemos que para el radio de circularidad, la unidad representa cuencas completamente circulares,

por lo que valores más cercanos a cero indican sistemas más alargados, con base en esto, todos los sistemas estudiados presentan escasa circularidad, es decir, son de forma alargada (Figura 9).

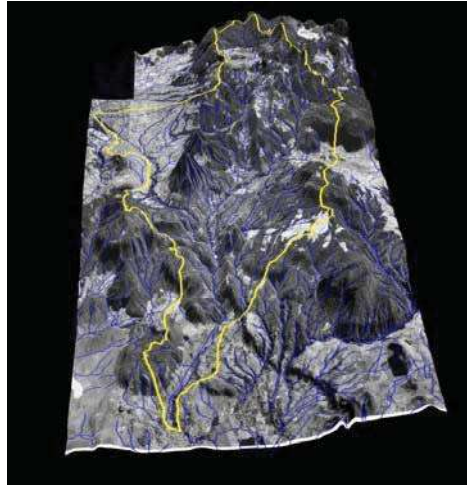


Figura 9. Subcuenca uno que evidencia una forma alargada.

En la relación de elongación los valores inferiores a uno implicarán formas alargadas, cuanto menor sea la relación de elongación más alargada será la forma de la cuenca (Jardí, 1985), los valores obtenidos muestran que los sistemas presentan formas alargadas, sin embargo, la Subcuenca cuatro tiene el valor máximo (0.81), esto nos indica que es la subcuenca más parecida a un círculo (Figura 10). González de Matauco en el 2004, menciona que valores bajos de elongación indica que los cauces son sinuosos y de baja pendiente en amplios tramos de el cauce principal.

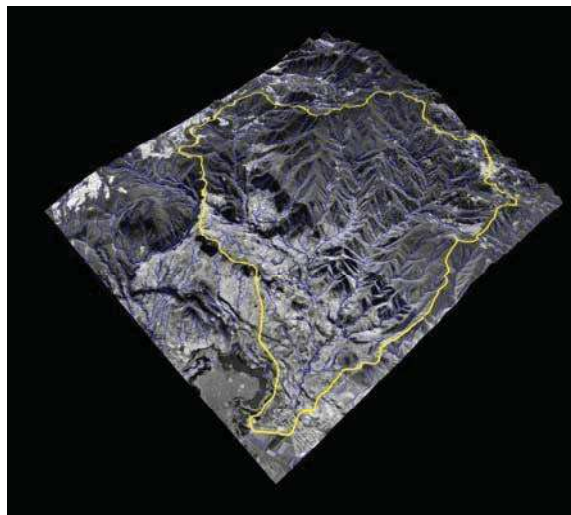


Figura 10. La Subcuenca cuatro presenta la forma mas parecida a un círculo.

De acuerdo con Fuentes (2004), el Factor de forma con valores de uno indican una cuenca cuadrada completamente con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas. Los Factores de forma obtenidos para el área de estudio muestran valores bajos en general, lo que implica de igual manera una fuerte tendencia al alargamiento y bajas probabilidades de experimentar crecidas.

RELIEVE Y ALTITUD DE LAS CUENCAS.

Relieve Máximo.

El Relieve máximo (desnivel altitudinal) es el valor de la diferencia entre la cota más alta y la cota más baja de la cuenca. La influencia del relieve sobre la respuesta hidrológica de la cuenca es importante, puesto que a mayores pendientes corresponden mayores velocidades del agua en las corrientes y menor será el tiempo de concentración de la cuenca, además de que se favorece la activación de procesos erosivos y el transporte de materiales.

Fuentes (2004), menciona que una cuenca con mayor número de pisos altitudinales puede albergar más ecosistemas al presentar más variaciones importantes en su precipitación y temperatura. Como se muestra en la tabla 8, las microcuencas dos, tres, cinco y seis muestran un relieve máximo bajo, que indica pendientes suaves, mientras que en las subcuencas uno y cuatro son medianos, es decir, pendientes más fuertes.

Tabla 8. Clases de desnivel altitudinal (Fuentes, 2004).

Rangos de altitudes	Clases de altitudes
600 – 1220	Bajo
1221 – 1841	Mediano
1842 – 2462	Alto

Radio de Relieve

El Radio de Relieve se obtiene en función del relieve máximo y la longitud de la cuenca y proporciona un panorama del desnivel promedio que existe por cada kilómetro de longitud (Méndez y Marcucci, 2005), de acuerdo con esto, las

Microcuencas tres y cinco presentan el valor más alto que corresponde a 0.12 lo que indica que por cada mil metros, existe un incremento promedio de altura de 120 metros, mientras que para la Subcuenca uno y Microcuenca seis éste desnivel es de 70 metros, las Subcuenca cuatro y Microcuenca dos presentan un incremento promedio de 80 y 90 metros respectivamente. La subcuenca uno presenta la mayor altitud promedio, mientras que la de menor altitud corresponde a la microcuenca tres.

Curva hipsométrica

La curva hipsométrica proporciona una información sintetizada sobre la altitud de la cuenca, representa gráficamente la distribución de la cuenca por tramos de altura. Según Strahler (Lamas, 1993), la importancia de ésta radica en que es un indicador del estado de equilibrio dinámico de la cuenca. A continuación se muestran las curvas hipsométricas obtenidas para el área de estudio.

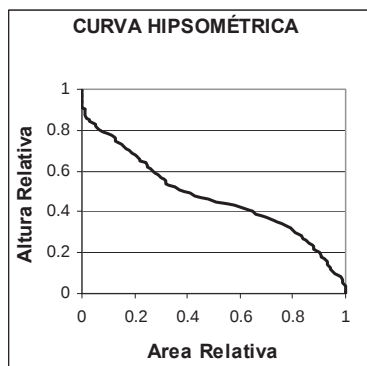


Figura 11. Subcuenca uno.

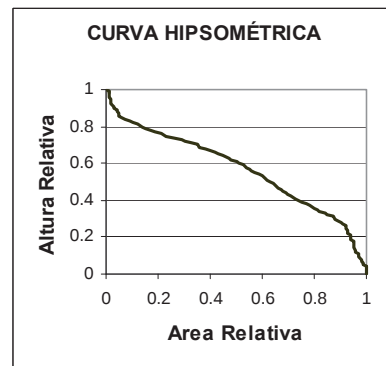


Figura 12. Microcuenca dos

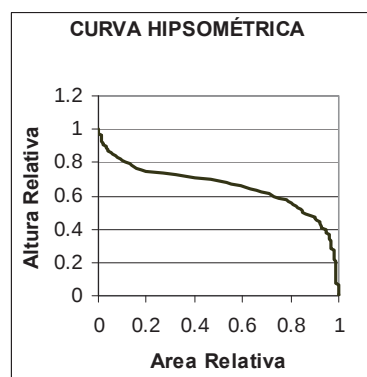


Figura 13. Microcuenca tres.

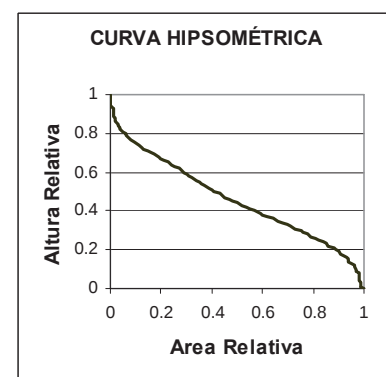


Figura 14. Subcuenca cuatro.

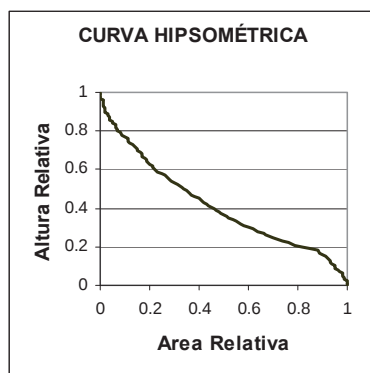


Figura 15. Microcuenca cinco.

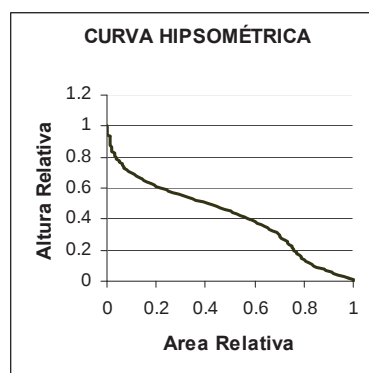


Figura 16. Microcuenca seis.

De acuerdo con el ciclo de erosión de Strahler (1952), la curva de la microcuenca tres refleja un área cuyo relieve se encuentra en un estado erosional joven con un gran potencial erosivo y con ríos en una fase de juventud, mientras que las demás curvas presentan relieves que corresponden a áreas en equilibrio con ríos en una fase de madurez.

Pendiente

La pendiente tiene una gran importancia porque, indirectamente a través de la velocidad del flujo de agua, influye en el tiempo de concentración de la cuenca, además de que mayores pendientes condicionan un mayor potencial erosivo y de arrastre de sedimentos y menor infiltración (Méndez y Marcucci, 2005).

Las pendientes de la zona de estudio oscilan entre 0 % y 51.93 %, las pendientes mayores se encuentran en las cabeceras de las subcuencas y microcuencas, ésta disminuye a medida que se acerca a la desembocadura de los sistemas evaluados. Las pendientes promedios son fuertes, la microcuenca más accidentada es la cinco con un valor de 18.31 % seguida de la subcuenca cuatro y seis respectivamente, esto indica una alta probabilidad de éstas áreas a experimentar crecidas fuertes de corta duración, altas velocidades del flujo, mayor capacidad de transporte y por lo tanto tiempos de concentración pequeños, por otra parte, la microcuenca tres es la más pequeña y menos accidentada con una pendiente promedio de 7.63 % pero con un potencial erosivo fuerte de acuerdo con su curva hipsométrica.

VIII. 1.2 ANÁLISIS DE LA RED DE DRENAJE

La red de drenaje es el sistema jerarquizado de los cauces, desde los pequeños surcos hasta los ríos que confluyen unos en otros configurando un colector principal de toda una cuenca. Desde una perspectiva ecológica es un ejemplo de autoorganización (González de Matauco, 2004). El análisis de las redes hidrográficas se basa en el método de Horton (1945) de clasificación de la red de canales; Strahler (1952, 1957) revisó y perfeccionó el sistema de Horton dando lugar al esquema de ordenación o de clasificación de Horton – Strahler (Figura 17), hoy en día el más utilizado.

Las redes de drenaje pueden ser modeladas o representadas como árboles, los cuales están conformados por un conjunto de *nodos* conectados unos a otros por *segmentos* de recta de manera que cada nodo tiene solo una ruta hacia la *salida*. Se considera que la cuenca tiene una única salida o punto de desagüe. Los puntos en los que se unen dos segmentos de canal son los nudos internos; Los nudos externos son aquellos a partir de los cuales se origina un segmento de canal (es decir, la cabecera de todos los tributarios de la cuenca); Strahler (1952) ordena las corrientes de acuerdo los siguientes criterios:

- 1.- Los segmentos que se originan en un nudo externo son definidos como tramos de primer orden (no tienen tributarios).
- 2.- Cuando dos segmentos del mismo orden 1 se unen en un nudo interior dan lugar a un segmento de orden 2 aguas abajo. Cuando se unen dos corrientes de orden 2 crean una corriente de orden 3.
- 3.- Cuando se unen dos tramos de distinto orden en un nudo interior dan lugar a un tramo que conserva el mayor de los órdenes, es decir, cuando a una corriente se le une otra de menor orden, la primera continúa y conserva su número de orden.
- 4.- El orden de la cuenca es el de la corriente de mayor orden.

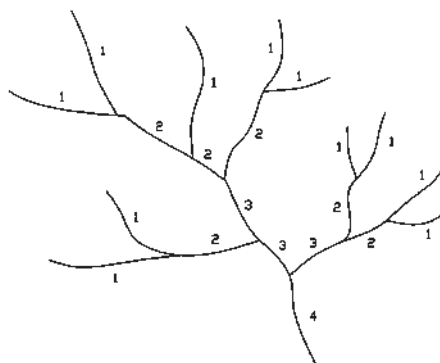


Figura 17. Ordenamiento de una red de canales según Strahler (1952, 1957).

Red de drenaje

En la tabla 9 se muestran los valores obtenidos de la cantidad de canales de los diferentes órdenes en el área, se observa que las subcuencas cuatro y uno respectivamente presentan la mayor cantidad de cauces especialmente en los ordenes uno, éstas mismas áreas corresponden a las de mayores dimensiones.

Tabal 9. Número de cauces de cada uno de los órdenes.

Ordenes	Número de cauces					
	Subcuenca 1	Micro Cuenca 2	Micro cuenca 3	Subcuenca 4	Micro cuenca 5	Micro cuenca 6
orden 1	692	163	47	818	74	278
orden 2	141	43	13	188	12	65
orden 3	31	10	3	43	3	13
orden 4	9	2	1	10	1	3
orden 5	2	1		2		1
orden 6	1			1		

Orden de la corriente

El orden de la corriente indica el grado de estructura de la red de drenaje, a mayor grado de corriente corresponde una estructura más definida y por lo tanto la red será mucho mayor que aquella de un orden mas bajo, así mismo un mayor orden indica la presencia de controles estructurales del relieve y mayor posibilidad de erosión o bien, que la cuenca podría ser más antigua

(Fuentes, 2004), de acuerdo con Horton (1945), cuanto mas alto es el orden de la cuenca, mayor es su grado de desarrollo fluvial.

Para el área de estudio se obtuvo un orden seis en las subcuencas uno y cuatro, un orden cinco en las microcuencas dos y seis y un orden cuatro para las microcuencas tres y cinco. Los parámetros de la red de drenaje se presentan a continuación.

Densidad de corrientes (Tabla 10)

González de Matauco (2004) menciona que la densidad de corrientes, o frecuencia de cauces, es una medida no métrica que nos proporciona el promedio de cauces por unidad de área, relacionado directamente con la densidad de drenaje y con el radio de bifurcación. A mayor densidad de corrientes corresponde una mayor capacidad de coleccionar agua y por tanto una mayor erosión.

Tabla 10. Densidad de corrientes/Km².

Ordenes	Subcuenca 1	Micro Cuenca 2	Micro cuenca 3	Subcuenca 4	Micro cuenca 5	Micro cuenca 6
orden 1	6.72	4.91	7.68	6.06	4.23	5.32
orden 2	1.37	1.3	2.13	1.39	0.69	1.24
orden 3	0.3	0.3	0.49	0.32	0.17	0.25
orden 4	0.09	0.06	0.16	0.07	0.06	0.06
orden 5	0.02	0.03		0.01		0.02
orden 6	0.01			0.01		

Radio de Bifurcación (Tabla 11)

El radio de bifurcación es una de las variables más significativas de cara al comportamiento del sistema fluvial, relaciona el número de cauces de un orden con el número de cauces de un orden inmediatamente superior (Cuesta, 2001). El valor típico de radios de bifurcación es igual a cuatro variando de tres a cinco. Los valores de radio de bifurcación superiores a cuatro indican una torrencialidad moderadamente alta (Strahler, 1964). No obstante, la comparación solo es representativa entre cuencas o subcuencas que tengan el mismo orden.

Tabla 11. Radio de bifurcación.

Ordenes	Subcuenca 1	Micro cuenca 2	Micro cuenca 3	Subcuenca 4	Micro cuenca 5	Micro cuenca 6
orden 1	4.91	3.79	3.62	4.35	6.17	4.28
orden 2	4.55	4.3	4.33	4.37	4	5
orden 3	3.44	5	3	4.3	3	4.33
orden 4	4.5	2		5		3
orden 5	2			2		

Longitud de cauces (Tabla 12)

En la tabla 12 se muestran las longitudes de cada uno de los órdenes de los cauces. Resulta claro que la mayor longitud en kilómetros corresponde a los cauces de orden uno y disminuyen a medida que se llega a la corriente de mayor orden. La subcuenca cuatro y uno presenta la mayor longitud de cauces debido a que corresponden a las áreas más grandes, por el contrario, la microcuenca tres presenta la menor longitud.

Tabla 12. Longitud de cauces en Km.

Ordenes	Subcuenca 1	Micro Cuenca 2	Micro cuenca 3	Subcuenca 4	Micro cuenca 5	Micro cuenca 6
orden 1	248.11	66.51	14.18	269.69	25.83	102.22
orden 2	80.48	27.44	5.87	97.75	11.94	45.83
orden 3	36.45	9.03	3.77	62.87	10.57	16.83
orden 4	21.82	11.62	2.10	26.21	3.19	3.36
orden 5	13.35	3.87		16.73		17.42
orden 6	9.54			6.83		
TOTAL	409.75	118.46	25.94	480.11	51.54	185.6

Densidad de drenaje (Tabla 13)

Horton (1945) definió la densidad de drenaje de una cuenca como el cociente entre la longitud total de los canales de flujo perteneciente a su red de drenaje y la superficie de la cuenca. Este parámetro es en cierto modo un reflejo de la dinámica de la cuenca, de la estabilidad de la red hidrográfica y del tipo de escorrentía de superficie, así como de la respuesta de la cuenca ante un chubasco. A mayor densidad de drenaje, mas dominante es el flujo en el cauce frente al flujo en ladera, lo que se traduce en un menor tiempo de respuesta de

la cuenca (Chorley, 1969). Según Chorley (1969) citados por González de Matauco (2004), la densidad de drenaje afecta el tipo de escorrentía y así en zonas de alta densidad la escorrentía recorre la superficie rápidamente disminuyendo el tiempo de concentración de la cuenca e incrementando el pico de crecida al haber menor infiltración, además de que representa un mayor potencial de erosión.

La densidad de drenaje varía inversamente a la extensión de la cuenca. Fuentes (2004), menciona que con el fin de catalogar una cuenca bien o mal drenada, se puede considerar que valores próximos a 0.5 Km. /Km² o mayores indican la eficiencia de la red de drenaje. La red de drenaje es influenciada por las lluvias y la topografía, por esto se tiene que para un valor alto de densidad de drenaje corresponden grandes volúmenes de escurrimientos, mayores velocidades del flujo y por tanto disminución en el tiempo de concentración.

Tabla 13. Densidad de drenaje en Km. /Km².

Ordenes	Subcuenca 1	Micro Cuenca 2	Micro Cuenca 3	Subcuenca 4	Micro cuenca 5	Micro cuenca 6
orden 1	2.41	2	2.31	1.99	1.47	1.95
orden 2	0.78	0.83	0.96	0.72	0.68	0.87
orden 3	0.35	0.27	0.61	0.46	0.60	0.32
orden 4	0.21	0.35	0.34	0.19	0.18	0.06
orden 5	0.12	0.12		0.12		0.33
orden 6	0.09			0.05		
TOTAL	3.97	3.57	4.24	3.55	2.94	3.55

Pendientes promedio de cada orden (Tabla 14)

Como se mencionó anteriormente, la pendiente juega un papel importante en la velocidad del flujo de agua, en el arrastre de materiales y en el tiempo de concentración de una cuenca, por lo tanto, en la tabla 14 se presentan los valores de pendiente obtenidos en los diferentes órdenes y áreas evaluadas. Las mayores pendientes corresponden al orden uno y disminuyen a medida que se alcanza el orden mayor, sin embargo, la microcuenca tres muestra una pendiente mayor en el orden mayor de su red hidrográfica.

Tabla 14. Pendientes promedio de los órdenes.

Ordenes	Subcuenca 1	Micro Cuenca 2	Micro Cuenca 3	Subcuenca 4	Micro cuenca 5	Micro cuenca 6
orden 1	7.64	10.12	5.49	11.56	13.79	11.21
orden 2	5.61	8.26	4.00	8.06	7.42	7.74
orden 3	3.64	5.96	5.50	5.38	3.71	4.86
orden 4	2.97	2.53	6.89	3.86	3.07	1.88
orden 5	2.75	2.85		1.88		1.43
orden 6	1.46			1.40		

CAUCE PRINCIPAL (Tabla 15)

Silva L. (1999), propone que se designe el término río a aquellos cauces que presenten 20 km de longitud como mínimo y por el contrario aquellos que tengan longitudes por debajo de éstos se denominan quebradas, de acuerdo con esto, tenemos cauces principales que corresponden a Ríos (Subcuenca uno, cuatro y Microcuenca seis, Figura 18, 19 y 20 respectivamente) y quebradas (Microcuenca dos, tres y cinco, Figura 21, 22 y 23 respectivamente) en el área de estudio (Tabla 15) los cuales por su pendiente representan riesgos potenciales de fuertes avenidas que acarrear consigo grandes cantidades de sedimentos provenientes de las actividades realizadas en su cuenca vertiente.

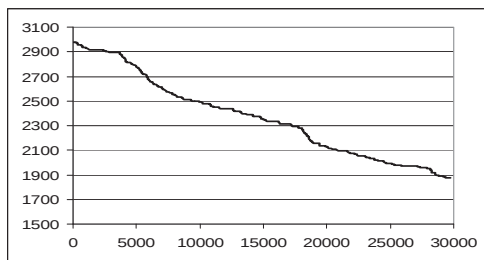


Figura 18. Perfil longitudinal del cauce Principal de la Subcuenca uno.

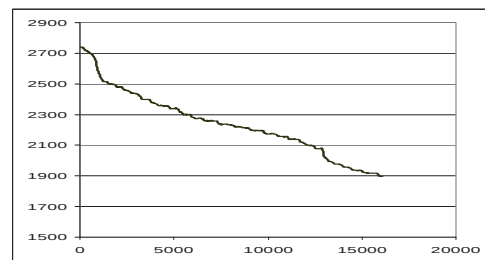


Figura 19. Perfil longitudinal del cauce Principal de la subcuenca cuatro.

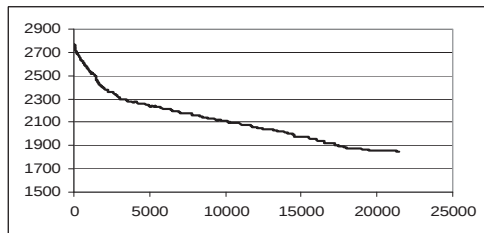


Figura 20. Perfil longitudinal del cauce Principal de la microcuenca seis.

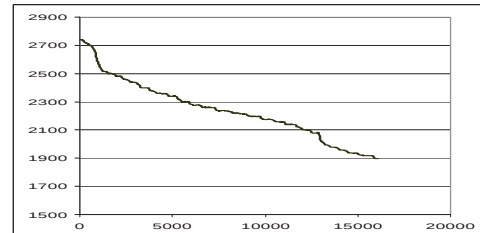


Figura 21. Perfil longitudinal del cauce Principal de la microcuenca dos.

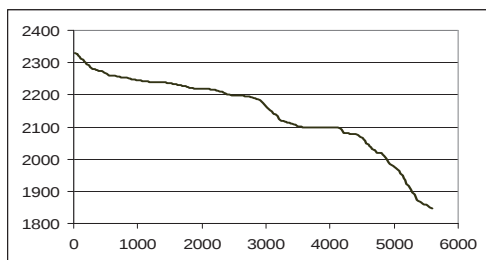


Figura 22. Perfil longitudinal del cauce Principal de la microcuenca tres.

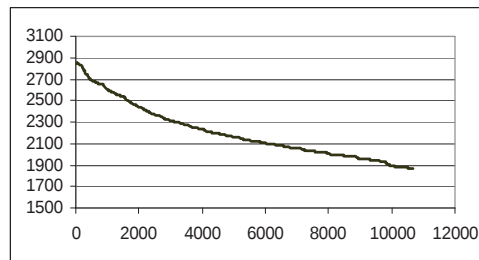


Figura 23. Perfil longitudinal del cauce Principal de la microcuenca cinco.

Tabla 15. Parámetros calculados para los cauces principales.

Parámetro	Subcuenca 1	Micro cuenca 2	Micro cuenca 3	Subcuenca 4	Micro cuenca 5	Micro cuenca 6
Altura mínima	1878	1897.17	1846.31	1837.44	1867.22	1848.97
Altura máxima	2977	2740.16	2330.69	2517.68	2856.64	2769.57
Altura media	2367.28	2240.34	2144.96	2134.67	2202.54	2112.88
Longitud (m)	29690.48	16096.46	5590.43	23036.94	10691.96	21475.93
Δh	1099.00	842.99	484.37	680.24	989.42	920.60
Pendiente mínima	0.00	67.91	43.27	41.25	66.58	60.91
Pendiente máxima	42.61	6.64	8.73	3.91	9.43	5.35
Pendiente promedio	3.70	0.00	0.02	0.00	0.09	0.00

VIII.1.3 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (T_c) (Tabla 16)

Un parámetro de gran importancia dentro de la morfometría de las cuencas es el tiempo de concentración (T_c), que es el tiempo que idealmente gastaría una gota de agua en recorrer la distancia comprendida desde el punto más extremo de la cuenca, hasta el desagüe final (Tabla 16), esto está relacionado directamente con las pendientes de la zona y con la cobertura vegetal además de estar influenciado por la longitud de la cuenca. Los tiempos obtenidos oscilan entre 36.94 hasta 177.79 minutos para las cuencas tres y uno respectivamente lo que esta relacionado con el tamaño de cada una, estos

resultados se asemejan a lo reportado por Fuentes (2004), para las cuencas del Parque Nacional Pico de Tancítaro; de acuerdo con el mismo autor, la microcuenca tres corresponde a un Tc rápido, la microcuenca cinco a un Tc moderado y las demás a un Tc lento.

Tabla 16. Tiempos de concentración de las áreas calculadas con las formulas de Kirpich y Californiana.

CUENCAS	FORMULA DE KIRPICH		FORMULA CALIFORNIANA	
	HORAS	MINUTOS	HORAS	MINUTOS
1	2.96	177.79	2.95	177.11
2	1.74	104.69	1.74	104.29
3	0.62	36.94	0.61	36.8
4	2.21	132.74	2.2	132.23
5	0.99	59.24	0.98	59.02
6	2.19	131.58	2.18	131.07

VIII.1.4 EXPOSICIÓN

Respecto a la exposición de las subcuencas y microcuencas, se manejaron ocho rumbos (Norte (N), Sur (S), Este (E), Oeste (W), Noreste (NE), Sureste (SE), Noroeste (NW) y Suroeste (SW)) con intervalos de 22.5° y al calcular el porcentaje de superficie representado en las subcuencas y microcuencas del área de estudio se obtiene la Figura 24; en donde las subcuencas uno y cuatro y microcuencas dos, tres y cinco presentan mayores superficies con exposiciones NW, N y NE, mientras que en la microcuenca seis la exposición con mayor superficie corresponde a la NE, N y NW respectivamente; en toda el área de estudio no se presenta la exposición acimutal (llanas). De acuerdo con Llamas, 1993; esto es importante por que distintos elementos pueden relacionarse con la exposición de la superficie; por ejemplo, el número de horas en que está soleada la cuenca (que es un elemento muy importante ya que puede ser el factor principal en el cálculo de la evaporación y la evapotranspiración), las horas en las que incide el sol sobre la ladera de la cuenca y los flujos de humedad, en relación a esto, Gómez – Tagle Ch., 2004, menciona la importancia de los efectos de la insolación y radiación solar en los ecosistemas, puesto que funcionan como control para muchos procesos biológicos como la tasa de mineralización del mantillo en los bosques que esta

determinada en gran medida por la temperatura y humedad del sitio, mismas que pueden afectar los balances de energía y agua (balances hidrológicos) y por ende la distribución de la vegetación y fauna.

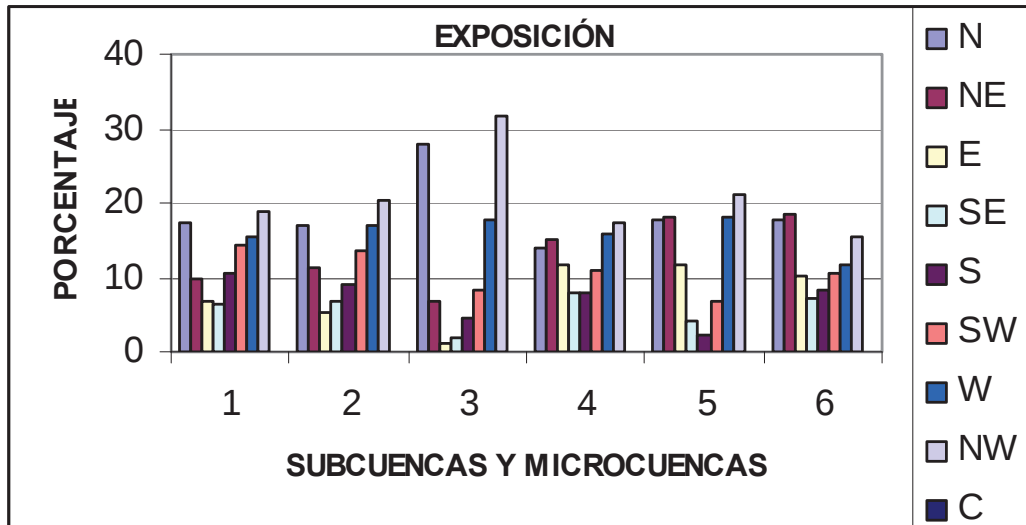


Figura 24. Exposiciones de las subcuencas y microcuencas del área de estudio.

VIII.2 CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA MORFOLOGÍA DE LA RED HIDROGRÁFICA CON BASE EN LA METODOLOGÍA ROSGEN (1994).

La red de drenaje es el sistema jerarquizado de los cauces, desde los pequeños surcos hasta los ríos, que confluyen unos en otros configurando un colector principal de toda una cuenca (González de Matauco, 2004). Como ya se mencionó en el análisis morfométrico, se realizó la caracterización de la red hidrográfica y se obtuvieron 2 subcuencas de orden seis y cuatro microcuencas de orden cinco.

Se clasificaron 45 cauces distribuidos del orden uno al cinco (Tabla 17), en tres tipos de cubierta de suelo (Tabla 18). La figura 25 y tabla 17 muestra que el mayor porcentaje de tipos principales de cauces encontrados corresponden al tipo B, mientras que el menor porcentaje corresponde al tipo E, los tipos A y F se encontraron en porcentajes iguales, las características generales de éstos se presentan en la Tabla 19.

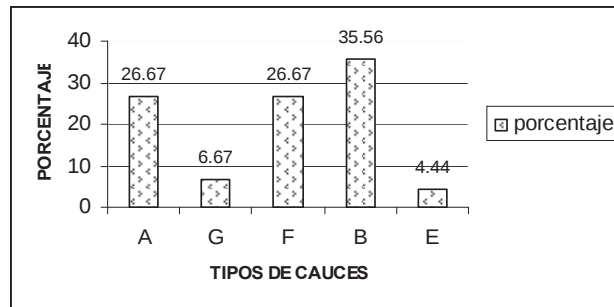


Figura 25. Porcentajes de los cauces clasificados.

De manera más específica, los cauces clasificados corresponden a 23 subtipos derivados de 5 tipos principales; los más comunes fueron el B3a y el F3b con siete y seis apariciones respectivamente. Resulta interesante mencionar que 11 de los 12 subtipos A clasificados se encuentran en los ordenes uno y dos de la red, mientras que los subtipos B se ubican en todos los ordenes predominando en tres, cuatro y cinco respectivamente. Los subtipos F no se fueron hallados únicamente en el orden tres.

Analizado desde otra perspectiva, como se muestra en la figura 26, tabla 17, en el orden uno y dos son más abundantes los cauces de tipo A, ya que 11 de los 18 casos corresponden a este tipo, con respecto a los ordenes tres y cuatro, se observa que 10 de los 18 casos corresponden a un tipo B, mientras que en el orden cinco se presentan cinco cauces de tipo F y cuatro que corresponden al tipo B.

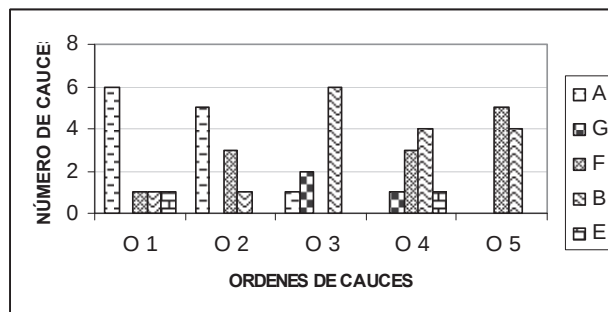


Figura 26. Tipos de cauces más comunes en los diferentes órdenes.

Tabla 17. Tabla de Frecuencias de Órdenes y Subtipos de cauces obtenidos con la metodología Rosgen (1994).

SUBTIPO DE CAUCE	ORDENES Y FRECUENCIA ABSOLUTA							TIPOS DE CAUCES %
	1	2	3	4	5	TOTAL	%	
A1a+	2					2	4.44	A 26.67
A2a+	2					2	4.44	
A3		1	1			2	4.44	
A5a+	1	1				2	4.44	
A5	1	1				2	4.44	
A6		2				2	4.44	
G5				1		1	2.22	G
G6c			2			2	4.44	6.67
F2b				1		1	2.22	F 26.67
F3b		1		2	3	6	13.33	
F5b		1			1	2	4.44	
F6b	1	1				2	4.44	
F3					1	1	2.22	
B1a			1			1	2.22	
B2a					1	1	2.22	B 35.56
B3a			2	3	2	7	15.55	
B3c					1	1	2.22	
B4a			1	1		2	4.44	
B6a	1		1			2	4.44	
B1			1			1	2.22	
B6		1				1	2.22	E 4.44
E4b	1					1	2.22	
E6				1		1	2.22	
TOTAL	9	9	9	9	9	45	100	
%	20	20	20	20	20	100		100

En cuanto a las cubiertas de suelo, la figura 27 muestra que las cubiertas de cultivos al igual que las de bosque, presentan un mayor número de cauces de tipo B (siete cada uno), mientras que en los agostaderos son más comunes los

cauces de tipo F y A con seis y cinco apariciones respectivamente. Por otra parte, se muestra que el cauce de tipo A se presenta en la misma cantidad en las cubiertas de agostadero y bosque.

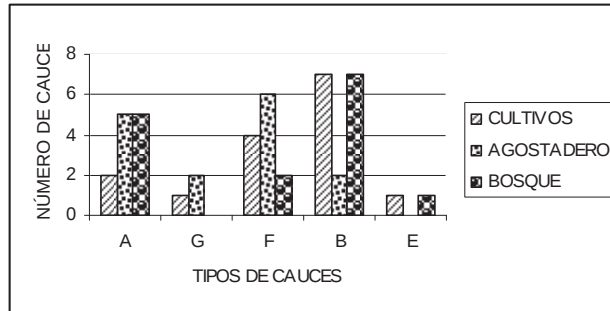


Figura 27. Tipos de cauces en las diferentes cubiertas de suelo.

De forma más específica, en la tabla 18, se muestra que en la cubierta de cultivos, el cauce más común es el subtipo B3a con tres apariciones, seguido de los subtipos B6a y F6b con dos apariciones respectivamente. En el agostadero el subtipo más común corresponde al F3b con cuatro apariciones, seguido del F5b y A2a+ con dos respectivamente. Finalmente, la cubierta de bosque está dominado por el subtipo B3a con tres apariciones seguido de B4a y A5a+ con dos apariciones respectivamente.

Tabla 18. Tabla de frecuencias de los subtipos de cauces obtenidos en las diferentes cubiertas de suelo.

SUBTIPO DE CAUCE	TIPOS DE CUBIERTAS DE SUELO		
	CULTIVOS	AGOSTADERO	BOSQUE
A1a+		1	1
A2a+		2	
A3		1	1
A5a+			2
A5	1		1
A6	1	1	
G5		1	
G6c	1	1	
F2b			1
F3b	1	4	1
F5b		2	
F6b	2		
F3	1		
B1a			1
B2a			1
B3a	3	1	3
B3c	1		
B4a			2
B6a	2		
B1		1	
B6	1		
E4b			1
E6	1		
TOTAL	15	15	15

Tabla 19. Descripción general de los principales tipos de Ríos clasificados (Rosgen, 1994).

TIPO DE RÍO	DESCRIPCIÓN GENERAL	RADIO ESTRECHAMIENTO	RADIO A/P	SINUOSIDAD	PENDIENTE	FORMA DEL TERRENO / SUELOS / CARACTERÍSTICAS.
A	Empinado, atrincherado, escalonado, arroyos con pozas y saltos. Con alta energía de transporte asociada con depósitos de suelo. Muy estable si domina lecho rocoso o cantos rodados. Moderadamente atrincherado con pendiente moderada, dominado por depósitos, con pozas infrecuentemente espaciadas. Muy estable en el perfil y los bancos. Baja pendiente, meandroso con depósitos/pozas con bajo índice A/P y ligera deposición. Muy eficiente y estable. Alto índice de sinuosidad.	<1.4	<12	1.0 a 1.2	0.04 - 0.10	Relieve alto, lechos rocosos erosionables o deposicionales, atrincherado y confinado con cascadas. Pozas profundas frecuentemente espaciadas, asociadas a la morfología del lecho de escalones y pozas.
B	Meandroso atrincherado, cauces con depósitos y pozas sobre una pendiente baja con un alto índice A/P.	1.4 a 2.2	>12	>1.2	0.02 a 0.039	Relieve moderado, deposición coluvial y/o estructural. Moderado atrincheramiento e índice A/P. Valles estrechos con pendiente suave. Predominan los rápidos con excavación de pozas.
E	Cárcavas atrincheradas con escalones y pozas, y un bajo índice A/P en pendientes moderadas.	> 2.2	< 12	> 1.5	<0.02	Meandros con valles amplios. Materiales aluviales con llanuras de inundación. Altamente sinuoso, muy estable, bancos de orilla bien vegetados. Morfología de depósitos y pozas con muy poco índice A/P. Atrincherado y material altamente degradado. Pendientes suaves, con un alto índice A/P. Meandroso, lateralmente inestable con altas tasas de erosión en los bancos. Morfología de depósitos y pozas. Cárcavas, morfología de escalones y pozas con pendiente moderada e índice A/P bajo. Valles estrechos o profundamente incididos en materiales aluviales o coluviales, por ejemplo, abanicos o deltas. Inestable, con problemas de control y altas tasas de erosión de banco.
F		< 1.4	>12	> 1.2	<0.02	
G		< 1.4	< 1.2	>1.2	0.02 a 0.039	

La descripción de los subtipos de cauces clasificados en el área de estudio se muestra en el anexo 1.

VIII. 3 EVALUACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS DE RIBERA.

El estado de conservación de los ecosistemas de ribera se evaluó mediante la metodología propuesta por Zepeda *et al.* (2002). Las calificaciones obtenidas para los diferentes sitios calificados en el área de estudio se muestran en la tabla 20, de donde podemos resaltar que los cauces con calificaciones por debajo de seis presentan un régimen de flujo de agua efímero o intermitente, por otra parte, cinco cauces de quince evaluados en la cubierta de cultivos presentan una calificación inferior a seis; en los agostaderos, en nueve casos se presenta esta condición y solamente un caso de éstos se encuentra en la cubierta de bosque. De acuerdo con ésta tabla, independientemente del orden del cauce, la actividad que más afecta al ecosistema de ribera es el Agostadero.

Tabla 20. Resumen de variables obtenidas.

CUBIERTA	ORDENES	SUBTIPO DE CAUCE	CALIFICACIÓN DEL MÉTODO RÁPIDO	RÉGIMEN DE FLUJO DE AGUA.	
Cultivos	1	a	A5	4.4	Efímero
		b	F6b	4.2	Intermitente
		c	B6a	3.6	Efímero
	2	a	F6b	6.6	Intermitente
		b	B6	8.1	Perenne
		c	A6	6.04	Intermitente
	3	a	B3a	5.5	Efímero
		b	G6c	7.1	Perenne
		c	B6a	6.2	Intermitente
	4	a	F3b	8	Perenne
		b	B3a	7.9	Perenne
		c	E6	5.6	Efímero
	5	a	B3c	6.4	Perenne
		b	F3	6.5	Perenne
		c	B3a	8	Perenne

Continuación		a	A2a+	6.9	Efímero
Tabla 20...	1	b	A1a+	5.1	Efímero
		c	A2a+	4.7	Efímero
		a	F5b	6.7	Perenne
Agostadero	2	b	F3b	3.8	Efímero
		c	A6	4.94	Efímero
		a	B1	5.6	Intermitente
	3	b	A3	5.4	Efímero
		c	G6c	3.7	Intermitente
		a	B3a	5.6	Efímero
	4	b	F3b	8.1	Perenne
		c	G5	4	Efímero
		a	F5b	7.4	Perenne
	5	b	F3b	7.1	Perenne
		c	F3b	7.1	Perenne
		a	A1a+	7.5	Intermitente
Bosque	1	b	E4b	8.8	Perenne
		c	A5a+	8.1	Intermitente
		a	A5a+	8.5	Intermitente
	2	b	A5	7.7	Perenne
		c	A3	8.9	Intermitente
		a	B3a	7.62	Perenne
	3	b	B4a	8.6	Perenne
		c	B1a	8.4	Perenne
		a	B4a	8.2	Perenne
	4	b	F2b	8.5	Perenne
		c	B3a	8.9	Perenne
		a	B2a	8	Perenne
	5	b	F3b	7.9	Perenne
		c	B3a	5.8	Perenne

Tomando como base la tabla anterior se realizó un promedio de las calificaciones obtenidas en cada orden con el objetivo de conocer las condiciones que presenta el área riparia con respecto a ellos, los resultados se

muestran en la figura 28 en la que podemos observar que en el orden uno de la red hidrográfica se presenta el estado de conservación más bajo, seguido del orden tres; en el orden cuatro y cinco el estado de conservación del área riparia es prácticamente igual.

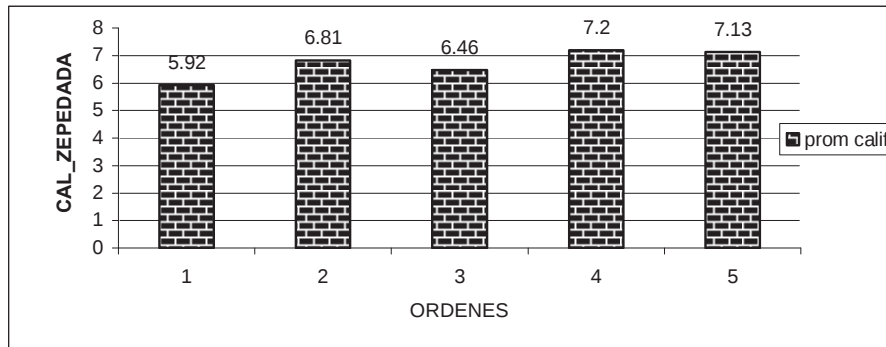


Figura 28. Promedios de calificaciones de los diferentes órdenes.

De la misma manera se obtuvo un promedio de las calificaciones de cada una de las cubiertas de suelo con la finalidad de observar el efecto de las actividades evaluadas sobre la calidad de éstos ecosistemas, en la figura 29 se exponen los resultados, éstos demuestran que las condiciones mas bajas de conservación se encuentran en los agostaderos, mientras que el bosque presenta por mucho el mejor estado de conservación.

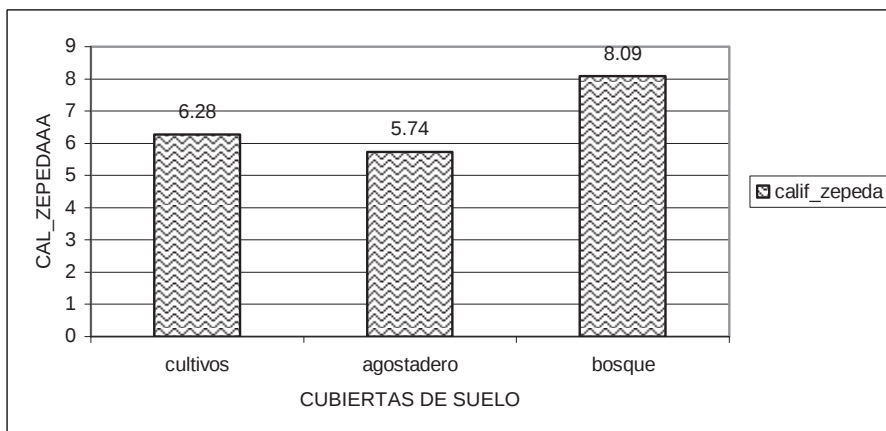


Figura 29. Promedios de calificaciones del ecosistema ripario en las diferentes cubiertas de suelo.

De acuerdo con la escala de 0 a 10 empleada en esta metodología, el 0 significa la degradación total del componente en ese tramo de arroyo; cualquier valor intermedio significa grados intermedios de disturbio, sin llegar a la destrucción total; el 10 representa las condiciones más íntegras posibles (Zepeda *et al.*, 2002). Tomando esto como base y con el apoyo de la información proporcionada por González del Tánago *et al.*, (2006) en el índice RQI para la valoración de las riberas fluviales, se proponen los intervalos (figura 30) para representar el grado de conservación de los ecosistemas riparios en los transectos de arroyos evaluados. De acuerdo con esto, el 31% de los sitios presentan buenas condiciones de ecosistema ripario con calificaciones entre 8 y 9.9, en contraste, el 33.34 % presenta condiciones que van de pobre a muy pobre y que incluyen calificaciones de 5.9 a 1 lo que indica ecosistemas con un fuerte grado de perturbación. Sin embargo, con un 35.56% se encuentran los sitios con un estado de conservación regular, es decir, sitios que presentan condiciones hasta cierto punto aceptables para que se propicie una buena interacción entre los diferentes componentes de éstas áreas de ribera, sin que esto signifique que sean las condiciones deseables. No se encontraron sitios con condiciones de ribera óptima ni aquellas que estuvieran completamente destruidas.

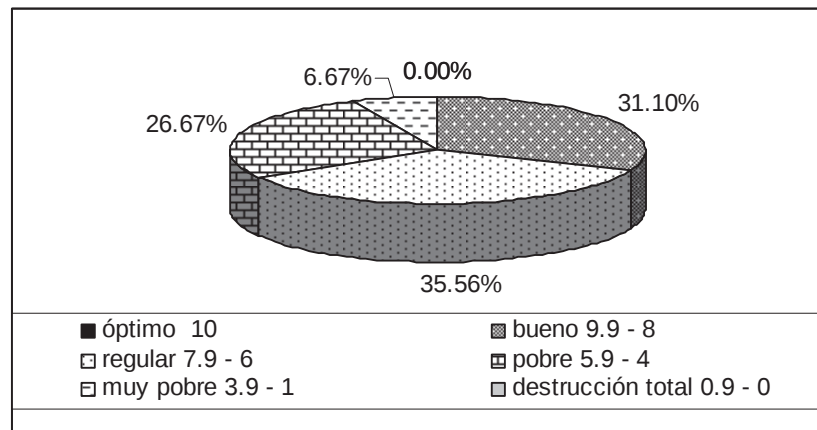


Figura 30. Intervalos de calificaciones y porcentajes de sitios que las presentan.

VIII.4 ANÁLISIS DE VARIANZA.

Con el objetivo de someter nuestra hipótesis planteada para éste trabajo, se realizó un Análisis de Varianza.

Para realizar el análisis de varianza, lo primero fue comprobar que los datos se ajustaran a una distribución normal, de acuerdo con la prueba de Lilliefors $p < 0.10$, $p = 0.02125$ (Figura 31) los datos si se ajustan a una distribución normal por lo que se eligió hacer uso del ANOVA (análisis de varianza) como prueba estadística paramétrica descriptiva que explicará la existencia o no de diferencias en los efectos de las cubiertas y el orden de cauce en el estado de conservación del ecosistema ripario.

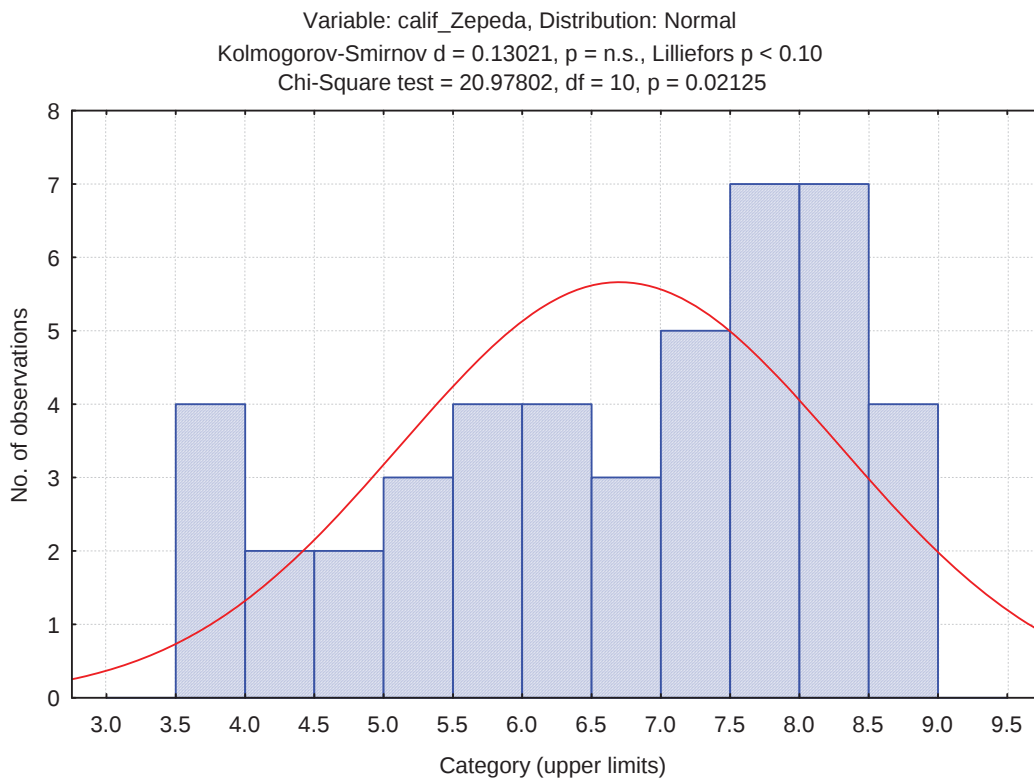


Figura 31. Distribución de los datos de la variable calificaciones del Método Rápido para la evaluación de ecosistemas riparios (Zepeda *et al.*, 2002).

Se aplicó un ANOVA de dos vías para saber si existía diferencia en cuanto al estado que presenta el ecosistema ripario con respecto a la cubierta de suelo y el orden de cauce de la red hidrográfica. Como variable dependiente utilizamos el valor obtenido con el método rápido de evaluación de ecosistemas riparios (Zepeda, *et al.*, 2002) y como factores los tipos de cubierta y los órdenes de cauces. Las Hipótesis analizadas se enuncian a continuación:

Ho: El estado de conservación del ecosistema ripario es igual en los diferentes tipos de cubiertas.

Ha: El estado de conservación del ecosistema ripario es distinto en los diferentes tipos de cubiertas.

Ho: El estado de conservación del ecosistema ripario es igual en los diferentes órdenes de cauces de la red hidrográfica.

Ha: El estado de conservación del ecosistema ripario es distinto en los diferentes órdenes de cauces de la red hidrográfica.

Ho: El efecto de la interacción entre las diferentes cubiertas y los órdenes de cauces no es significativo en el estado de conservación de los ecosistemas riparios.

Ha: El efecto de la interacción entre las diferentes cubiertas y los órdenes de cauces si es significativo en el estado de conservación de los ecosistemas riparios.

Los resultados (Tabla 21) muestran que los valores de p son 0.000002, 0.080229 y 0.027656 para la cubierta, el orden y la combinación de éstos respectivamente, esto indica que si existe diferencia significativa en el factor cubierta, es decir, la calificación del ecosistema ripario varía de una cubierta de suelo a otra por lo que se rechaza la Hipótesis nula (Ho). En cuanto al orden de los cauces, se acepta la Ho debido a que no existe diferencia estadísticamente significativa entre uno y otro por lo que el estado de conservación del ecosistema ripario es igual en todos los cauces. Finalmente, la combinación del factor cubierta y el factor orden presenta diferencia significativa, por lo que se rechaza la Ho, en otras palabras, la calificación del ecosistema ripario en un determinado tipo de cubierta y determinado orden es diferente a la calificación obtenida en el mismo orden pero con una cubierta distinta.

Tabla 21. ANOVA de dos vías para el estado del ecosistema ripario ($p < .05$).

Fuente de variación	Grados de Libertad	Calif_Zepeda	Calif_Zepeda	Calif_Zepeda f	Calif_Zepeda P
		Suma de Cuadrados (SS)	Cuadrado Medio (MS)		
cubierta	2	45.619	22.810	21.085	0.000002*
orden	4	10.018	2.505	2.315	0.080229
cubierta*orden	8	22.457	2.807	2.595	0.027656*
Error	30	32.454	1.082		
Total	44	110.549			

Se aplicó una prueba de diferencia honesta significativa de Tukey (StatSoft, Inc., 1984-2001) para aclarar las medias de los grupos en las que existe diferencia significativa. Los resultados se muestran en la Tabla 22 de la que se concluye que el estado de conservación del ecosistema de ribera en las cubiertas de cultivos y agostadero son iguales excepto en el orden uno y orden cinco respectivamente; en cultivos y bosque son diferentes estadísticamente solo en el orden uno, los demás órdenes no muestran una diferencia significativa, mientras que el agostadero de orden tres es significativamente diferente del bosque excepto en el orden cinco y el agostadero de orden dos es diferente del bosque en los órdenes dos y cuatro; el resto de las combinaciones son estadísticamente iguales.

Tabla 22. Matriz cruzada de valores de p para la prueba de diferencia honesta significativa de Tukey en el estado de conservación del ecosistema ripario.

		CUL	CUL	CUL	CUL	CUL	AGO	AGO	AGO	AGO	AGO	BOS	BOS	BOS	BOS	BOS
		O 1	O 2	O 3	O 4	O 5	O 1	O 2	O 3	O 4	O 5	O 1	O 2	O 3	O 4	O 5
CUL	O 1															
CUL	O 2	0.104														
CUL	O 3	0.413	0.999													
CUL	O 4	0.054	1.000	0.998												
CUL	O 5	0.091	1.000	0.999	1.000											
AGO	O 1	0.893	0.949	0.999	0.843	0.932										
AGO	O 2	0.991	0.736	0.988	0.546	0.698	1.000									
AGO	O 3	0.999	0.551	0.943	0.368	0.511	0.999	1.000								
AGO	O 4	0.688	0.995	1.000	0.968	0.992	1.000	0.999	0.996							
AGO	O 5	0.049	1.000	0.998	1.000	0.823	0.521	0.346	0.960							
BOS	O 1	0.003	0.976	0.663	0.997	0.983	0.201	0.073	0.037	0.390	0.998					
BOS	O 2	0.001	0.913	0.486	0.979	0.932	0.117	0.039	0.019	0.250	0.983	1.000				
BOS	O 3	0.002	0.962	0.608	0.994	0.973	0.171	0.060	0.030	0.342	0.995	1.000	1.000			
BOS	O 4	0.000	0.831	0.368	0.943	0.861	0.077	0.024	0.011	0.173	0.952	1.000	1.000	1.000		
BOS	O 5	0.045	1.000	0.997	1.000	1.000	0.803	0.496	0.325	0.952	1.000	0.998	0.987	0.996	0.960	

A éste respecto, en la Figura 32 se aprecia el comportamiento de los conjuntos de valores obtenidos para el estado de conservación de los ecosistemas riparios en las tres cubiertas. Se observa claramente la similitud y el traslape entre las cubiertas de cultivos y agostaderos en cuanto a la dispersión de sus datos y amplitud de sus cajas (25-75%), sin embargo, nótese que la caja de la cubierta de agostadero se encuentra más abajo y aunque no hay diferencia significativa con la cubierta de cultivos, se evidencia una tendencia hacia una mayor degradación del ambiente ripario en la cubierta de agostadero. La cubierta de bosque presenta la menor dispersión del conjunto de valores y no se traslapa con las dos cubiertas anteriores, esto pone de manifiesto el porque se obtiene una diferencia significativa entre las cubiertas de agostadero y cultivos con respecto a la cubierta de bosque.

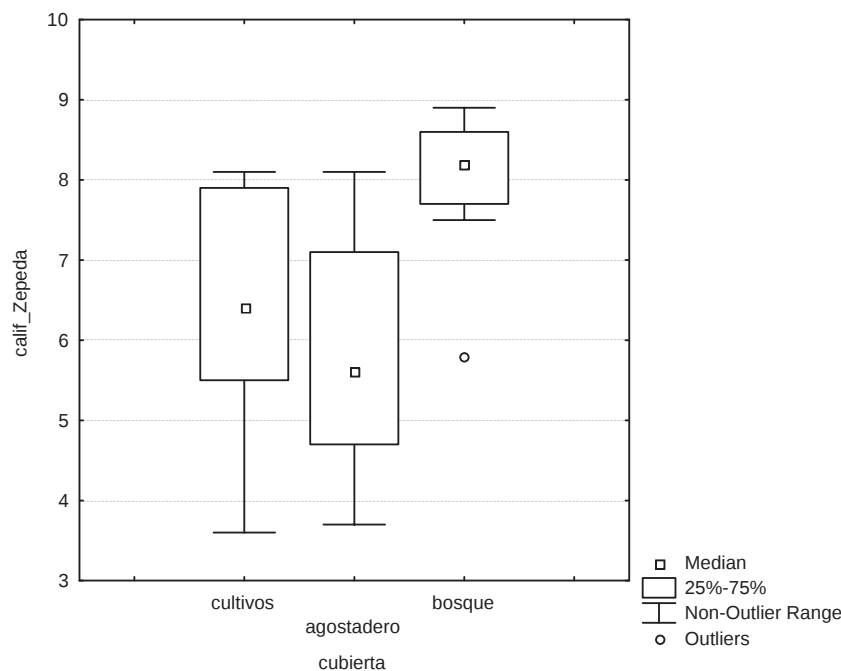


Figura 32. Conjuntos de Valores de la metodología rápida para la evaluación de ecosistemas riparios y su relación con la cubierta del suelo.

En la Figura 33 se observa el comportamiento de los conjuntos de valores obtenidos para el estado de conservación de los ecosistemas riparios en los cinco órdenes de cauces de la red hidrográfica. La dispersión de los datos es similar en los órdenes uno, dos, tres y cuatro, el orden cinco es el que menor

rango de dispersión presenta pero queda completamente incluido en los rangos de dispersión de los órdenes anteriores. Por otra parte, su caja (25-75%) se traslapa completamente con las del orden dos y cuatro, mientras que con las cajas del orden uno y tres quedan traslapados en su mayor parte. Esto explica el porque no se obtuvo una diferencia significativa de este factor en la variable de respuesta.

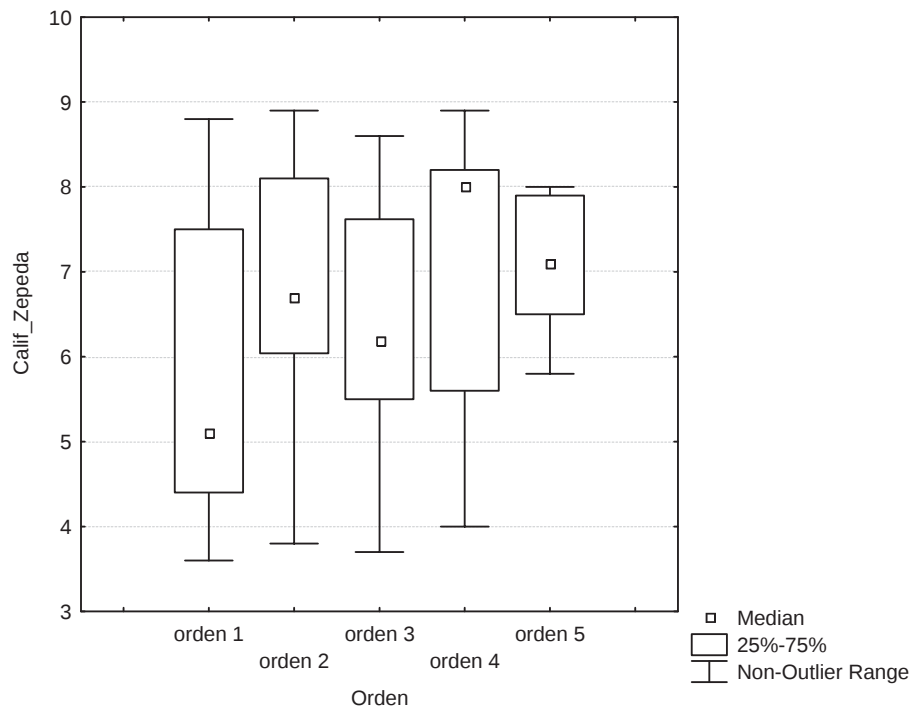


Figura 33. Conjuntos de valores de la metodología rápida para la evaluación de ecosistemas riparios y su relación con el orden del cauce.

Con base en éstos resultados, se acepta la Hipótesis planteada al principio de éste trabajo de investigación, debido a que si existen efectos y además diferenciados entre las diferentes actividades que se realizan en la zona de estudio sobre el estado de conservación de los ecosistemas riparios.

Por todo lo anterior se concluye que las franjas riparias se encuentran mejor conservadas en las cubiertas de bosque con respecto a las zonas de cultivos y agostaderos que aparentemente por sus características como la pendiente, son más accesibles para la ganadería extensiva así como para algunas actividades de recreación que afectan la estructura de éstos ecosistemas (Figura 34).



Figura 34. Actividades que dañan el ecosistema ripario.

VIII. 5 RELACIÓN LOS RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA RED HIDROGRÁFICA Y EVALUACIÓN DE ECOSISTEMAS RIPARIOS CON LOS PROCESOS DE DEGRADACIÓN O CONSERVACIÓN CON BASE EN EL ESTADO QUE GUARDA EL ECOSISTEMA.

Al estudiar las redes hidrográficas es necesario tener presente el origen de las aguas así como de los sedimentos que por ellos discurren y por ello es necesario considerar siempre las características de su cuenca vertiente.

Como se ha mencionado anteriormente, los ríos son indicadores sensibles del estrés medioambiental, esto se pone de manifiesto cuando un cauce experimenta un ajuste de su forma debido a un excesivo aumento en el suministro de sedimentos propiciado por la deforestación, sobrepastoreo, fragmentación para el desarrollo y otras actividades realizadas en la cuenca que acumulan sus efectos en los sistemas fluviales (Rosgen, 1996). De acuerdo con DeBano y Schmidt (1989) citados por Zepeda *et al.* (2002), los ríos y los arroyos forman parte del ecosistema ripario reconocido como ecosistemas únicos que presentan alta sensibilidad a la degradación, de tal manera que permiten identificar de forma rápida y confiable el estado de conservación de la cuenca o de las partes que la componen.

VIII.5.1 ECOSISTEMA RIPARIO: vegetación, morfología de cauces y usos de suelo.

La relación existente entre la vegetación riparia y la morfología de los cauces de la red hidrográfica es un tema ampliamente abordado por diferentes autores como Heede (1980), Murgatroyd y Ternan (1983), Gatto (1984), Kondolf y Curry (1984), Gray y MacDonald (1989), Beeson y Doyle (1995), Harmel

(1997), Huang y Nanson (1997), Rowntree y Dollar (1999), cuyos estudios abarcan temas referentes al efecto de la vegetación riparia en la estabilización de los márgenes (bancos de orilla) y por tanto en la disminución de sedimentos al cauce, al control que tiene éstas sobre las influencias de la cuenca en el cauce (retención de sedimentos) y la influencia que tienen sobre el funcionamiento del ecosistema fluvial (suministro de hábitats y nichos ecológicos para numerosas especies) (González del Tánago y García de Jalón, 1998).

Existe una cantidad considerable de información en la que se reporta que los cambios de uso de suelo afectan el funcionamiento de éstos ecosistemas, por ejemplo, Madej, *et al.*, (1994) y Beguería *et al.*, (2006) mencionan que los usos del suelo y la cubierta vegetal en una cuenca pueden cambiar rápidamente en respuesta a la fuerte presión demográfica; en el mismo sentido, autores como Trimble (1997), González del Tánago y García de Jalón (1998) y Fitzjohn *et al.*, (1998), reportan que el cambio de uso del suelo en las zonas cercanas a las áreas riparias resulta desfavorable para los arroyos, ya que significa la destrucción de la cubierta vegetal natural, la pérdida de germoplasma, la disminución de la infiltración y el aumento de la erosión hídrica, con lo que se convierte en una fuente importante de sedimentos y degradación directa para el arroyo; la forma natural que presentan los arroyos se relaciona con los procesos fluviales de erosión y sedimentación, donde intervienen como fuerza activa los caudales circulantes y como elementos pasivos los sedimentos del contorno del cauce, interviniendo en dichos procesos la forma y la pendiente del valle (González del Tánago y García de Jalón, 1998). Por su parte Karwan *et al.*, (2001), Vizcaíno *et al.*, (2003), Wohl (2006) y Granados *et al.*, (2006), sugieren que la calidad de agua y la forma del canal de un río está directamente ligado a los usos de suelo circundantes.

De acuerdo con Granados *et al.*, (2006); diversos estudios realizados para comparar cuencas hidrográficas con y sin vegetación ribereña concluyeron que estas son muy importantes para mantener la calidad del agua en cuencas altamente cultivadas. En las áreas en donde se presenta un escurrimiento superficial es fácil entender la actuación del bosque ribereño como barrera

contra los sedimentos y reductora de la velocidad del flujo. Al atravesar los bosques ribereños los nutrientes son retenidos por adsorción en el sistema radicular de la vegetación ribereña que por ser más espesos que el de otras franjas de vegetación, actúa con mayor eficiencia para detener el escurrimiento superficial.

La integridad de estos ecosistemas está siendo afectada por las diversas actividades que se realizan en las diferentes partes de las subcuencas y microcuencas del área de estudio del presente trabajo. Estas actividades incluyen el cultivo de diferentes productos, la ganadería extensiva y la extracción de madera.

VIII.5.2 CULTIVOS EN LA ZONA DE ESTUDIO.

El cultivo de diferentes productos se realiza en zonas adyacentes al área riparia (Figura 35a) por la disponibilidad del recurso agua, sin tomar en cuenta el papel que desempeñan los demás componentes del ecosistema en la estabilidad de estos y por tanto en el aprovisionamiento futuro del recurso de interés (agua); como consecuencia, se pierde gradualmente la vegetación y se destruyen los bancos de orilla por lo que el cauce recibe una gran cantidad de sedimentos y diferentes sustancias químicas provenientes de los terrenos de cultivo, afectando la calidad de éstos ecosistemas; en el peor de los casos éstos ecosistemas son invadidos completamente (Figura 35b) por este uso provocando la destrucción total de las especies que permitían un funcionamiento adecuado.

Los cauces presentes en estos usos no quedan exentos de la ganadería extensiva, éstos animales utilizan los cauces como abrevaderos contribuyendo a la alteración de la morfología del cauce, además de alimentarse de la vegetación que se produce en éstas franjas riparias (Trimble y Mendel, 1995). Este uso del suelo predomina en las partes bajas con pendientes son suaves.

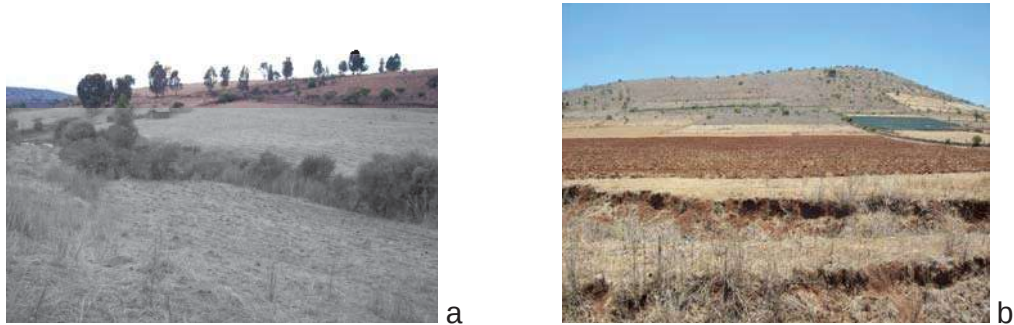


Figura 35: Actividad agrícola adyacente al área riparia en cauces de orden cinco(a) y cuatro (b).

VIII.5.3 BOSQUES EN LA ZONA DE ESTUDIO

Las operaciones forestales, especialmente la construcción de caminos, puede producir una excesiva erosión, pero si los bosques riparios se dejan intactos, estos pueden ayudar a amortiguar tales problemas para las corrientes de agua (Granados *et al.*, 2006). Los bosques del área de trabajo se encuentran en las mayores altitudes, en ellos los ecosistemas riparios se encuentran mejor conservados, presentan una mayor cantidad de vegetación, en la mayoría de los casos se encuentran los estratos herbáceo, arbustivo y arbóreo, que de acuerdo con lo discutido anteriormente, propicia la estabilidad de los bancos de orilla y por tanto la forma del cauce no sufre serias modificaciones (Figura 36); sin embargo, la tala de árboles que se realiza en éstos sitios aunada a las pendientes fuertes características de la zona, favorecen el desequilibrio en el funcionamiento de estos ecosistemas al alterarlos con el arribo de restos de madera (Figura 37) y exceso de sedimentos provocados por la construcción de caminos (Figura 38) para el arrastre del producto, además de provocar el asolvamiento de los cauces por el desprendimiento en masa de suelo propiciado por ésta actividad (Figura 39).



Figura 36. Cauce de orden cuatro (a) y cinco (b) en una cubierta de bosque.

De acuerdo con Andreoli *et al.*, (2007), los diversos tipos de acumulaciones de troncos disipan la energía potencial total del agua pero alteran fuertemente la morfología del canal, aumentando el suministro de sedimentos y en algunos casos cubriendo completamente los márgenes del cauce.



Figura 37. Restos de maderas en un cauce de orden uno bajo una cubierta de bosque.



Figura 38. Desgajamiento de cerros provocados por la construcción de caminos para la extracción de madera.



Figura 39. Movimientos de suelo en masa como consecuencia de la tala clandestina en pendientes fuertes.

VIII.5.4 AGOSTADEROS EN LA ZONA DE ESTUDIO

La **ganadería extensiva**, considerada por diversos autores como la actividad más degradante de los ecosistemas se encuentra presente en las diferentes porciones del área de estudio, el hecho de que algunas partes no son adecuadas para esta actividad incrementa su impacto. Domínguez y Silva (2005), argumentan que las más graves consecuencias en el medio ambiente natural son ocasionadas con la práctica de la ganadería debido a que la presencia del ganado en ambientes tropicales con poca o ninguna modificación, en los que los animales pastorean libremente, con poco o ningún manejo, ha recibido escasa atención desde el punto de vista ecológico.

El reporte de la FAO "*Livestock Long Shadow*" del año 2006 señala que la ganadería no sólo contamina el aire, sino también la tierra y los depósitos de agua subterránea. Señala a la ganadería como una de las fuentes principales de emisión de gases con efecto invernadero a la atmósfera; compactación, erosión y desertificación del suelo y a través de su estiércol y orine contribuye a su polución y eutrofización del agua, además de perturbar sus ciclos reduciendo la reposición de agua en las napas superiores e internas de la tierra. La ganadería es el sector productivo de mayor crecimiento, pero el costo del crecimiento y el desarrollo e industrialización de la ganadería lo paga el medio ambiente (Figura 40).



Figura 40. Efectos de la ganadería extensiva sobre la estructura de los ecosistemas.

La crianza de ganado actualmente usa un 30% de la superficie del planeta, que representa mayormente las praderas naturales, pero también incluye un 33% de la superficie cultivable que se utiliza sólo para producir grano que alimentará directamente al ganado e indirectamente a los seres humanos. En algunos sectores del planeta (como el Amazonas), se está transformando la selva en terrenos arables, por lo que la crianza de ganado contribuye además a la deforestación. Sólo en el Amazonas, un 70% del terreno se ha transformado en pradera para alimentación de ganado (FAO, 2006).

En México, los trópicos húmedos y subhúmedos se han ido convirtiendo en las áreas preferidas para la expansión ganadera en los últimos 35 años, lo que en buena medida ha originado la acelerada deforestación de grandes extensiones de nuestros bosques. De hecho, los ecólogos consideran a la ganadería como una perturbación de gran envergadura en los ecosistemas (entre ellos el ripario) que acarrea la desaparición de especies nativas y la invasión de especies exóticas, y que asimismo causa cambios en la estructura física y la fertilidad del suelo.

Autores como Trimble y Mendel (1995), González del Tánago Y García de Jalón (1998), Domínguez y Silva (2006) y el reporte de la FAO (2006) mencionan que la ganadería extensiva produce daños en los ecosistemas riparios como el ramoneo, la desaparición de especies, el pisoteo y

compactación del suelo, el incremento de la escorrentía superficial, aumento en la cantidad de erosión y la reducción de la infiltración principalmente.

Por otra parte Trimble y Mendel (1995) con base en diferentes trabajos argumentan que los bovinos a diferencia de otros tipos de ganado, pasan una gran cantidad de tiempo junto al cuerpo de agua incrementando el efecto de compactación en los bancos del arroyo, en ocasiones van y vienen varias veces a lo largo del día ya que también las áreas riparias constituyen una fuente importante de alimento, especialmente en las estaciones secas. Indican que el ganado prefiere las áreas riparias debido a que éstas proporcionan un alto volumen de alimento, contrario a las encontradas en terrenos más altos, el agua se encuentra a una distancia muy corta, las pendientes son suaves y el microclima es favorable (Figura 41), lo que se traduce en una afectación seria a la estructura de la vegetación y a la morfología del canal (Figura 42).



Figura 41. Características por las que el ganado prefiere los ambientes riparios.



Figura 42. Efecto de la presencia del ganado en la morfología de un canal de orden dos en una cubierta de agostadero.

Por su parte, Rosgen (1996), señala que el pastoreo ha alterado las zonas riparias en determinadas áreas principalmente del Occidente de los Estados Unidos. El pastoreo inadecuado puede cambiar la composición de las comunidades vegetales riparias al afectar la profundidad de las raíces y demás características de éstas. Muchos de estos cambios causan cambios adversos en el canal del arroyo, estos cambios incluyen: a) erosión acelerada del banco, b) incremento en el índice ancho/profundo, c) alteración de los patrones del canal, d) inestabilidad del canal, e) incremento en el suministro de sedimento, f) disminución de la capacidad de transporte de sedimento y g) daños en los hábitats de peces.

VIII.5.5 RELACIÓN CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL ÁREA DE ESTUDIO.

Las observaciones de campo permiten afirmar que el mayor porcentaje de los cauces clasificados presentaron características que muestran que la red hidrográfica de la zona de estudio se encuentra degradada debido a que presentan bancos de orilla destruidos por los arrastres de madera (mayormente en los ordenes uno – cuatro), pero principalmente por la ganadería extensiva que está presente en las tres cubiertas de suelo y en los cinco ordenes evaluados, esto fue claro en los casos en que los cauces presentaban solo un índice que no correspondía a determinado tipo de cauce, mientras que las demás características permitían ubicarlo dentro de dicho tipo de río principal (Figura 7). Los índices que generalmente no correspondían eran el de ancho/profundo o el de sinuosidad, esto debido al pisoteo de ganado antes mencionado con las consecuencias previamente discutidas. Un ejemplo más lo constituye el hecho de haber encontrado cauces muy degradados por restos de madera y completamente cubiertos con vegetación secundaria (Figura 43) clasificado como tipo E pero con un índice de sinuosidad muy bajo, en una pendiente muy fuerte, con valles en forma de V que no corresponden a éste tipo de cauce, los tipos E se encuentran en valles anchos y con amplias llanuras de inundación por lo que se sugiere que las actividades ahí se practican contribuyen a la alteración del ecosistema ripario.



Figura 43. Cauce con índices que corresponden a un tipo de cauce E, en condiciones que no corresponden.

En cuanto al método rápido de evaluación de los ecosistemas de ribera, tenemos que de los cauces clasificados, los pertenecientes al orden uno son los que mayor degradación presentan sin importar la cubierta de suelo en el que se encuentren (Figura 44); contrario a esto, los cauces de orden cinco presentan las mejores condiciones de conservación de éstos ecosistemas (Figura 45) cuya importancia ha sido mencionada en apartados anteriores. Por otra parte, las cubiertas de suelo presentan diferencias en éstas calificaciones, los resultados muestran que el ecosistema ripario en los agostaderos son los menos conservados al presentar una calificación promedio de 5.74, seguido de los cultivos con 6.28, mientras que las cubiertas de bosque presentan los ecosistemas mejor conservados con una promedio de calificación de 8.09. Esto fue corroborado al realizar un análisis de varianza que muestra una diferencia significativa entre las cubiertas de cultivos y agostaderos con respecto a los bosques.



Figura 44. Cauces de orden uno en las tres cubiertas de suelo evaluadas, agostadero (a), bosque (b) y cultivos (c).



Figura 45. Cauces de orden cinco en las tres cubiertas de suelo evaluadas, agostadero (a), bosque (b) y cultivos (c).

De acuerdo con la bibliografía antes discutida, la actividad más degradante de los ecosistemas en general es la ganadería extensiva, se sabe que ésta se encuentra en toda la zona de estudio (cubiertas y ordenes) por lo que se considera que las subcuencas y microcuencas estudiadas se encuentran de manera general medianamente degradadas pero con una tendencia al aumento de esta degradación.

Por los intervalos de calificaciones obtenidos y de acuerdo con lo mencionado por Rosgen, (1996) y DeBano y Schmidt (1989) citados por Zepeda *et al.*, (2002), se propone que aproximadamente el 66% de la zona de estudio presenta condiciones de regulares a buenas, éstas se encuentran en los bosques y en los cauces de mayor orden (perennes) que facilitan el establecimiento de comunidades vegetales con las ventajas que éstas proporcionan y que se encuentran más incididos, con paredes muy altas que evitan que el ganado pueda acceder a ellos, mientras que el 33% restante se encuentra en malas condiciones (agostaderos y cultivos).

Por todo lo anterior, la presencia cada vez mas frecuente de grandes avenidas de agua y partículas de suelo hacia las partes bajas, durante la temporada lluviosa, así como las alteraciones en el proceso de retención del suelo y los subsecuentes fenómenos de erosión, son resultado de la pérdida de una parte importante de la cubierta vegetal en las partes altas y medias de la cuenca y de las actividades que en ella se realizan. Los efectos de ésta alteración, se manifiestan en la cada vez más fugaz circulación de agua por la multitud de arroyos que surcan la zona.

VIII. 6 REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA DE LAS CONDICIONES DE LA RED HIDROGRÁFICA.

Las condiciones de los ecosistemas de ribera de la zona de estudio varían dependiendo de la cubierta de suelo en la que se encuentren, como se discutió anteriormente, los cauces son parte de estos ecosistemas y que el grado de conservación o alteración del área ribereña refleja el estado que guarda la cuenca en general. Con base en esto, en la figura 46 y 47 se ilustran las diferentes cubiertas de suelo y la red hidrográfica, de acuerdo con los resultados obtenidos, los cauces mejor conservados se encuentran bajo una cubierta de bosque, mientras que las peores condiciones prevalecen en las cubiertas de agostadero y cultivos respectivamente. Por lo tanto, los cauces que se encuentren en la cubierta de bosque corresponden a cauces con buenas condiciones de conservación y viceversa, aquellos localizados en las otras cubiertas presentaran malas condiciones. En el área de estudio domina la cubierta de bosque seguido de cultivos y agostaderos por lo que se sugiere que la zona presenta un alto porcentaje en un buen estado de conservación principalmente en las zonas altas. Sin embargo es necesario aclarar que la ganadería extensiva (una de las actividades más destructivas de los ecosistemas) está presente en la totalidad de la zona, lo que a priori representa una fuerte degradación de éstos ecosistemas.

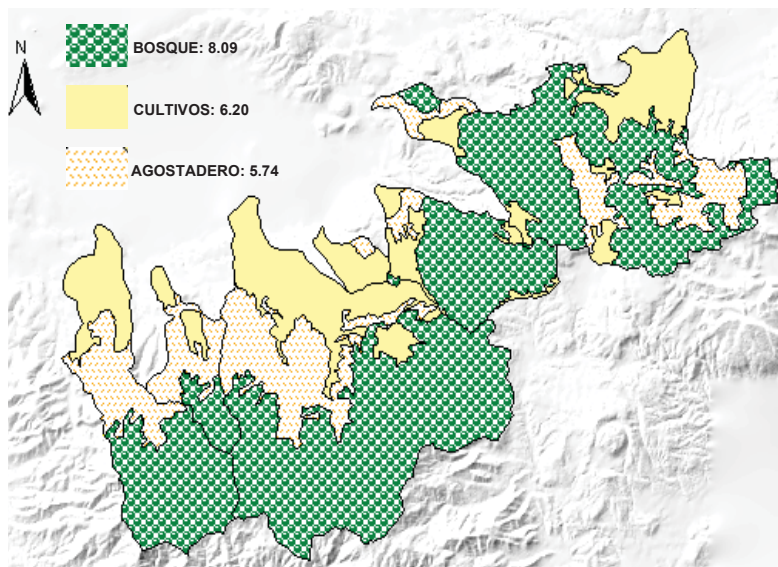


Figura 46. Cubiertas de suelo en el área de estudio.

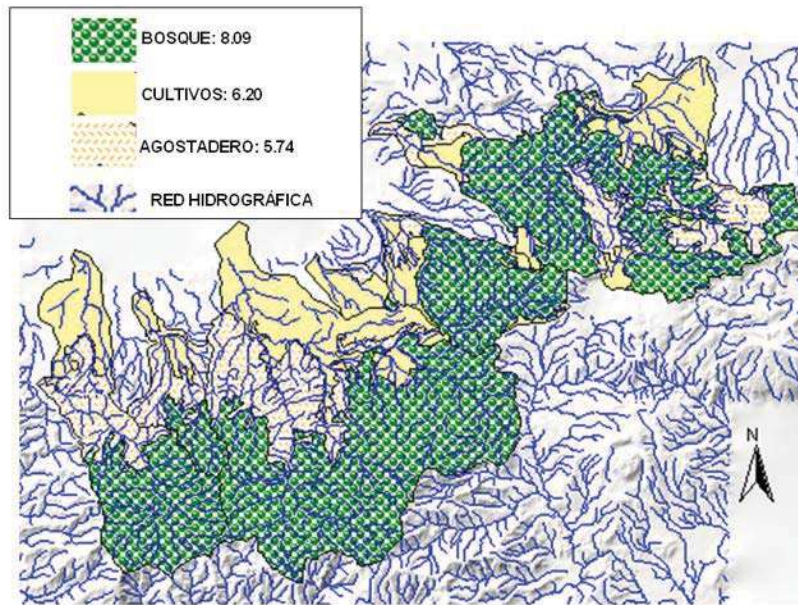


Figura 47. Red hidrográfica en las tres cubiertas de suelo evaluadas.

VIII. 7 ALTERNATIVAS DE MANEJO PARA EL ÁREA DE ESTUDIO

Si bien los ecosistemas de ribera son un lugar idóneo para el esparcimiento, su fragilidad hace necesario planificar y regular cuidadosamente las actividades de ocio y tiempo libre que de modo espontáneo o programado surjan en su seno. De lo contrario se puede llegar a la alteración de los equilibrios que aseguran el correcto funcionamiento de las riberas, a la contaminación de los suelos y las aguas por el abandono indiscriminado de residuos y, en definitiva, a la degradación y pérdida de valor para el uso social de estos espacios.

Por otra parte, se ha dicho que los ríos son la sangre de la vida en la civilización. Una gestión con un escenario de que “en un tamaño o en un sitio encajan todos” no es apropiado para sistemas fluviales debido a que no todos los ríos responden de la misma manera ante un conjunto de cambios impuestos Rosgen (1994).

Las estrategias de manejo deben estar diseñadas para dar cabida a grandes variaciones en la sensibilidad mostrada por los ríos ante las actividades de uso de agua y suelo en el sitio. A quienes se les asignen tareas de manejo o de

diseño que influyan en el río deben comprender el funcionamiento de éste, de lo contrario las estrategias de manejo solo serán parcialmente útiles.

De acuerdo con González del Tánago y García de Jalón (1998), las medidas que se adopten para el manejo de los ríos en todos los casos deben:

- 1.- Dar oportunidad al río para desarrollar su propia dinámica dentro del cauce, atendiendo a los procesos de erosión y sedimentación variables en el tiempo con el régimen de caudales.
- 2.- Crear una morfología estable y flexible con dichos procesos, dada la incertidumbre en la respuesta del río.
- 3.- Potenciar la mayor heterogeneidad de formas y condiciones hidráulicas, para favorecer la diversidad de hábitat y de especies.

Estas prácticas en ocasiones son incompatibles con la tendencia a utilizar los terrenos adyacentes al cauce, ya que para el desarrollo de la dinámica fluvial y su llanura de inundación es necesario "proporcionarle su espacio" al río. Como se mencionó anteriormente, en el área de estudio, los cauces son afectados por las diversas actividades productivas que ahí se realizan por lo que resulta necesario en primera instancia regularlas de tal manera que se evite el contacto directo con el área de influencia directa sobre el cauce que corresponde al área riparia cuyas dimensiones son variables. Arcos (2004) menciona que mientras mas anchas sean las franjas riparias mejor serán las condiciones que predominen en éstos ecosistemas.

Por las condiciones naturales y sociales que se presentan en el área de estudio y con el objetivo de proteger los ecosistemas riparios, se propone:

- 1.- Entablar comunicación con las autoridades correspondientes que nos permita difundir la información generada a través de talleres en los que se ilustren las ventajas y desventajas de las condiciones actuales de los ecosistemas riparios (calidad de agua principalmente).
- 2.- De acuerdo con lo mencionado por Granados *et al.* en el 2006, dejar intacto el ecosistema ripario permite amortiguar los efectos de las actividades

que se realizan en la cuenca vertiente. Esta es la razón por la que resulta necesario recuperar la amplitud de éstos ecosistemas y que de acuerdo con Arcos (2004) preferentemente debe ser de 50 m o más.

3.- Como medidas iniciales, en las áreas de cultivo, respetar éstos 50 m de amplitud para favorecer el establecimiento de comunidades vegetales que a priori se conviertan en la franja de vegetación densa que retenga las sustancias producidas por la actividad agrícola y proporcione hábitat a diversas especies así como la estabilidad de los cauces.

4.- Con respecto a la ganadería extensiva que cuenta con poca o ninguna cerca que restrinja el movimiento del ganado, resulta fundamental la estabulación de éste (Gómez-Tagle *et al.*, 2002), debido a que es más costoso proteger todos los cauces con alguna barrera física que establecer un área fija en la que se les proporcione agua y sombra para evitar el daño al ecosistema ribereño. Domínguez y Silva (2005) mencionan que "si el ganado te causa problemas en el sitio de estudio, ponle una cerca".

5.- Las actividades forestales deben realizarse fuera del ecosistema ripario, de tal manera que se evite la alteración de éstos por derrumbes de madera que propician la modificación de la forma de los cauces y su asolvamiento por el suministro de sedimentos.

IX. CONCLUSIONES

1. Las subcuencas y microcuencas presentan pendientes promedio fuertes por lo que incrementan la velocidad de las corrientes y la fuerza de arrastre de materiales.
2. Las subcuencas y microcuencas presentan formas alargadas, por lo que la probabilidad de experimentar crecidas frecuentes es baja y los tiempos de concentración son mayores en comparación con otros sistemas de igual área pero de forma más circular.
3. Los cauces de tipo B predominan en la zona de estudio y se localizan en los órdenes tres, cuatro y cinco de la red hidrográfica respectivamente.
4. Los cauces de tipo A se presentan en los órdenes uno y dos de la red hidrográfica.
5. Las cubiertas de suelo determinan en gran medida el estado de conservación de los ecosistemas riparios.
6. Las cubiertas de bosque albergan a los ecosistemas riparios mejor conservados.
7. La actividad que más perturba la red hidrográfica y al ecosistema en general es la ganadería extensiva principalmente en las cubiertas de agostaderos.
8. En las cubiertas de bosque y cultivos predomina la presencia de cauces de tipo B mientras que en la de agostaderos es común encontrar cauces de tipo F y A.
9. Los cauces efímeros e intermitentes presentan calificaciones por debajo de seis.
10. La porción de la red hidrográfica más susceptible a la perturbación es la que se localiza en las zonas altas y con pendientes fuertes, principalmente cauces de orden uno.
11. Es de fundamental importancia mantener una buena cobertura vegetal en la franja riparia, principalmente en los bancos de orilla de los cauces para prevenir la erosión de éstos y evitar el suministro de erosión al cauce.
12. Aproximadamente el 65% de los cauces presentan condiciones aceptables de conservación.

13. El estado de conservación de la red hidrográfica en la zona de estudio es dependiente de las actividades productivas que en ellas se realizan.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Andreoli, A., Carlig, G., Comiti, F. e Iroumé, A. 2007. Residuos leñosos de gran tamaño en un torrente de la cordillera de los Andes, Chile: su funcionalidad e importancia. BOSQUE 28 (2). pp. 83 -96.
- Arcos T. I. (2005). Efecto del ancho de banda de los ecosistemas riparios en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca Sesesmiles, Copán, Honduras. Turrialba, Costa Rica. Tesis MSc. CATIE. 141 P.
- ArcView GIS. Versión. 3.1. 1998. Environmental Systems Research Institute, Inc.
- Beeson, C. E., y P. F. Doyle. 1995. Comparison of bank erosion at vegetated and non vegetated channel bends. Water Resources Bulletin 31: 983-990.
- Beguería, S., López, M., J. I., Gómez, V. A., Rubio, V., Lana, R. N. y García, R. J. M. 2006. Fluvial Adjustments to soil erosion and plant cover changes in the central Spanish Pyrenees. Geogr. Ann., 88 A (3): 177 – 186.
- BIODIVERSITAS. 2003. Aguas Continentales y Diversidad Biológica en México. Año 8, Núm. 48.
- Blinn, R. y Kilgore, A. 2001. Riparian Management Practices. Journal of Forestry (University of Minnesota). USA. Pp. 11 – 17.
- Bocco G., Mendoza M. y López E. 2001. Regionalización Ecológica, Conservación de Recursos Naturales y Ordenamiento Territorial en La Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán. Proyecto No. 98306024. PROGRAMA SIMORELOS – CONACYT. UNAM, Instituto de Ecología, Departamento de de Ecología de los Recursos Naturales. Laboratorio de Geoecología.
- Burrough, P.A., 1986. Principles of geographical information Systems for land resources assessment. Clarendon Press, Oxford. 194 pp.

- Cardoza V. R. 1993. estrategias para el manejo integral de cuencas hidrográficas (caso estado de Durango). Memorias del primer simposio Nacional "El agua en el manejo Forestal". División de ciencias forestales, Universidad Autónoma Chapingo.
- CartaLinx the spatial data builder. Versión. 1.2. 1999. Clark Labs.
- Chávez- Huerta Y.; A. L. Medina, X. Madrigal-Sánchez y J. T. Sáenz Reyes. 1994. Caracterización preliminar de las asociaciones de vegetación ribereña de la cuenca del arroyo El Carrizal, Tapalpa, Jalisco, México. In: Aguirre – Bravo C.; L. Eskew; A. B. Villa-salas y C. E. González – Vicente (editores). Cooperación social para el Manejo Sostenible de los Ecosistemas Forestales. Quinto Simposio Bial México/Estados Unidos de América. 17-20 Guadalajara, Jalisco, México.
- Chorley R. J. (1969). The Drainage Basin as the Fundamental Geomorphic unit. London. Methuen. pp. 37 – 59.
- CIDEM (Centro reinvestigaciones y Desarrollo del Estado de Michoacán). 2006. Diagnóstico Energético e Hidráulico del Estado de Michoacán. Morevallado Editores, Morelia, Michoacán.
- CONABIO – SEMARNAT. 2003. Aguas Continentales y Diversidad Biológica de México. III Foro Mundial del agua, Japón, pp. 15.
- CNA (Comisión Nacional del Agua), 2004. Adobe acrobat Professional.
- CNA (2004 a), Fuentes superficiales, archivo en Microsoft Excel: SUPERFICIALES, Subgerencia de administración del Agua, Gerencia Estatal de Michoacán. Morelia, Mich.
- CNA (2004 b) Fuentes subterráneas, Registro público de derechos del agua (REDPA). archivo en Microsoft Excel: SUPERFICIALES, Subgerencia de administración del Agua, Gerencia Estatal de Michoacán. Morelia, Mich.
- CONAGUA. 2008. Acerca del agua. En línea. Disponible en: www.conagua.gob.mx. Consultado 2-junio-2008.
- Cuesta M. J. (2001). Dinámica erosive en los Paisajes de la Cuenca del Río Guadajoz (Córdoba y Jaén). Córdoba. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. pp. 226.

- Dan Malkinson y Lea Wittenberg, (2007). Scaling the effects of riparian vegetation on cross-sectional characteristics of ephemeral mountain streams—a case study of Nahal Oren, Mt. Carmel, Israel CATENA, Volume 69, Issue 2, Pages 103-110.
- De Bano, F. L. y Schmidt L. J. 1989. Improving Southwestern Riparian Areas through Watershed Management. RM-GTR-182. USDA-FS, Fort Collins, Estados Unidos. pp. 33.
- Doffo Nelso y González B. G. 2005. Caracterización morfométrica de la cuenca alta del arroyo Las Lajas, Córdoba: Un análisis estadístico. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 60 (1): pp. 16-22.
- Domínguez, M. M. E. y Silva, L. 2005. ¿Estudiar Ecología con vacas y toros? ¡Por supuesto!. La ciencia y el hombre. Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Veracruzana. Vol. VXIII. No. 3.
- Espinoza A. J., *et al.*, (1994), Clasificación morfológica de los canales de la cuenca del arroyo El Carrizal, Tapalpa, Jal., Méx. In: Aguirre – Bravo C.; L. Eskew; A. B. Villa-salas y C. E. González – Vicente (editores). Cooperación social para el Manejo Sostenible de los Ecosistemas Forestales. Quinto Simposio Bienal México/Estados Unidos de América. 17-20 Guadalajara, Jalisco, México.
- FAO. 1967. La erosión del suelo por el agua. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. Italia. 207 p.
- FAO. 1985. Manual de Ordenación de Cuencas. Serie Montes. N° 35. FAO. Roma, Italia. 134 p.
- FAO. 2006. Livestock's long shadow. Environmental issues and options. ISBN 978 – 92 – 5 – 105571 – 7. Roma. Italy. pp. 390.
- Fitzjohn, C., Ternan, J. L. y Williams, A. G. 1998. Soil Moisture Variability in Semi-Arid Gully Catchment: Implications for Runoff and Erosion Control. Catena. Vol. 32. pp. 55-70.
- Fuentes Junco, J. J. A. 2004. Análisis Morfométrico de Cuencas: Caso de Estudio de Parque Nacional Pico de Tancítaro. Instituto Nacional de Ecología. Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Coservación de Ecosistemas. Págs. 47.

- Gatto, L. W. 1984. Tanana River monitoring and research program: relationships among bank erosion, vegetation, soils, sediments, and permafrost on the Tanana River near Fairbanks, Alaska. US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory, Special Report 84-21.
- Gómez-Tagle Ch. A., y Chávez H. Y. 2004. Cálculo de la distribución espacial de la insolación portencial en el terreno empleando MDE en un ambiente SIG. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. ISSN 0188-4611, Núm. 55, pp. 7-22.
- Gómez-Tagle R. A. y Chávez H. Y., 2004. Cuencas Hidrográficas. En: XXII Curso-Diplomado Internacional de Edafología "Nicolás Aguilera" Las Funciones del suelo en la Naturaleza. UMSNH. Morelia, Mich.
- Gómez-Tagle R. A., Chávez H. Y., Gómez-Tagle Ch. A. y Zepeda C. H. 2002. Diagnóstico de los suelos de la Cuenca de Pátzcuaro. Morevallado Editores. México. pp. 63.
- González de Matauco A. I. 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 A. G. E. N° 38, pp. 311-329.
- González del Tánago M. y García de Jalón D. 1998. Restauración de Ríos y Riberas. Coedición Fundación conde del Valle de Salazar. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. p. 319.
- González del Tánago, M., García de Jalón, D., Lara, F. y Garilleti, R. 2006. Índice RQI para la valoración de las riberas fluviales en el contexto de la directiva marco del agua. Ingeniería Civil. 143 17:22. pp. 97 – 108.
- Granados, S. D., Hernández, G. M. A. y López, R. G. F. 2006. Ecología de las zonas ribereñas. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del ambiente. Año/vol. 12, número 001. ISSN. 0186 – 3231. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. 55 – 69.
- Gravelius H. (1914). Flusskunde. Goschen Verlagshan drug Berlin. En González de Matauco, 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 A. G. E. N° 38, pp. 311-329.

- Gray, D. H., and A. MacDonald. 1989. The role of vegetation in river bank erosion. Pages 218-223 in M. A. Ports, editor. Hydraulic engineering. Proceedings of the 1989 national conference on hydraulic engineering.
- Gregory, K. J. y Gurnell, A. M. 1998. Vegetation and river channel form and process. In Viles, H. A. (Ed.), Biogeomorphology. Brasil Blackwell, Oxford, pp. 11 – 42.
- Guerra, F. y González, J. 2002. Caracterización morfométrica de la cuenca de la Quebrada La Bermeja, San Cristóbal, Estado Táchira, Venezuela. Geoenseñanza. Vol. 7. (1-2). pp 88 – 108.
- Harmel, R. D. 1997. Analysis of bank erosion on the Illinois River in northeast Oklahoma. Ph.D. thesis. Oklahoma State University. (Cited in Dissertation Abstracts International Part B: Science and Engineering, 1998, vol. 59(2)).
- Heede, B. H. 1980. Stream dynamics: an overview for land managers. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report RM-72.
- Hession, W. C., Pizzuto, J. E., Johnson, T. E. y Horwitz, R. J. 2003. Influence of bank vegetation on Channel morphology in rural and urban watersheds. Geology 31. pp. 147 – 150.
- Horton R. E. (1932). Drainage Basin Characteristics. En González de Matauco, A. I. 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 A. G. E. N° 38, pp. 311-329.
- Horton R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins. Hydrophysical approach to quantitative morphology. Bull. Geol. Soc. Am. Vol. 56. pp. 275 – 370.
- Huang, H. Q., and G. C. Nanson. 1997. Vegetation and channel variation; a case study of four small streams in southeastern Australia. Geomorphology 18: 237-249.
- IDRISI32, Versión 132.02. 2000. Clark University.
- INEGI (1995). Ortofoto Digital Escala 1:50 000: E14A14C, D, E y F, E14A15D, E14A24A, B y C. Fuente: Fotografías aéreas escala 1:75,000 de Febrero de 1995. Procesamiento: Rectificación de fotografías aéreas,

con auxilio de puntos de control geodésico y Modelo Digital de Elevación. Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM).

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1998. Carta Topográfica 1:50000, Zinapécuaro (E14A14).
- INEGI. 1998. Carta Topográfica 1:50000, Maravatío (E14A15).
- INEGI. 2000. Carta Topográfica 1:50000, Tzitzio (E14A24).
- Jardí M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variable morfométricas que nos la definen. Revista de Geografía. N° XIX, pp. 41 – 68.
- Kirpich, Z. 1940. Time of concentration of small agricultural watersheds. Civil Engineering. 10 (06): 362. En Williams M. y Ettore M. 2005. Análisis Morfométrico de la microcuenca Quebrada Curucutí, estado de Vargas – Venezuela. Revista Geográfica Venezolana, Vol. 47 (1) 29 – 55.
- Kondolf, G. M., and R. R. Curry. 1984. The role of riparian vegetation in channel bank stability: Carmel River, California. Pages 124-133 in R. E. Warner, and K. M. Hendrix, editors. California riparian systems: ecology, conservation, and management.
- La Cuenca Hidrográfica. *Características Morfométricas y Fisiográficas de la Cuenca*. 2007. [En línea]. Disponible en http://hidraulica.unalmed.edu.co/~ojmesa/hidrologia/documentos/morfometria_cuenca.pdf. (Revisado el 31 de Julio de 2008).
- Llamas J. 1993. "Hidrología general: Principios y aplicaciones". Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.
- López, G. M. E. 1999. Cambio de uso del suelo y crecimiento urbano en la ciudad de Morelia. Tesis de Maestría. Fac. Biol. UMSNH.134 pp.
- Lowrance, R., Williams, G., Inamdar, P., Bosch, D. y Sheridan, M. 2001. Evaluation of coastal plain conservation buffers using the riparian ecosystem management model. Journal of the American Water Resources Association. 37 (6): 1445 – 1455.
- Madej, M. A., Weaver, W. E. y Hagans, D. K. 1994. Analysis of bank erosion on the Merced River, Yosemite Valley, Yosemite National Park, California, USA. Environmental Management 18: 235-250.

- Madrigal – Sánchez, *et al.*, (1994), La vegetación ribereña de la cuenca el Carrizal, Tapalpa, Jal. In: Aguirre – Bravo C.; L. Eskew; A. B. Villa-salas y C. E. González – Vicente (editores). Cooperación social para el Manejo Sostenible de los Ecosistemas Forestales. Quinto Simposio Biental México/Estados Unidos de América. 17-20 Guadalajara, Jalisco, México.
- Mantilla R., Mesa J. O. y Poveda G. 2007. Geometría, Topología y Morfometría de las Cuencas Magdalena – Cauca y Atrato a partir de Modelos Digitales de Terreno. [En línea]. Disponible en http://cires.colorado.edu/~ricardo/papers/GeomTopol_CALI.pdf (Revisado el 31 de Julio de 2008).
- Marín P. J. A., Guevara M. J. G., Agudelo S. J. M., Ramírez B. J., Chico G. F. y Anturí F. 2005. Morfometría y Clima de la Cuenca de la Quebrada la perdiz del municipio de Florencia. [En línea]. Disponible en <http://www.uniamazonia.edu.co/portal/perdiz/index.htm> (Revisado el 31 de Julio de 2008).
- Medina A. L. *et al.*, (1994), Propuesta de ecosistema para el diagnóstico de condiciones y manejo de ecosistemas ribereños en la Cuenca del Carrizal, Tapalpa, Jalisco. Méx. . In: Aguirre – Bravo C.; L. Eskew; A. B. Villa-salas y C. E. González – Vicente (editores). Cooperación social para el Manejo Sostenible de los Ecosistemas Forestales. Quinto Simposio Biental México/Estados Unidos de América. 17-20 Guadalajara, Jalisco, México.
- Medina A. L. *et al.*, (1994), Macroinvertebrados acuáticos de la cuenca El Carrizal y su relación a la condición de cuenca. In: Aguirre – Bravo C.; L. Eskew; A. B. Villa-salas y C. E. González – Vicente (editores). Cooperación social para el Manejo Sostenible de los Ecosistemas Forestales. Quinto Simposio Biental México/Estados Unidos de América. 17-20 Guadalajara, Jalisco, México.
- Miller V. C. (1953). A Quantitative Geomorphic study of Drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. En González de Matauco, A. I. 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 A. G. E. N° 38, pp. 311-329.

- Murgatroyd, A. L., and J. L. Terna n. 1983. The impact of afforestation on stream bank erosion and channel form. *Earth Surface Processes and Landforms* 8: 357-369.
- Ramírez, L. J. E. 2006. determinación de propiedades de suelos de ribera y su relación con la red hidrológica en la subcuenca de Mil cumbres, en la Cuenca de Morelia. Tesis de Licenciatura. Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales. UMSNH – UNAM. México.
- Robert, J., Naiman, Robert, E., Peter, A. y Bisson, P. 2000. Riparian Ecology and Management in the Pacific Coastal Rain Forest. *BioScience*. 50 (11). pp. 996 – 1010.
- Robins, J. D. y Cain J. R. 2002. The past and present condition of the Marsh Creek watershed. Berkeley. CA: Natural Heritage Institute. pp. 71.
- Rosgen, D. L. 1994. A Classification of Natural Rivers. *Catena*. Vol. 22 pp. 169 – 199. Elsevier Science, B. V. Amsterdam.
- Rosgen, D. L., 1996. Applied River Morphology, Widlan Hydrology. Pagosa Spring, Colorado. Pp. 286.
- Rowntree, K. M. y Dollar, E. S. J. 1999. Vegetation controls on channel stability in the Bell River, Eastern Cape, South Africa. *Earth Surface Processes and Landforms*. pp. 127 – 134.
- Secretaría del Estado de Michoacán, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Colegio de Michoacán, Editora y Distribuidora EEDISA, S. A. de C. V. 2003. Atlas Geográfico del Estado de Michoacán. Editorial Editora y Distribuidora EEDISA, S. A. de C. V. 2da Edición. México. 309 p.
- Silva L. G. (1999). Análisis Hidrográfico e Hipsométrico de la cuenca alta y media del Río Chama, Estado Mérida, Venezuela. *Rev. Geog. Venez.* Vol. 40 (1). pp. 9 – 41.
- Simon, A. y Collison, A. J. C. 2002. Quantifying the mechanical and hidrologic effects of riparian vegetation on streambank stability. *Earth Surface Processes and Landforms*. pp. 257 – 546.
- StatSoft, Inc. 1984 – 2001. STATISTICA 6.0.
- Strahler A. N. (1952). Hypsometric analysis of erosional topography. *Bull. Geol. Soc. Am.* Vol. 63. pp. 923 – 938.

- Strahler A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. EOS Trans. Agu. 38. pp. 912 – 920.
- Strahler A. N. (1964). Quantitative geomorphology drainage basins and channel network. Handbook of Applied Hydrology. Section 4 – II. Part II. Ven Te Chow (editor in Chief). Mc Graw-Hill Book Company. New York.
- Terrain Analysis System. Version 1.6.7. 2002. John Lindsay.
- Thorne, S. D. y Furbish, D. J. 1995. Influences of coarse bank roughness on flow within a sharply curved river bend. Geomorphology 12, 241 – 257.
- Trimble, W. S. 1997. Stream channel erosion and change resulting from riparian forests. Geology 25: 467-469.
- Trimble, W. S. y Mendel, C. A. 1995. The cow as a geomorphic agent – A critical review. Elsevier. Geomorphology 13. pp. 233 – 253.
- Utrilla, S. B. S. 2006. Degradación de la Red Hidrográfica de la Cuenca de Cointzio y Alternativas de Manejo. Tesis de Maestría. Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales. UMSNH. México.
- Valenzuela, C. R. 1989. Introducción a los Sistemas de Información Geográfica. International Institute for Aerospace and Earth Science (ITC), Enschede, The Netherlands. 45 pp.
- Vizcaíno, P., Magdaleno, F., Seves, A., Merino, S., González del Tánago, M. y García de Jalón, D. 2003. Los cambios Geomorfológicos del Río Jarama como base para su restauración. Asociación Española de Limnología, Madrid, España. ISSN: 0213 – 8409. Limnética 22 (3-4): 1-8.
- Williams, M. y Marcucci E. 2006. Análisis Morfofométrico de la microcuenca Quebrada Curucutí, estado de Vargas – Venezuela. Revista Geográfica Venezolana, Vol. 47 (1) 29 – 55.
- Wohl, E. 2006. Human impacts to mountain streams. Elsevier. Geomorphology 79. pp. 217 – 248.
- Zepeda, C. H. 1999. Determinación del estado de conservación de las áreas riparias del arroyo Tiquio Municipio de Morelia, Michoacán y sus relaciones con el uso del suelo de la cuenca. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán. 60 pp.

- Zepeda, *et al.* 2002. Metodología Rápida para la evaluación de ecosistemas riparios en zonas templadas. Ingeniería Hidráulica en México, Vol. XVII, núm. 1. pp. 61 – 74.

XI. ANEXO 1. Características de los subtipos de cauces propuestas por Rosgen (1996) clasificados para el área de estudio.

CRITERIOS DELINEATIVOS (A1)

Forma del relieve / Suelos: Lecho rocoso controlado, laderas escarpadas. Canales profundizados en las laderas, en fallas. Predominan las rocas y coluvios gruesos.

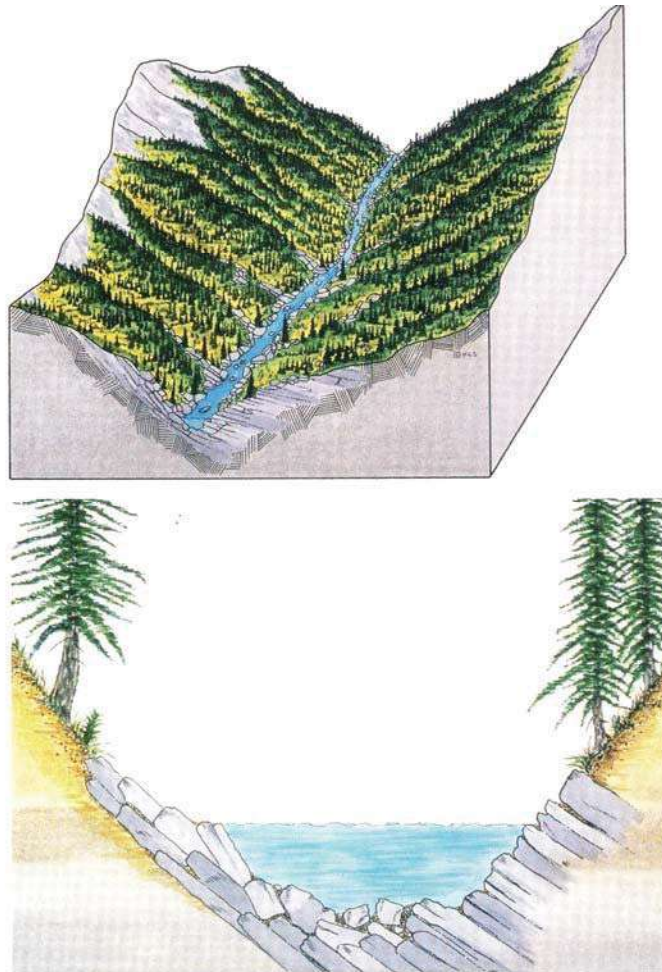
Materiales del canal: Lecho rocoso con menor cantidad de cantos rodados (> 254 mm), guijarros ($635.5 - 254$ mm) y gravas ($2 - 63.5$ mm).

Rango de Pendiente: $.04 - .10$ (**A1a+** $> .10$)

Índice de Estrechamiento: < 1.4

Índice Ancho/Profundo: < 12

Sinuosidad: < 1.2



CRITERIOS DELINEATIVOS (A2)

Forma del relieve / Suelos: Escarpe, pendientes controladas con deposición coluvial en valles estrechos y confinados.

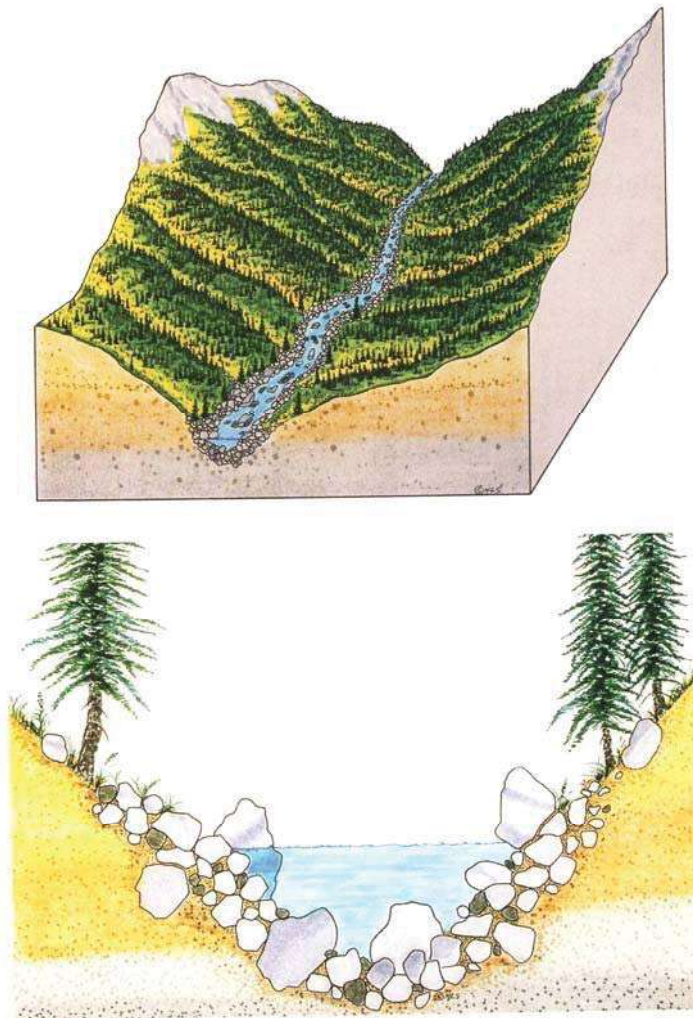
Materiales del canal: Predominan los cantos rodados, con menor cantidad de guijarros, gravas y arena. Algunas porciones con lecho rocoso esporádicamente espaciados.

Rango de Pendiente: .04 - .10 (A2a+ > .10)

Índice de Estrechamiento: < 1.4

Índice Ancho/Profundo: < 12

Sinuosidad: < 1.2



CRITERIOS DELINEATIVOS (A3)

Forma del relieve / Suelos: Escarpes, laderas estrechas deposicionales típico de morrenas glaciares y desechos asociados con materiales no consolidados, heterogéneos y no cohesivos.

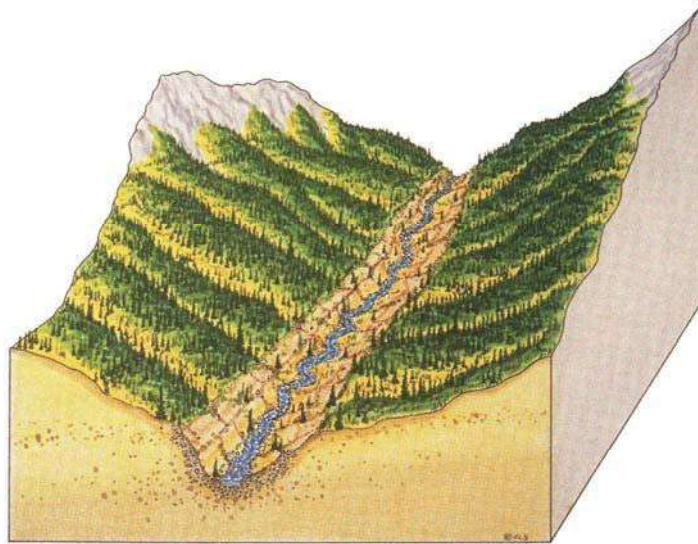
Materiales del canal: Predominan los guijarros, con una mezcla de cantos rodados, gravas y arena.

Rango de Pendiente: .04 - .10 (A3a+ > .10)

Índice de Estrechamiento: < 1.4

Índice Ancho/Profundo: < 12

Sinuosidad: < 1.2



CRITERIOS DELINEATIVOS (A5)

Forma del relieve / Suelos: Escarpes en relieves deposicionales asociados con desechos erosionales o suelos residuales derivados de granito y/o areniscas.

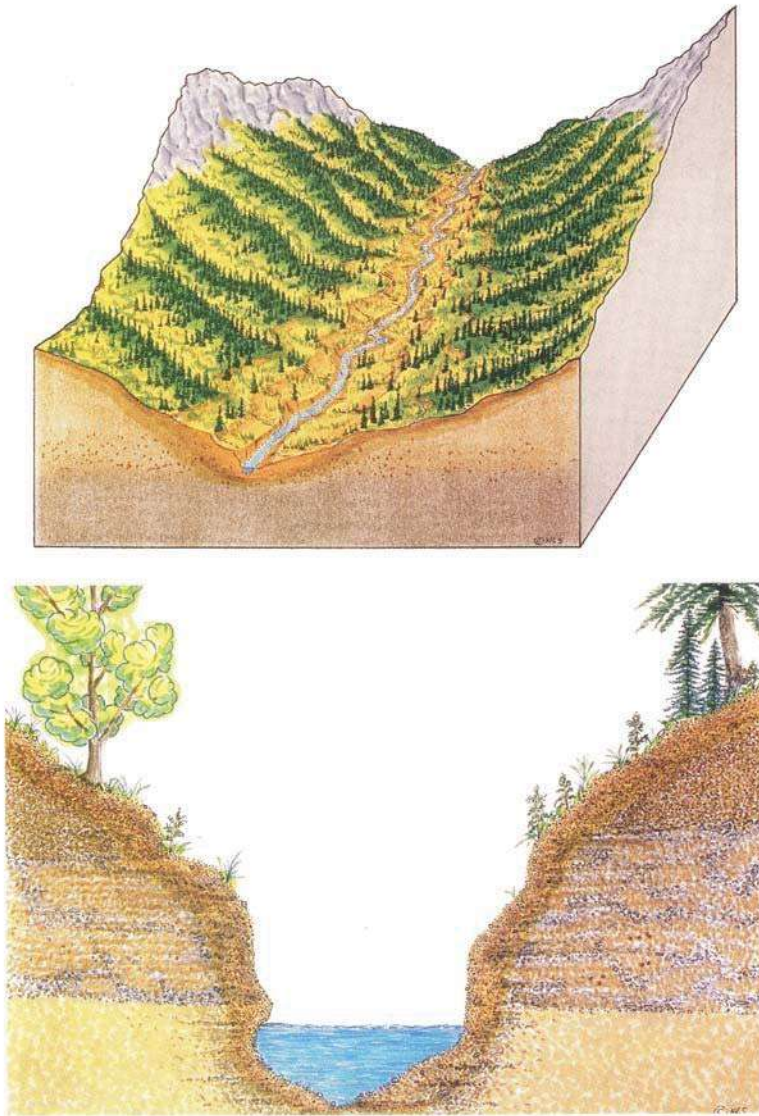
Materiales del canal: Predominan las arenas con menor cantidad de gravas, limos y arcillas.

Rango de Pendiente: .04 - .10 (A5a+ > .10)

Índice de Estrechamiento: < 1.4

Índice Ancho/Profundo: < 12

Sinuosidad: < 1.2



CRITERIOS DELINEATIVOS (A6)

Forma del relieve / Suelos: Escarpes o canales disectados en finas llanuras aluviales con limos y/o arcillas, o en suelos residuales derivados de rocas sedimentarias y lutitas.

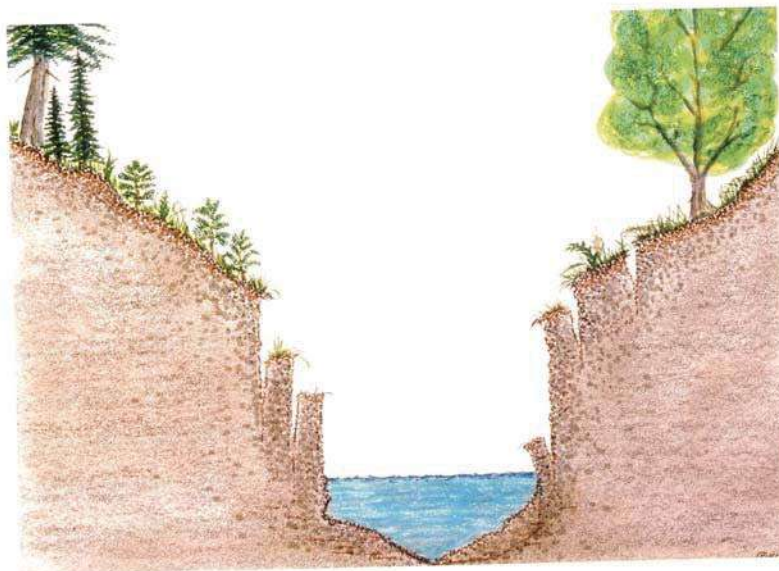
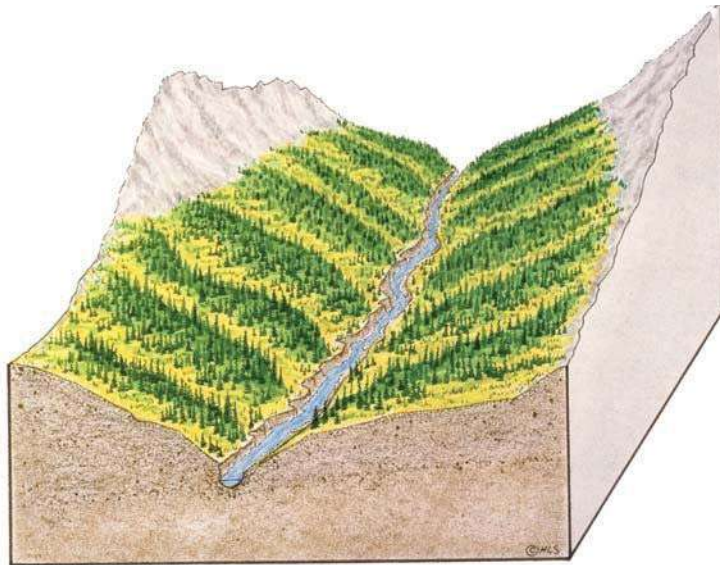
Materiales del canal: Limo y arcilla con algunas arenas.

Rango de Pendiente: .04 - .10 (A6a+ > .10)

Índice de Estrechamiento: < 1.4

Índice Ancho/Profundo: < 12

Sinuosidad: < 1.2



CRITERIOS DELINEATIVOS (G5)

Forma del relieve / Suelos: Están asociados con escarpes moderados, relieves fluviales disectados, abanicos aluviales o incididos en valles aluviales o coluviales. Los suelos son una mezcla heterogénea de materiales no cohesivos no consolidados generalmente en aluvios, y coluvios, por deposición eólica (arena) y suelos residuales así como aquellos derivados de granito.

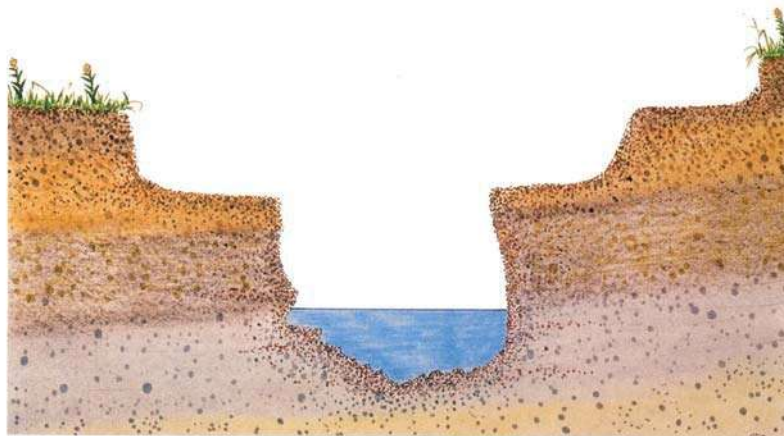
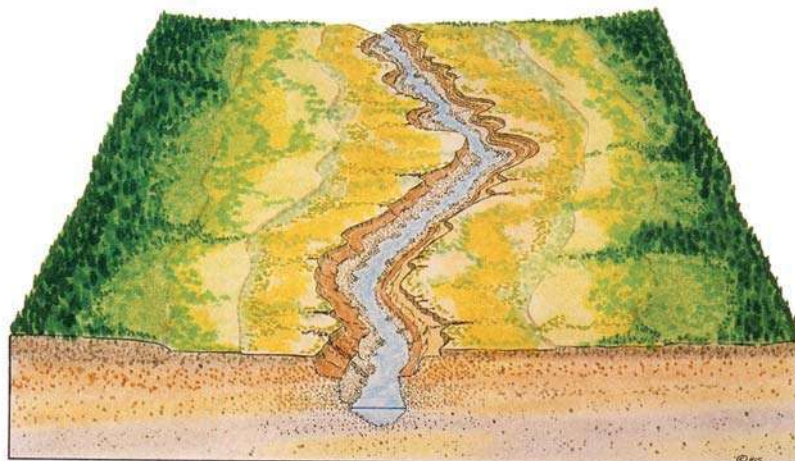
Materiales del canal: dominado por arenas en el canal con mezclas de gravas y algunos limos y arcillas.

Rango de Pendiente: 0.02 – 0.039

Índice de Estrechamiento: < 1.4

Índice Ancho/Profundo: < 12

Sinuosidad: > 1.2



CRITERIOS DELINEATIVOS (G6c)

Forma del relieve / Suelos: Están asociados con escarpes moderados, relieves fluviales disectados, abanicos aluviales o incididos en valles aluviales o coluviales. Los suelos son materiales cohesivos generalmente en aluvión, coluvión, depósitos eólicos y suelos residuales así como aquellos derivados de lutitas.

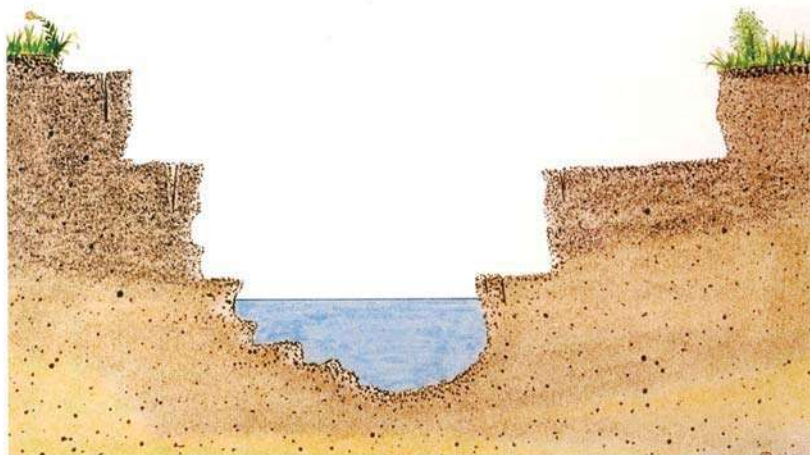
Materiales del canal: Dominado por limos y arcillas en el canal con mezclas de gravas y algunos limos y arcillas.

Rango de Pendiente: $< .02$

Índice de Estrechamiento: < 1.4

Índice Ancho/Profundo: < 12

Sinuosidad: > 1.2



CRITERIOS DELINEATIVOS (F2b)

Forma del relieve / Suelos: Los arroyos de tipo F2b están asociados con valles y gargantas de suave pendiente, controlados estructuralmente y profundamente atrincherados. Están asociados con lechos rocosos altamente degradados en combinación con ríos muy incididos y con valles cuyas paredes están muy levantadas.

Materiales del canal: Dominado por cantos rodados en el canal con acumulaciones de guijarros y gravas. Algunos depósitos de arena en remansos y remolinos.

Rango de Pendiente: .02 – 0.039

Índice de Estrechamiento: < 1.4

Índice Ancho/Profundo: > 12

Sinuosidad: > 1.2



CRITERIOS DELINEATIVOS (F3)

Forma del relieve / Suelos: Los arroyos de tipo F3 están asociados con valles y gargantas de suave pendiente, controlados estructuralmente y profundamente atrincherados. Están asociados con lechos rocosos altamente degradados o suelos deposicionales incluyendo una combinación de ríos muy incididos y con valles cuyas paredes están muy levantadas.

Materiales del canal: Dominado por guijarros en el canal con acumulaciones de gravas y arenas. Los bancos de orilla generalmente presentan una matriz de grava/arena, inestable, amenos que se encuentre bien vegetado.

Rango de Pendiente: < 0.02 (3b .02 – 0.039)

Índice de Estrechamiento: < 1.4

Índice Ancho/Profundo: > 12

Sinuosidad: > 1.2



CRITERIOS DELINEATIVOS (F5b)

Forma del relieve / Suelos: Los arroyos de tipo F5b están asociados con canales profundamente atrincherados en aluvión o en valles o gargantas con estructuras controladas y con pendientes suaves. Están asociados con rocas altamente degradados o suelos deposicionales incluyendo una combinación de ríos muy incididos y con valles cuyas paredes están muy levantadas.

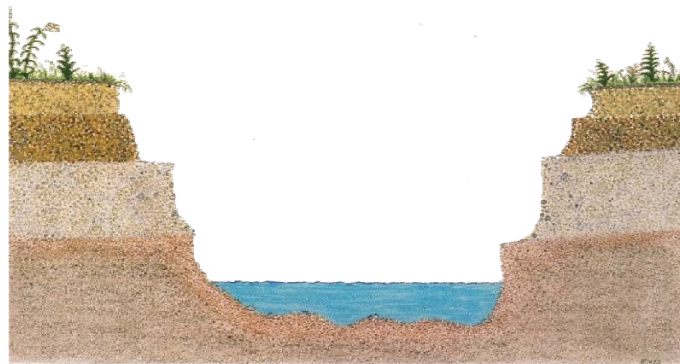
Materiales del canal: Esta dominado por arenas en el canal, tanto en el lecho como en el banco de orilla.

Rango de Pendiente: .02 – 0.039

Índice de Estrechamiento: < 1.4

Índice Ancho/Profundo: > 12

Sinuosidad: > 1.2



CRITERIOS DELINEATIVOS (F6b)

Forma del relieve / Suelos: Los arroyos de tipo F6b están asociados con canales profundamente atrincherados en aluvión o en valles o gargantas con estructuras controladas y con pendientes suaves. Están asociados con rocas altamente degradados o suelos deposicionales incluyendo una combinación de ríos muy incididos y/o con valles cuyas paredes están muy levantadas. Suelos cohesivos con ocasionales depresiones con bloques en los que se pierde masa.

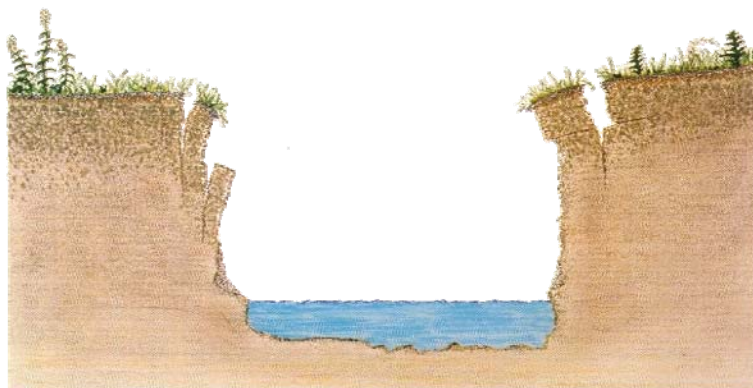
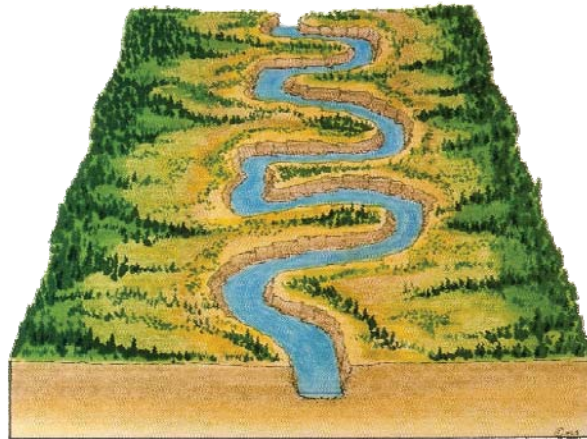
Materiales del canal: Limo y/o arcilla.

Rango de Pendiente: .02 – 0.039

Índice de Estrechamiento: < 1.4

Índice Ancho/Profundo: > 12

Sinuosidad: > 1.2



CRITERIOS DELINEATIVOS (B1)

Forma del relieve / Suelos: Valles estrechos, controlados por estructuras con pendientes moderadas en sus lados.

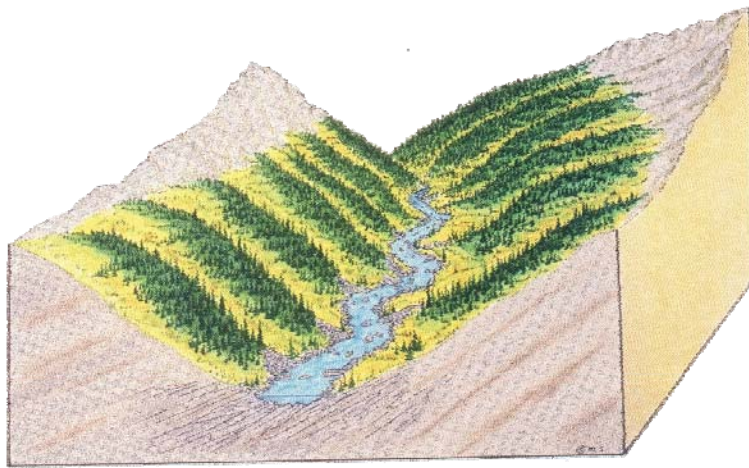
Materiales del canal: Lecho rocoso con bancos de arroyo compuestos de cantos rodados, guijarros y gravas.

Rango de Pendiente: .02 – 0.4 (**B1a** 0.04 – 0.099)

Índice de Estrechamiento: 1.4 – 2.2

Índice Ancho/Profundo: > 12

Sinuosidad: > 1.2



CRITERIOS DELINEATIVOS (B2a)

Forma del relieve / Suelos: Valles estrechos, controlados por estructuras asociados con coluvios o depósitos no consolidados (flojos), valles glaciales estrechos de moderados a suaves.

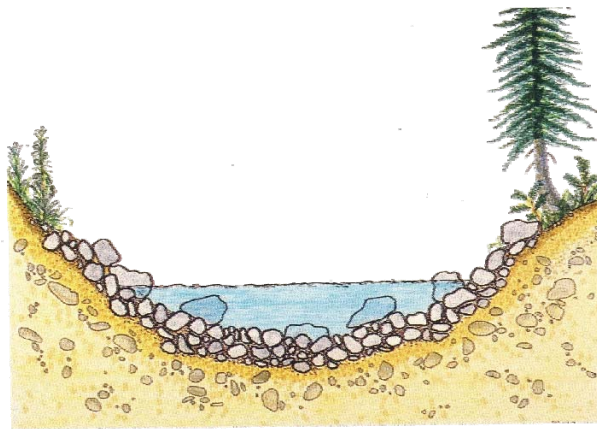
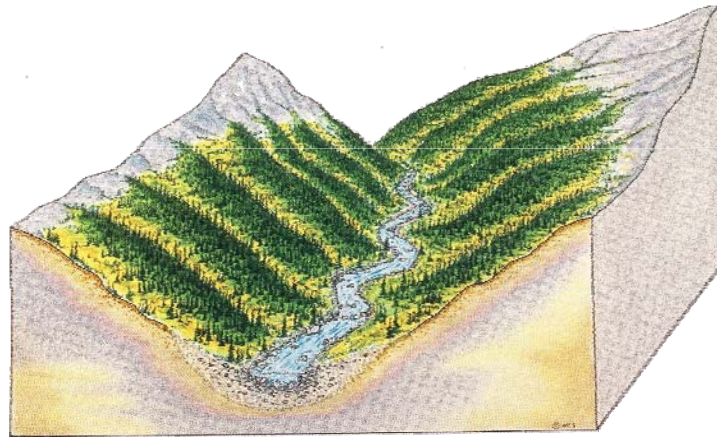
Materiales del canal: Cantos rodados con pequeñas cantidades de guijarros, gravas y arenas.

Rango de Pendiente: .04 – 0.099

Índice de Estrechamiento: 1.4 – 2.2

Índice Ancho/Profundo: > 12

Sinuosidad: > 1.2



CRITERIOS DELINEATIVOS (B3a y c)

Forma del relieve / Suelos: Valles coluviales estrechos, moderadamente escarpados con laderas de pendientes suaves. Los suelos son coluviales y/o aluviales. Valles a menudo ubicados en líneas de fallas o sobre abanicos aluviales bien vegetados.

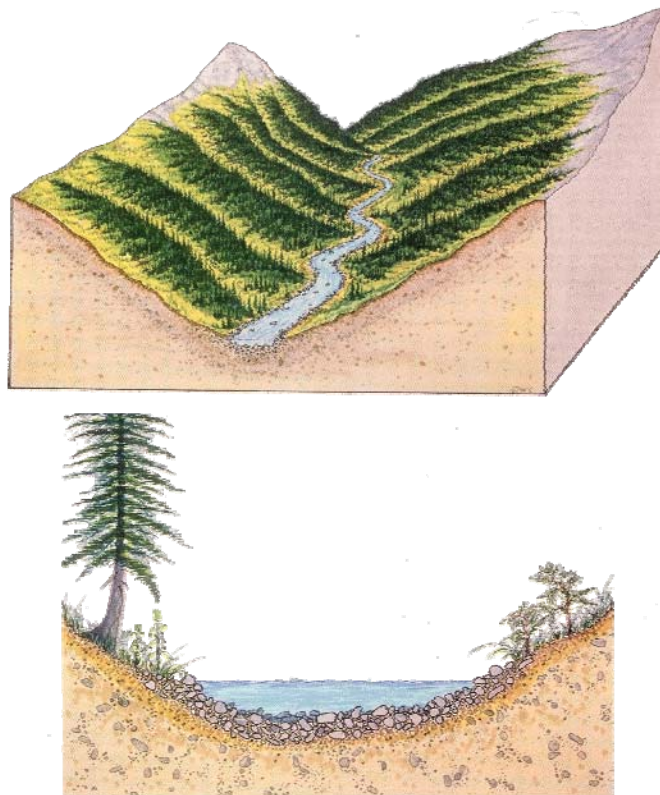
Materiales del canal: Predominan los guijarros con menor cantidad de cantos rodados, gravas y arenas. Los bancos de orilla son estables debido al material grueso.

Rango de Pendiente: .04 – 0.099 (B3c, < .02)

Índice de Estrechamiento: 1.4 – 2.2

Índice Ancho/Profundo: > 12

Sinuosidad: > 1.2



CRITERIOS DELINEATIVOS (B4a)

Forma del relieve / Suelos: Valles coluviales estrechos, moderadamente escarpados, ocasionalmente sobre valles bien vegetados. Abanicos aluviales estables, o valles situados en líneas de fallas.

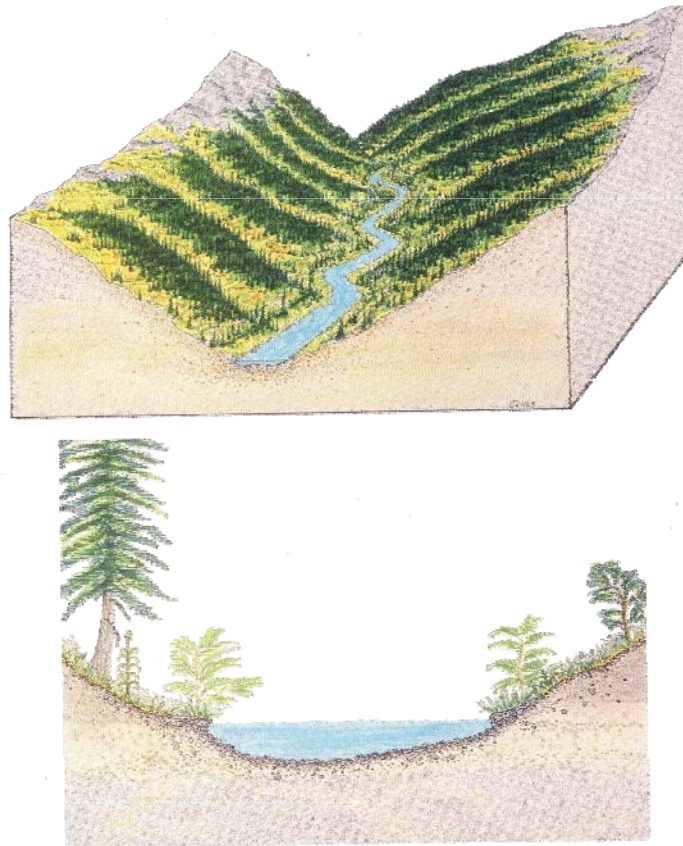
Materiales del canal: Predominan las gravas con menor cantidad de cantos rodados, guijarros y arenas.

Rango de Pendiente: .04 – 0.099

Índice de Estrechamiento: 1.4 – 2.2

Índice Ancho/Profundo: > 12

Sinuosidad: > 1.2



CRITERIOS DELINEATIVOS (B6)

Forma del relieve / Suelos: Valles estrechos, moderadamente escarpados con laderas con pendientes suaves. Suelos residuales aluviales y/o coluviales.

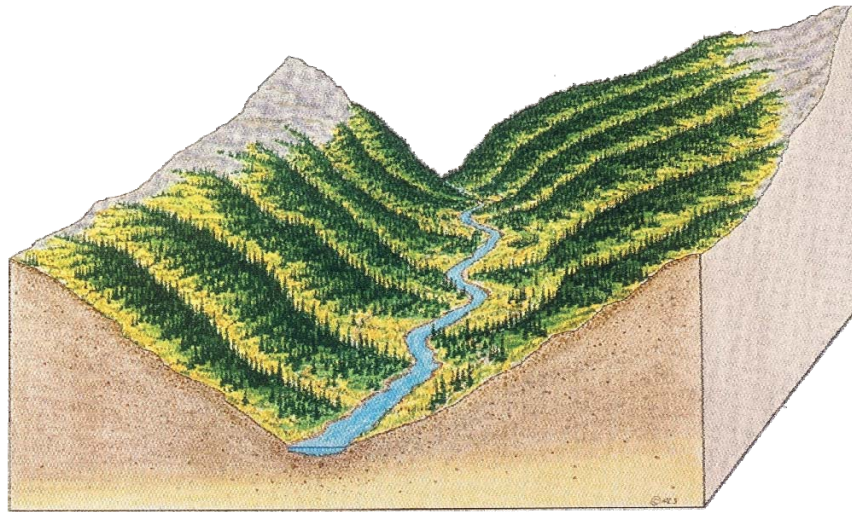
Materiales del canal: Limo y arcilla con una menor cantidad de arenas.

Rango de Pendiente: 0.02 – 0.039 (**B6a**, .04 – 0.099)

Índice de Estrechamiento: 1.4 – 2.2

Índice Ancho/Profundo: > 12

Sinuosidad: > 1.2



CRITERIOS DELINEATIVOS (E4b)

Forma del relieve / Suelos: Pendientes suaves en amplias riveras o valles lacustres y deltas de ríos.

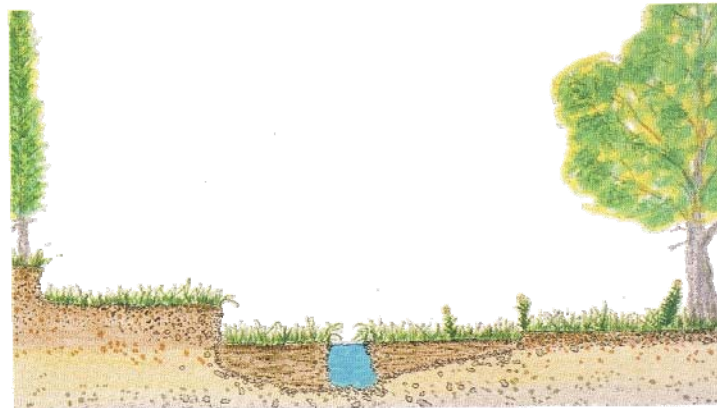
Materiales del canal: En el lecho dominan las gravas con pequeñas acumulaciones de arena y ocasionalmente guijarros. Bancos de orilla compuestos de una mezcla de arenas / gravas con una matriz densa de raíces.

Rango de Pendiente: 0.02 – 0.039

Índice de Estrechamiento: > 2.2

Índice Ancho/Profundo: < 12

Sinuosidad: > 1.5



CRITERIOS DELINEATIVOS (E6)

Forma del relieve / Suelos: Pendientes suaves en amplias riveras o valles lacustres y deltas de ríos. Pueden ser contenidos lateralmente en valles atrincherados, incluso dentro de canales previos.

Materiales del canal: Limos y arcillas, dominados por materiales cohesivos con acumulaciones de materia orgánica. Bancos de orilla del arroyo con una matriz densa de raíces.

Rango de Pendiente: < 0.02 (a menudo < 0.0001)

Índice de Estrechamiento: > 2.2

Índice Ancho/Profundo: < 12

Sinuosidad: > 1.5

