



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Caracterización de las condiciones morfológicas
y edáficas de ecosistemas de ribera en la red
hidrológica de la subcuenca Mil Cumbres
(río Grande) en la cuenca de Cuítzeo,
Michoacán.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A :

JIMENA EUGENIA RAMÍREZ LYNN

TUTOR

DR. ALBERTO FCO. GÓMEZ TAGLE ROJAS

MÉXICO, D.F.

MAYO, 2007





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Hoja de Datos del Jurado

1. Datos del alumno

Ramírez
Lynn
Jimena
Eugenia
57 82 47 58
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
09927762-6

2. Datos del Tutor

Dr
Alberto Francisco
Gómez Tagle
Rojas

3. Datos del sinodal 1

Dra
Norma Eugenia
García
Calderón

4. Datos del sinodal 2

Dr
Javier
Carmona
Jiménez

5. Datos del sinodal 3

M. en C.
Elizabeth
Fuentes
Romero

6. Datos del sinodal 4

M. en C.
Hugo
Zepeda
Castro

7. Datos del trabajo escrito

Caracterización de las condiciones morfológicas y edáficas de ecosistemas de ribera en la red hidrológica de la subcuenca Mil Cumbres (río Grande) en la cuenca de Cuítzeo, Michoacán
106 p
2007

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue realizado gracias al apoyo del Consejo de Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo quien me otorgó la beca que me mantuvo parte de la estancia en Morelia, así mismo a CONACYT-SERMARNAT que otorgó los medios para el desarrollo del proyecto: “Diagnostico Integrado y Alternativas de Rehabilitación de la Cuenca de Morelia (Cuítzeo)”.

Quiero agradecer al Dr. Alberto Gómez Tagle Rojas director de este trabajo por su apoyo e interés de darme las herramientas necesarias ofreciéndome su conocimiento, experiencia, paciencia y sobre todo su confianza en mí.

Al Laboratorio de Edafología “Nicolás Aguilera” de la Facultad de Ciencias, en especial a la Dra. Norma Eugenia García Calderón por su entusiasmo, asesoría y apoyo. A la M. en C. Elizabeth Fuentes Romero por sus enseñanzas, prácticos consejos y correcciones que ayudaron a mejorar mi trabajo.

Al Dr. Javier Carmona Jiménez por su gran apoyo y sus valiosas sugerencias para la culminación de este trabajo, al igual que a la M. en C. Rocío Rodríguez Ramírez por compartir sus grandes conocimientos y asesorías en estadística, además de su tiempo y su amistad.

Al *equipo INIRENA* conformado por el M. en C. Alberto Gómez Tagle Chávez por sus interesantes y entretenidas enseñanzas en SIG, el M. en C. Hugo Zepeda Castro por su contribución que ayudó a mejorar esta tesis. Pero más que nada, muchísimas gracias a mis amigos y compañeros incondicionales de campo: M. en C. Brenda Utrilla Sánchez y al P. B. Rafael R. Baeza Avalos por el gran apoyo en el trabajo de campo extremo.

A todos y cada uno de los integrantes del laboratorio de Edafología, al Dr. Pavel por sus valiosas intervenciones, a Chelito, Rosy y Mary por animarme a seguir adelante. A Claudia Vallejo por sus valiosísimos consejos, gracias... *ya aprendí*. A mis compañeros de laboratorio de edafología: Miguel por ese gran oído (gracias por escucharme), Mayra, Lili y Alicia por siempre estar ahí.

Al Prof. Andrés Porta por ser mi *Virgilio*.

A mis amigos de la carrera que siempre han estado ahí en todo momento, gracias por tantas experiencias vividas y ratos de alegría... especialmente a Silvia, Tania, Sol, Karla, Miguel, Yire y Pancho. Además de Polo, Daniel y Daniela por esas quemadas de pestañas en semestres pasados y sus buenos consejos que siempre me han alentado a seguir adelante... A todos los quiero mucho....

A mí querida familia a quien debo todo lo que soy. Gracias *pequeña* por el gran esfuerzo que tuviste que hacer para apoyarme en esta travesía y, así poder realizarme profesionalmente. A Rodri por animarme a seguir adelante y nunca rendirme... *Es justamente la posibilidad de realizar un sueño lo que hace que la vida sea más interesante*.

A MI FAMILIA

Agua ¿dónde vas?

Riendo voy por el río a las orillas del mar.

Mar ¿adónde vas?

Río arriba voy buscando fuente donde descansar.

Chopo, y tú ¿qué harás?

No quiero decirte nada.

Yo... ¡temblar!

¿Qué deseo, qué no deseo, por el río y por el mar?

(Cuatro pájaros sin rumbo en el alto chopo están.)

Federico García Lorca
Canciones, 1921- 1924.

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Morfometría.....	4
2.2 Arroyos de montaña.....	4
2.3 Ecosistemas ribereños.....	6
III. ANTECEDENTES.....	8
3.1 Estudios de componentes del ecosistema ribereño y sus disturbios.....	8
3.2 Metodologías de diagnóstico y monitoreo de ríos.....	9
3.3 Aportaciones de investigaciones nacionales.....	10
IV. HIPÓTESIS.....	12
V. OBJETIVOS.....	13
VI. ÁREA DE ESTUDIO.....	14
6.1 Ubicación geográfica.....	14
6.2 Geología y geomorfología.....	15
6.3 Hidrológica e hidrografía.....	16
6.4 Clima.....	17
6.5 Edafología.....	18
6.6 Vegetación.....	18
VII. METODOLOGÍA.....	20
7.1 Delimitación del área de estudio.....	20

7.1.1	Elaboración de mapa base de trabajo.....	20
7.1.2	Ubicación de sitios de muestreo.....	21
7.1.3	Generación del modelo digital de elevación.....	22
7.2	Muestreo.....	23
7.2.1	Calibración de metodología.....	23
7.2.2	Aplicación de la metodología para la clasificación de los arroyos naturales de montaña.....	23
7.2.3	Determinación del estado del área ribereña.....	26
7.2.4	Colecta de muestras de suelo de ribera.....	27
7.3	Análisis de muestras.....	28
7.4	Procesamiento de datos.....	30
7.4.1	Clasificación morfológica de ríos.....	30
7.4.2	Generación de perfiles de la sección transversal de ríos.....	30
7.4.3	Análisis estadísticos.....	30
VIII. RESULTADOS.....		32
8.1	Caracterización del área de estudio.....	32
8.2	Descripción de las microcuencas.....	36
8.2.1	Microcuenca I. “Río Grande”.....	36
8.2.2	Microcuenca II. “Vado Blanco-Lobera”.....	37
8.2.3	Microcuenca III. “Tijeras-Jagüey”	39
8.2.4	Microcuenca IV. “Vaquerito-Zurumbeneo”.....	40
8.2.5	Microcuenca V. “Rile-Varas Cenizas”.....	42
8.3	Análisis estadístico.....	48
8.3.1	Variables morfológicas de arroyos naturales de montaña.....	48
8.3.2	Variables del área ribereña	52
8.3.3	Suelos de ribera sobre los bancos de orilla.....	54
8.4	Comparación de ríos de un mismo orden.....	57
8.4.1	Ríos de primer orden en las microcuencas I, III y IV.....	57
8.4.2	Ríos de segundo orden en las microcuencas II, III, IV y V.....	59
8.4.3	Ríos de tercer orden en las microcuencas II, III, IV y V.....	61
8.4.4	Ríos de cuarto y quinto orden en las microcuencas II, III, IV y V.....	63

IX. DISCUSIÓN.....	65
X. CONCLUSIONES.....	77
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	79
XII. ANEXOS	
Anexo I. Formato de Campo.....	85
Anexo II. Clasificación de arroyos y ríos de montaña.....	86
Anexo III. Perfiles de las secciones transversales de los sitios de muestreo.....	89

RESUMEN

La subcuenca de Mil Cumbres (Río Grande) ubicada en el estado de Michoacán, presenta diversos impactos ambientales como el drástico cambio de uso de suelo, no solo en los valles y pies de monte sino también en las áreas ribereñas que trae como consecuencia la degradación de los ecosistemas ribereños por la introducción de ganado y zonas de cultivo aledañas a los ríos que provoca la erosión y transportación del suelo, y finalmente, el azolvamiento de los cuerpos de agua. Estos ecosistemas son claves porque presentan una alta sensibilidad en la diversidad vegetal de especies indicadoras de humedad, así mismo en la estabilidad de los bancos de orilla. Sin embargo, no se les da la importancia que merecen porque existe muy poco conocimiento de ellos, y es indispensable profundizar en su comprensión ya que son áreas prioritarias de manejo sustentable del recurso hídrico para las poblaciones. La caracterización de la red hidrológica en la subcuenca Mil Cumbres se basó en el método de clasificación morfológica de ríos (Rosgen, 1994), el método rápido para evaluar ecosistemas riparios (Zepeda *et al.* 2002) y la determinación de las propiedades de los suelos de ribera. Los resultados indican la existencia de ríos de tipo A (en las partes altas) y G (en el valle). Las zonas de mayor impacto fueron las áreas de bajo gradiente altitudinal que son accesibles al pastoreo y el desarrollo de diversas actividades antrópicas. Mientras que las zonas de parteaguas son las más conservadas e idóneas para la captación, infiltración del agua y la aportación a los ríos que permite mantener el flujo de agua perenne y también los servicios ecosistémicos.

I. INTRODUCCIÓN

El ciclo del agua está controlado por la energía del sol y por la fuerza de gravedad, que hacen que se evapore el agua del mar y que al precipitarse fluya por las pendientes. Una gota de agua pasa ocho a 10 días en la atmósfera, de dos a tres semanas en un curso fluvial, 100 años en un glaciar, de unas semanas a millones de años en un lago, o de 100 a 40 mil años bajo tierra. Cada gota puede seguir un ciclo diferente. Una parte de la lluvia se evapora de nuevo o llega hasta los cursos de agua. Otra parte penetra en el suelo cerca de la superficie; las plantas la absorben con sus raíces y la devuelven a la atmósfera con la transpiración. Otra parte se infiltra hasta las capas subterráneas profundas de las que nacen los manantiales. De ésta, una pequeña fracción del agua que se extrae y se consume en usos “no consuntivos” (generación hidroeléctrica, recreación y acuicultura) poseen atributos físicos, químicos y biológicos que son dependientes del caudal que varían en espacio y tiempo (Brooks *et al.*, 1997), sin embargo el resto retorna a la corriente ya sea en forma directa (escorrentía superficial) o indirecta (mantos freáticos) por lo que se aprovecha reiteradamente hasta llegar aguas abajo. No obstante, el uso del agua depende de la cantidad, calidad y tiempo de los sobrantes de los caudales de retorno o las pérdidas de los usos y de los usuarios situados aguas arriba (Hernández y Herrerías, 2001). Las interrelaciones e interdependencias de estos usos se internalizan en la cuenca, lo que la convierte en la unidad territorial apropiada de análisis (Dourojeanni *et al.*, 2002; Henao, 1988).

Es por ello, que en la Ley de Aguas Nacionales, en su Artículo 3° fracción IV definen a la cuenca como “la unidad de gestión del recurso hidráulico para la planificación, conservación y desarrollo sostenido de los recursos naturales, ya que además permite integrar la dimensión social con la productiva y ambiental”. Cualquier actividad humana requiere de agua, sin ella no puede haber desarrollo y su escasez es cada vez más evidente en gran parte de nuestro país debido a tres factores principales: la notoria concentración e incremento demográfico en las zonas urbanas, el acceso desigual al agua y el inadecuado uso de los recursos naturales (Hernández y Herrerías, 2001). Este último, se observa en el surgimiento de la contaminación a consecuencia de

la escasa planeación en el manejo de la tierra lo que afecta a muchos cuerpos de agua (CEPAL, 2000).

Las áreas de ribera han sido objeto de destrucción sistemática por el aprovechamiento agrícola de las fértiles llanuras aluviales (Zepeda *et al.*, 2002), aun cuando son consideradas como ecosistemas claves para la sobrevivencia y el desarrollo de las sociedades humanas. En ocasiones, los ríos han sido delimitados con materiales ajenos a ellos a causa de los buenos propósitos hidráulicos de control de flujo y drenaje, empinados, ramificados, y alterados de manera que decrece su función y estabilidad natural (Crandall, 1992).

En México, la diversidad orográfica ha favorecido la existencia de los ecosistemas ribereños, identificándose alrededor de 172 grandes ríos perennes que transportan un promedio de 375 billones de metros cúbicos de agua anualmente. Sin embargo, muchas áreas de ribera del país han sufrido diversos grados de disturbio, resultando en la pérdida de vegetación natural, volumen y calidad del agua (Solís-Garza *et al.*, 1993).

La pérdida de cuerpos de agua en la República Mexicana es un hecho incontrovertible y lamentable que aumenta la desertificación. El mantener los cuerpos de agua es producto de la sinergia entre bioma, clima y manantiales o arroyos; para ello basta mencionar que la humedad guardada en el suelo cercano a las riberas se drena lentamente aguas abajo y se mantiene por las poblaciones vegetales (USDA, 1994 en Gómez-Tagle, 1997). Sin embargo, la vegetación ribereña disminuye por el pastoreo, perforación de pozos, construcción de canales, entubamiento de manantiales y ríos (Figura 1; Solís-Garza *et al.*, 1993).

En pleno siglo XXI, persiste el gran desconocimiento de la importancia, el manejo y la sostenibilidad de los ecosistemas ribereños. Ni siquiera se conoce la superficie total que ocupan y lo que significan cuantitativamente en términos ecológicos y económicos para el país, a pesar de ser zonas federales y estar considerados como zonas de reservas permanentes en la Ley de Aguas Nacionales (Zepeda, 1999).



Figura 1. Disturbios en los arroyos. a) sobrepastoreo en las márgenes de las riberas; b) sobrepastoreo sobre el lecho del cauce; c) tala de árboles, incendio y cambio de uso del suelo como son tabiqueras; d) contaminación del agua.

Abordar la crisis del agua en México es tarea de gran complejidad, que exige superar los enfoques tradicionales y explorar nuevos planteamientos interdisciplinarios. Se necesita un nuevo pensamiento colectivo, abocado a la revisión y exploración de políticas públicas y la identificación de un conjunto de vías prácticas de solución (CEPAL, 2000). Además, es necesario rebasar el ámbito estricto de la investigación, pura o aplicada, para tender puentes de diálogo entre los diversos actores que intervienen en el problema y que pueden ser parte de la solución. La superación de la crisis del agua en nuestro país no depende tan sólo de voluntad política; sino de la progresiva construcción de consensos basados en el más sólido conocimiento de nuestra realidad ambiental, económica y social (Zepeda, 2002).

II. MARCO TEÓRICO

La cuenca hidrográfica es la unidad natural que contiene un cúmulo de componentes que interactúan como un sistema, es decir, sus entradas y salidas tanto de agua como de energía dependen de los componentes naturales como clima, topografía, suelo, vegetación, fauna; y de los componentes no naturales como el uso del suelo y el desarrollo de la comunidad humana (Gómez-Tagle, 2004; Dourojeanni *et al.*, 2002; Henao, 1988).

2.1 Morfometría

La caracterización morfométrica de una cuenca es la estimación de la forma y sus dimensiones, ya que no es un ente plano y posee tamaños a lo largo, ancho y profundidad. Por ello, es importante determinar algunas de las variables morfométricas básicas como el área, perímetro y longitud axial, al igual que su configuración por medio de índices que relacionan el movimiento del agua y la respuesta a tal movimiento (Henao, 1988). Además, ofrece la posibilidad de comparar las cuencas de tamaño, localización y características geológicas similares. Por ejemplo, el índice de compactidad (K) representa la compactación de la cuenca, que es la relación entre el perímetro de la cuenca y el de un círculo de la misma superficie; el factor de forma (Ff), expresa la relación entre el ancho promedio de la cuenca y la longitud del eje mas largo; el índice de forma (If), es la relación entre el área de la cuenca y la longitud axial medida como el eje más largo de la misma y, la relación de elongación (Re), es la expresión del diámetro de un círculo de igual área que la cuenca y la longitud axial de ésta (Gómez-Tagle, 2005; Henao, 1988).

2.2 Arroyos de Montaña

Los pequeños arroyos de montaña (en su mayoría de primer a tercer orden) constituyen la base de los sistemas de drenaje de las cuencas, además ocupan la mayor superficie del área de drenaje y son los que aportan la mayor cantidad de agua para la

formación de los grandes ríos (Cumins y Spengler, 1982). Para el funcionamiento normal de un arroyo es necesario que se mantenga un corredor de vegetación natural a lo largo de este, lo cual permite una baja iluminación y un ambiente fresco durante los meses cálidos, evitando pérdidas por evaporación y garantizando buena calidad de hábitat para la fauna silvestre (González, 1996).

Un río está definido por su grado y secuencia de unión en donde el tributario más pequeño sin brazos en las fuentes es designado de primer orden, cuando solo tiene tributarios de orden uno es llamado de segundo orden, un río de tercer orden es aquel en el que todos los tributarios son de segundo orden o menores (Leopold, 2002). El flujo de corriente de los tributarios será efímero, intermitente o permanente (perenne) dependiendo de la geología, geomorfología y cobertura arbórea del área ribereña (Zepeda, 2002). La densidad de corrientes determina la eficiencia del drenaje que se ha establecido en la cuenca, y la relación de bifurcación (R_b) expresa la cantidad de corrientes en función del número inmediato superior (Gómez-Tagle, 2005; Henao, 1988).

Un arroyo estable se caracteriza por tener la capacidad de mantener una constante en el transporte de su descarga de sedimentos (tipo y tamaño) asociados a deposición y lavado local, desarrollando una dimensión y un perfil transversal; si estas características son mantenidas el sistema ribereño se conservará. La estabilidad de un río es lograda cuando éste mantiene constante su índice ancho/profundo y el ancho del banco de orilla aunque presente migración lateral, sin embargo siempre será considerado un sistema “activo” y “dinámico”. Por el contrario, la inestabilidad del cauce ocurre cuando el proceso de lavado promueve la degradación o la depositación de sedimento excesivo resultando en la “agradación” (Rosgen, 1996).

El *perfil longitudinal* del río corre del parteaguas hacia aguas abajo, éste es equivalente al sitio de muestreo y permite conocer la pendiente de la superficie del agua y el índice de sinuosidad, comprende tres secciones transversales. Una *sección transversal* se entiende como el corte del cauce transversalmente y es la base para concebir mediciones fundamentales que determinan su morfología, cada sección tiene dos bancos de orilla. El *banco de orilla* es la proporción de suelo que se mantiene húmedo por estar en contacto permanente con el espejo de agua y se define por

indicadores como: el cambio en la vegetación (especialmente bajo el límite de especies perennes), el cambio en el tamaño de partículas del material del banco (como la línea divisoria entre los conglomerados o la grava con arena fina o arcilla), el quiebre de la pendiente a lo largo de los flancos que limita el banco del plano de inundación (al que corresponden la *huella mínima y máxima*), entre otros (Harrelson *et al.*, 1994).

Las condiciones del cauce como la morfología del lecho (anchura, profundidad y pendiente), la hidrología (velocidad de corriente) y el sustrato (granulometría, macrófitos) conforman el entorno físico en el cual se desarrollan las comunidades acuáticas. Estos factores son trascendentales para la definición de la calidad potencial de un tramo fluvial y del ecosistema ribereño condicionando así, la capacidad de laminación de avenidas que inciden muy directamente sobre la autodepuración fluvial y la diversidad de hábitats florísticos y faunísticos. La estructura y rugosidad del sustrato del lecho son factores estrechamente relacionados que determinan la aptitud del río para dar sustento a la vida acuática y que incide sobre las características hidráulicas del cauce definiendo algunas propiedades de microhábitat, como la presencia de flujo intersticial que afectan especialmente a los peces (C.H.E., 2002; Rosgen, 1996).

A lo largo de los sistemas fluviales se dan importantes interacciones entre la tierra y el agua, que se refleja en la entrada de materia orgánica por la captación, filtración de sedimentos y remoción de nutrientes, lo que favorece el tratamiento final de las aguas mejorando su calidad, el control del flujo y las inundaciones (Colby, 1990 en Crandall, 1992). La velocidad de corriente ejerce un estrés mecánico sobre la biota, no obstante ésta turbulencia proporciona nutrientes, ayuda al intercambio de gases y eliminación de detritos; lo cual es fundamental para mantener diversos microambientes en donde las comunidades acuáticas se pueden establecer además de que determina su composición, la división de zonas de ribera y terrenos aluviales, que constituye el tipo morfológico de un arroyo (Cumins y Spengler, 1982).

2.3 Ecosistemas Ribereños

El ambiente ribereño es el ecosistema natural que limita los márgenes fluviales, esta zona esta ocupada por formaciones arbustivas y arbóreas que conforman el bosque de ribera que depende de la geomorfología de la cuenca. Estos ecosistemas presentan

alta sensibilidad a la degradación y son el reflejo de procesos que ocurren en la cuenca que los rodea (DeBano y Schmidt, 1989), de tal manera que permiten identificar de forma rápida y confiable el estado de salud de las partes que la componen (Zepeda *et al.*, 2002).

En la actualidad se considera importante la conservación y restauración del ecosistema ribereño por su función contra la erosión, regula los efectos de avenidas (control del flujo e inundaciones) en suelos permeables y bajo coeficiente de escorrentía (dispersa, amortigua flujo y sedimento), es filtro verde (favorece la depuración del agua); sus suelos almacenan agua y la liberan lentamente manteniendo el flujo perenne de alta calidad. Esto significa el mantenimiento del hábitat durante todo el año para muchas especies de peces y de flora acuática y terrestre, siendo reservorio natural de germoplasma nativo y corredor biológico (C.H.E., 2002; González, 1996; DeBano y Schmidt, 1989).

El suelo de ribera posee ciertas propiedades físicas (densidad aparente, densidad real y tipo textural) y químicas (contenido de carbono orgánico) que mantienen el óptimo funcionamiento del ecosistema ribereño. El color ayuda a inferir propiedades fisicoquímicas y biológicas de la relación suelo-planta (Aguilera, 1989), además el oscurecimiento de la superficie del suelo disminuye el albedo en relación con el contenido de materia orgánica, incidiendo sobre las propiedades térmicas del mismo. Las funciones del suelo se ven directamente afectadas por la cantidad y la calidad de la materia orgánica que contiene. Por ello, la materia orgánica es un constituyente y un indicador de la calidad del suelo (Porta *et al.*, 2003), su importancia radica en el hecho de que influye en múltiples propiedades de los suelos como la porosidad, aireación y la infiltración, que a su vez dependen de las proporciones relativas de arena, limo y arcilla (Aguilera, 1989).

III. ANTECEDENTES

Durante el siglo XIX y principios del siglo XX, comenzaron las grandes transformaciones hidráulicas en el mundo, con el fin de obtener energía hidroeléctrica o abastecer de agua a poblaciones. Pero es a finales del siglo XX, cuando surgen los primeros trabajos con enfoque biológico como los primeros tratados de Ecología Fluvial y la creación de metodologías para la evaluación de ríos y arroyos (González y García, 1998).

3.1 Estudios de componentes del ecosistema ribereño y sus disturbios

Brook (1985) estudió los suelos de la zona ribereña en la porción superior de la cuenca del Río Gila y clasificó como *Torrifluvents* a los suelos que soportan árboles y como *Haplustolls* a los encontrados en sitios más estables, ambos presentaron textura granular y baja capacidad para retener agua como características dominantes. Harris (1986) analizó la distribución de la vegetación ribereña a diferentes altitudes con respecto al centro del arroyo, y encontró que las especies de plantas presentes en la ribera se desarrollan a determinada elevación con respecto a la parte central del arroyo, habiendo una correlación entre la frecuencia de aparición y la cobertura de la especie. Señala que probablemente este modelo de distribución este determinado por la tolerancia de cada especie a cierta frecuencia de inundación. Phillips (1988) integra ambos conceptos en su estudio y encontró que las áreas de ribera tienen una elevada capacidad de retención de sedimentos (29 al 93%) al tener una pendiente poco pronunciada y suelos muy permeables por la presencia de vegetación y residuos sobre el suelo provocando la disminución de la velocidad de las aguas considerablemente. Sin embargo, la evaluación del estado ecológico se incorpora cada vez más a proyectos gubernamentales como en el caso de España, en donde la Comisaría de Aguas de la Confederación Hidrográfica del Ebro (C.H.E., 2002) evaluó el río Cinca y cuatro de sus principales afluentes utilizando parámetros hidromorfológicos (variación de la profundidad, anchura, estructura y sustrato del lecho), fisicoquímicos (calidad visual del agua) y biológicos (características del hábitat para la vida acuática y fauna ribereña) en distintos tramos del río.

Debido a la tendencia que existe de asentar poblaciones cerca de las riberas, se generan disturbios que DeBano y Schmidt (1989) los consideran como perturbaciones a gran escala (sobrepastoreo, extracción de madera y construcción de carreteras) en las cuencas y sus áreas ribereñas que se asocian al aumento creciente de las demandas de agua; lo que fue durante el siglo XIX, la causa de su degradación de muchas zonas naturales en el suroeste de los Estados Unidos. Además, las prácticas agrícolas que fueron y están siendo implementadas no son diseñadas para las áreas de ribera, por lo que se ven afectadas todas las propiedades de amortiguamiento como la estabilidad del ecosistema y el régimen hidrológico (la duración de la corriente que va moderando los picos de flujo con lo cual se puede reducir la erosión). Aproximadamente una década después, McInnis y McIver (2001) probaron la hipótesis de que se aminoran los impactos negativos del pastoreo en la cobertura y estabilidad de los bancos al suministrar sal de minerales traza y agua al ganado fuera del área de la corriente en comparación con potreros carentes de estas prácticas de manejo y por lo tanto, reducir el potencial de una erosión acelerada. Tomando estimaciones de la cobertura del banco de orilla y midiendo la frecuencia de huellas de pezuñas de ganado como indicador de la presencia del ganado en la línea verde.

3.2 Metodologías de diagnóstico y monitoreo de ríos

No solo bastó la generación de conocimiento de los elementos ecosistémicos en un tiempo dado, sino que también se vieron en la necesidad de proponer métodos de análisis del comportamiento de los ríos como fue el caso de Crouse y Kindschy (1981), quienes proponen un método para predecir el potencial basado en las características físicas del arroyo y los reservorios en las zonas ribereñas deforestados en climas semiáridos. Entre los parámetros que se emplearon estuvieron: el grado de fluctuación en el nivel del agua, persistencia del flujo, el recorrido y tipo de suelo. En el año 1994, Harrelson *et al.* crearon una guía para establecer sitios permanentes de referencia para reunir datos de arroyos y ríos, presentando un compendio de diversas técnicas publicadas en un sencillo manual de campo. El uso de estas técnicas proporciona información necesaria para cuantificar los caracteres físicos existentes de un cauce de arroyo. Asimismo, en este mismo año, Rosgen desarrolló una metodología que toma parámetros característicos de la morfología y la composición de cauces, para clasificar los arroyos de acuerdo a diferentes combinaciones de intervalos de pendiente, material

del lecho predominante, sinuosidad, relación ancho-profundidad y atrincheramiento del cauce, expresándolo en un solo parámetro denominado “tipo morfológico de cauce”. Esta clasificación es una herramienta que ayuda a predecir el comportamiento de los ríos desde su apariencia, compara datos de un sitio específico de un tramo dado con datos de otro tramo de características similares y además, esta técnica es un sistema consistente y reproducible de comunicación para el estudio de ríos en una variedad de disciplinas. En su sistema de clasificación, describe ocho tipos principales: A, B, C, D, E, F, G y DA, los cuales, en condiciones naturales, se desarrollan en terrenos con diferente geoforma, materiales y pendiente general. En condiciones de disturbio estas relaciones se modifican por el proceso de erosión acelerada de bancos de orilla o la excesiva acumulación de sedimentos, por lo que en el presente estudio se utilizó ésta metodología como indicador de conservación entre la forma de cada sección transversal del río evaluada y las características del terreno (pendiente y geoforma).

Durante el año 2006, Price y Leigh estudiaron el efecto del clareo forestal a causa de la agricultura intensiva o áreas urbanas en las montañas Blue Ridge, utilizando las respuestas morfológicas y sedimentológicas de arroyos de diferentes impactos. Este estudio indicó que el método utilizado es apropiado para determinar sedimentología en el lecho del arroyo porque dependiendo al impacto humano en el arroyo es el porcentaje de partículas de las cascadas separadas del lecho.

El conocimiento integral de los ríos en espacio y tiempo, da las bases para poder concebir planes de manejo, o al menos observar las diferencias en su comportamiento como fue el caso de Guifang *et al.* (2006) que evaluaron los cambios del lecho a consecuencia de la erosión del cauce y la agradación a lo largo del Río Yangtze, basándose en las descargas diarias a largo plazo y la concentración de sedimentos suspendidos registrados en una serie de estaciones de monitoreo, enfocándose en la intensidad de las actividades antropogénicas.

3.3 Aportaciones de investigaciones nacionales

En México, los estudios relacionados con las redes hidrográficas se han enfocado principalmente al interés de la ingeniería hidráulica dejando relegado el enfoque biológico y es en años recientes, se aborda el punto de vista biológico, por ejemplo

Medina *et al.* (1994) emplearon la calidad y cantidad de agua, vegetación ribereña, tipos de canales y sistemas acuáticos para reconocer causas de disturbios en la cuenca Tapalpa, Jalisco, así mismo consideraron la importancia del ecosistema ribereño, efectos acumulativos del pastoreo, extracción de madera y construcción de caminos para el manejo de las cuencas. Además Chávez-Huerta *et al.* (1995) identificaron ocho asociaciones vegetales de la ribera del arroyo con base al método de agrupación. En el mismo año, Espinosa *et al.* clasificaron los canales de la cuenca desde el punto de vista morfológico, encontrando que los cauces son principalmente de tipo A (confinados, con poca relación ancho-profundidad, poco sinuosos y con pendientes superiores al 2%).

Zepeda *et al.* (2002) generaron una metodología para la evaluación de ecosistemas ribereños en zonas templadas, basada en indicadores construidos a partir de los componentes estructurales de dichos ecosistemas. Este método detecta las diferencias espaciales de la condición ecológica de arroyos, por lo que es una herramienta útil para el diagnóstico y monitoreo de las redes fluviales y sus cuencas.

En cuanto a lo que corresponde al área de interés de este estudio, podríamos decir que el cuerpo de agua relacionado directamente con la descarga de la subcuenca, Chacón *et al.* (2000) estudiaron la relación de las variables ambientales que causan el efecto de la hipereutroficación en el lago de Cuítzeo con la calidad del agua, su productividad y la mortandad de peces; además consideraron los resultados de un estudio del deterioro de la calidad del agua realizado de 1980 a 1993 en él. Actualmente, sufre desecaciones más frecuentes, debido a los cambios que han ocurrido en el interior de la cuenca, que provocan el azolvamiento prematuro, inundaciones y la falta permanente del recurso hídrico, importante para la recarga del manto acuífero en explotación.

En una perspectiva histórica de la cuenca de Cuítzeo, podemos decir que desde la fundación de la vieja Valladolid en 1541, ahora la Ciudad de Morelia, el aprovisionamiento de agua se realizó mediante un acueducto que surtió por décadas a la capital de Michoacán, en ese entonces nadie pensaba que había una relación muy estrecha entre la captación pluvial y la aparición de ojos de agua y manantiales de montaña (González, 1981). Este concepto no ligó cuantitativamente el estado de los bosques, los suelos forestales, el cambio del uso del suelo y el sobrepastoreo, con el

aprovisionamiento de agua para las poblaciones. Durante la época de independencia y revolución, hubo un reparto agrario que respondió a necesidades sociales, el resultado fue repartir la tierra de las haciendas o latifundios en pequeños ejidos y propiedades productoras de granos para la alimentación humana, sin tomar en cuenta las zonas para el aprovisionamiento de agua (Gómez-Tagle, 2004).

Actualmente, para desarrollar sustentablemente la cuenca de Cuítzeo e impedir una degradación mayor es indispensable contar con una información objetiva, actualizada, cuantitativa e integrada (Gómez-Tagle, 2004). Con base en lo anterior y teniendo en cuenta que existe escasa información ambiental de las cuencas, este trabajo pretende clasificar morfológicamente los ríos empleando parámetros ambientales de la zona ribereña, constituyendo indicadores importantes de obtención rápida, y las propiedades físicas y químicas del suelo de ribera, para así generar y validar técnicas que ayuden a conservar y monitorear la subcuenca de Mil Cumbres, Michoacán.

IV. HIPÓTESIS

Mediante la medición de los componentes estructurales del ecosistema ribereño, incluyendo las propiedades del suelo de ribera y la morfología de arroyos, es posible diagnosticar la situación actual de las áreas de ribera para crear un plan de manejo capaz de lograr una administración sustentable de la subcuenca de Mil Cumbres (Río Grande).

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Diagnosticar las condiciones en que se encuentra el ecosistema ribereño en la red hidrológica de la subcuenca Mil Cumbres (Río Grande) en la cuenca de Cuítzeo, Michoacán, a partir de la morfología y características edáficas de los arroyos y del área ribereña.

5.2 Objetivos Particulares

- a) Conocer la morfometría de la subcuenca
- b) Caracterizar la red hidrológica con base en las propiedades de los arroyos y ríos de montaña.
- c) Cuantificar las principales propiedades de suelos de ribera que pueden guardar relación con la red hidrológica de la subcuenca.
- d) Conocer la diversidad morfológica de la red hidrológica de la subcuenca Mil Cumbres.
- e) Determinar la salud del área ribereña de la subcuenca considerando sus componentes estructurales como son vegetación, suelo, agua y diversos impactos.

V. ÁREA DE ESTUDIO

5.1 Ubicación Geográfica

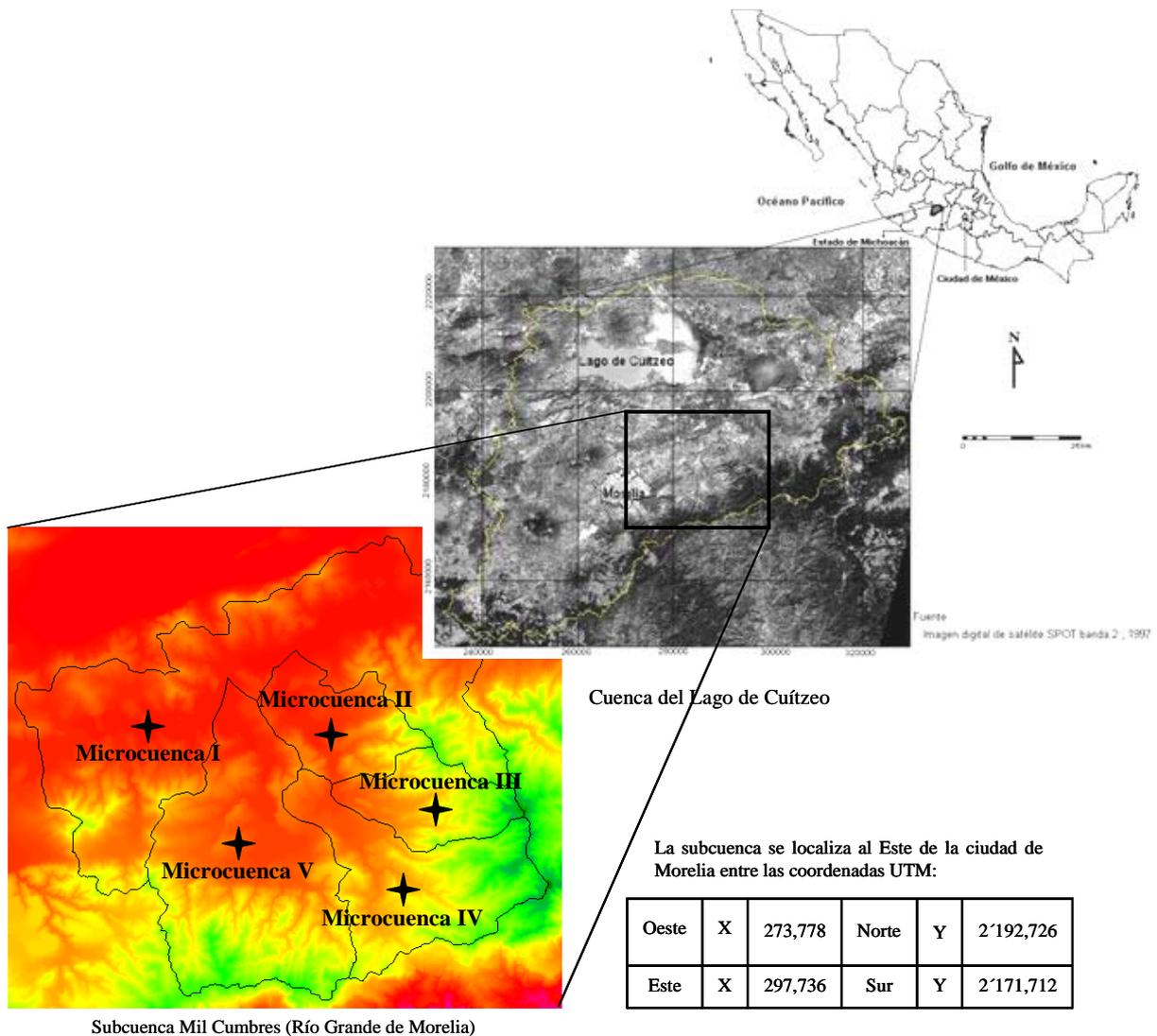


Figura 2. Localización geográfica de la Subcuenca Mil Cumbres en la cuenca de Cuicatlan, Michoacán

La subcuenca Mil Cumbres (Río Grande) ocupa una superficie de 31,136 ha y de perímetro 88.3 Km, que corresponden a las poblaciones de Lázaro Cárdenas, Jaripeo, Irapeo, Zurumbeneo, Francisco I. Madero, Charo y Atapaneco; limita al Norte con el municipio de Álvaro Obregón, al Este con Queréndaro e Indaparapeo, al Sur con la zona de Mil Cumbres y Tzitzio, al Oeste con Jesús del Monte (INEGI, 1998). Mil Cumbres se subdivide en cinco microcuencas: I. Río Grande, II. Vado Blanco-Lobera, III. Tijeras-Jagüey, IV. Vaquerito-Zurumbeneo y V. Rile-Varas Cenizas (Figura 2).

La subcuenca de Mil Cumbres pertenece a la cuenca endorreica del lago de Cuitzeo que ocupa una superficie de 3,675 km² y posee un volumen de escurrimiento de 332 millones de m³ incluidos en los estados de Michoacán y Guanajuato, se encuentra dentro de la Región Hidrológica Lerma-Chapala (López *et al.*, 2002).

5.2 Geología y geomorfología de la cuenca de Cuitzeo

La cuenca se desarrolla sobre materiales volcánicos de composición intermedia a básica de edad reciente (del Cenozoico Superior). El paisaje de esta región está conformado por colinas, lomeríos altos y planicies, es decir, es relativamente plana y con poca amplitud de relieve, se desarrolla sobre estructuras volcánicas, como son los conos cineríticos, aparatos volcánicos complejos, domos riolíticos y andesíticos, coladas de lava y depósitos piroclásticos (López *et al.*, 2002). El desarrollo natural de los procesos geomorfológicos superficiales ha sido incipiente, pero recientemente los procesos erosivos están siendo acelerados por las actividades humanas. Las formas de relieve mejor distribuidas en la zona de la cuenca del lago de Cuitzeo son: colinas (23.6%), lomeríos altos (22.5%), planicies (18.6%) y lomeríos bajos (9.7%); el porcentaje restante corresponde a otras formas menores de las unidades del relieve (López *et al.*, 2002).

Las zonas lacustres están relacionadas a una serie de eventos tectónicos y volcánicos relativamente recientes. Algunas de ellas han evolucionado desde la creación de las cuencas lacustres, pasando por su relleno y azolve, tal vez con subsidencia del terreno, hasta su desecación actual, un claro ejemplo es Cuitzeo, que actualmente es un lago que ha llegado a su colmatación sedimentaria y que recientemente ha sido desecado en forma artificial. La actividad tectónica de esta provincia en el Norte de Michoacán es de tipo vertical diferencial con fallamiento cortical y escalonado, y es la responsable de la formación del lago de Cuitzeo. En la parte sur de la depresión del lago de Cuitzeo hay una falla regional de tipo normal, con tendencia Este-Oeste, a la que parece que están ligadas las manifestaciones hidrotermales más importantes del área oriental del lago de Cuitzeo y localidades de Araró-Estación Queréndaro (INEGI, 1985).

5.3 Hidrología e hidrografía de la cuenca de Cuítzeo

El lago de Cuítzeo (Figura 3), segundo lago más grande en México, es una cuenca cerrada, sin embargo, se considera como una subcuenca del río Lerma, debido a que se une por medio de canales que comunican al Lago de Cuitzeo con el de Yuriria, y éste con el río Lerma (INEGI, 1985). El lago de Cuítzeo se localiza a una altura de 1,820 msnm, su tirante disminuye considerablemente durante la época de secas. Su fauna piscícola nativa y su alta productividad lo identifican como un recurso de valor nacional. Sin embargo, los efectos del deterioro ecológico y la sobreexplotación han generado la pérdida de biodiversidad y el decremento de captura de peces.

El lago es alimentado por el Río Grande de Morelia, entra al lago por la parte Sur, y por el Río Queréndaro, el cual entra al lago por la parte Este. La presa de Coíntzio, creada en 1940, retiene mucha del agua del Río Grande de Morelia, y mucha del agua del Río de Queréndaro es canalizada para el riego (Figura 4). Lo que provoca que el lago de Cuítzeo solo reciba una tercera parte de la descarga formada desde arroyos tributarios. En 1950, sus escurrimientos medios anuales virgenes llegaban a 332 millones de m³. Recibe aportaciones de arroyos intermitentes y manantiales, inclusive termales (Chacón, 2000).



Figura 3. Vista panorámica del lago de Cuítzeo

El río Grande de Morelia nace donde se unen los ríos Tirio y Tiripetío y corre con dirección general de Suroeste a Noreste hasta desembocar en el lago de Cuitzeo. Los afluentes del río Grande son: Chiquito, Charo y San Marcos. 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. En las zonas de Morelia y Queréndaro se sobreexplotan casi 150 millones de metros cúbicos que se extraen anualmente de acuíferos ubicados en basaltos y sedimentos terciarios, mediante pozos y norias, así como los ríos y el lago. Las recargas más importantes se localizan en las sierras donde las rocas tienden a ser permeables y a facilitar la infiltración, que particularmente corresponden al Sistema Neovolcánico Transversal.

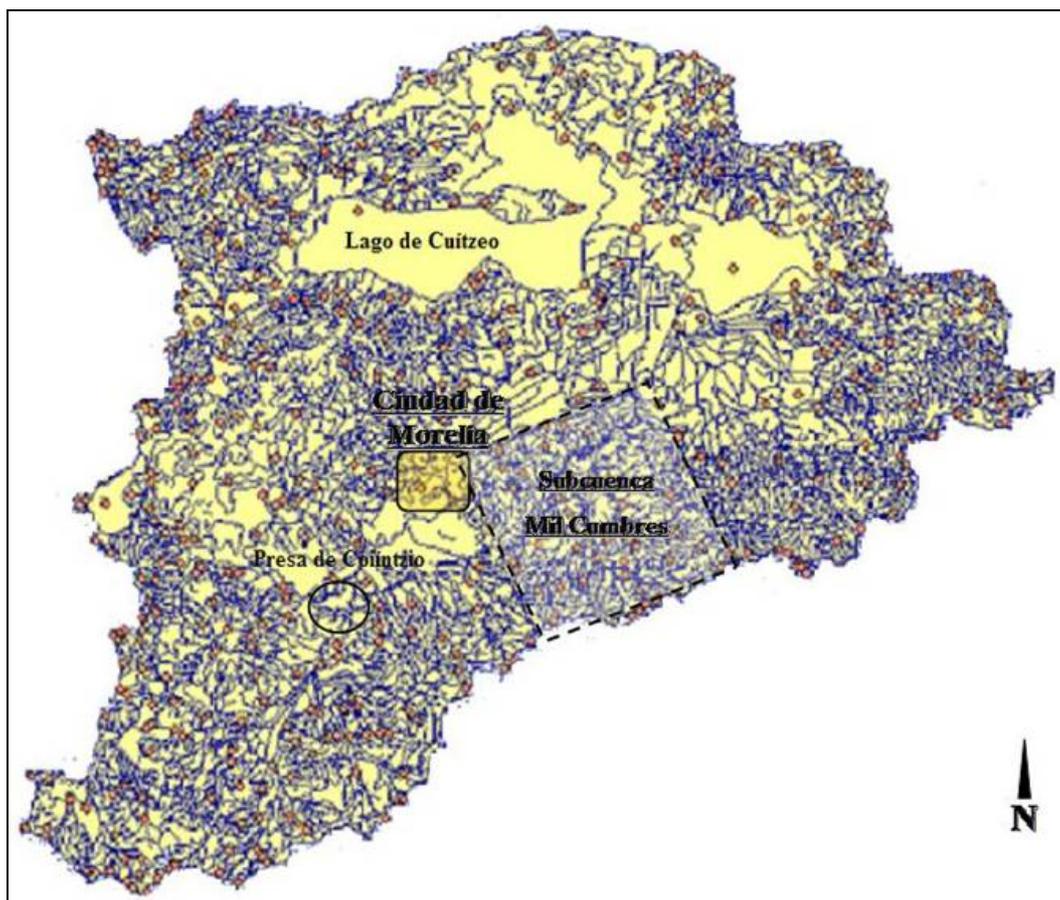


Figura 4. Hidrología de la cuenca de Cuitzeo junto con la red de canales de riego. Ubicación de la ciudad de Morelia, la presa de Coíntzio y la subcuenca Mil Cumbres (INEGI, 1995).

5.4 Clima

De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por García (1973), para el municipio de Morelia, el clima es Cwo (w) b(i')g, templado con lluvias en verano, con lluvias invernales inferiores a 5% con respecto a la anual; se caracteriza por tener verano fresco y largo, la temperatura del mes más cálido es inferior a 22 °C, el mes más caluroso se presenta antes de junio (antes del solsticio de verano), con oscilación

térmica entre 5 y 7°C. La precipitación se incrementa desde el norte hacia el sur, mientras que la temperatura asciende en sentido inverso. La distribución espacial de estos parámetros indica que el área de estudio se ubica en una zona transicional, entre los climas templado-secos a templado-húmedos, con una precipitación promedio anual menor de 1,000 mm y una temperatura media de 15°C.

5.5 Edafología

En la cuenca del lago de Cuitzeo, los suelos que se desarrollan sobre materiales volcánicos de composición intermedia a básica de edad reciente, son de textura predominantemente fina, como Vertisoles, Luvisoles, Andosoles y Acrisoles (López *et al.*, 2002). Con base en el sistema de clasificación FAO-UNESCO y tomando como referencia el Plano de Suelos del Estado de Michoacán editado por INEGI (1985), los suelos de la cuenca de Cuítzeo quedan comprendidos en 14 unidades, de las cuales las más importantes por la superficie que ocupan son: *Vertisol*, *Leptosol*, *Luvisol*, *Andosol*, *Regosol*, *Feozem* y *Acrisol*, y en menor porción, *Cambisol*, *Fluvisol*, *Solonshack* y *Gleysol*.

5.6 Vegetación

Debido al intenso uso de la tierra con propósitos agrícolas y pecuarios, hoy en día no resulta sencillo reconocer el carácter de la cubierta vegetal prístina de un lugar, de manera que hoy, la vegetación forestal está reducida a menos de la décima parte de su superficie original. La cobertura vegetal y el uso del suelo corresponden de manera predominante a matorrales, bosque de pino y pino-encino, además de cultivos (INEGI, 1985). A continuación se hará mención de las observadas en la subcuenca del río Grande:

Bosque de encino. Son bosques densos a medianamente abiertos y la mayoría caducifolios, su altura varía de 4 a 30 m, en función de la humedad disponible. Se registran *Quercus laurina* (laurelillo), acompañados muchas veces de varias especies de *Pinus sp* (pino) y *Abies religiosa* (oyamel). En altitudes entre 1,800 y 2,500 msnm, los dominantes comunes son *Q. castanea*, *Q. rugosa*, *Q. crassifolia* y *Q. obtusata*, además *Q. seytophylla*, *Q. candicans* y *Q. conspersa* prevalecen las porciones de mayor

humedad. Algunos otros árboles que a menudo forman parte de los encinares son *Alnus jorullensis* (aile), *Arbutus* spp. (madroño), *Buddleia cordata* (tepozán), *Crataegus mexicana* (manzanillo), *Pinus* spp. (pino) y *Prunus serotina* spp. *capuli* (capulín). Los bosques mixtos de *Quercus* y *Pinus* son comunes en el estado, aunque muchos posiblemente son el resultado de la influencia del hombre (INEGI, 1985).

Bosque de coníferas. El bosque de oyamel (*Abies religiosa*) restringe su distribución a las partes superiores de algunos de los cerros más altos de la Faja Volcánica Transmexicana, entre 2,700 y 3,500 msnm, donde la precipitación anual en promedio es superior a 1,000 mm. Mide de 20 a 30 m de alto, y se presenta en forma de masas puras o casi puras. Otras veces incluye como acompañantes a *Alnus jorullensis* (aile), *Arbutus* spp. (madroño), *Cupressus lusitanica* (cedro blanco), a algunas especies de pino (*Pinus*) y de encino (*Quercus*), con frecuencia a *Salix paradoxa* (guajote). En contraste, los bosques de pino se extienden sobre el Sistema Volcánico Transversal como en la Sierra Madre del Sur. Su tolerancia ecológica global es similar a la de los encinares, excepto que el pinar asciende hasta 3,850 msnm, que es la altitud máxima del estado. Suele presentarse en forma de una comunidad moderadamente densa, por lo general de 10 a 25 m de alto. En elevaciones de entre 2,600 y 3,000 msnm, predomina con frecuencia *Pinus pseudostrobus*, mientras que en elevaciones de 2,000 a 2,600 m en el Sistema Volcánico Transversal, la especie más abundante es *Pinus leiophylla* (INEGI, 1985).

V. METODOLOGÍA

5.1 Delimitación del área de estudio

Para la ubicación del área, funciones e interacciones que ocurren en la subcuenca, se utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG) (Gómez-Tagle, 2001; Domínguez *et al.*, 1998). Se utilizaron cartas topográficas y ortofotografías digitales, además de cartas temáticas de geología, edafología de Cuítzeo, Morelia, Zinapécuaro y Tzitzio. INEGI (1998). Además de la carta de hidrología superficial de Morelia esc. 1:250,000 de Morelia y conjuntos de archivos vectoriales digitales de 1995, donde se incluyeron los temas: curvas de nivel, hidrología de polígonos, hidrología lineal, vías de transporte, nombres. Los datos se analizaron con: Idrisi v.32, ArcView v.3.2 (SIG), CartaLinx v.1 (construcción de mapas) y Surfer v.8 (modelación de terreno).

5.1.1 Elaboración de mapa base de trabajo

La zona de estudio se delimitó trazando una línea divisoria por las partes de mayor elevación (parteaguas) en CartaLinx v.1, tomando como base las cuatro cartas topográficas digitales esc. 1:50,000 georeferenciadas y unidas en Idrisi v.32; de acuerdo con el criterio de cuencas hidrográficas de Gómez-Tagle, 2004 y Henao, 1988 (Figura 5).

Las cartas digitales se transformaron las cartas digitales a formato *.bil en CartaLinx v.1 y se georeferenciaron. Los niveles de escala fueron en función a la morfometría que dependió de la subcuenca para *la definición de las microcuencas*. Fue necesario tener un criterio para la subdivisión de la subcuenca, este fue tomar los ríos de cuarto a quinto orden como cauces principales para definir cada una de las microcuencas debido a la gran extensión de la subcuenca. Además de concatenar las ortofotografías de la zona de estudiar para ver el tipo de uso de suelo (Figura 6).

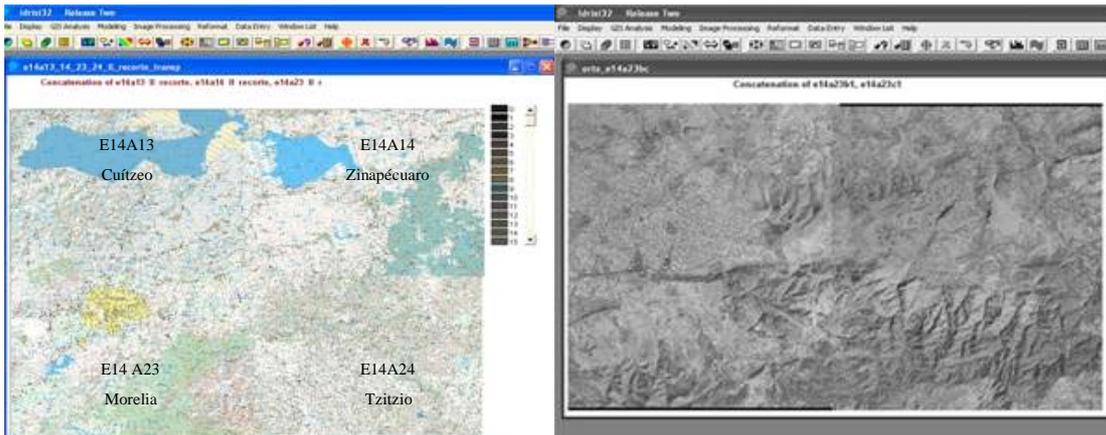


Figura 5. Concatenación de cartas topográficas digitales esc. 1:50,000 en Idrisi v.32.

Figura 6. Ortofotografías del área de estudio esc. 1:20,000 en Idrisi v.32.

5.1.1.1 Cuantificación del área, perímetro, ejes y variables morfométricas

Para conocer el área y perímetro de las cinco microcuencas se empleó el programa CartaLinx v.1 para construir los polígonos de cada una, teniendo como precaución verificar la correcta elaboración de sus límites. Se aplicaron a la subcuenca y a las cinco microcuencas diferentes ecuaciones morfométricas para entender su comportamiento (Gómez-Tagle, 2004; Henao, 1988).

5.1.1.2 Cuantificación sistemática de la red hidrológica

Los ríos se clasificaron de acuerdo al orden. Se contó el número total de ríos dentro de la subcuenca, además se obtuvo la sumatoria de la longitud de los ríos de cada microcuenca por el tipo de orden que representaban, en kilómetros, con la ayuda de un curvómetro. La red hidrológica se digitalizó, a partir de los archivos vectoriales de INEGI, para visualizar cauces intermitentes y permanentes de interés. Posteriormente se exportaron a Idrisi v.32 con el fin de calcular la densidad de drenaje que relaciona la cantidad de corriente en función del área para un manejo posterior.

5.1.2 Ubicación de sitios de muestreo

Las coordenadas UTM (X, Y, Z) de los sitios de muestreo se importaron a Idrisi v.32 para generar información vectorial de puntos y con esto crear una capa de datos que se sobrepuso posteriormente en otras capas de topográfica e hidrológica, en la cual

solo consideraron a los ríos naturales perennes y efímeros, excluyendo acueductos y canales de riego (Figura 7).

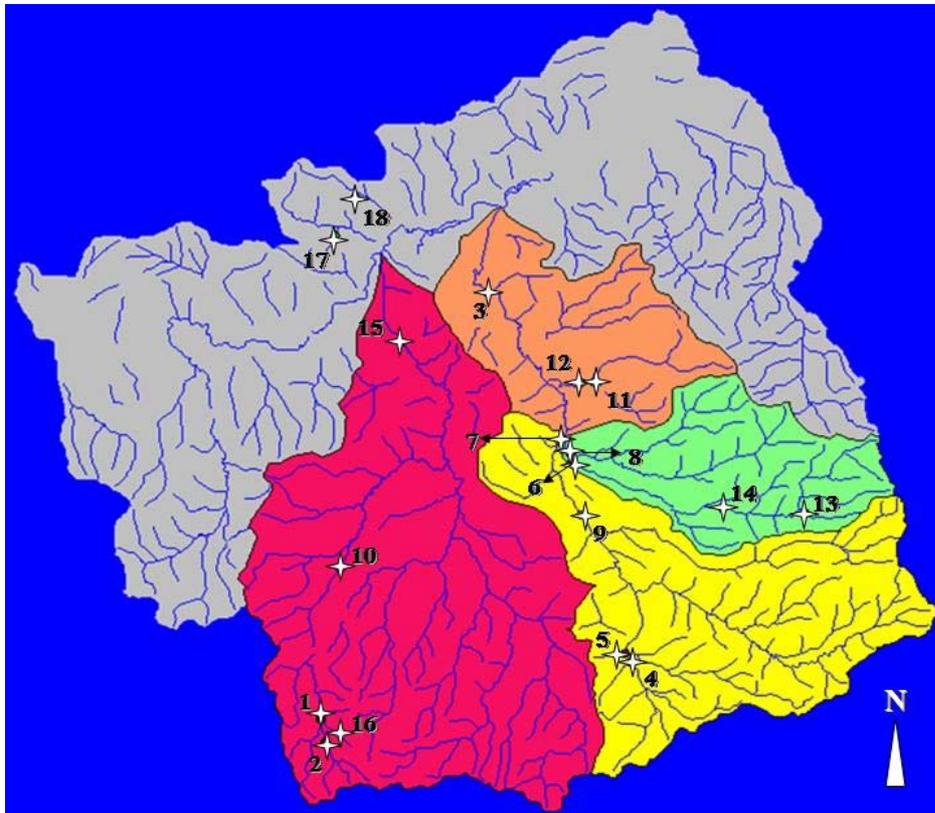


Figura 7. Ubicación de los sitios de muestreo en la red hidrológica en cada microcuenca de la subcuenca Mil Cumbres (río Grande).

5.1.3 Generación del modelo digital de elevación

El modelo digital de elevación (MDE), se construye a partir de las coordenadas (latitud, longitud y altitud) de los sitios de intersección de una cuadrícula sobrepuesta al mapa topográfico, a esc. 1: 50,000. Muchos paquetes de "software" (Surfer, ILWIS, IDRISI, ARC/info) generan automáticamente los MDE, a partir de los mapas topográficos (Gómez-Tagle, 2004; Gómez-Tagle, 2001). Se emplearon los vectoriales de curvas de nivel de INEGI, previamente procesados en ArcView 3.2 y en CartaLinx v.1. Exportados a Idrisi v.32 para obtener valores altitudinales, enseguida se interpolaron las curvas de nivel generando una matriz de triángulo entre curvas de formato *.tin; a partir de esto se creó el MDE en formato*.rst y se delimitó la zona de estudio con las coordenadas mínimas y máximas de X y Y. Para la visualización e interpretación más exacta de este MDE, se exportaron al programa Surfer v.8. Finalmente, se desplegó la superficie del MDE en 3D, para la sobreposición de capas

con información como la red hidrológica, los límites de la subcuenca y microcuencas, los sitios de muestreo para ver la relación de la red hidrológica con la topografía y el gradiente altitudinal de la subcuenca.

5.2 Muestreo

Los sitios de muestreo se ubicaron mediante un reconocimiento de campo, primero que nada tomando solo ríos naturales y, teniendo en cuenta criterios como el número de orden, la diversidad biológica y estructural, además de la accesibilidad al sitio. Se muestrearon los sitios una sola vez en época de secas. En cada microcuenca se definieron de cuatro a cinco sitios de muestreo, es decir, un sitio por cada orden y, estos debían estar sobre el eje mayor de la corriente principal, con la finalidad de poder apreciar las diferencias de magnitud del río por el cambio en su orden.

La sección transversal ubicada aguas arriba se identificó por la letra “A”, en medio “B” y aguas abajo “C”; la distancia entre cada una es veinte veces el ancho del banco de orilla del perfil “B” (Rosgen, 1996; Figura 11). Los datos obtenidos se anotan en el formato (ver anexo I). Se obtuvieron 18 sitios de muestreo en cinco microcuencas.

5.2.1 Calibración de metodología

Antes de la selección de los sitios de muestreo, se calibró la metodología que plantea Rosgen (1994) para saber la duración de la toma de medidas de los perfiles, las muestras de suelo y la caracterización del sitio; que dependió de la eficacia de la recopilación de datos y la optimización del tiempo. Además de hacer más concretos los formatos de campo para la captura de datos (ver Anexo I).

5.2.2 Aplicación de la metodología para la clasificación de los arroyos naturales de montaña

Para determinar la morfología del perfil, se ubicó la *huella máxima de inundación* (área de desbordamiento) se identificó por la presencia de vegetación inclinada o

lavada, raíces, cantos rodados, presencia de especies indicadoras de humedad seca (helechos, musgos o hepáticas) (Espinosa *et al.*, 1995; Harrelson *et al.*, 1994; Rosgen, 1994).

Posteriormente, se obtuvo la sección transversal del cauce de la siguiente manera: se tomó la profundidad del lecho a cada 20 cm (Figura 8). Se indicó la *huella mínima de inundación* y el *banco de orilla*, la primera, era el área que se anega por lo menos cada año en temporada de lluvias manteniendo un índice de humedad constante que permite la sobrevivencia de vegetación ribereña y se identifica con facilidad por el cambio repentino de pendiente (frecuentemente más plano que el resto de la sección transversal); el segundo, se localiza inmediatamente después del espejo de agua.

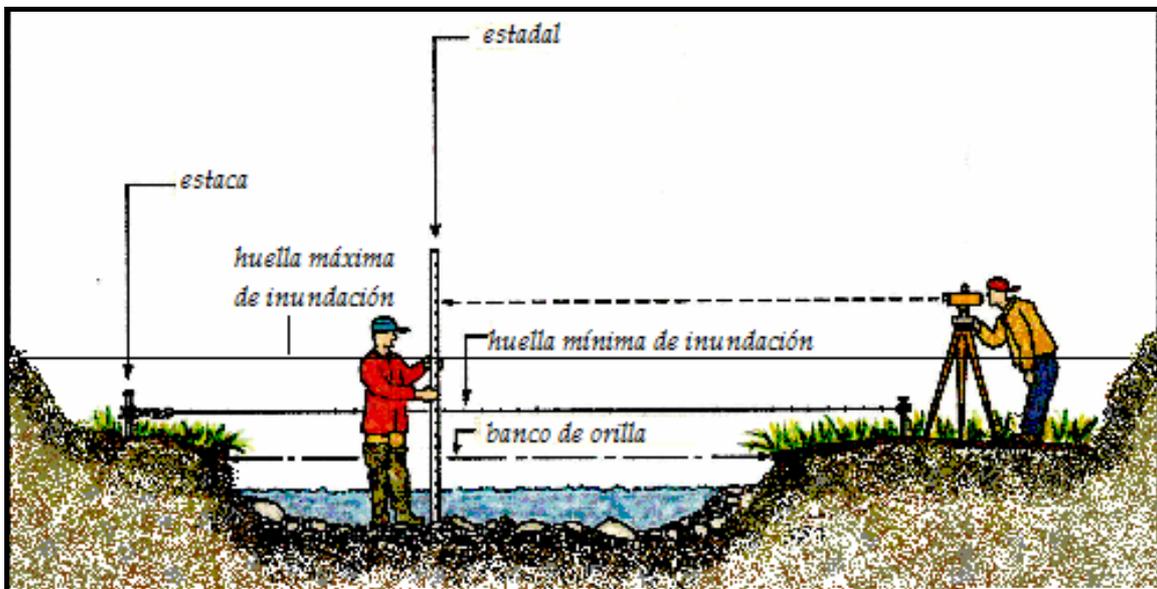


Figura 8. Sección transversal de un río (Rosgen, 1996)

7.2.2.1 Variables que comprende la metodología para clasificar los arroyos naturales empleadas por Rosgen, 1996.

- ◆ *Índice de estrechamiento*. Se definió como el contenido vertical del río, considerando el ancho del área de inundación de la superficie del cauce en el banco de orilla. Este índice está basado en una relación derivada que se obtuvo empíricamente midiendo el área de inundación y la sección transversal del banco de orilla (Figura 9). Por medio de la ecuación:

$$\text{Índice de estrechamiento} = \text{ancho del banco de orilla} / \text{ancho huella mínima}$$

- ◆ *Índice de sinuosidad.* Se obtuvo de dos distancias, la primera fue midiendo la longitud total del valle (en línea recta) desde la sección transversal A a la C. La segunda fue multiplicando dos veces la distancia en metros de la longitud del arroyo, a partir de veinte anchos del banco de orilla de la sección transversal B. Se describió como el radio de la pendiente del valle y la pendiente del canal (Figura 9). Se aplicó la siguiente ecuación:

$$\text{Índice Sinuosidad} = \text{longitud del arroyo} / \text{longitud del valle}$$

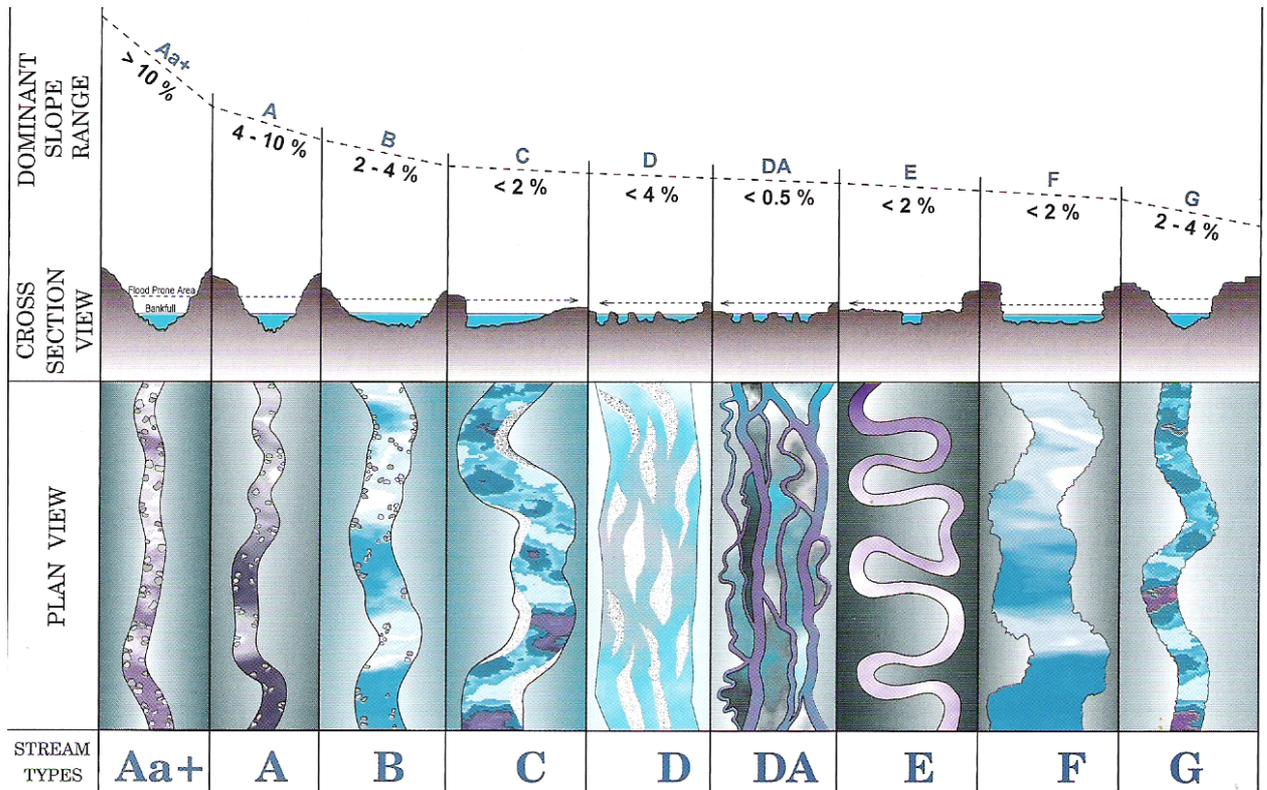


Figura 9. Vista de la sección transversal y longitudinal de un arroyo de montaña que corresponde al porcentaje de pendiente y al índice de sinuosidad de acuerdo a la clasificación morfológica (Rosgen, 1996).

- ◆ *Pendiente de la superficie del agua (%).* Se sacó con ayuda de un clinómetro y una altura definida por el estatal sobre el espejo de agua, determina la morfología del cauce, y relaciona la función hidráulica, biológica y de sedimentación. Además de que la medición del perfil longitudinal puede proveer de información de las diferentes facetas de pendiente relacionadas a la profundidad y el tamaño de la partícula para lechos característicos (Figura 9).
- ◆ *Índice de ancho-profundo (A/P).* Se tomó la distancia del ancho de la superficie del banco de orilla a la mayor profundidad del cauce. Es clave para entender la

distribución más viable de energía, la capacidad de la descarga y el movimiento de sedimento que ocurre en el cauce. Proporcionó una rápida valoración visual de la estabilidad del cauce (Figura 10). Se determinó con la ecuación:

Ind. A/P = ancho del banco de orilla/profundidad máxima del cauce

- ◆ *Material predominante del lecho.* Se determinó por medio de un aproximado en porcentaje de la presencia de limo/arcilla, arena, grava, conglomerado, brecha volcánica y/o lecho rocoso en el cauce (Figura 10).

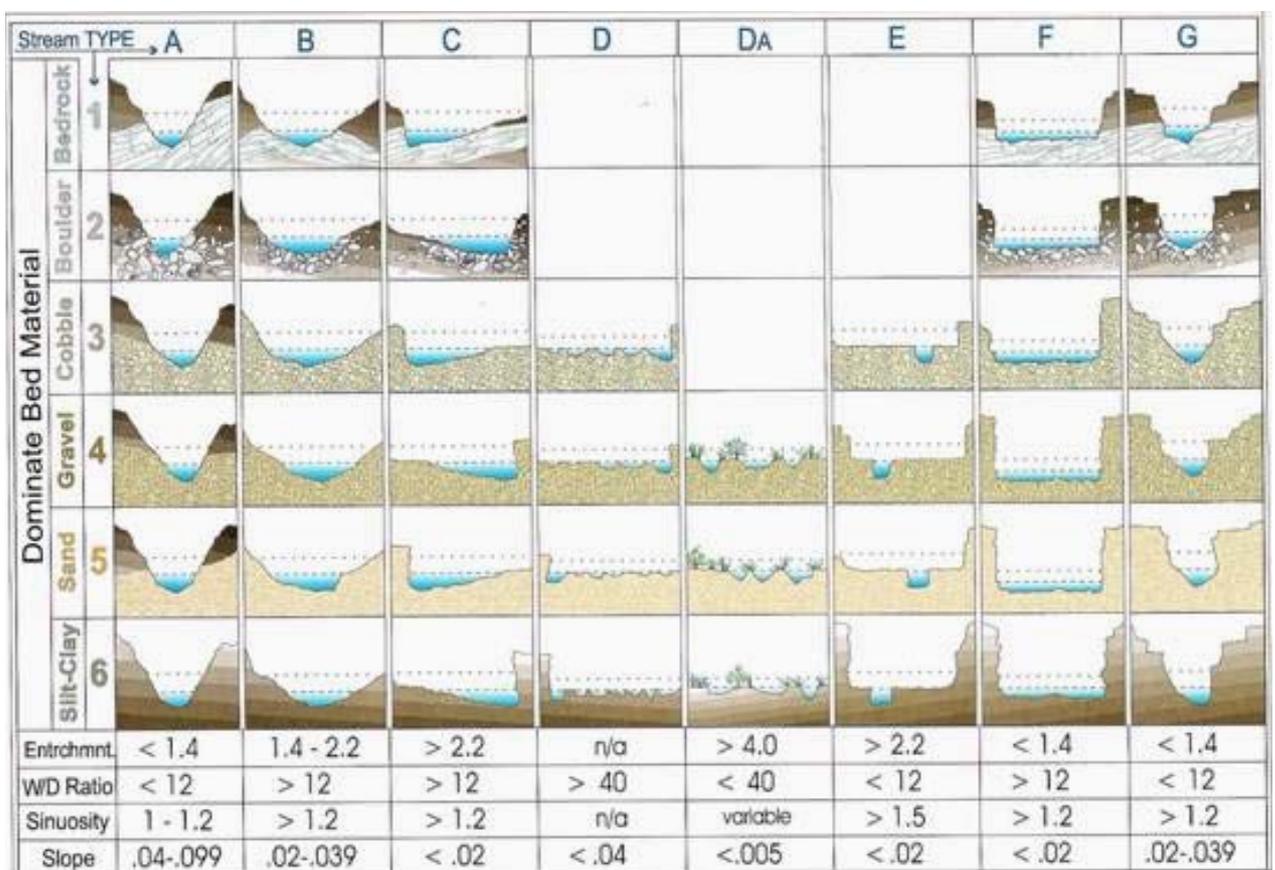


Figura 10. Representación de los diferentes tipos de lechos de acuerdo al material predominante como roca basal, brecha volcánica, conglomerado, grava, arena y limo/arcilla en un arroyo o río de montaña (Rosgen, 1996).

5.2.3 Determinación del estado de conservación del área ribereña

Se evaluó el porcentaje de cobertura vegetal del estrato herbáceo y rasante del banco de orilla; el porcentaje del estrato arbóreo, la morfología (régimen del flujo y porcentaje de la colonización de los depósitos de materiales por las plantas) y los disturbios (porcentaje de pastoreo, presencia de caminos y brechas adyacentes al área

riparia, evidencias de incendios, tala de árboles en la zona de ribera y la presencia de terrenos de cultivo adyacentes al arroyo), finalmente la captura del perfil y vegetación por medio de fotografías; basada en la “*Metodología Rápida para la Evaluación de Ecosistemas Riparios en Zonas Templadas*” (Zepeda, 2002).

5.2.4 Colecta de muestras de suelo de ribera

Las muestras de suelo se colectaron en ambos bancos de orilla de cada sección transversal, dando un total de seis muestras por cada sitio de muestreo (Figura 11), cada una se identificó por la siguiente clave:

I A, B, C I, 2
Sitio { Perfil } Muestra

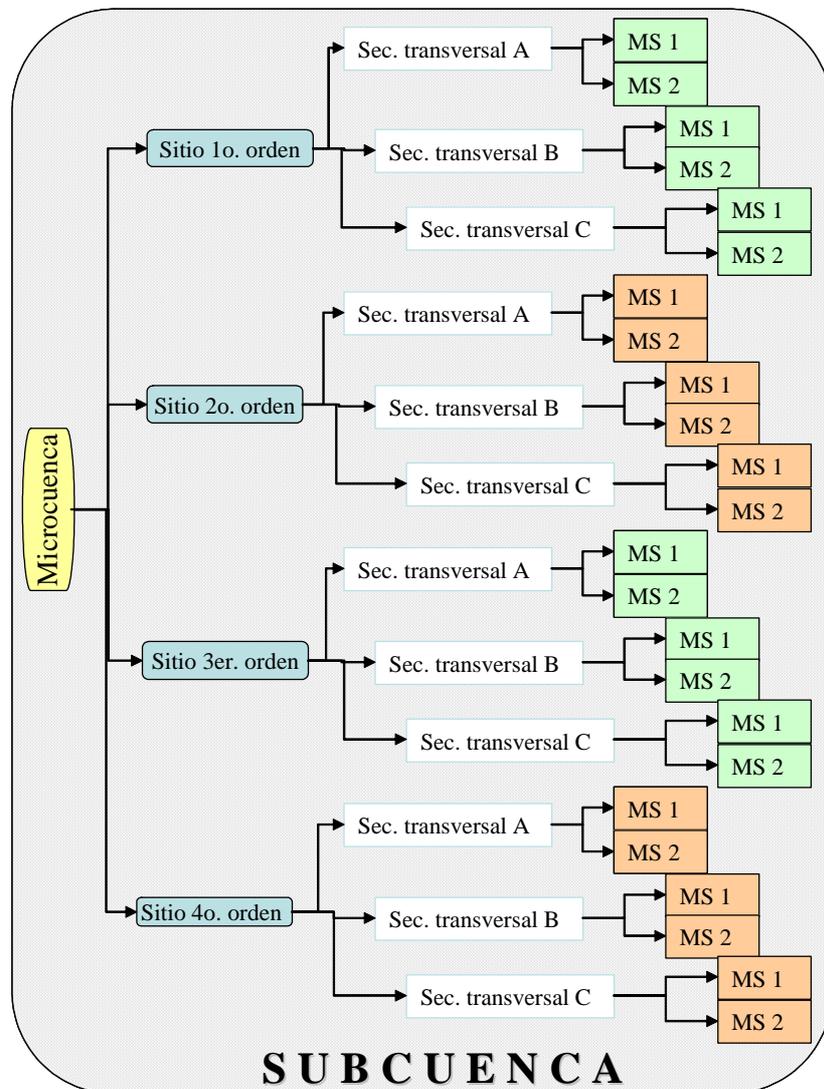


Figura 11. Ejemplo del diseño de muestreo en la subcuenca Mil Cumbres (Río Grande).
 MS = muestra de suelo de ribera.

5.3 Análisis del suelo de ribera

El tratamiento de las muestras consistió en su secado al aire libre y pasaron por un tamiz de 2 mm, si la muestra estaba en agregados grandes se molían en un mortero de madera. El color se determinó en seco y húmedo, con ayuda de las *Tablas Munsell 2000*, en un lugar con luz natural, anotando el *Matiz Value/Croma* (Porta, 2003).

Para la densidad aparente se utilizó el método de la probeta, el cual consiste en pesar una probeta de 10 ml, después se le añade suelo hasta la marca de los 10 ml, se golpea ligeramente 10 veces sobre una franela, se le agrega nuevamente suelo hasta los 10 ml y se pesa. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$DA \text{ (g/ml)} = \text{peso del suelo (g)} / \text{volumen (ml)}$$

Para determinar la densidad real se utilizó el *método del picnómetro*, Baver (1956) (En: Reeuwijk, 2002; Porta, 2003) de 100 muestras de suelo a peso constante.

Se aplicó la fórmula: $DR = s / s+A - (s+a);$

donde, $s = \text{peso del suelo (g)}$
 $s + a = \text{peso de suelo y agua mezclados (g)}$
 $A = \text{volumen del agua (ml)}$

Para calcular el porcentaje del espacio poroso (P), se consideró la siguiente expresión:

$$\% P = 100 (1 - DA/ DR)$$

donde, $DA = \text{densidad aparente (Kg m}^{-3}\text{)}$
 $DR = \text{densidad real (Kg m}^{-3}\text{)}$

Para determinar el porcentaje de carbono orgánico se usó el *método de Walkley y Black* (van Reeuwijk, 2002). A 217 muestras en total, ya que fueron por duplicado para reducir el error en la determinación de la materia orgánica, además de rectificar algunos

valores. Se hicieron dos blancos para conocer la normalidad real (Nr) del Sulfato Ferroso (FeSO_4), calculando:

$$\text{Nr} = 10 \times 0.5 / \text{ml de } \text{FeSO}_4 \text{ gastados en el blanco}$$

donde, 10 = volumen teórico
0.5 = normalidad teórica

Posteriormente, se calcula el porcentaje de materia orgánica (MO) con:

$$\% \text{ MO} = [5 - (\text{ml de } \text{FeSO}_4 \times \text{Nr}) / \text{g de suelo}] \times 0.69$$

donde, 5 = ml de Dicromato de Potasio (K_2CrO_2)

Para sacar el porcentaje de carbono orgánico (C org) se aplica:

$$\% \text{ C org} = \% \text{ MO} \times 0.58$$

Para determinar el tipo textural se utilizó el método del *Hidrómetro de Bouyoucos* (Porta 2003; van Reeuwijk, 2002). A 100 muestras de suelos de ribera. Se calculan los porcentajes de arena, limo y arcilla con las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ Limo} + \text{Arcilla} = (\text{primera lectura} / \text{g de suelo}) \times 100$$

$$\% \text{ Arena} = 100 - (\% \text{ Limos} + \text{Arcillas})$$

$$\% \text{ Arcillas} = (\text{segunda lectura} / \text{g de suelo}) \times 100$$

$$\% \text{ Limo} = (\% \text{ Limo} + \text{Arcilla}) - \% \text{ Arcillas}$$

5.4 Procesamiento de datos

5.4.1 Clasificación morfológica de ríos

De cada sección transversal se generó una base de datos de acuerdo con las variables de pendiente, índice de estrechamiento, índice de ancho-profundo, índice de sinuosidad y material predominante del lecho, ordenadas por microcuenca con respecto al grado del río al que correspondía el sitio de muestreo. Con base a estas características anteriores tomadas de los formatos de campo, se definió el tipo de cauce (ver Anexo II; Rosgen, 1996).

5.4.2 Generación de Perfiles de la Sección Transversal de Ríos de Montaña

Se elaboraron los perfiles de las secciones transversales en el programa Origin v.7, para ello fueron necesarios datos de profundidad y distancia de cada una. La información fue organizada por microcuencas, dando un total de 51 secciones transversales (ver Anexo III).

5.4.3 Análisis estadísticos

Con la finalidad de encontrar afinidad numérica entre los datos y apoyar la descripción de la red hidrológica se generó una matriz por microcuenca con los datos de las siguientes variables: morfológicas, áreas ribereñas, así como propiedades físicas y químicas del suelo de ribera. Se especificó la escala a la que pertenecía cada una de las variables (Cuadro 1) y se les aplicó análisis de estadística descriptiva. Además, a los datos se les aplicaron los supuestos de normalidad, los cuales no se cumplieron por lo que se optó por utilizar pruebas no paramétricas.

Para evaluar diferencias en la morfología del cauce, el área ribereña y las propiedades físicas del suelo de ribera de las microcuencas se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis. Cuando estas pruebas fueron significativas se aplicó el análisis de Mann-Whitney para determinar diferencias entre microcuencas (Ramírez, 2006; Hampton, 1994). Se graficaron los datos por sitio de muestreo de acuerdo al orden del

río para determinar diferencias y así algunos impactos puntuales. Las pruebas se realizaron con los paquetes estadísticos SPSS v.12 y STATISTICA v.6.

Cuadro 1. Variables cualitativas y cuantitativas de la subcuenca Mil Cumbres (río Grande)

	Variables del sitio de muestreo <i>(un sitio de muestreo por orden del río)</i>	Variables de la sección transversal <i>(Tres Puntos A, B, C)</i>	Variables de la muestra de suelo de Ribera <i>(2 muestras, una de cada orilla)</i>
	<ul style="list-style-type: none"> • Pendiente (%) • Índice de Sinuosidad 		<p>Análisis de Laboratorio</p> <ul style="list-style-type: none"> • Densidad Aparente • Densidad Real • Carbono Orgánico (%) <i>(con duplicado)</i> • Arena (%) • Limo (%) • Arcilla (%)
Microcuenca	<p>Área de Ribera:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cauce afectado (%) • Banco pisoteado (%) • Cobertura vegetal banco (%) • Colonización de depósitos (%) • Cobertura de estrato arbóreo (%) 	<p>Sitio de Muestreo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Índice de Estrechamiento • Índice Ancho/Profundo • Material del Lecho (%): Roca Basal, Brecha Volcánica, Conglomerado, Grava, Arena, Limo/Arcilla 	<p>Sección transversal</p> <ul style="list-style-type: none"> • Color Seco* • Color Húmedo* • Tipo textural*
	<ul style="list-style-type: none"> • Caminos y/o Brechas* • Incendio* • Tala de Árboles* • Terrenos de Cultivo* • Régimen de Flujo* 	<p>Tipo de Río* (Clasificación)</p>	

* = variables cualitativas

V. RESULTADOS

5.1 Caracterización del área de estudio

La morfometría de la subcuenca Mil Cumbres se resume en el cuadro 2. El eje mayor presenta orientación SW-NE y el eje menor con dirección SE-NW. Los rangos de altitud van desde 1860 a 2500 m snm.

Cuadro 2. Principales variables morfométricas de la subcuenca Mil Cumbres (Río Grande)

Característica	Valores obtenidos
Área (ha)	31,136.9
Perímetro (Km.)	88.33
Longitud axial (L_a) (Km.)	21.99
Ancho promedio (A_p)(Km.)	14.25
Longitud del eje menor (Km.)	8.93
Índice de compacidad (K)	1.40
Relación de elongación (Re)	1.28
Factor de forma (Ff)	0.65
Índice de forma (If)	649.21
Densidad de drenaje (Km./km ²)	1.5383 x10 ⁻³
Densidad de corrientes (corr./km ²)	1.3103x10 ⁻³

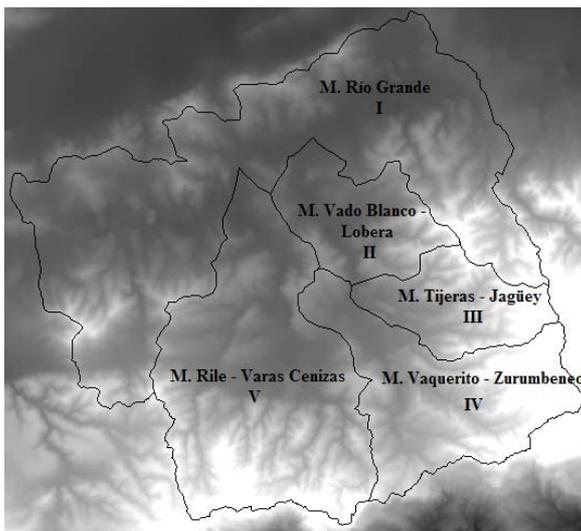


Figura 12. Modelo digital de elevación en formato raster, visualizado con paleta grey 256 con superposición del parteaguas de las cinco microcuencas esc. 1: 50 000

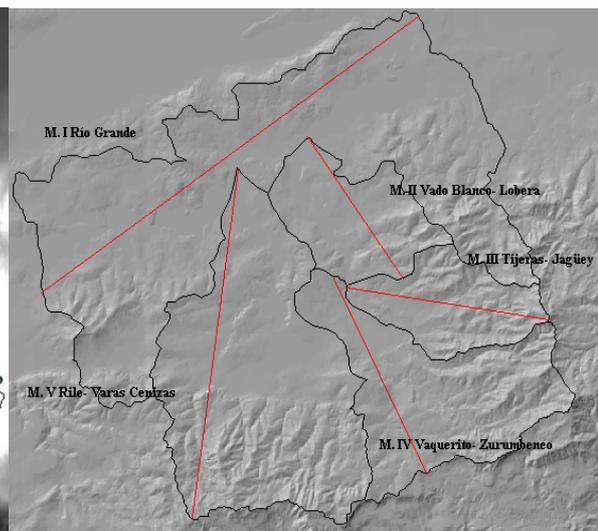


Figura 13. Eje mayor de cada microcuenca de la subcuenca Mil Cumbres

La disposición de las microcuencas en el orden del cuadro 3 (IV a la I) es debido a que los ríos de las microcuencas III y IV son tributarios de la microcuenca II; de igual manera, la microcuenca V y II convergen en el Río Grande (I) (Figura 12).

Cuadro 3. Variables morfométricas de las microcuencas

Microcuenca	Superficie	Perímetro	K	$La (m)$	$Ap (m)$	Ff
IV. Vaquerito – Zurumbeneo	4,833 ha	41 Km.	165.33	11,526	5,009.6	0.43
III. Tijeras – Jagüey	2,293 ha	23 Km.	134.57	8,701	3,040	0.34
II. Vado Blanco –Lobera (5°)	2,590 ha	24 Km.	134.96	7,815	3,893.2	0.49
V. Rile – Varas Cenizas	8,269 ha	46 Km.	141.68	14,431	6,210.4	0.43
Área Acumulada: 17,987 ha						
I. Río Grande	13,147 ha	87 Km.	213.48	19,541	6,824.2	0.34
Área Acumulada: 31,136 ha						

K = índice de compacidad, La = longitud axial (Figura 13), Ap = ancho promedio, Ff = factor de forma.

◆ Métrica de la red hidrográfica

La geología y geomorfología del terreno definen la red de ríos tributarios, la disposición de los arroyos que bajan por los flancos y su forma que caracteriza a la subcuenca (Figura 14). En el cuadro 4 se muestra el número y longitud de ríos por orden de cada microcuenca.

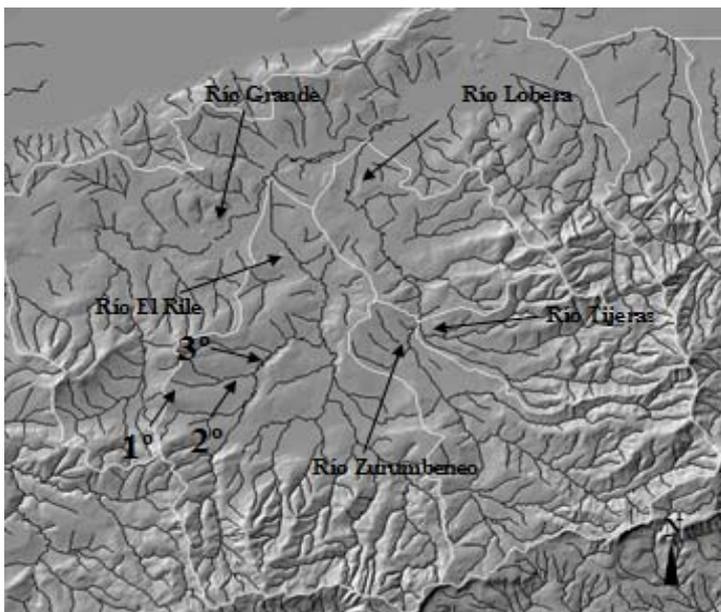


Figura 14. Ubicación y clasificación de la red hidrológica en la subcuenca Mil Cumbres

Cuadro 4. Ordenes, número y longitud de ríos de cada microcuenca

Microcuenca / río (orden)		Orden				
		1°	2°	3°	4°	5°
IV. El Vaquerito – Zurumbeneo (4°)	Número de ríos	65	11	2	1	--
	Longitud (Km.)	49	15.5	26	7	--
III. Las Tijeras – Jagüey (4°)	Número de ríos	29	5	2	1	--
	Longitud (Km.)	28.5	13	7	0.5	--
V. El Rile – Varas Cenizas (4°)	Número de ríos	75	14	3	1	--
	Longitud (Km.)	68.5	29.5	16.5	9	--
II. Vado Blanco –Lobera (5°)	Número de ríos	21	6	2	--	1
	Longitud (Km.)	20	8	1.5	--	7.5
I. Río Grande	Número de ríos	139	27	3	--	--
	Longitud (Km.)	122	36	14	--	--
Σ Ríos por orden de la subcuenca		329	63	12	3	1
Longitud TOTAL		288	102	65	16.5	7.5

La relación de bifurcación (Cuadro 5), se tomó en cuenta a la subcuenca como unidad en el lado izquierdo. Sin embargo en el lado derecho se presenta el número de ríos por orden considerando solo las microcuencas II, III, IV y V.

Cuadro 5. Relación de bifurcación de la red hidrológica (Rb)

Microcuenca acumulada de I-V			Microcuenca acumulada de II-V		
Orden	No. de ríos	Rb	Orden	No. de ríos	Rb
1°	329	0.19	1°	190	0.18
2°	63	0.19	2°	36	0.25
3°	12	0.25	3°	9	0.22
4°	3	0.33	4° (III-IV)	2	0.50
5°	1	---	4° (III-V)	3	---

◆ Modelo digital de elevación

A partir del análisis digital del terreno (MDE), es posible analizar el relieve asociado a la hidrológica y su influencia en el área de estudio (Figura 15). Se pueden suponer características significativas a partir de la información topográfica como es la pendiente, ya que es resultante de las topoformas que pueden tener un efecto importante

en la velocidad de captación de agua de los ríos tributarios y/o el potencial de cauce (Gómez-Tagle, R. 2004).

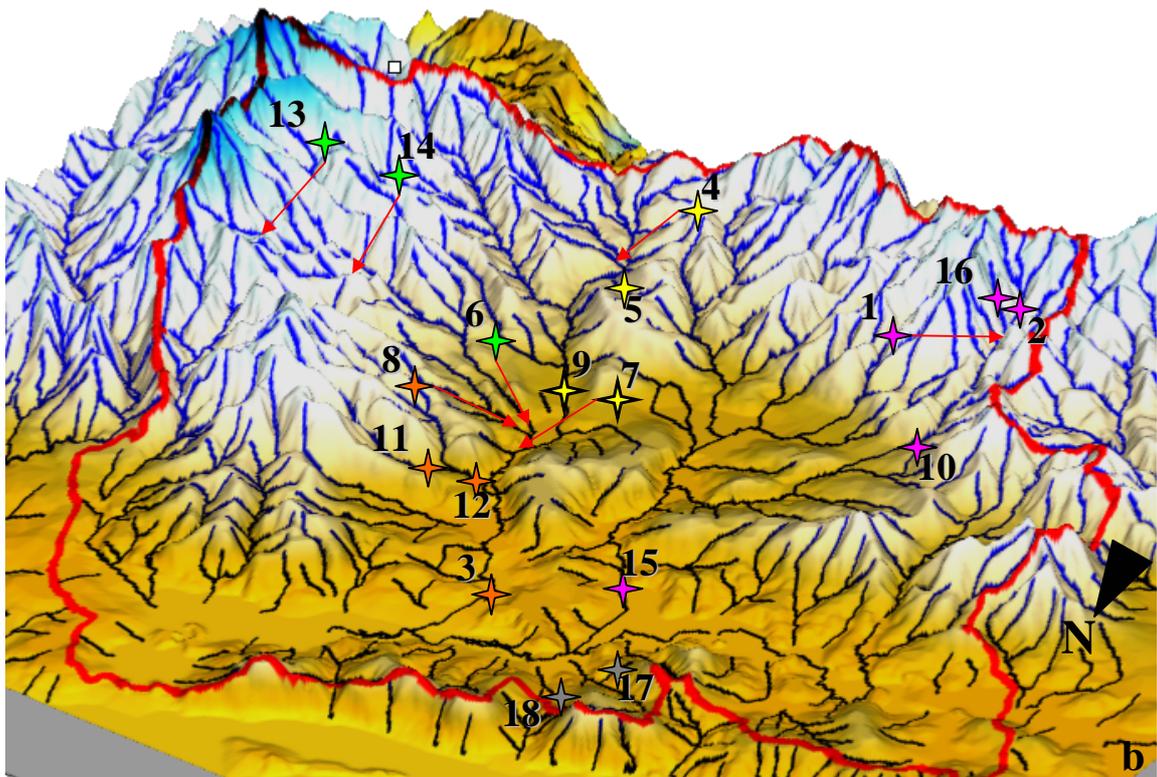
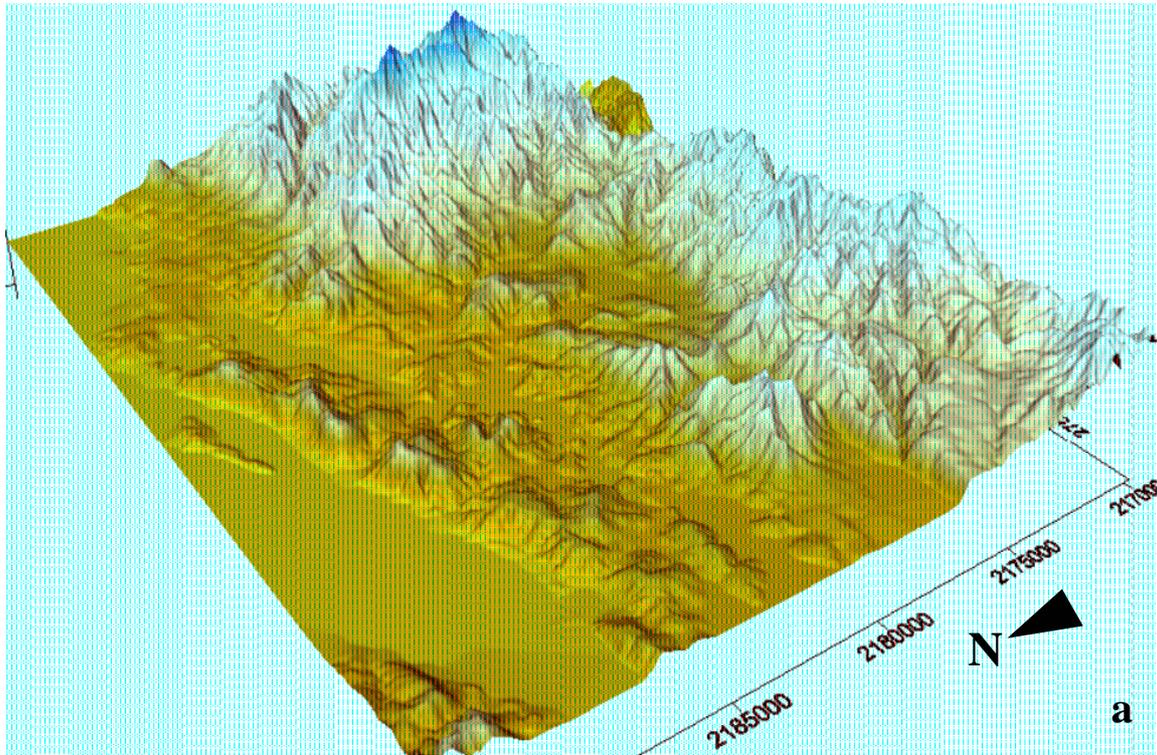


Figura 15. Modelo digital de elevación (MDE) de la subcuenca Mil Cumbres (Río Grande) de la cuenca del lago de Cuízco, Mich. a) Representación del MDE de la subcuenca vista desde la parte noroeste; b) MDE con sobreposición del parteaguas, red hidrológica y ubicación de los sitios de muestreo de cada microcuenca. Desplegados en Surfer v.8. Esc. 1: 50 000.

5.2 Descripción de las microcuencas

Para relacionar los diferentes factores que intervienen en un análisis integral, es necesario presentar un conjunto de datos como son: los cuadros de ubicación de los sitios de muestreo, las variables morfológicas de Rosgen (1994) y el tipo de río de cada microcuenca (Cuadro 11). En el anexo IV se presentan los perfiles de la sección transversal A, B y C de cada una.

5.2.1 Microcuenca I. “Río Grande”

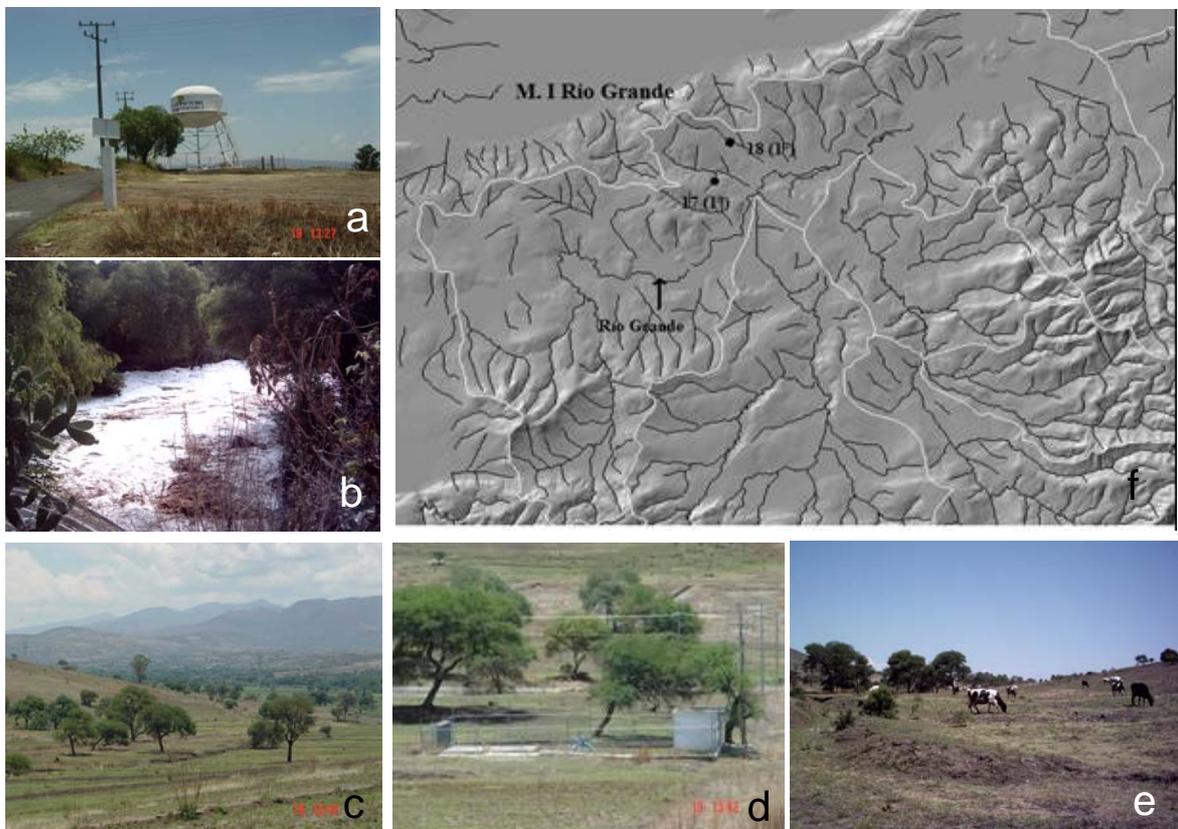


Figura 16. Sitios de muestreo de microcuenca I “Río Grande”. a) Creación de caminos y captación de agua para establecimiento de zona urbana; b) “Río Grande” como desagüe; c) vista Sur del valle de la subcuenca Mil Cumbres; d) planta de extracción de agua en la base de ríos de primer orden; e) pastoreo extensivo; f) ubicación geográfica de los sitios de muestreo sobre la red hidrológica.

Los sitios de muestreo seleccionados (Cuadro 6) son de primer orden debido a la gran perturbación que existe en el lugar que se aprecia en el deterioro y desaparición de los ríos efímeros convertidos en extensiones de terrenos de cultivo y caminos. La red hidrológica sufre grandes alteraciones desde el parteaguas Este, donde es transformada por la perforación de pozos en la base de ramales de primer orden (Figura 16a y 16d), y

de la urbanización de predios (Figura 16c), sin olvidar, el impacto de la ganadería extensiva (Figura 16e).

En la parte central de la microcuenca hay construcción de canales para agricultura y el cambio de uso del suelo que ha alterado la hidrología natural del lugar; las condiciones ribereñas, el empobrecimiento o pérdida de la vegetación. El Río Grande se encuentra a un nivel de contaminación muy alto, posiblemente con presencia de fosfatos y nitratos que se incrementan en época de lluvias cuando todos los agroquímicos (Figura 16b) son lavados de los suelos en las tierras altas (Gómez-Tagle, R. *com. pers.*). La afectación, no solo radica en el río sino también en el lago de Cuítzeo que se encuentra en riesgo de sucumbir debido a la alteración de su recarga principal (Chacón, *et al.*, 2000.).

Cuadro 6. Sitios de muestreo microcuenca I “Río Grande”

Río	Sitio	Orden	Coordenadas UTM	Altitud (m snm)	Régimen del flujo	Fecha de Muestreo
El Pino	17	1°	X 282 149	1,889	Efímero	Mayo 19, 2006
			Y 2 186 783			
El Cielo	18	1°	X 282 669	1,902	Efímero	Mayo 19, 2006
			Y 2 187 785			

Existe una seria problemática en el cambio de uso del suelo que afecta esta zona. El valle aluvial del Río Grande, presenta Vertisoles en la cercanía del río, estos son ricos en nutrientes pero se han ido erosionando por el manejo inapropiado. En consecuencia los suelos de lomeríos y laderas presentan cascajo y tepetate por la sobreexplotación agrícola de estas tierras.

5.2.2 Microcuenca II. “Vado Blanco-Lobera”

Se ubica en la parte Este de la subcuenca, a través de ella corre el río de quinto orden “Vado Blanco” (Cuadro 7; Figura 17a) que se forma por unión de los afluentes de cuarto orden de las microcuencas III y IV. En la zona alta de la microcuenca, existe un fuerte cambio de uso de suelo, por tierras de cultivo abandonadas por más de 40 años o fueron terrenos de agostadero que muestran gran deterioro en el ecosistema y, en

consecuencia existen fenómenos de sucesión vegetal que actualmente se ven reflejados en la presencia de matorral subtropical y selva baja caducifolia.



Figura 17. Sitios de muestreo de la microcuenca II “Vado Blanco-Lobera”. a) Ubicación geográfica de los sitios de muestreo sobre la red hidrológica; b) escalones de mas de siete metros de altura en el río “San Miguel” de segundo orden; c) control del flujo de agua por represas en el río “Vado Blanco” de quinto orden; d) desarrollo de cárcavas con relictos de pino; e) río “Lobera” de tercer orden.

Cuadro 7. Sitios de muestreo microcuenca II “Vado Blanco – Lobera”

Río	Sitio	Orden	Coordenadas UTM	Altitud (m snm)	Régimen del flujo	Fecha de Muestreo
San Miguel	11	2°	X 288 867 Y 2 182 948	1,960	Intermitente	Abril 5, 2006
Lobera	12	3°	X 288 535 Y 2 182 948	1,940	Permanente	Abril 5, 2006
Vado Blanco	3	5°	X 286 064 Y 2 185 294	1,872	Permanente	Febrero 28, 2006

En los lomeríos localizados en la parte central de la microcuenca se presenta un desarrollo de cárcavas con relictos de bosque de pino (Figura 17d). Los arroyos de montaña de primer y segundo orden son intermitentes, desafortunadamente fue imposible localizar un arroyo de primer orden debido a las pendientes tan pronunciadas

y escalones de más de siete metros de altura (Figura 17b). En el valle se han construido represas (Figura 17c) las cuales son utilizadas para proveer de agua al ganado y riego de campos agrícolas en menor porcentaje, lo que provoca un pastoreo extensivo a lo largo del área ribereña, que favorece la contaminación de sus aguas.

5.2.3 Microcuenca III. “Tijeras-Jagüey”

Se localiza al Sureste de la subcuenca (Figura 18e), presenta un follaje denso de asociación pino-encino cerca del parteaguas (Figura 18a); se muestreo el río de montaña “San Felipe” (Cuadro 8), la vegetación de ribera esta bien conservada debido a la retención de humedad del sustrato (Figura 18b) que va formando pequeños canales con flujo de agua permanente durante el tiempo de secas. Este en algunas partes que no es tan evidente debido a que la vegetación es muy densa y diversa. Los ríos de primer orden se encuentran en pendientes muy pronunciadas y están protegidos por alambrado que impide el acceso al ganado y evita el pastoreo.

Cuadro 8. Sitios de muestreo microcuenca III “Tijeras-Jagüey”

Río	Sitio	Orden	Coordenadas UTM	Altitud (m snm)	Régimen del flujo	Fecha de Muestreo
San Felipe	13	1°	X 294 336 Y 2 179 517	2,260	Permanente	Marzo 10, 2006
Peña Cargada	14	2°	X 292 164 Y 2 179 655	2,100	Intermitente	Marzo 10, 2006
El Jagüey	6	3°	X 288 270 Y 2 180 830	2,054	Permanente	Marzo 14, 2006
El Cuervo	8	4°	X 288 191 Y 2 181 087	1,933	Permanente	Marzo 14, 2006

En la parte de pie de monte, conforme se suaviza la pendiente la tala de árboles se incrementa para crear áreas de agostadero, en consecuencia el suelo en estas zonas se encuentra muy compactado y degradado; sin embargo, la red hidrológica conserva su morfología como son los meandros (Figura 18d y 18h) y algunas plantas indicadoras de humedad como *Bacaris sp.* y *Lemnia sp.* En la parte baja, el río “El Cuervo” es más amplio (Cuadro 8; Figura 18c) pero al seguir el camino del río aguas abajo el área se deteriora por la acumulación de disturbios como son la presencia de residuos sólidos

(domésticos y cascajo de materiales de construcción) en las cañadas del río (Figura 18f y 18g). Debido a que sobre de él pasa una carretera y existen brechas que comunican toda la zona; además, se hallan desagües ocultos de los asentamientos irregulares que desembocan al río y aportan una excesiva cantidad de aguas negras.

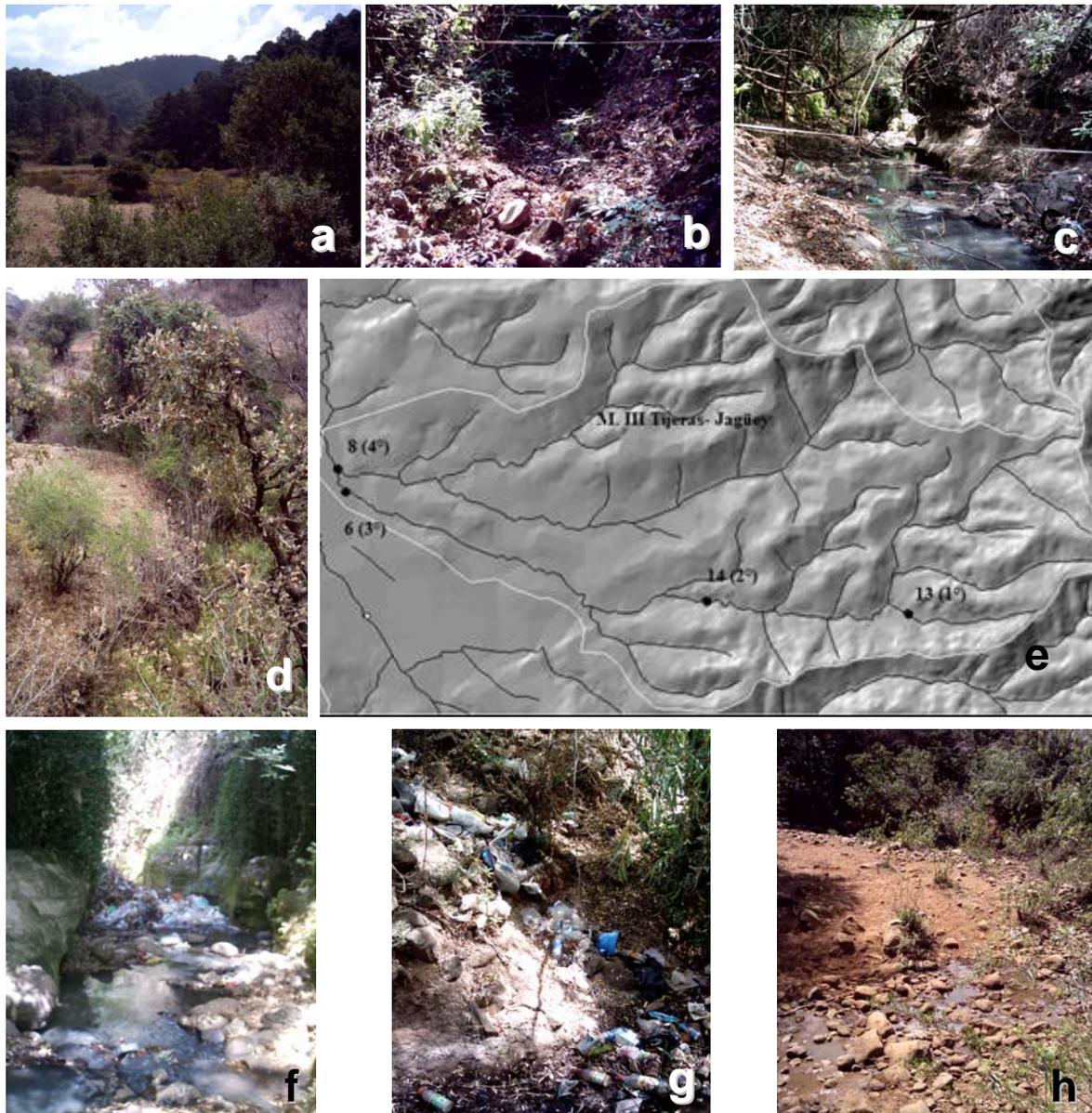


Figura 18. Sitios de muestreo de la microcuenca III “Tijeras-Jagüey”. a) Parteaguas con bosque de pino-encino; b) Río San Felipe; c) Río “El Jagüey”; d) Meandro del río “Peña Cargada”; e) ubicación geográfica de los sitios de muestreo sobre la red hidrológica; f) Río “el Cuervo” con acumulación de residuos sólidos en el lecho; g) tiraderos de basura en los flancos de la red hidrológica; h) unión de ríos de tercer orden cerca del poblado “Las Canoas”.

5.2.4 Microcuenca IV. “Vaquerito-Zurumbeneo”

La microcuenca IV se ubica en la parte Sureste de la subcuenca (Figura 19a), cerca del parteaguas hay bosque de pino muy denso (Figura 19c). Se localizaron ríos de

primer a cuarto orden (Cuadro 9) con menos disturbios relativos debido a que presenta un relieve más desarrollado. Sin embargo, en el puerto se ubican asentamientos humanos que han alterado los ríos tributarios de primer orden como es el caso del río Pontezuelas (Cuadro 9; Figura 19f), transformándolos en caminos, terrenos de cultivo o construyendo jagüeyes en su desembocadura (Figura 19b), los cuales afectan la permanencia del flujo de agua de los ríos aguas abajo y en la vegetación ribereña.

En el pie de monte se ubica el Parque Nacional “Insurgente José Ma. Morelos y Pavón” (Kilómetro 23), en donde por el uso que tiene de recreación y esparcimiento se encuentra el área ribereña relativamente conservada (Figura 19e). Este presenta estrato arbóreo pero no existe vegetación herbácea y/o rastrera a pesar de ser un área natural protegida; algunos pobladores próximos al lugar nos comentaron que hace aproximadamente dos años se secó el río de primer orden que nacía en la cercanía (INEGI, 1995b). El río “La Galera” de segundo orden ha reducido el volumen de agua. Cerca de esta zona hay asentamientos humanos que vierten aguas residuales, no obstante la densa vegetación ribereña permite la conservación de la diversidad en el ecosistema. En el valle, se ubica del río Zurumbeneo que tienen un afluente de velocidad considerable (Figura 19d), pero las barrancas que lo conectan están llenas de desechos sólidos. El río “Las Canoas” (Cuadro 9) converge con el río “El Cuervo” de la microcuenca III y forman el río “Vado Blanco” de la microcuenca II que es de quinto orden.

Cuadro 9. Sitios de muestreo microcuenca IV “Vaquerito – Zurumbeneo”

Río	Sitio	Orden	Coordenadas UTM	Altitud (m snm)	Régimen del Flujo	Fecha de muestreo
Pontezuelas	--	1°	X 290 762 Y 2 174 891	2,120	Efímero	Abril 13, 2006
La Galera	4	2°	X 289 671 Y 2 175 872	2,059	Permanente	Marzo 1. 2006
Kilómetro 23	5	3°	X 289 773 Y 2 175 643	2,084	Permanente	Marzo 1. 2006
Zurumbeneo	9	4°	X 288 515 Y 2 179 479	1,950	Permanente	Marzo 15, 2006
Las Canoas	7	4°	X 287964 Y 2 181 380	1,938	Permanente	Marzo 14, 2006

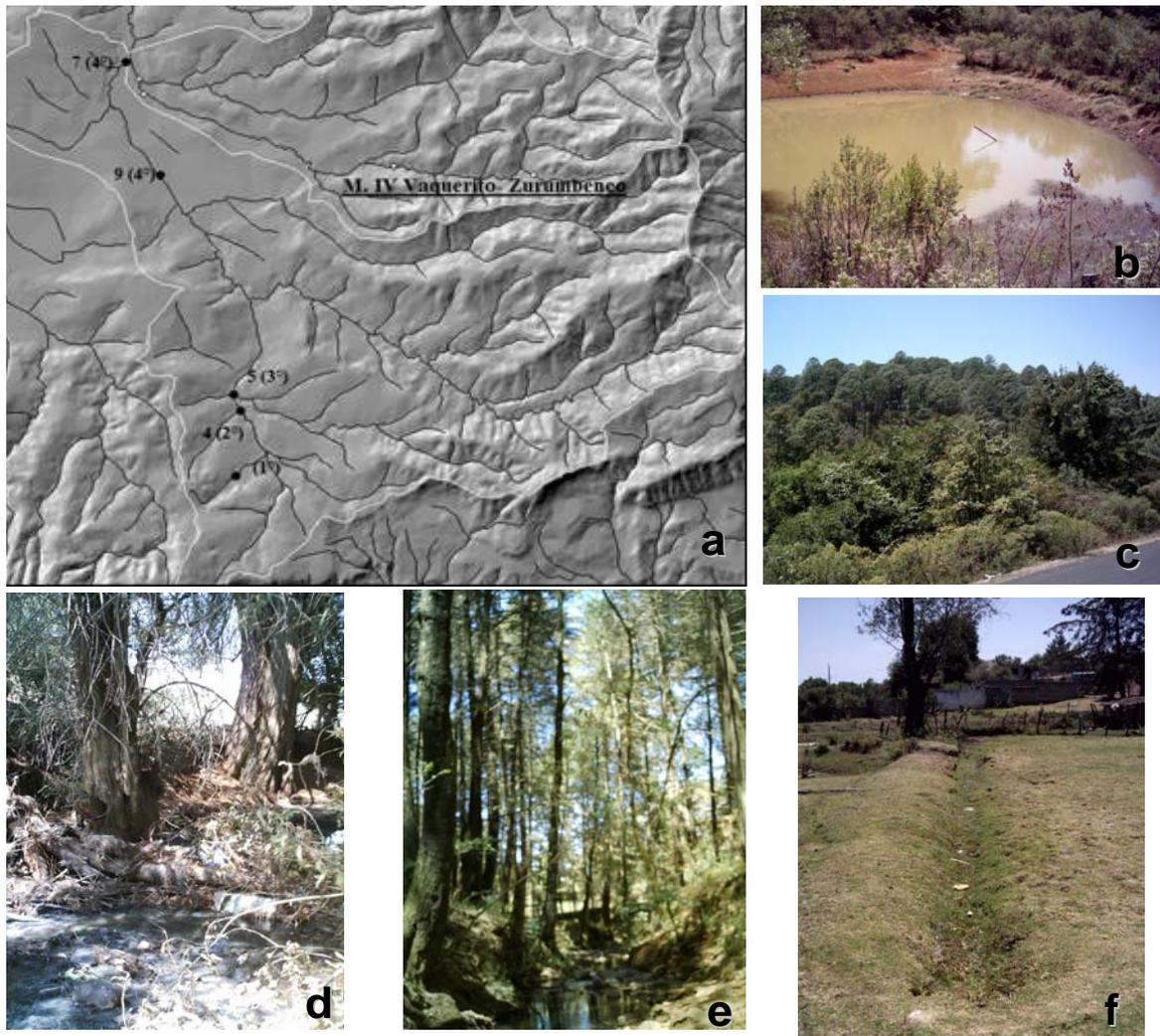


Figura 19. Sitios de muestreo de la microcuenca IV “Vaquerito-Zurumbeneo”. a) Ubicación de los sitios de muestreo sobre la red hidrológica; b) creación de jagüeyes sobre ríos de primer orden; c) parteaguas con bosque de pino; d) Río Zurumbeneo; e) Río del parque nacional del “Kilómetro 23”; f) relicto del río Pontezuela a causa de la urbanización.

5.2.5 Microcuenca V. “Rile-Varas Cenizas”

Es la microcuenca de mayor superficie, tiene forma de pera y se ubica en la parte Oeste de la subcuenca (Figura 20a); presenta diversos impactos que se expresan a diferentes altitudes y ordenes de ríos. En el parteaguas, la vegetación es bosque de pino (Figuras 20c y 21a) pero en algunas zonas presenta señales de incendio, tala inmoderada, asentamientos actualmente abandonados. A un costado del río (sitio 2; Cuadro 10) hay ladrilleras establecidas indebidamente (Figura 21b) que utilizan el recurso edáfico como materia prima causando un severo daño al ecosistema ribereño en el estrato arbóreo y en la estabilidad de los bancos de orilla. Los arroyos de primer orden (Cuadro 10) son intermitentes pero conforme se desciende el volumen de agua se incrementa y posiblemente la buena calidad permitiendo el establecimiento de una

gran diversidad de plantas indicadoras de humedad (Figura 21d y 21c) debido a que no existe el sobrepastoreo solo en esta zona.



Figura 20. Sitios de muestreo de la microcuenca V “Rile-Varas Cenizas”. a) Ubicación geográfica de los sitios en la red hidrológica; b) vista Oeste del valle de la subcuenca Mil Cumbres; c) Parteaguas Sur de la subcuenca con bosque de pino desde el poblado “Las Mesas”; d) zona de agostadero para diferentes tipos de ganado; e) represa “Sagrado Corazón” durante el tiempo de secas.

En la parte media, cerca del poblado Las Mesas (INEGI, 1995b), se observa un drástico cambio de vegetación por plantas espinosas derivada de la tala inmoderada y el sobrepastoreo (Figura 20d) de ganado vacuno y caprino, lo que afecta la sucesión

secundaria e impide la colonización de la vegetación ocasionando la erosión acelerada del suelo desnudo.

Antes de que el río “Varas-Cenizas” llegue al valle, el cambio del flujo de agua en su permanencia es notorio ya que los ríos tributarios que componen este sistema hidrológico son captados en una presa que principalmente sirve para abrevadero del ganado (Figura 21e). En consecuencia, el flujo de los ríos de ordenes mayores se ve alterado y se genera la intermitencia del caudal como sucede con el río Jaripeo (sitio 10 en Figura 21a; Cuadro 10); esta regulación del flujo disminuye la humedad de la zona ribereña y deteriora el bosque de ribera. Además, la carretera a Mil Cumbres atraviesa este río, lo que provoca que se convierta en receptor de basura, sin embargo es el hábitat de fauna silvestre como las tortugas de río, que deben permanecer en pequeñas pozas en tiempo de estiaje (Figura 21e y 21f).

Cuadro 10. Sitios de muestreo microcuenca V “Rile – Varas Cenizas”

Río	Sitio	Orden	Coordenadas UTM	Altitud (m snm)	Régimen del flujo	Fecha de muestreo
Campamento (Las Huertas)	16	1°	X 281 754 Y 2 174 131	2,187	Intermitente	Abril 13, 2006
Varas cenizas	1	2°	X 281 852 Y 2 173 553	2,170	Permanente	Junio 1, 2005
Varas cenizas-Ladrillera	2	3°	X 281 763 Y 2 174 160	2,150	Permanente	Junio 2, 2005
Jaripeo	10	3°	X 282 268 Y 2 178 079	1,190	Intermitente	Marzo 15, 2006
El Rile	15	4°	X 283 837 Y 2 183 996	1,886	Permanente	Abril 13, 2006

El río “El Rile” (sitio 15, Figura 20a) presenta un mayor volumen de agua, no obstante las condiciones son deplorables, a pesar de esto, ecosistema ribereño es estable por el establecimiento de comunidades antiguas de *Taxodium* sp. La densidad de su cobertura es apropiada para dar refugio a fauna que le confiere la cualidad de corredor biológico. Desafortunadamente, el río se ve interrumpido por la presencia de caminos y desviaciones que alimentan canales de riego de los grandes terrenos de cultivos (Figuras 21g y 21h).



Figura 21. Microcuenca V “Rile-Varas Cenizas”. a) Parteaguas con bosque de pino; b) ladrillera asentada junto al río “Varas Cenizas” del sitio 2; c) sección transversal del río intermitente de primer orden; d) área de ribera con especies indicadoras de humedad en río de segundo orden; e) lecho del río “Jaripeo”; f) pozas de aguas negras en secciones del río “Jaripeo”; g) terreno de cultivo de calabaza a las orillas del río “El Rile” de cuarto orden; h) vista del valle aluvial desde el interior del ecosistema ribereño.

Cuadro 11. Sitios de muestreo y características de las variables de la clasificación para ríos naturales Rosgen (1994)

Microcuenca	Sitio	Orden	B.O. (m)	h. min. (m)	Prof. Max (m)	Ind. Estrech	Ind. A/P	Sinuosidad	Pendiente (%)	Material del Lecho	Tipo de Río
I: "Río Grande"	17A	1°	1.3	1.9	0.87	0.68	1.49	1.13	18	Limo/arcilla	A6a+
	17B	1°	1.3	1.7	0.85	0.76	1.53	1.13	18	Limo/arcilla	A6a+
	17C	1°	1.8	1.9	0.82	0.95	2.20	1.13	18	Limo/arcilla	A6a+
	18A	1°	1	1.9	1.48	0.53	0.68	1.07	15	Arena	A5a+
	18B	1°	0.3	1.9	0.77	0.16	0.39	1.07	15	Limo/arcilla	A6a+
	18C	1°	2.1	3.1	1.20	0.68	1.75	1.07	15	Arena	A5a+
II: "Vado Blanco – Lobera"	11A	2°	3.7	4.5	2.1	0.82	1.76	1.08	17	Conglomerado	A3a+
	11B	2°	1.9	3.8	0.95	0.50	2.00	1.08	17	Conglomerado	A3a+
	11C	2°	2	3.4	1.29	0.59	1.55	1.08	17	Conglomerado	A3a+
	12A	3°	8.8	9.9	1.16	0.89	7.59	1.24	14	Conglomerado	G3
	12B	3°	3	4.1	1.09	0.73	2.75	1.24	14	Limo/arcilla	G6
	12C	3°	3.8	5	1.08	0.76	3.52	1.24	14	Conglomerado	G3
	3A	5°	8.7	11.8	1.83	0.74	4.75	1.50	3	Conglomerado	G3
	3B	5°	7.8	15	1.71	0.52	4.56	1.50	3	Conglomerado	G3
	3C	5°	6.5	8.1	1.84	0.80	3.53	1.50	3	Conglomerado	G3
III: "Tijeras – Jagüey"	13A	1°	1.4	3.8	1.82	0.37	0.77	1.10	14	Limo/arcilla	A6a+
	13B	1°	1.2	2.8	2.18	0.43	0.55	1.10	14	Limo/arcilla	A6a+
	13C	1°	1.8	6.2	1.44	0.29	1.25	1.10	14	Limo/arcilla	A6a+
	14A	2°	2.8	5.5	2.24	0.51	1.25	1.60	1.32	Conglomerado	G3
	14B	2°	3.2	5.2	1.92	0.62	1.67	1.60	1.32	Conglomerado	G3
	14C	2°	3.6	3.8	1.48	0.95	2.43	1.60	1.32	Conglomerado	G3
	6A	3°	3.3	3.4	1.30	0.97	2.54	1.25	17	Conglomerado	G3
	6B	3°	2	3.9	1.72	0.51	1.16	1.25	17	Conglomerado	G3
	6C	3°	1.2	3.3	1.01	0.36	1.19	1.25	17	Conglomerado	G3
	8A	4°	1.4	3.9	1.35	0.36	1.04	1.25	10	Roca basal	G1
8B	4°	2	2.7	1.63	0.74	1.23	1.25	10	Conglomerado y roca basal	G1 o G3	

B.O. = ancho del cauce a nivel del banco de orilla; h. min. = ancho del cauce a nivel de la huella mínima; Prof. Max = profundidad máxima; Ind. estrech. = índice de estrechamiento; Ind. A/P = índice ancho/profundo.

Cuadro 11. Continuación

Microcuenca	Sitio	Orden	B.O. (m)	h. mín. (m)	Prof. Max (m)	Ind. estrech	Ind. A/P	Sinuosidad	Pendiente (%)	Material del lecho	Tipo de Río
IV. "Vaquerito - Zurumbeneo"	4A	2°	2.3	4.5	1.67	0.51	1.38	1.20	16	Brecha volcánica	A2a+ o G2
	4B	2°	2.9	3.5	2.06	0.83	1.41	1.20	16	Limo/arcilla	A6a+ o G6
	4C	2°	2.5	4.4	1.24	0.57	2.02	1.20	16	Roca basal	A1a+ o G1
	5A	3°	4.6	7.7	1.77	0.60	2.60	1.56	6	Conglomerado	G3
	5B	3°	2.9	3.9	1.75	0.74	1.66	1.56	6	Grava y brecha volcánica	G2 o G4
	5C	3°	1.6	3	1.36	0.53	1.18	1.56	6	Conglomerado	G3
	9A	4°	3.7	5.9	1.63	0.63	2.27	1.40	13	Conglomerado y grava	G3 o G4
	9B	4°	3.8	8.1	1.20	0.47	3.17	1.40	13	Conglomerado y grava	G3 o G4
	9C	4°	1.1	1.6	1.61	0.69	0.68	1.40	13	Conglomerado y grava	G3 o G4
	7B	4°	1.6	2.3	0.72	0.70	2.22	1.20	15	Conglomerado	A3a+
V. "Rile - Varas Cenizas"	16A	1°	1.5	1.7	1.09	0.88	1.38	1.69	12	Conglomerado	G3
	16B	1°	0.9	1.1	1.34	0.82	0.67	1.69	12	Conglomerado	G3
	16C	1°	1.5	1.9	1.56	0.79	0.96	1.69	12	Conglomerado	G3
	1A	2°	1.6	3.6	2.73	0.44	0.59	1.08	8	Limo/arcilla	A6a+
	1B	2°	1.8	3.8	2.48	0.47	0.73	1.08	8	Arena	A5a+
	1C	2°	2	2.4	1.22	0.83	1.64	1.08	8	Arena	A
	2A	3°	2.4	3.2	1.02	0.75	2.35	1.07	7.72	Conglomerado	A
	2B	3°	2	5.2	2.74	0.38	0.73	1.07	7.72	Conglomerado	A
	2C	3°	2	7.2	2.12	0.28	0.94	1.07	7.72	Conglomerado	A
	10A	3°	1.7	2.3	0.98	0.74	1.73	1.36	6	Arena	G5
	10B	3°	2.5	3.3	1.17	0.76	2.14	1.36	6	Arena	G5
	10C	3°	0.9	0.9	0.86	1.00	1.05	1.36	6	Arena	G5
	15A	4°	6.3	7.3	2.62	0.86	2.40	1.38	2	Limo/arcilla	G6
	15B	4°	3.1	4.9	3.2	0.63	0.97	1.38	2	Limo/arcilla	G6
	15C	4°	1.9	4.3	3.12	0.44	0.61	1.38	2	Conglomerado	G3

B.O. = ancho del cauce a nivel del banco de orilla; h. mín. = ancho del cauce a nivel de la huella mínima; Prof. Max = profundidad máxima; Ind. estrech. = índice de estrechamiento; Ind. A/P = índice ancho/profundo.

5.3 Análisis Estadístico

Las variables se agruparon en: a) morfología del cauce de acuerdo con Rosgen (1994) (Cuadro 12 y 13), b) evaluación de ecosistemas ribereños de Zepeda (2002) (Cuadro 14) y c) propiedades del suelo de ribera (Cuadro 15).

5.3.1 Variables morfológicas de arroyos naturales de montaña

El análisis de comparación de medias Kruskal-Wallis, mostró diferencias significativas entre las cinco microcuencas (Cuadro 12) para pendiente ($H = 32.24$; $p < 0.05$), en donde la microcuenca I presentó los valores más altos a diferencia de las microcuencas II ($U = 36$; $p = 0.002$); III ($U = 45$; $p = 0.001$), IV ($U = 30$; $p = 0.001$) y V ($U = 0.00$; $p = 0.000$); en la microcuenca V se presentan los valores menores de pendiente lo que la hace diferente de las microcuencas II ($U = 144$; $p = 0.007$), III ($U = 198$; $p = 0.005$) y IV ($U = 126$; $p = 0.004$) que son semejantes entre si (Figura 22).

Cuadro 12. Variables de la morfología del cauce

Microcuenca	Pendiente*	Índice de Sinuosidad*	Índice de Estrechamiento*	Índice A/P*
I	3.99 - 4.17 4.08±0.09	0.07 - 0.12 0.09±0.02	-1.83 - -0.05 -0.59± 0.60	-0.94 - 0.79 0.14±0.63
II	2.38 - 4.11 3.47±0.79	0.08 - 0.41 0.23±0.13	-0.69 - -0.12 -0.36±0.20	0.44 - 2.03 1.14±0.5
III	1.56 - 4.11 3.34±1.06	0.10 - 0.47 0.24±0.14	-1.24 - -0.03 -0.62±0.38	-0.60 - 0.93 0.30±0.45
IV	3.07 - 4.05 3.63±0.43	0.18 - 0.44 0.32±0.10	-0.76 - -0.19 -0.51±0.16	-0.39 - 0.15 0.51±0.46
V	1.97 - 3.77 3.09±0.61	0.07 - 0.52 0.25±0.17	-1.27 - 0 -0.45±0.36	-0.53 - 0.88 0.11±0.48

Los valores representan mínimo, máximo, media ± desvest; * datos reportados transformados con ln; Ind A/P = índice ancho/profundo.

En el índice de sinusidad se mostraron diferencias significativas en las cinco microcuencas ($H = 20.5; p < 0.05$). La microcuenca I presentó los valores mas bajos, en contra parte de las microcuencas II ($U = 36; p = 0.002$), III ($U = 36; p = 0.000$), IV ($U = 0.00; p = 0.000$) y V ($U = 96; p = 0.019$). La microcuenca V también es diferente de la IV ($U = 162; p = 0.038$) pero comparte ciertas características con las microcuencas II y III (Figura 22).

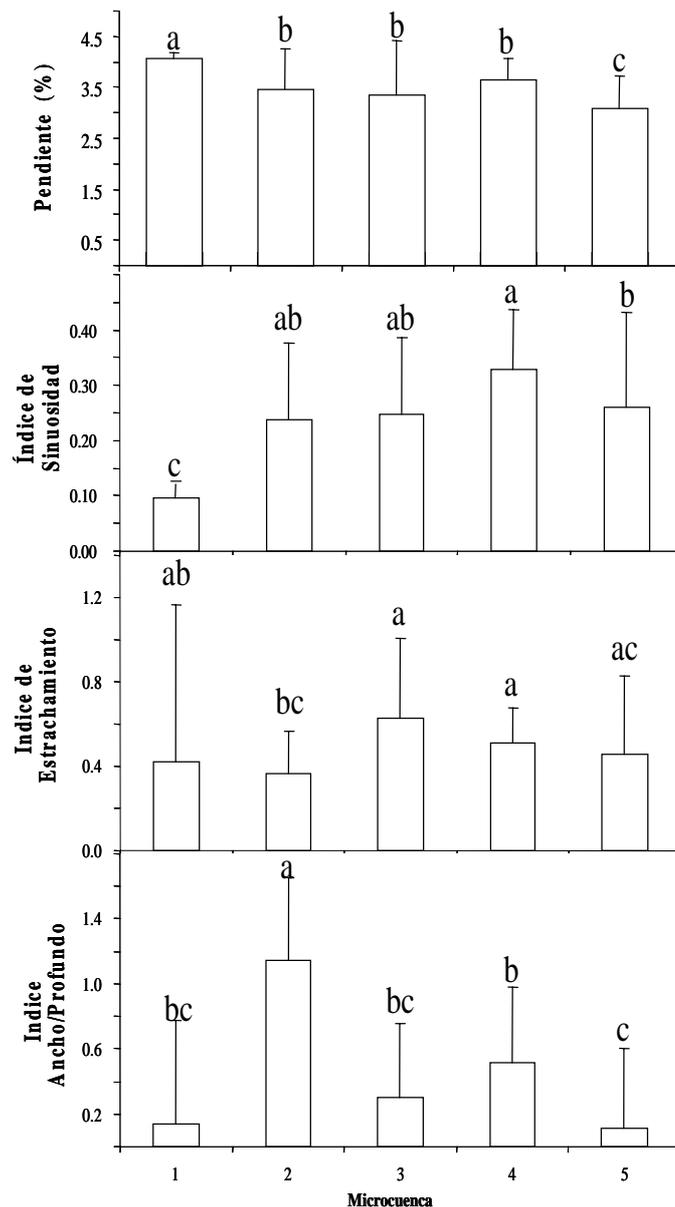


Figura 22. Gráficas que representan los valores de media y desviación estándar que muestran las relaciones de similitud entre las cinco microcuencas para las variables de morfología.

La prueba de Kruskal-Wallis para el índice de estrechamiento no dio ninguna diferencia significativa entre las cinco microcuencas (Figura 22). El índice A/P ($H = 33.1; p < 0.05$) mostró que la microcuenca II posee valores con una media mayor y es

diferente de las microcuencas I ($U = 16$; $p = 0.000$), III ($U = 46$; $p = 0.000$), IV ($U = 56$; $p = 0.001$) y V ($U = 44$; $p = 0.000$); además también se halló que la microcuena IV es diferente a la V ($U = 140$; $p = 0.011$) (Cuadro 12; Figura 22).

El material predominante de cada sección transversal solo se tomó en cuenta para clasificar el tramo del río, sin embargo se hizo el análisis estadístico de todas las fracciones halladas. Las categorías de material del lecho son roca, brecha volcánica, conglomerado, grava y limo/arcilla en valores porcentuales. No se encontraron diferencias significativas entre las cinco microcuencas para roca basal con la prueba de Kruskal-Wallis debido a que solo dos microcuencas presentaban este tipo de material; la microcuena III tiene una menor proporción que la IV ($U = 315$; $p = 0.048$), pero no comparten características particulares que puedan definir algún patrón determinante.

Cuadro 13. Material del lecho de la clasificación Rosgen (1994) ⁺

Microcuena	Roca	Brecha volcánica	Conglomerado	Grava	Arena	Limo/arcilla
I	--	--	--	0 - 0.32 0.05±0.12	0 - 1.57 0.44±0.67	0 - 1.57 1.07±0.64
II	--	0 - 0.58 0.18±0.26	0.46 - 1.11 0.87±0.2	0.32 - 0.46 0.4±0.07	0 - 0.46 0.15±0.18	0 - 0.89 0.2±0.31
III	0 - 1.11 0.13±0.37	0 - 1.11 0.35±0.33	0 - 1.11 0.6±0.43	0 - 0.68 0.16±0.27	0 - 0.46 0.1±0.17	0 - 1.11 0.31±0.42
IV	0 - 1.57 0.18±0.52	0 - 0.99 0.29±0.38	0 - 0.99 0.57±0.30	0 - 0.68 0.45±0.31	0 - 0.32 0.03±0.1	0 - 0.89 0.27±0.28
V	--	0 - 0.46 0.11±0.17	0 - 0.89 0.6±0.28	0 - 0.58 0.32±0.21	0 - 0.99 0.31±0.41	0 - 1.11 0.41±0.38

Los valores representan mínimo, máximo, media \pm desvest; ⁺ = datos transformados con arcoseno.

Para conglomerado ($H = 34.58$; $p < 0.05$) y brecha volcánica ($H = 15.84$; $p < 0.05$) se registraron datos únicamente en las microcuencas II, III, IV y V, pero se constató que las microcuencas II y III comparten ciertas características en sus sitios muestreados, tanto en tramos de segundo orden (tipo A, Cuadro 11) como de quinto orden donde predominan los conglomerados o cantos rodados en el lecho del cauce de

tipo G (Cuadro 11); en contraste con las microcuencas IV ($U = 58$; $p = 0.001$) y V ($U = 100$; $p = 0.000$). Sin embargo, la microcuena III también comparte ciertas características con las microcuencas IV y V, que presentan menor cantidad de sitios con predominancia de conglomerados en el lecho del cauce (Cuadro 13). El porcentaje de brecha volcánica, mostró que la microcuena III y la V ($U = 228$; $p = 0.006$) no comparten rasgos similares, sin embargo, ambas son afines a las microcuencas II y IV; ningún sitio presentó predominancia de brecha volcánica en el cauce, pero la media mayor se manifestó en la microcuena III y la menor presencia se tuvo en la microcuena V (Figura 23).

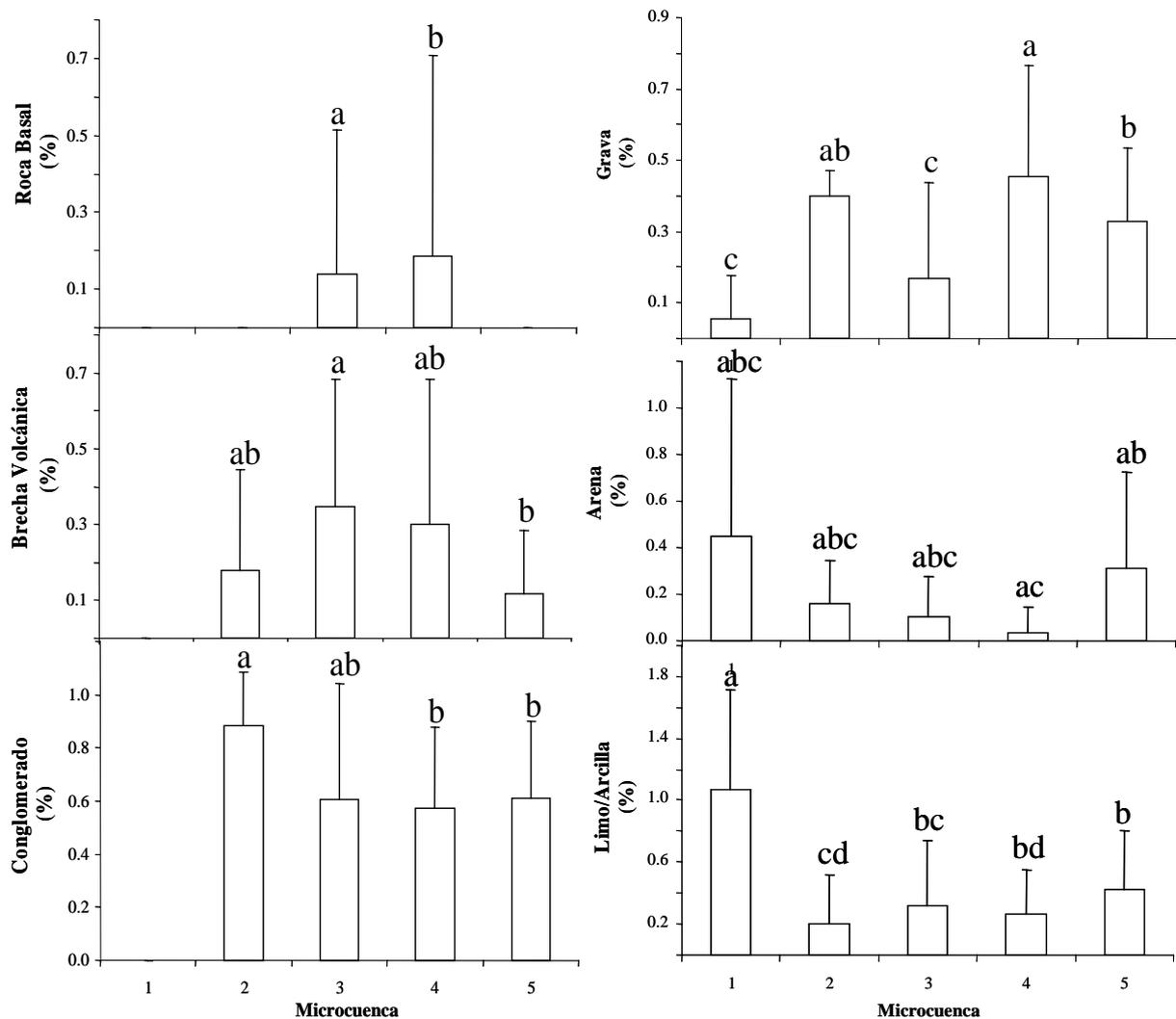


Figura 23. Gráficas que representan los valores de media y desviación estándar que muestran las relaciones de similitud entre las cinco microcuencas para las variables de material del lecho.

El porcentaje de grava presente en el lecho del cauce mostró, con la prueba de Kruskal-Wallis diferencias ($H = 24.48$; $p < 0.05$), los valores de Mann-Whitney indican

que la microcuenca con mayores porcentajes de grava fue la IV, en comparación con las microcuencas I ($U = 35$; $p = 0.002$), III ($U = 97.5$; $p = 0.002$) y V ($U = 166$; $p = 0.041$). La microcuenca II comparte características tanto con la microcuenca IV como con la microcuenca V. La microcuenca I tuvo la menor cantidad de grava en el cauce y fue diferente de la II ($U = 8$; $p = 0.000$) y la V ($U = 64$; $p = 0.001$), y también entre las microcuencas III y V ($U = 236$; $p = 0.021$). En limo/arcilla la comparación entre medias mostró diferencias ($H = 18$; $p < 0.05$) para las cinco microcuencas con mayor predominancia en la microcuenca I en contraste de la II ($U = 32$; $p = 0.001$), III ($U = 50$; $p = 0.001$), IV ($U = 38$; $p = 0.004$) y V ($U = 78$; $p = 0.004$); además de la diferencia entre la II y la V ($U = 176$; $p = 0.035$). No hubo diferencias significativas en el porcentaje de arena en el lecho del cauce (Cuadro 13; Figura 23).

5.3.2 Variables del área ribereña

En el análisis de comparación de medias (Cuadro 14), las diferencias significativas para las cinco microcuencas fueron en las proporciones del: cauce afectado ($H = 33.53$; $p < 0.05$), colonización de depósitos ($H = 34.12$; $p < 0.05$), banco de orilla pisoteado ($H = 26.66$; $p < 0.05$), cobertura vegetal del banco ($H = 21.3$; $p < 0.05$) y del estrato arbóreo ($H = 36.01$; $p < 0.05$) (Figura 24).

La microcuenca II presentó un mayor porcentaje en la afectación de sus cauces y no comparte similitud con la microcuenca I ($U = 0.00$; $p = 0.000$), III ($U = 108$; $p = 0.005$), IV ($U = 16$; $p = 0.000$) y V ($U = 84$; $p = 0.000$). La microcuenca que presentó menos cauces afectados relativamente es la microcuenca I, entendiéndose por cauce afectado cuando no se encuentra obstruido el lecho por donde fluye el agua; sus contrapartes son la microcuenca III ($U = 48$; $p = 0.001$) y IV ($U = 24$; $p = 0.000$), es similar a la microcuenca V. El porcentaje de colonización de depósitos, esta muy estrechamente relacionado con el cauce afectado pero no solo toma en cuenta los materiales que obstruyen el lecho sino el material del lecho que esta colonizado por plantas y musgos, las pruebas de Mann-Whitney mostraron que la microcuenca I tiene un mayor porcentaje de colonización de la vegetación en el lecho del cauce pero es importante mencionar que en campo se observó la invasión total de gramíneas, a diferencia de la II ($U = 24$; $p = 0.000$), III ($U = 72$; $p = 0.015$) IV ($U = 0.00$; $p = 0.000$)

y V ($U = 6$; $p = 0.000$); ésta última presenta el porcentaje mas bajo al contrario de la microcuenca III ($U = 228$; $p = 0.006$).

Cuadro 14. Variables del área de ribera ⁺

Microcuenca	Cauce afectado	Banco pisoteado	Cobertura vegetal del banco	Colonización de depósitos	Cobertura del estrato arbóreo
I	0.32 - 0.46 0.39±0.07	0.46 - 0.68 0.57±0.11	0.32 - 0.46 0.39±0.07	0.4 - 0.58 0.48±0.09	--
II	0.58 - 1.11 0.93±0.17	0.46 - 1.25 0.8±0.27	0 - 0.89 0.47±0.24	0 - 0.46 0.13±0.20	0.32 - 1.35 0.83±0.33
III	0.32 - 1.11 0.68±0.29	0 - 1.25 0.57±0.43	0 - 1.25 0.31±0.45	0 - 0.68 0.23±0.26	0.23 - 1.25 0.89±0.32
IV	0.46 - 0.68 0.56±0.10	0 - 0.68 0.31±0.30	0 - 0.46 0.28±0.22	0 - 0.32 0.09±0.15	0.68 - 1.25 1.05±0.22
V	0 - 1.25 0.52±0.35	0 - 0.79 0.29±0.3	0.23 - 1.57 0.73±0.45	0 - 0.4 0.05±0.12	0.52 - 1.57 0.94±0.27

Los valores representan mínimo, máximo, media \pm desvest; ⁺ datos transformados con arcoseno.

Las diferencias significativas en cuanto a la proporción del banco de orilla pisoteado mostraron que tanto la microcuenca II como la III presentan los valores más altos en cuanto al impacto del pastoreo en la red hidrológica. La microcuenca II es diferente de la I ($U = 48$; $p = 0.01$), IV ($U = 36$; $p = 0.000$) y V ($U = 68$; $p = 0.000$); y la microcuenca III es distinta a la IV ($U = 126.5$; $p = 0.38$) y V ($U = 209$; $p = 0.007$). Estas dos microcuencas tienen los porcentajes más bajos en la presencia de rastros de pastoreo en los bancos de orilla de los tramos muestreados (Cuadro 14; Figura 24). La microcuenca V presenta el mayor porcentaje de cobertura del banco de orilla contrario a las microcuencas I ($U = 108$; $p = 0.045$), III ($U = 148$; $p = 0.000$) y IV ($U = 127$; $p = 0.004$). La microcuenca III, además es distinta de la I ($U = 72$; $p = 0.015$) y presenta los valores mas bajos junto con la IV, esta es disímil de la II ($U = 86$; $p = 0.027$). La microcuenca I carece del estrato arbóreo, pero la microcuenca 4 presenta la media mayor del porcentaje de la cobertura del estrato arbóreo y solo es diferente de la microcuenca II ($U = 91$; $p = 0.041$) (Cuadro 14; Figura 24).

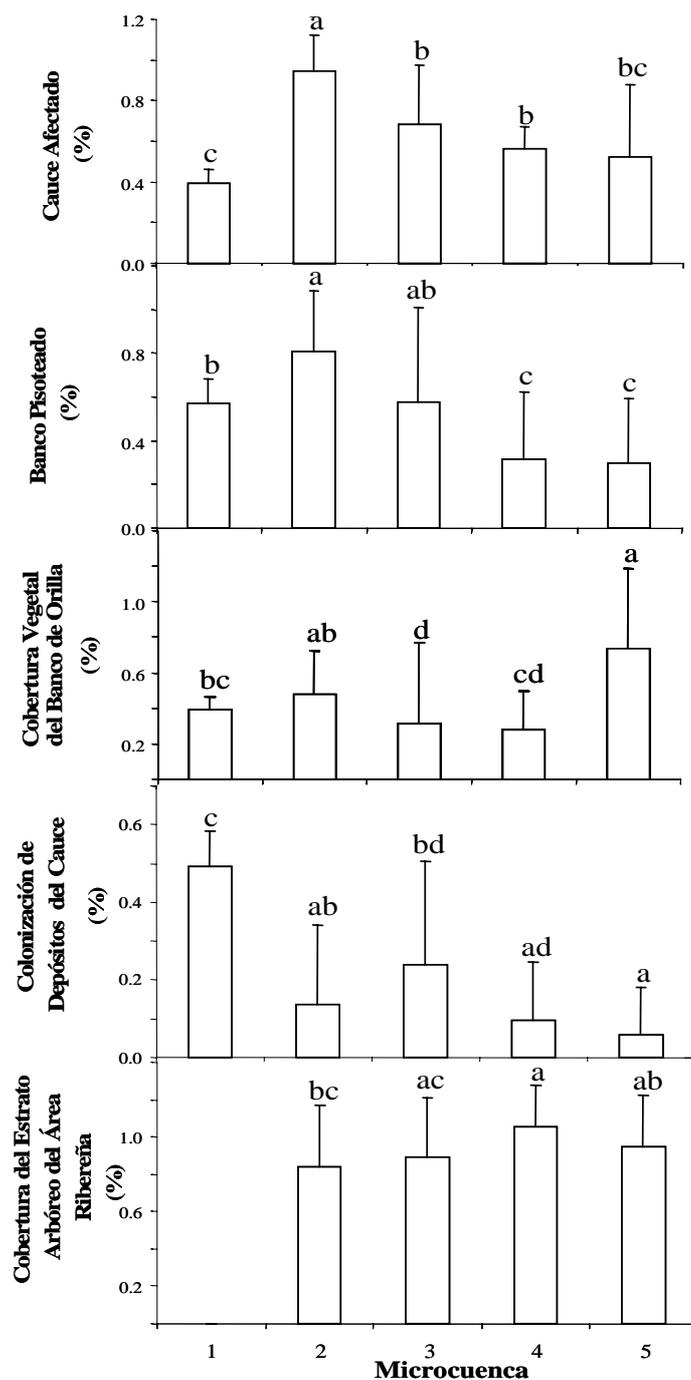


Figura 24. Gráficas que representan los valores de media y desviación estándar que muestran las relaciones de similitud entre las cinco microcuencas para las variables del estado del área ribereña.

8.3.3. Suelos de ribera sobre los bancos de orilla

La prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas entre las cinco microcuencas estudiadas, en cuanto a la densidad aparente ($H = 41.23$; $p < 0.05$), porosidad ($H = 34.91$; $p < 0.05$) y el carbono orgánico ($H = 20.7$; $p < 0.05$) del suelo localizado en el banco de orilla (Figura 25). Además de encontrar diferencias en la

proporción de arena ($H = 43.01$; $p < 0.05$), limo ($H = 14.18$; $p < 0.05$) y arcilla ($H = 43.01$; $p < 0.05$).

Cuadro 20. Variables de suelo de ribera

Microcuenca	DA*	DR *	Porosidad ⁺	C org ⁺	Arena ⁺	Limo ⁺	Arcilla ⁺
I	-0.37 - -0.03 -0.26±0.10	0.71 - 0.88 0.79±0.05	0.88 - 0.99 0.94±0.03	0.04 - 0.21 0.11±0.04	0.4 - 0.61 0.5±0.06	0.46 - 0.62 0.54±0.05	0.61 - 0.87 0.77±0.07
II	-0.11 - 0.2 0.04±0.10	0.75 - 0.99 0.86±0.06	0.80 - 0.91 0.85±0.03	0.05 - 0.17 0.11±0.03	0.69 - 1.18 0.88±0.16	0.20 - 0.65 0.42±0.12	0.26 - 0.67 0.51±0.10
III	-0.47 - 0.09 -0.09±0.12	0.71 - 0.89 0.79±0.04	0.81 - 0.98 0.87±0.04	0.08 - 0.29 0.16±0.05	0.55 - 0.86 0.71±0.09	0.29 - 0.73 0.55±0.11	0.37 - 0.75 0.55±0.10
IV	-0.31 - 0.04 -0.1±0.08	0.71 - 0.89 0.89±0.05	0.84 - 0.94 0.88±0.03	0.10 - 0.24 0.16±0.03	0.58 - 0.84 0.71±0.06	0.41 - 0.62 0.52±0.07	0.54 - 0.71 0.59±0.04
V	-0.22 - 0.1 -0.01±0.06	0.75 - 0.93 0.82±0.04	0.80 - 0.92 0.85±0.03	0.07 - 0.24 0.12±0.04	0.61 - 1.22 0.82±0.14	0.26 - 0.68 0.52±0.11	0.23 - 0.64 0.45±0.10

Los valores representan mínimo, máximo, media \pm desvest; * = datos reportados transformados con ln; ⁺ = datos transformados con arco seno; DA = densidad aparente; DR = densidad real; C org = carbono orgánico.

En la densidad aparente, la microcuenca I presentó una media mucho mayor que la II ($U = 6.5$; $p = 0.000$), III ($U = 41.5$; $p = 0.000$), IV ($U = 29$; $p = 0.001$) y V ($U = 14$; $p = 0.000$), ésta última con los valores mas bajos (Cuadro 20, Figura 25); las demás son similares unas con otras, conservando cierta homogeneidad. A excepción de la microcuenca II que difiere de la III ($U = 87.5$; $p = 0.001$) y la IV ($U = 41.5$; $p = 0.000$), al igual que la microcuenca IV con la V ($U = 89$; $p = 0.000$). Para la porosidad, se encontró que también, la microcuenca I posee el valor mas alto (Cuadro 20) con respecto a la II ($U = 2$; $p = 0.000$), III ($U = 29$; $p = 0.000$), IV ($U = 15.5$; $p = 0.000$) y V ($U = 9.5$; $p = 0.000$); así mismo, la microcuenca IV fue diferente de la II ($U = 62$; $p = 0.003$) y la V ($U = 131$; $p = 0.006$) (Figura 25). El porcentaje de carbono del suelo de ribera en los bancos de orilla mostró que las microcuencas III y IV presentaron una mayor cantidad de materia orgánica (Cuadro 20) a comparación de la I ($U = 69.5$; $p = 0.011$), II ($U = 98$; $p = 0.003$) y V ($U = 211.5$; $p = 0.010$) para la microcuenca III; y la I ($U = 42.5$, $p = 0.007$), II ($U = 53.5$; $p = 0.001$) y V ($U = 115$; $p = 0.002$) son distintas de la microcuenca IV (Figura 25).

En cuanto a las proporciones de arena, las microcuencas II y V tuvieron los valores mas altos a diferencia de las microcuencas I ($U = 0$; $p = 0.000$), III ($U = 101.5$; $p = 0.004$) y IV ($U = 56.5$; $p = 0.001$) con respecto a la II; y la microcuena I ($U = 1$; $p = 0.000$), III ($U = 215.5$; $p = 0.012$) y IV ($U = 133.5$; $p = 0.007$) para la V. Además de que la microcuena I difirió de la III ($U = 10$; $p = 0.000$) y IV ($U = 2$; $p = 0.000$).

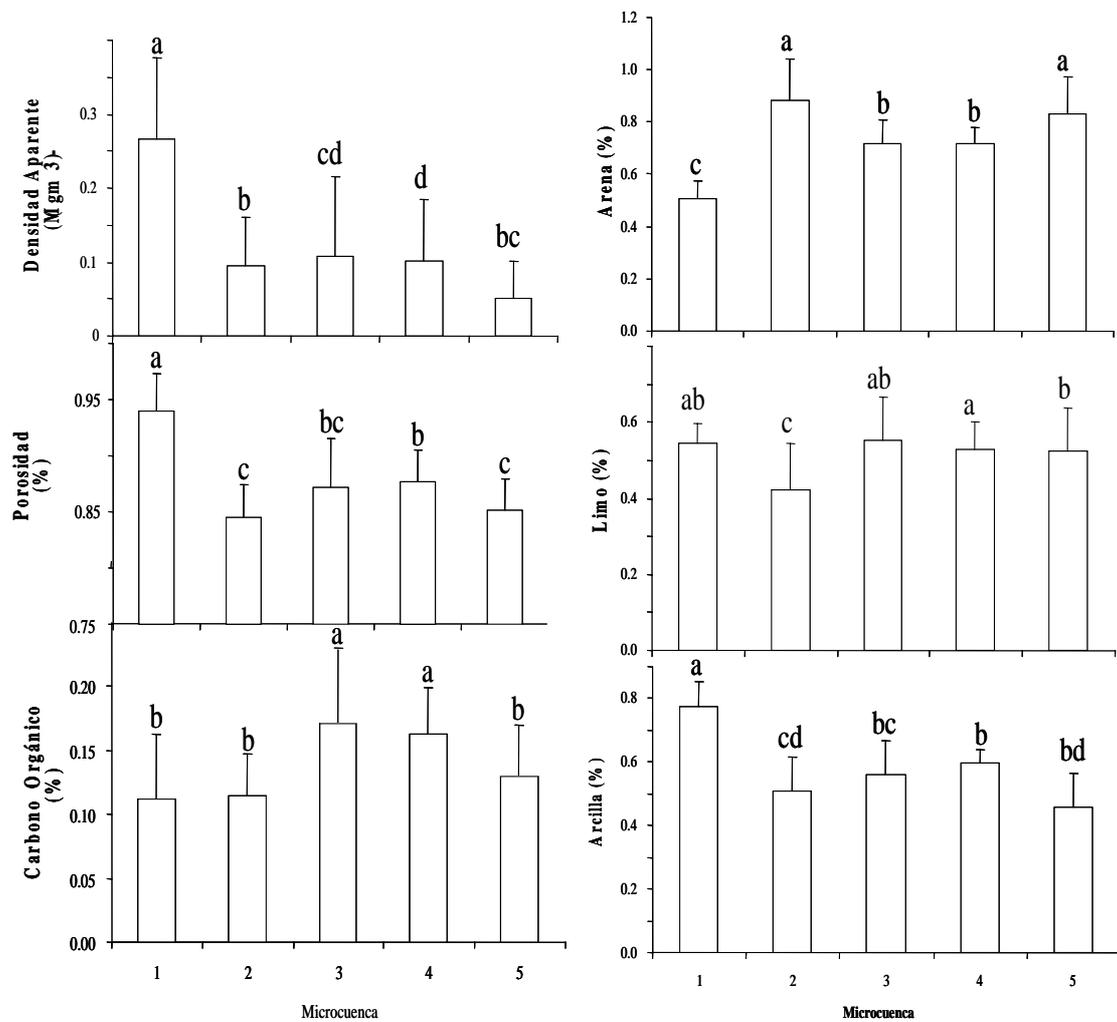


Figura 25. Gráficas que representan los valores de media y desviación estándar que muestran las relaciones de similitud entre las cinco microcuencas para las variables y las proporciones texturales del suelo de ribera en ambos bancos de orilla del cauce.

En la fracción de limo (Figura 25), se observó que la microcuena II fue diferente y tuvo el menor valor en comparación con las microcuencas I ($U = 41.5$; $p = 0.004$), III ($U = 87.5$; $p = 0.001$), IV ($U = 73.5$; $p = 0.007$) y V ($U = 138.5$; $p = 0.005$), al igual que la microcuena IV con la V ($U = 50.5$; $p = 0.000$). El porcentaje de arcilla es mucho mayor en la I (Cuadro 20) y la prueba de Mann-Whitney mostró sus diferencias entre

las microcuencas II ($U = 2.5; p = 0.000$), III ($U = 13; p = 0.000$), IV ($U = 4, p = 0.000$) y V ($U = 2; p = 0.000$); también para la II con la IV ($U = 80.5; p = 0.015$); y la III con respecto a la V ($U = 178.5; p = 0.002$) (Figura 25). Sin embargo, para la fracción arena no se encontraron diferencias significativas.

5.4 Comparación del comportamiento de ríos de un mismo orden

Los sitios de muestreo se agruparon de acuerdo al tipo de orden que esta relacionado con su ubicación geográfica con el fin de que se hicieran comparaciones entre la variabilidad de respuestas que presentan los arroyos naturales de montaña de cada microcuenca.

5.4.1 Ríos de primer orden en las microcuencas I, III y IV

Se observó para las características morfológicas del cauce que en los sitios de los ríos de primer orden correspondientes a la microcuenca I, poseen una pendiente mayor a diferencia de las microcuencas III y V (Cuadro 21), aunque estos últimos se encuentran a una altitud de 2,260 y 2,187 msnm respectivamente.

Cuadro 21. Variables de los arroyos de montaña de primer orden

Microcuenca	I*	III*	V*
Pendiente (%)	16.50 ± 1.64	14.00 ± 0.00	12.00 ± 0.00
Índice de sinuosidad	1.10 ± 0.03	1.10 ± 0.00	1.69 ± 0.00
Índice de estrechamiento	0.63 ± 0.26	0.36 ± 0.06	0.83 ± 0.04
Índice A/P	1.34 ± 0.67	0.86 ± 0.35	1.00 ± 0.35
Cobertura del banco de orilla (%)	15.00 ± 8.21	63.30 ± 46.18	15.00 ± 0.00
Cobertura del estrato arbóreo (%)	---	65.00 ± 32.78	76.67 ± 5.77
Densidad aparente	0.77 ± 0.08	0.87 ± 0.07	1.02 ± 0.13
Densidad real	2.25 ± 0.08	2.15 ± 0.14	2.27 ± 0.13
Porosidad	0.94 ± 0.03	0.88 ± 0.02	0.85 ± 0.03
Carbono orgánico (%)	1.32 ± 1.17	4.64 ± 1.61	1.36 ± 0.74
Arena (%)	22.87 ± 6.62	38.53 ± 5.77	43.73 ± 8.81
Limo (%)	27.67 ± 5.57	37.87 ± 6.81	27.20 ± 3.27
Arcilla (%)	49.47 ± 9.86	23.60 ± 11.00	29.07 ± 5.60

* = Los valores presentan la media y la desviación estándar.

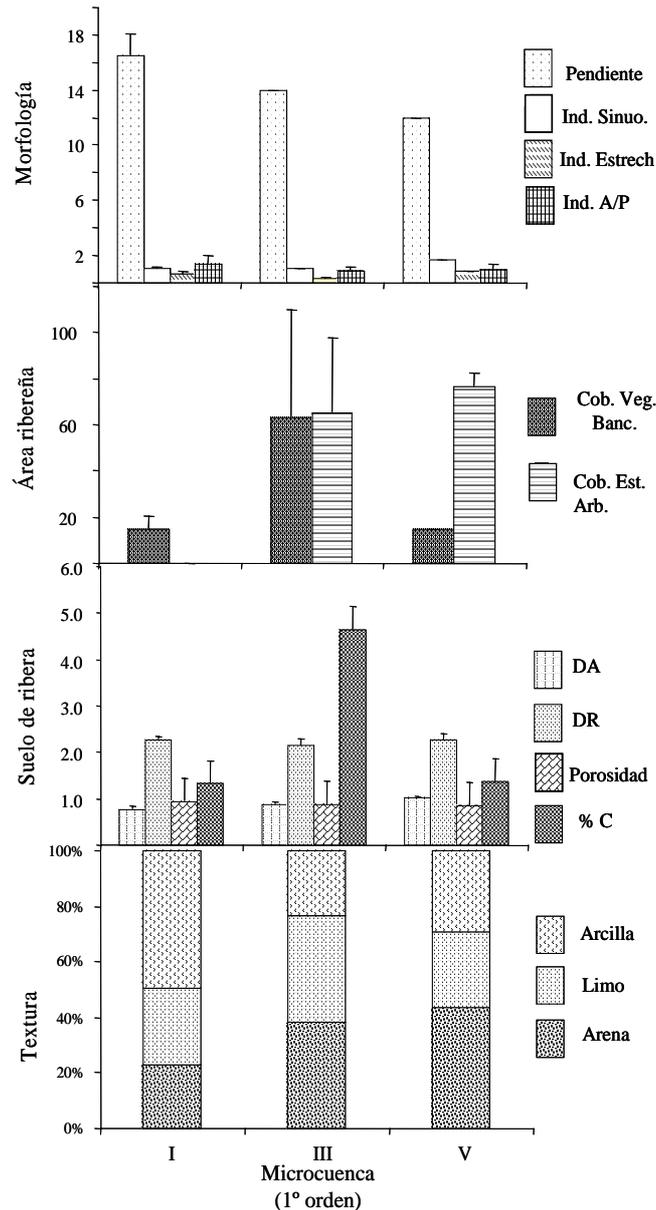


Figura 26. Características de los ríos de primer orden presentes en las microcuencas I, III y V. Ind. Sinuo. = Índice de sinuosidad; Ind. Estrech. = Índice de estrechamiento; Ind. A/P = Índice ancho/profundo; Cob. Veg. Banc. = Cobertura vegetal del banco; Cob. Est. Arb. = Cobertura del estrato arbóreo; DA = Densidad aparente; DR = Densidad real; % C = Porcentaje de Carbono orgánico.

Además, el índice de sinuosidad indica que tanto de la microcuena I como de la III mantienen una media similar pero su índice de estrechamiento muestra que sus ríos son más estrechos, en comparación con los ríos de las microcuencas I y V que son moderadamente estrechos de acuerdo con Rosgen (1996). El tipo de río predominante fue el Aa+ excepto por el río de la microcuena V (sitio 16; Cuadro 11).

Para la caracterización del área ribereña solo se tomaron las variables más sensibles: cobertura vegetal del banco de orilla y del estrato arbóreo. La primera, presentó una mayor cobertura para la microcuena III, lo cual nos indica el buen estado

de conservación del sitio 13 que tiene un flujo constante y un elevado contenido de carbono orgánico a diferencia de los otros ríos de primer orden de la subcuenca. En cuanto a la cobertura del estrato arbóreo, la microcuenca I carece de arbolado en el área ribereña (Cuadro 21; Figura 26). Los tipos texturales hallados del suelo de ribera en los ríos de primer orden son: arcilloso (sitios 17A, 17B, 17C, 18B y 18C), franco arcilloso (18A, 13A y 16B), franco (13B, 13C y 16A) y franco arcillo arenoso (sitio 16C).

Los disturbios característicos de los ríos de primer orden son: presencia de brechas, tala de árboles, pastoreo en el área de ribera y terrenos de cultivo aledaños al río excepto por el sitio 16 de la microcuenca V que no presenta los dos últimos impactos; es importante mencionar que en ninguno se encontraron señales de incendio.

5.4.2 Ríos de segundo orden en las microcuencas II, III, IV y V

Cuadro 22. Variables de los arroyos de segundo orden

Microcuenca	II*	III*	IV*	V*
Pendiente (%)	17.00 ± 0.00	1.32 ± 0.00	6.00 ± 0.00	8.00 ± 0.00
Índice de sinuosidad	1.08 ± 0.00	1.60 ± 0.00	1.56 ± 0.00	1.08 ± 0.00
Índice de estrechamiento	0.64 ± 0.17	0.69 ± 0.23	0.62 ± 0.11	0.58 ± 0.22
Índice A/P	1.77 ± 0.22	1.78 ± 0.60	1.81 ± 0.72	0.98 ± 0.57
Cobertura del banco de orilla (%)	23.33 ± 11.50	10.00 ± 8.66	16.67 ± 5.77	85.00 ± 13.23
Cobertura del estrato arbóreo (%)	30.00 ± 17.32	58.33 ± 46.46	80.00 ± 17.32	50.00 ± 25.00
Densidad aparente	1.09 ± 0.15	0.77 ± 0.15	0.86 ± 0.08	1.01 ± 0.02
Densidad real	2.48 ± 0.21	2.22 ± 0.19	2.20 ± 0.13	2.33 ± 0.11
Porosidad	0.84 ± 0.02	0.91 ± 0.05	0.86 ± 0.02	0.85 ± 0.02
Carbono orgánico (%)	1.49 ± 0.92	5.87 ± 2.84	3.66 ± 1.30	1.40 ± 0.28
Arena (%)	66.40 ± 18.49	43.20 ± 10.39	39.33 ± 10.96	58.13 ± 8.08
Limo (%)	17.47 ± 11.21	35.33 ± 3.06	26.67 ± 8.08	30.67 ± 7.57
Arcilla (%)	16.13 ± 9.02	21.47 ± 13.32	34.00 ± 7.34	11.20 ± 2.00

* = los valores representan la media y desviación estándar.

En los ríos de segundo orden se observó que el sitio 11 de la microcuenca II se localiza a una altura de 1,960 msnm con un porcentaje mayor de pendiente, a diferencia del sitio 14 de la microcuenca III que además, tiene una media similar del índice de sinuosidad al río de la microcuenca IV (Cuadro 22); en cuanto al índice de estrechamiento, los valores denotan que son estrechos pero no existe una notable

variación entre los tramos muestreados de los ríos. Los tipos de río presentes son: Aa+ en las microcuencas II y V, y G en las restantes (Cuadro 11).

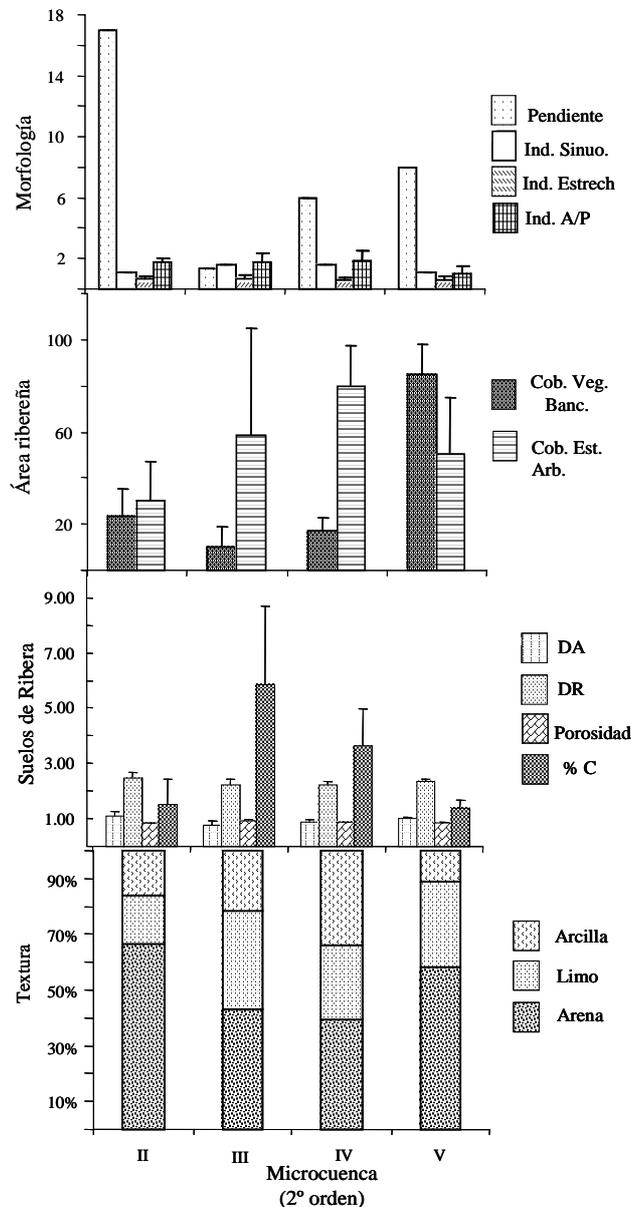


Figura 27. Características de los ríos de segundo orden presentes en las microcuencas II, III, IV y V. Ind. Sinuo. = Índice de sinuosidad; Ind. Estrech. = Índice de estrechamiento; Ind. A/P = Índice ancho/profundo; Cob. Veg. Banc. = Cobertura vegetal del banco; Cob. Est. Arb. = Cobertura del estrato arbóreo; DA = Densidad aparente; DR = Densidad real; % C = Porcentaje de Carbono orgánico.

La cobertura vegetal del banco muestra que el sitio 1 de la microcuencia V posee casi 90%, mientras que los transectos de las microcuencas III y IV son más bajos, no así en la proporción de la cubierta arbórea y en el contenido de carbono orgánico presente en el suelo de ribera. El mayor porcentaje de arena (60-65%) se obtuvo en los ríos de las microcuencas II y V (Figura 27). Las principales texturas encontradas del suelo de ribera son: arenosa franca (sitio 11A), franco arenosa (sitios 11C, 1A, 1B y

1C), franca (sitios 11B, 14B y 14C), franco arcillo arenosa (sitio 5B), franco arcillosa (sitios 14A y 5A) y arcillosa (sitio 5C).

Los disturbios hallados en la red hidrológica a estos ordenes fueron la presencia de caminos y/o brechas, tala de árboles del área ribereña y huellas de ganado en la zona del banco de orilla; sin embargo se presentaron muy pocos rastros de incendio, solo en el sitio 11 de la microcuenca II y, terrenos de cultivo aledaños al río del sitio 14 de la microcuenca III.

5.4.3 Ríos de tercer orden en las microcuencas II, III, IV y V

Cuadro 23. Variables de los arroyos de tercer orden

Microcuenca	II	III	IV	V
Pendiente (%)	14.00 ± 0.00	17.00 ± 0.00	6.00 ± 0.00	6.86 ± 0.94
Índice de sinuosidad	1.24 ± 0.00	1.25 ± 0.00	1.20 ± 0.00	1.22 ± 0.16
Índice de estrechamiento	0.79 ± 0.08	0.62 ± 0.32	0.64 ± 0.17	0.65 ± 0.27
Índice A/P	4.62 ± 2.60	1.63 ± 0.79	1.60 ± 0.36	1.49 ± 0.68
Cobertura del banco de orilla (%)	40.00 ± 20.00	---	20.00 ± 0.00	49.17 ± 36.39
Cobertura del estrato arbóreo (%)	46.67 ± 28.87	86.67 ± 5.77	90.00 ± 0.00	57.50 ± 28.24
Densidad aparente	1.08 ± 0.11	0.99 ± 0.09	0.94 ± 0.04	1.04 ± 0.06
Densidad real	2.45 ± 0.09	2.26 ± 0.13	2.20 ± 0.06	2.26 ± 0.06
Porosidad	0.85 ± 0.04	0.84 ± 0.02	0.89 ± 0.03	0.85 ± 0.03
Carbono orgánico (%)	1.23 ± 0.50	2.06 ± 1.01	2.12 ± 0.95	1.08 ± 0.26
Arena (%)	61.87 ± 16.17	38.53 ± 16.29	44.53 ± 8.33	66.13 ± 17.17
Limo (%)	13.73 ± 12.04	24.80 ± 8.12	24.67 ± 8.08	18.80 ± 12.38
Arcilla (%)	24.40 ± 4.23	36.67 ± 9.80	30.80 ± 2.00	15.07 ± 6.91

* = los valores representan la media y desviación estándar.

Los ríos de la microcuenca IV y V se ubican cerca del valle por lo que tienen pendientes menores al resto de los sitios de muestreo. Los sitios de la microcuenca III no presentan vegetación en los bancos de orilla a diferencia de los ríos de las microcuencas II y V con una cobertura del 40% aproximadamente y cerca del 60 al 70% de la fracción de arena del suelo ribereño (Cuadro 23) con un tipo textural: franco arcilloso (sitios 12A, 6B y 4C), franco arcillo arenoso (12B, 12C, 6A, 4A y 4B), franca (sitios 2B y 10C), franco arenosa (2A, 10A y 10B), arenosa (sitio 2C) y arcillosa (sitio 6C). Las microcuencas III y IV poseen el mayor porcentaje de cobertura arbórea y de contenido de carbono en los suelos del área ribereña (Figura 28). El río perteneciente a

la microcuenca IV es de tipo Aa+, mientras que el sitio 2 de la microcuenca V es de tipo A, los cuales son distintos de los demás sitios con tipo G (Cuadro 11).

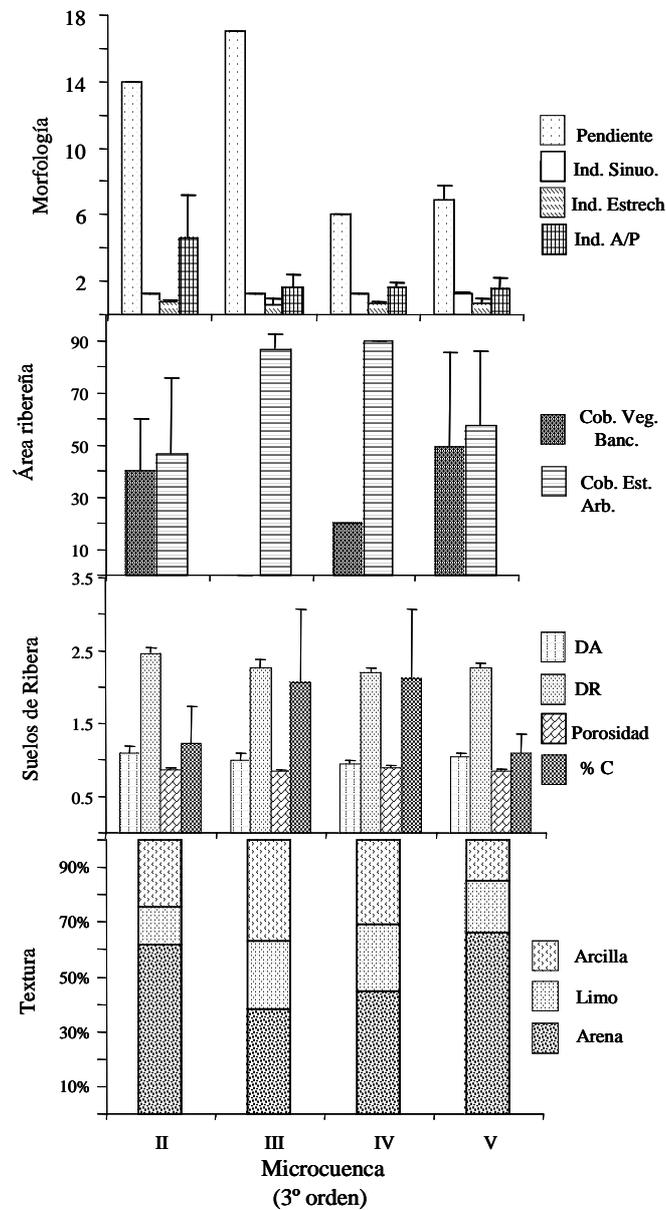


Figura 28. Características de los ríos de tercer orden presentes en las microcuencas II, III, IV y V. Ind. Sinuo. = Índice de sinuosidad; Ind. Estrech. = Índice de estrechamiento; Ind. A/P = Índice ancho/profundo; Cob. Veg. Banc. = Cobertura vegetal del banco; Cob. Est. Arb. = Cobertura del estrato arbóreo; DA = Densidad aparente; DR = Densidad real; % C = Porcentaje de Carbono orgánico.

Los disturbios de mayor impacto en los ríos de tercer orden de la subcuenca son principalmente la presencia de caminos y brechas, rastros de tala del arbolado ribereño y la introducción de terrenos de cultivo cerca del área de ribera en las microcuencas II, III y V, a excepción del sitio 2 en la segunda; solo en el sitio 10 de la microcuenca V se encontraron marcas de incendio en el área ribereña. Se podría decir que el sitio 4 de la

microcuenca IV presenta la menor cantidad de impactos ya que solo se halló cerca del río una brecha.

5.4.4 Ríos de cuarto y quinto orden en las microcuencas II, III, IV y V

Los ríos de cuarto orden de las microcuencas III y IV tienen la pendiente más pronunciada que las microcuencas II y V con un rango menor a 5%. Sin embargo, el índice de sinuosidad indica que estos ríos tienen una sinuosidad moderada y, se observa que el río de quinto orden de la microcuenca II es más ancho y profundo (Figura 29). El tipo de río que caracteriza a los órdenes de cuarto y quinto orden de la subcuenca es G (Cuadro 11). En cuanto a la cobertura del banco de orilla, no se encontró vegetación en el banco de orilla en los sitios de los ríos de las microcuencas III y IV, pero si presentan estrato arbóreo, notando que tanto en la microcuenca II como en la IV (sitio 9) y V (sitio 15) de más de un 50% aproximadamente de cobertura arbórea (Cuadro 24).

Cuadro 24. Variables de los ríos de cuarto y quinto orden

Microcuenca	II (5°)*	III (4°)*	IV (4°)*	V (4°)*
Pendiente (%)	3.00 ± 0.00	12.50 ± 2.89	13.00 ± 0.00	2.00 ± 0.00
Índice de sinuosidad	1.50 ± 0.00	1.23 ± 0.03	1.40 ± 0.00	1.38 ± 0.00
Índice de estrechamiento	0.69 ± 0.15	0.60 ± 0.21	0.59 ± 0.11	0.65 ± 0.21
Índice A/P	4.28 ± 0.66	1.50 ± 0.64	2.04 ± 1.26	1.33 ± 0.95
Cobertura del banco de orilla (%)	10.00 ± 10.00	---	---	20.00 ± 25.98
Cobertura del estrato arbóreo (%)	66.67 ± 20.82	43.33 ± 15.28	53.33 ± 11.55	76.67 ± 5.77
Densidad aparente	0.98 ± 0.08	0.68 ± 0.59	0.95 ± 0.10	0.90 ± 0.06
Densidad real	2.22 ± 0.05	1.48 ± 1.28	2.33 ± 0.17	2.24 ± 0.04
Porosidad	0.84 ± 0.02	0.85 ± 0.04	0.88 ± 0.01	0.87 ± 0.02
Carbono orgánico (%)	1.68 ± 0.45	1.19 ± 1.08	1.74 ± 0.47	3.11 ± 2.19
Arena (%)	45.87 ± 1.15	49.60 ± 29.26	48.13 ± 6.58	39.73 ± 5.22
Limo (%)	20.67 ± 4.16	16.00 ± 9.45	19.33 ± 4.16	31.87 ± 1.80
Arcilla (%)	33.47 ± 5.03	34.40 ± 20.26	32.53 ± 4.01	28.40 ± 3.42

* = los valores representan la media y desviación estándar.

La composición de granulometría de textura más dominante es la fracción de arena en los suelos de los ríos de órdenes mayores. No obstante, se puede observar una tendencia en el contenido de carbono orgánico y el tipo textural del suelo de ribera del río “El Rile” (sitio 15) de la microcuenca V que es predominantemente franco arcilloso a franca, que difiere de los ríos de cuarto orden que tienen una textura de franco arcillo

arenosa (sitios 3B, 3C, 8A y 9B) y arcillo arenosa (sitios 3A, 7B, 9A). Los principales disturbios que sufre la red hidrológica en este tipo de órdenes son: la presencia de caminos y brechas, tala inmoderada y terrenos de cultivo aledaños al área de ribera; sin embargo, a excepción del sitio 9 (IV) la mayoría tienen rastros de incendio y de sobrepastoreo en mayor o menor grado.

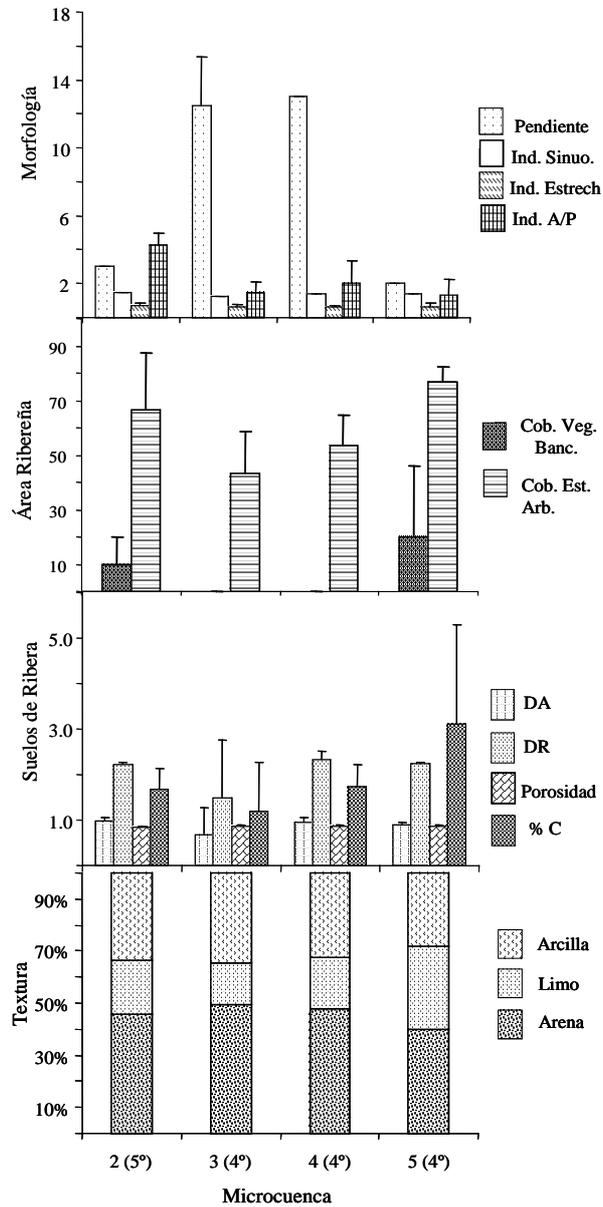


Figura 29. Características de los ríos de cuarto y quinto orden presentes en las microcuencas II, III, IV y V. Ind. Sinuo. = Índice de sinuosidad; Ind. Estrech. = Índice de estrechamiento; Ind. A/P = Índice ancho/profundo; Cob. Veg. Banc. = Cobertura vegetal del banco; Cob. Est. Arb. = Cobertura del estrato arbóreo; DA = Densidad aparente; DR = Densidad real; % C = Porcentaje de Carbono orgánico.

IX. DISCUSIÓN

◆ Morfometría de la subcuenca Mil Cumbres

La subcuenca de Mil Cumbres (río Grande) tiene valores muy característicos, esto es a causa de la forma atípica que presenta y se pueden corroborar con el valor del índice de forma, que indica una cuenca cuadrada debido principalmente a que está asociada a un sistema de fallas transversales en dirección Oeste - Este (DETENAL, 1978). La relación intrínseca que existe entre el índice de compacidad, la relación de elongación y el factor de forma nos refiere a la distancia que tiene que recorrer una gota de agua desde un punto en el parteaguas más lejano hasta llegar al punto de desembocadura (Henaó, 1988); ésta tiene una forma más o menos alargada y, analizando el efecto acumulativo que se puede presentar con la carga de una posible precipitación extraordinaria, se puede decir que podría haber inundaciones en las partes bajas de las planicies provocado por la presencia de muchos riachuelos de primer y segundo orden cerca de los parteaguas. Mas aun, la disposición de los principales afluentes en la subcuenca es de gran relevancia porque provoca que la descarga de las aguas de las cuatro microcuencas (II, III, IV y V) converjan en la microcuenca I que es el paso final del río Grande que ha creado un amplio valle aluvial muy productivo y apto para la agricultura por su riqueza de nutrimentos.

Las cinco microcuencas son diferentes entre sí, se distinguen principalmente en la variabilidad de formas como es el caso de las microcuencas III “Tijeras - Jagüey” y V “El Rile - Varas Cenizas”, que tienen una forma típica como de pera; a diferencia de la microcuenca IV “Vaquerito - Zurumbeneo” que presenta un problema de elongación debido a su alargamiento pero puede tender a la estabilidad, solo sí presenta abundante vegetación ribereña, de lo contrario sí se deforesta causaría que se incrementara la velocidad del agua y sería un peligro inminente de inundación. La microcuenca I “Río Grande” es un caso especial, ya que está alargada y de forma casi rectangular, por ella fluye el río Grande que se encuentra relativamente cerca del parteaguas Norte; en él, hay muchos ríos de primer y segundo orden pero la gran mayoría son efímeros, esto

supone que solo conducen agua durante, e inmediatamente después de los eventos de precipitación.

Con referencia a la relación de bifurcación, si tomamos en cuenta las áreas de captación entre las microcuencas y su desembocadura podemos decir que la microcuenca II depende de la carga de las microcuencas III y IV, por lo que considerando lo anterior, es posible que la cantidad de ríos de primer orden sea proporcional a los del siguiente orden (solo hasta los ríos de tercer orden); sin embargo, la relación de bifurcación es mayor en los ríos de cuarto orden que confluyen al río Grande, lo que podría causar que la suma de ríos rebase la capacidad de desfogue. Horton (1945) demostró que el tamaño de un arroyo está relacionado con el número de arroyos de ese tamaño, su longitud y pendiente, a estos factores, a menudo se suman las características geológicas, incluyendo corrientes de montaña, cauces sucios y llenos de basura que a menudo atraviesan las poblaciones (Leopold, 2002 y Rosgen, 1996).

En otras palabras, la subcuenca posee 329 ríos de primer orden que recorren 288 km, sin contar los de segundo y tercer orden, en un área de captación de aproximadamente 31 000 ha. Esto significa que si tomamos en cuenta a la subcuenca como un todo, el valor de la relación de bifurcación se incrementa de 0.3 a 0.5, lo que significa que a mayor convergencia de ríos, el volumen de agua magnificado es captado por solo tres ríos de cuarto orden (17 km de longitud aprox), que desembocan a cierta velocidad, proporcional al grado de su inclinación en el último trayecto del río Grande (que ha acumulado agua de más de la mitad la superficie del territorio de la cuenca de Cuítzeo). Se suma al problema, el incremento de escorrentía sobre todo en las planicies y otras formas transicionales de relieve (pie de montes) que tienen una mayor superficie ocupada por asentamientos humanos y agricultura a partir del año 2000 (López *et al.*, 2002; Mendoza *et al.*, 2002).

◆ Cambio de la cobertura vegetal , uso del suelo y el impacto en las áreas ribereñas

La desaparición o disminución del flujo perenne de arroyos de montaña de primer y segundo orden está ocasionada por cuatro principales transformaciones: la matorralización (11%), reforestación (8%), deforestación (7%) y urbanización (3%) en el 40% de la superficie total de la cuenca durante el año 2000 (López, et al, 2002;

González, 1996). En la microcuenca II se presenta predominantemente la deforestación en laderas que van de muy suaves a suaves, mas en aquellas cuyas pendientes van de inclinadas a escarpadas. López, *et al.*(2002) mencionan la existencia de tres periodos relativamente secos a) 1940 a 1960, b) 1980 a 1990 y c) 1995 a 2000; asociados a una reducción del agua en los cauces por el incremento de su consumo tanto urbano como para riego de zonas agrícolas y procesos de degradación de laderas, lo que se ve reflejado en un aumento del crecimiento de áreas con cárcavas, generadoras de sedimentos que son transportados y acumulados a lo largo de la red hidrológica provocando desequilibrios en su estabilidad y causando su colapso.

Como resultado de las condiciones socioeconómicas particulares de la zona de estudio, marcada principalmente por emigración de la población, se han suscitado diferentes cambios en las condiciones ambientales. Las más destacadas son: cambio en la cobertura vegetal, uso del suelo y la dinámica de crecimiento de los asentamientos humanos (López et al., 2002; Mendoza et al., 2002). Como consecuencia de esto, se han encontrado modificaciones tanto en el estado del ecosistema ribereño como en el consumo de agua. Los disturbios antropogénicos más frecuentes y de mayor trascendencia, por el grado de impacto en la red hidrológica, están a nivel de la huella de inundación, en donde la vegetación (como el sauce) es perenne pero generalmente cerca del banco de orilla está limitada en un arroyo típico (Harrelson, 1994); es por ello que los tipos de arroyos A y Aa+ poseen una marcada y significativa influencia morfológica y estabilidad sobre las comunidades vegetales (Rosgen, 1996).

Los ríos de la microcuenca I son de tipo Aa+ y carecen de estrato arbóreo debido a la presencia de terrenos de cultivo y áreas próximas a ser urbanizadas, lo que explica la ausencia de indicadores de humedad que definan el área de ribera. Mientras que el resto si presenta estrato arbóreo, lo que ayuda a la formación de corredores biológicos en la red hidrológica, a través de los cuales se favorece el movimiento y dispersión de muchas especies que encuentran refugio y alimento (González, 1996). No obstante, el tomar como parámetro la cobertura del estrato arbóreo posiblemente se podría considerar como indicador del estado de conservación de un área ribereña.

El funcionamiento ecológico de los tramos fluviales con vegetación ribereña es muy distinto al de tramos desprovistos de ella, ya que los cambios en su composición,

vigor y densidad producen cambios correspondientes en la profundidad y densidad radicular, así como la protección física del banco de ribera contra la erosión, el hábitat de insectos terrestres, y la contribución de detritos al cauce. La calidad del agua y valores estéticos son también afectados por los cambios en la vegetación ribereña (Rosgen, 1996). El estrato que protege al suelo de la erosión por goteo es el rasante y el herbáceo en el área ribereña puesto que evita la erosión por goteo del suelo al interceptar las gotas de lluvia, y así, el aporte de sedimentos a la corriente de agua (Zepeda *com. pers.*). Se encontró que todas las áreas de ribera de los sitios muestreados son susceptibles a la tala de árboles, aunque (sitio 5, microcuenca IV) se encuentren en un Área Natural Protegida (INEGI, 1998b); este tipo de impacto es un agente de degradación directo e inmediato porque al destruir la cubierta vegetal se favorece la penetración directa de los rayos solares a la corriente de agua, aumentando su temperatura y la evapotranspiración, subsecuentemente reduciendo el oxígeno disuelto (Zepeda, 2002).

En los tramos de ríos muestreados, la presencia de caminos y brechas adyacentes al área de ribera es un factor muy importante de degradación, exceptuando los ríos de primer orden de las partes altas que están aislados, sin embargo todos los demás ordenes tienen tramos que son vulnerables a los disturbios relacionados porque promueven la escorrentía superficial (medio de aporte de sedimento), el acceso a la ribera tanto de personas como de ganado, la destrucción de la vegetación y sobretodo la compactación del suelo provocada por el continuo tránsito de automóviles y maquinaria pesada. Adicionalmente, los ríos mayores de tercer orden presentan señales de incendios. Lo anterior es causa de reducción de la cubierta vegetal por combustión del material, la incidencia de plagas por falta de vigor de las plantas, la disminución del mantillo del suelo y de la velocidad de infiltración; que repercute en pies de monte y planicies que por lo general son zonas destinadas a terrenos de cultivos o de agostadero (Chávez y Carmona, 1994 en: Zepeda, 2002). El cambio de uso de suelo cerca de las zonas ribereñas es desfavorable para el arroyo, por la evidente pérdida de germoplasma, la disminución de la infiltración, el aumento de la erosión hídrica que se convierte en una fuente importante de sedimentos que degrada directamente al arroyo (Fitzjohn *et al.*, 1998 en: Zepeda, 2002).

De igual forma, los ríos de primer orden en las áreas altas de las microcuencas, son perturbados a causa de la baja densidad poblacional, provocando impactos como el desmonte de áreas boscosas y el desarrollo de prácticas agrícolas limitadas, incluyendo construcción de caminos y pastoreo (Wolf, 2000 en: Price, 2006), que a menudo difieren de los impactos relacionados con la agricultura intensiva o la urbanización (Doyle, 2000 en: Price, 2006; Brooks, 1997). En 1975 la tendencia del cambio de cobertura vegetal y uso del suelo predominante eran los terrenos de cultivo de temporal, pero a partir del año 2000 se han ido sustituyendo por matorrales que se localizan principalmente en lomeríos, lugares muy pedregosos y con suelos poco profundos (microcuenca I y II), lo que se traduce en arduas labores de labranza y bajos rendimientos de cosechas (fríjol y maíz), y el abandono de las tierras de cultivo poco productivas (López, *et al.* 2002).

◆ Cobertura vegetal del banco de orilla y el suelo de ribera

El banco de orilla se puede definir por medio de varios indicadores como la presencia de vegetación perenne, el cambio en su densidad o en el tipo de vegetación, el límite más bajo de musgo y líquenes o un paso de musgos a otras plantas (Rosgen, 1996); no obstante cuando la vegetación está ausente, solo habrá ramas, troncos, brecha volcánica o grava, que proporcionarán una cobertura no viva y darán protección al suelo (McInnis, 2001; Harrelson, 1994). Suponemos que el porcentaje de cobertura del banco de orilla es inversamente proporcional al porcentaje de banco pisoteado, por ejemplo en la microcuenca V se presenta el mayor porcentaje de cobertura del banco de orilla y disminución del área del banco pisoteada. Sin embargo, el pisoteo puede depender del uso y de la temporalidad con que se introduzca el ganado al sitio (Zepeda *com. pers.*).

La cobertura vegetal de los bancos de ribera, a través de su sistema radical asociado al aumento en la cohesión del suelo y su resistencia, determina la estabilidad del cauce debido a que lo protegen de la abrasión del flujo de agua durante las crecidas, disminuyendo el riesgo de erosión por la acción de la corriente y al mismo tiempo, se disipa su energía y velocidad; como consecuencia se evita la remoción de los materiales que lo componen y que pueden almacenar una gran cantidad del agua necesaria para mantener un flujo permanente (González, 1996; Medina, 1996; Rosgen, 1996). La más alta cobertura vegetal se presenta en los sitios mejor conservados (Zepeda, 2002), sin

embargo existen los periodos de flujos catastróficos que pueden alterar patrones en la vegetación (Harrelson, 1994). La cobertura y estabilidad del banco de orilla son factores críticos que influyen la calidad del agua, la morfología del cauce del arroyo, el potencial de erosión y el hábitat de fauna silvestre en áreas ribereñas (Kauffman y Krueger, 1984, Platts, 1986; Both, 1986; Elmore y Kauffman, 1994 y Mosley *et al.*, 1997 en: McInnis, 2001; Rosgen, 1996).

El sobrepastoreo causa un efecto deletéreo en el hábitat ribereño (principalmente en la microcuenca V), incluyendo cambios en la estabilidad del banco de orilla y ampliando el cauce de los arroyos de montaña que ocasiona el incremento de bancos inestables sin cubierta vegetal. La inestabilidad aumenta la erosión potencial del suelo (McInnis, 2001). Éste es un proceso de degradación directa del cauce, ya que también reduce el espacio del suelo disponible para el almacenamiento de agua (Neary y Medina, 1996 en: Zepeda, 2002). Para que el ganado modifique su distribución es necesario tomar en cuenta factores como la estacionalidad, topografía, vegetación y clima y así poder alejarlo de las áreas ribereñas (Bryant, 1982; Stuth, 1991 en: McInnis, 2001).

Las características generales de los suelos de ribera en la subcuenca, se engloban en dos grupos: el primero considera a los sitios de primer y segundo orden que tienen una pendiente porcentual mayor y que además se encuentran cercados, imposibilitando el acceso del ganado, facilitando la conservación del ecosistema ribereño y la estabilidad del suelo; por lo que presenta altos porcentajes de carbono orgánico, porosidad y por ende un flujo constante de agua; y el segundo son los sitios accesibles, son los tramos de ríos de tercer a quinto orden con impactos permanentes a diferentes grados principalmente cerca de los pies de monte y en las planicies.

Como se recordará, el muestreo del suelo de ribera se realizó a nivel del banco, esto permite inferir el buen funcionamiento de los ríos, principalmente de primer orden de la parte superior de la subcuenca; y se ve reflejado en la gran cantidad de carbono orgánico que se puede acumular a las orillas de los ríos, además del mantenimiento del régimen de flujo si se conservan ciertos rangos de densidad aparente establecidos para estas zonas lo que nos indicaría una tendencia a la estabilidad del arroyo, se recomienda aplicar estas características solo para ríos de montaña donde su flujo no sea tan abrupto

y turbulento. Es importante mencionar que la densidad aparente esta relacionada con la porosidad, de interés desde el punto de vista del manejo del suelo (Porta, 2003). La porosidad representa el volumen de las fases líquida y gaseosa, que depende de la textura, la mineralogía (densidad real) y el contenido de materia orgánica. Lo que favorece la velocidad de la infiltración del agua de lluvia, evitando la erosión del suelo por escorrentía superficial (Zepeda, 2002). Sin embargo, la compactación en los bancos de orilla producida por el ganado es uno de los agentes más importantes en la efimerización de los arroyos, por la reducción del espacio poroso con lleva la reducción de la capacidad de retención de agua en el suelo (Neary y Medina, 1996; Swewars y Valett, 1996 en: Zepeda, 2002).

Consideramos que se debe redefinir la altura a la que se hace la toma de muestra debido a la gran influencia de la descarga del río, que fluctúa ampliamente de un año a otro y de una temporada a otra. La composición del suelo de ribera varía dependiendo de la abrasión de las crecidas y la depositación posterior de manera cíclica (Leopold, 2002). Por esto, es importante mencionar que los valores obtenidos en periodo de secas, en el que el cauce corre a poca profundidad la mayor parte del tiempo, no son permanentes. Contrariamente, durante la época de lluvias el banco de orilla pasa a formar parte del lecho, que en ocasiones el río es llenado hasta el borde superior. La abrasión en el cauce es común que desgaste temporalmente el lecho durante las crecidas; no obstante mientras retrocede se vuelve a depositar aproximadamente una cantidad igual de material (Leopold, 2002; González, 1996); aun en ocasiones menos frecuentes, la descarga puede exceder la capacidad del cauce y fluir por encima de las orillas. Wolman y Miller en 1960 propusieron que el modelado de las formas del paisaje no se realiza durante el evento frecuente o la situación predominante, porque los procesos que actúan son incapaces de tener algún efecto significativo. Es por ello que la formación del cauce y su mantenimiento son llevados a cabo principalmente por periodos de crecida del caudal (Leopold, 2002). Sin embargo, durante el tiempo de secas se favorece una completa visibilidad importante, ya que así es posible describir la composición y la condición de los bancos de orilla del arroyo (Harrelson, 1994).

El aporte de materia orgánica de la ribera al cauce es en muchos tramos la principal fuente de energía para el inicio de cadenas tróficas en el medio acuático. Cuando falta ésta vegetación se reducen considerablemente determinados grupos de

macroinvertebrados, y cambia la composición de las comunidades acuáticas (González, 1996). La materia orgánica es un constituyente del suelo e indica su calidad (Gregorich, 1997; Franzluebers, 2002; Baldock, 2000 en: Porta, 2003). Por ejemplo, la diversidad de los parches de vegetación sobre terrenos aluviales se relaciona a la inmadurez de sucesiones asociadas con el deterioro del cauce (Petts, 1996). En sitios degradados con escasa cobertura vegetal (Microcuencas I y II) existe poca acumulación de hojarasca, lo cual afecta la porosidad y por ende la infiltración, en comparación con aquellos que presentan buena cobertura vegetal (Zepeda, 2002). Entre algunos factores que intervienen en el contenido de materia orgánica están la vegetación y su aporte de masa al suelo; la producción de biomasa, el grado de actividad microbiana; el drenaje y la textura.

Se observó que los suelos de ribera presentan una tendencia en textural. Para los ríos de primer orden de la parte alta predominan los suelos francos a franco arcillosos. Los ríos de segundo orden ubicados en la parte media se ve incrementada la fracción arena en todos sus representantes. Además para los de tercer orden la mayoría son francos, al igual que en los ríos de ordenes mayores. Esta variedad de texturas no tan definida por los cambios en la pendiente o el incremento en su caudal, posiblemente se puede atribuir a la falta de definición de la orilla del meandro (depósito o arrastre de sedimentos) en la cual se tomo la muestra. En cuanto a la textura, la variabilidad en el tamaño de partículas del suelo de ribera en diferentes ordenes de río, es posible que indique la dinámica de diferentes procesos como el transporte de partículas finas en una matriz de agua (Harrelson, 1994).

De los diferentes sustratos resultantes depende la composición y estructura de la vegetación de las riberas que esta ligado a la dinámica fluvial debido a que en las riberas queda atrapado un porcentaje muy elevado de sedimentos, y con ello se reducen los sólidos en suspensión de las aguas (González, 1996). Además, del tipo textural dependerá la absorción y retención de la humedad del suelo en el banco de orilla, si existe un porcentaje de arena la preservación de agua será muy baja, en comparación con suelos arcillosos los cuales pueden acumular un volumen considerable de agua (saturación periódica del suelo; Zepeda, 2002). La textura también influye en el mantenimiento del flujo permanente en los cauces; las texturas finas al ser menos

permeables permiten una liberación mas lenta y prolongada del agua, mientras que las texturas gruesas influyen de manera inversa en este proceso (Zepeda *com. pers.*).

◆ Morfología de los cauces

El perfil longitudinal del río es una manifestación de la distribución espacial de las funciones hidráulicas y biológicas del arroyo en relación con su elevación, pendiente y energía potencial (Leopold, 2002); de esta manera, proveen información relacionada a la profundidad y el tamaño de partículas de materiales del lecho del cauce (Rosgen, 1996). La mayor parte de los tramos de los ríos de primer y segundo orden se clasifican en tipo Aa+ y A, que son ríos rectos, angostos y confinados, mientras que los ríos de tercer a quinto orden son ríos de tipo G que son relativamente anchos y más o menos profundos con respecto a la huella máxima de inundación. Los ríos se pueden distribuir en dos principales grupos de acuerdo con el intervalo de pendiente, el primero va de 14-17% (ríos de 1° y 2° orden) y el segundo de 4-8% (3° a 5° orden). Un arroyo en equilibrio es descrito por Mackin como el que, por un periodo de años, la pendiente es ajustada delicadamente para proveer, con la descarga disponible y con las características del cauce prevalecientes, justo la velocidad requerida para la transportación de la carga suministrada por la cuenca hidrográfica (Leopold, 2002).

Asimismo, la sinuosidad puede ser modificada por el control del lecho rocoso, caminos, confinamiento de cauce (contención lateral), la magnitud de los caudales, pendiente del valle, carga de sedimentos del río (González, 1996) y vegetación ribereña (Rosgen, 1996). Los ríos muestreados de primer orden son ríos rectos en pendientes mayores, pero es raro que su rectitud sobrepase una distancia mayor al ancho de diez cauces, cuando las curvas adoptadas por el cauce guardan una relación constante se exhibe un aspecto regular en sinuosidad (Leopold, 2002), el gradiente del cauce y el tamaño de partículas que van decreciendo con el incremento en la sinuosidad (Rosgen, 1996).

El incremento del índice A/P provee de una serie de ajustes en el cauce, notándose en el incremento de deposito de sedimentos y erosión del banco; junto con una disminución en anchura del meandro y sinuosidad, existiendo una relación constante entre la anchura del cauce y el radio de las curvas que exhibe (Leopold, 2002; Rosgen,

1996), debido a que el carácter meándrico de los cauces está asociado con el movimiento de los sedimentos en la mecánica básica, la similitud en la forma de los cauces implica que la causa básica es esencialmente hidrodinámica, mas que un resultado directo de la erosión de los márgenes y de la transferencia lateral de sedimento a través del cauce (Leopold, 2002) y generando una concurrente redistribución del tamaño de las partículas del lecho (Rosgen, 1996). Por ejemplo, los ríos de la microcuenca V tienen rangos de sinuosidad que engloba ríos de primer orden hasta de cuarto orden, y se observa que el índice de sinuosidad va aumentando conforme va llegando al valle; pero es posible que la geomorfología, disminuya la sinuosidad y los procesos de sedimentación, que inhiben la creación de sustratos necesarios para la germinación de las semillas de muchas especies (Rood y Mahoney, 1990 en: González, 1996). En promedio, la abrasión tiende a ser equilibrada por la sedimentación, tal dinámica entre erosión y depositación depende de la operación de controles y balances (Leopold, 2002). Si la fuerza erosiva en las orillas del cauce es suficiente para superar la cohesión de los materiales de la orilla, la erosión tiene lugar y las partículas erosionadas son arrastradas de su posición original, convirtiéndose en parte de los materiales del lecho ya sea para ser removidos o temporalmente alojados (Leopold, 2002).

El índice A/P es la clave para entender la distribución de energía disponible en un cauce y es el indicador más sensible de tendencia en la inestabilidad del cauce porque cuando es muy profundo y angosto la acción erosiva en los lados del cauce será mucho mayor que en su lecho (Rosgen, 1996), esto se observa con los valores mas altos del índice de A/P como es el caso de los ríos de la microcuenca II; y habría una tendencia de la fuerza erosiva insuficiente para llevarse el material erosionado a lo largo del lecho, que provocaría su ensanchamiento y se volvería menos profundo. En caso contrario, si un cauce es muy ancho y poco profundo, la gran extensión del lecho expuesta a la acción erosiva de la corriente tenderá a erosionarse y así a degradar el lecho, estableciendo con el tiempo un cauce de una anchura bastante modesta aunque con mayor profundidad. El incremento de tamaño de un río tanto en anchura como en profundidad durante su trayecto es a causa del aumento del área de escorrentía para ajustar una elevación en la descarga, resultado de la entrada de tributarios, o también ocasionar que el incremento del caudal pudiera lograrse por un aumento en su velocidad (Leopold, 2002).

La composición del lecho o sustrato del cauce es un aspecto importante de la caracterización del arroyo, que influye en la forma y la hidráulica del cauce. Además de que la valoración de la naturaleza y distribución de los materiales del cauce es necesaria para la interpretación de las funciones biológicas y la estabilidad de los ríos (Rosgen, 1996). Observaciones muestran que arroyos con lechos con brechas volcánicas o conglomerados actúan diferentemente desde un bajo gradiente del arroyo con lechos de arena o limo/arcilla (Harrelson, 1994). En el lecho de un arroyo, la abrasión tiene lugar cuando la fuerza erosiva excede un valor crítico, y esto ocurre durante la presencia de caudales relativamente altos (Leopold, 2002); principalmente en temporada de lluvias o lluvias extraordinarias, durante las crecidas donde el río puede alcanzar la huella máxima de inundación.

Se puede decir que el material predominante en los cauces de esta subcuenca son los conglomerados, le sigue la grava y la brecha volcánica, esto significa que este tipo de materiales en el lecho causa un amortiguamiento a la abrasión, lo que evita la pérdida de las fracciones finas. Hay que hacer notar que el material del lecho considerado en la clasificación morfológica de ríos naturales de montaña de Rosgen (1996), se refiere primeramente a las partículas de la superficie que conforman el lecho; es la parte que se pudiera referir como el “pavimento” del cauce. Las partículas que están por debajo de las primeras (subpavimento) son pequeñas y finas, con un rango de tamaño de sedimento que puede ser movilizadas fácilmente. Así como la superficie de partículas del pavimento decrece en tamaño, el tamaño de las partículas del subpavimento también decrece. Después de un tiempo el lecho del cauce y los materiales del banco influyen en la forma de la sección transversal, la vista del plano y el perfil longitudinal de los ríos, esto determina la extensión de sedimentos transportados y provee la principal resistencia al estrés hidráulico (Rosgen, 1996).

El factor de la transportación granular en realidad cambia las fuerzas dentro del flujo de tal manera que la erosión continua del lecho se vuelve imposible, este material crea una tensión que actúa hacia la parte inferior que tiende a sostenerlo, previniendo así la erosión del cauce (Leopold, 2002). La microcuenca I presenta un número muy reducido del porcentaje de grava en el lecho de los ríos muestreados lo que la hace ser más vulnerable a la degradación. Beverger y King proponen la distribución del tamaño de partícula del lecho del cauce como indicador de la salud de la cuenca. Dicen que los

cauces con mayor porcentaje de partículas finas (arena fina, limo y arcillas) presentan mayor degradación que aquellos con predominancia de partícula gruesa (gravas y conglomerados) (Zepeda, 2002).

Los sistemas hidrológicos han sido alterados dramáticamente por la acción combinada de la deforestación. El sobrepastoreo ha provocado que la vegetación no se reponga y las labores de desmonte de la vegetación natural para utilización agrícola de la tierra constituyen una gran pérdida de ejemplares, desapareciendo algunas especies de flora y fauna amenazando a la biodiversidad. Las características funcionales de los sistemas hidrológicos han sido perturbadas y hay una reducción en la calidad del paisaje y la pérdida de áreas silvestres (Colby, 1990, In: Crandall, 1992). Además de que esta serie de impacto causa que el agua de lluvia no se infiltre al subsuelo para recargar los mantos acuíferos, sino que escurra superficialmente por la pendiente, a velocidad creciente, arrastrando el suelo descubierto hasta dejar solamente piedras estériles y, por lo tanto, un suelo erosionado (Hernández, 2001).

En los valles, la construcción de presas y depósitos (microcuenca II, IV y V), canalización (microcuenca I y V) y desarrollos del uso del suelo a lo largo de las desembocaduras de la cuenca, al igual la conjunción de la erosión de los montes y la sobreexplotación por extracción (microcuenca I) provoca un rápido descenso en los niveles de los mantos acuíferos generando el dramático incremento en la escasez del recurso hidráulico, que son ejecutados sin bases ecológicas y solo por principios mecánicos de ingeniería hidráulica en la que se pierde notablemente la cantidad y la calidad del agua disponible en las partes bajas de la cuenca y ríos del país (Crandall, 1992; Gómez-Tagle, 1997).

De ahí la importancia monumental de entender las variables de procesos interrelacionados, que en conjunto forma la dimensión, el modelo y los perfiles de un río. Asimismo, debe existir la intención de poner en práctica políticas de desarrollo sostenible que incluya la protección de la calidad del agua y ecosistemas ribereños. Trabajos como estos son importantes porque generan consecuencia de muchos de los valores naturales de los recursos del río que se desconocen. El reto real que todos vemos es como conocer las demandas actuales y futuras para los usos tradicionales, además del valor intrínseco de un río sin dañar su estabilidad y función.

IX. CONCLUSIONES

En la subcuenca Mil Cumbres (río Grande) se presentan diferentes grados de impactos asociados a la red hidrológica que a lo largo de la ella se combinan y generan desequilibrios en su estabilidad. Esto se aprecia en la desaparición y/o disminución del flujo permanente de arroyos de montaña de primer orden, a causa del cambio de uso del suelo, la deforestación y la demanda del recurso hídrico que constituye también una causa importante de degradación en la cuenca de Cuítzeo.

En las partes de pie de monte se presentan procesos de erosión intensa por la escasa cobertura vegetal del suelo debido principalmente a la ganadería extensiva, no solo en terrenos de agostadero sino también en los ecosistemas ribereños y de la agricultura en tierras no aptas por tener pendientes pronunciadas. Las zonas de parteaguas deben ser forestadas permanentemente debido a que los ríos de primer y segundo orden presentan suelos de ribera con altos contenidos de arcilla, que son más susceptibles a la degradación si se presentan disturbios como el cambio de uso del suelo. Además, es un área estratégica de infiltración que puede evitar posibles inundaciones aguas abajo si se desarrollan adecuados planes de manejo sustentable, teniendo en cuenta que a un mejor estado de conservación, menores serán los costos a futuro.

La metodología planteada por Rosgen (1994) contempla rangos distintos a los que realmente poseen los arroyos y ríos de México, que dependen de la diversidad orográfica y del único aporte de agua durante el periodo de lluvias de verano. En si, este método es una muy buena guía y herramienta inicial a la que se le puede sacar mucho provecho, sin embargo para esto es necesario adaptarlo a la geomorfología abrupta y accidentada del país, que por ejemplo presenta altos grados de pendiente. Es por lo anterior que los ríos estudiados se encasillaron a solo tres tipos de ríos (Aa+, A y G).

Desafortunadamente, los ríos han sido delimitados con materiales ajenos a ellos a causa de los buenos propósitos hidráulicos de control de flujo y drenaje, empinados,

ramificados, y alterados de manera que decrece su función y estabilidad natural. De ahí la importancia monumental de entender las variables de procesos interrelacionados, que en conjunto forma la dimensión, el modelo y los perfiles de un río. Asimismo, debe existir la intención de poner en práctica políticas de desarrollo sostenible que incluya la protección de la calidad del agua y ecosistemas ribereños.

Trabajos como estos son importantes porque generan consecuencia de muchos de los valores naturales de los recursos del río que se desconocen. El reto real que todos vemos es como conocer las demandas actuales y futuras para los usos tradicionales, además del valor intrínseco de un río sin dañar su estabilidad y función.

V. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, N. 1989. *Tratado de Edafología de México*. Tomo I. Primera impresión. Facultad de Ciencias, UNAM. México. p. 222.
- Brook, J. 1985. *Physical characteristics and pedogenesis of soils in riparian habitats along the upper Gila River Basin*. In: *Riparian ecosystems and their management: Reconciling Conflicting Uses*. Proceedings of the Symposium. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. General Technical Report. RM-20. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, CO.
- Brooks, K, Folliott, P, Gregersen, H y DeBano, L. 1997. *Hydrology and the Management of Watersheds*. Iowa State University Press. 2° edition. USA.
- Chacón, A., Rosas-Monge, C. y Alvarado-Díaz, J. 2000. *The effects of hypereutrophication in a tropical Mexican Lake*. In *Aquatic ecosystems of Mexico: status and scope*. Munawar, M., Lawrence, S., Munawar, I.F. y Malley, D. (Eds). pp. 89-101.
- Chávez-Huerta, Y., Medina, A., Madrigal-Sánchez, X. y Sáenz Reyes, J. 1995. *Caracterización preliminar de las asociaciones de vegetación ribereña de la cuenca del arroyo El Carrizal, Tapalpa, Jalisco, México*. In: Aguirre-Bravo C., Eskew, L., Villa-Salas, A. y González-Vicente, C. (Editores). 5° Simposio Bienal Mex-EUA. Sociedad para el manejo Sustentable de Ecosistemas Forestales. U.S. Department of Agriculture, Forest Service: RM-GTR-266.
- Comisión Económica Para América Latina y el Caribe (CEPAL). 2000. *Instrumentos Económicos para el Control de la Contaminación del agua: condiciones y casos de aplicación*. (<http://www.pamas.colmex.mx/DocumentosCepal/LCI0137S.PDF>)
- Confederación Hidrográfica del Ebro (C.H.E.) 2002. *Estudio de la calidad ecológica integral de los tramos fluviales mas importantes del río Cinca. Río Isabena. Informe de síntesis. Comisaría de Aguas. Informe Isábena. Ministerio de Medio Ambiente. Vol X. España*.
- Crandall, B. K. 1992. *Measuring the economic values of riparian areas: a case study*. In *Arid Land News le her*. Spuuq/Summer 32: pp. 12-51.

- Crouse, M. y Kindschy, R. 1981. *A method for predicting riparian vegetation potential of semiarid rangeland*. In: Acquisition and Utilization habitat Inventory Information. Proceedings of a Symposium, October 28- 30, 1981, Western Div. of Am. Fish Soc. Portland, OR.
- Cummins, W. y Spengler, G. 1982. *Stream ecosystems*. Spectrum (10) 4: pp. 1-9.
- DeBano, F. y Schmidt, L. 1989. *Improving Southwestern riparian areas through watershed management*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. General Technical Report. RM-182. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, CO.
- DETENAL. 1978a. Carta Geológica Morelia, E14A23 esc. 1:50 000.
- DETENAL. 1978b. Carta Geológica Cuítzeo, E14A13 esc. 1:50 000.
- DETENAL. 1978c. Carta Geológica Tzitzio, E14A24 esc. 1:50 000.
- DETENAL. 1978d. Carta Geológica Zinapécuaro, E14A14 esc. 1:50 000.
- DETENAL. 1979a. Carta Edafológica Cuítzeo, E14A13 esc. 1:50 000.
- DETENAL. 1979b. Carta Edafológica Morelia, E14A23 esc. 1:50 000.
- DETENAL. 1979c. Carta Edafológica Tzitzio, E14A24 esc. 1:50 000.
- DETENAL. 1979d. Carta Edafológica Zinapécuaro, E14A14 esc. 1:50 000.
- Domínguez, M., Ventura, R. y Bautista, G. 1998. *Los Sistemas de Información geográfica y su utilización en la modelación hidrológica*. Facultad de Ingeniería División de Posgrado. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. p. 8.
- Dourojeanni, A, Jouravlev, A y Chávez, G. 2002. *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica*. Programa Agua, Medio Ambiente y Sociedad. Publicación de la Naciones Unidas. USA.
- Espinosa, A., Medina, A. y Gómez-Tagle, A. 1995. *Clasificación morfológica de los canales de la cuenca del arroyo El Carrizal, Tapalpa, Jalisco, México*. In: Aguirre-Bravo C., Eskew, L., Villa-Salas, A. y González-Vicente, C. (Editores). 5° Simposio Bienal Mex-EUA. Sociedad para el manejo Sustentable de Ecosistemas Forestales. U.S. Department of Agriculture, Forest Service: RM-GTR-266.
- Gómez-Tagle, Ch. 2001. *Aplicación de Sistemas de Información geográfica y Fotomosaicos Secuenciales del Lago de Pátzcuaro, un estudio retrospectivo de morfometría lacustre*. Tesis de Licenciatura. FES Iztacala, UNAM. p. 61.

- Gómez-Tagle, R. 1984. El Sistema Agrológico Forestal como una perspectiva de aplicación en los requerimientos de información para los inventarios de Uso Múltiple. Memorias del Primer Encuentro Nacional de Inventarios Forestales. Chihuahua, Chih. México.
- Gómez-Tagle, R. 1997. *Levantamiento Agrológico Forestal de la Cuenca de Pátzcuaro, Mich. y Diagnostico de Posibilidades de Recuperación y Desarrollo, Mediante Sistemas de Información Geográfica*. Tesis de Doctorado. División de Estudios de Posgrado. Facultad de Ciencias, UNAM. p. 137.
- Gómez-Tagle, R. 2004. En: XXII Curso-Internacional de Edafología “Nicolás Aguilera”. Morelia, Michoacán. ISBN en tramite.
- Gómez-Tagle, R. 2005. En: XXIII Curso-Diplomado Internacional de Edafología “Nicolás Aguilera”. Diplomado de Actualización Profesional. Editado por Dandez. ISBN: 968 - 865-115-X.
- González, L. 1981. *Michoacán, lagos azules y fuertes montañas*. Colección: Monografías Estatales. Secretaria de Educación Pública. p. 273. ISBN: 968-80-0310-7.
- González, M. 1996. *Las riberas, elementos clave del paisaje y en la gestión del agua*. Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. p. 13
- González, M. y García, D. 1998. *Restauración de ríos y riberas*. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. p. 319.
- Guifang Y., Zhongyuan C., Fengling Y., Zhanghua W., Yiwen Z. y Zhangqiao W. 2006. *Sediment rating parameters and their implications: Yangtze River, China*. Geomorphology. p. 10.
- Hampton, R. 1994. *Introductory Biological Statistics*. Wm. C. Brown Publishers. USA, p. 231.
- Harrelson, C., Rawlins, C. y Potyondy, J. 1994. *Stream Channel Reference Sites: An Illustrated Guide to Field Technique*. General Technical Report. RM-245. For Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. p. 61.
- Harris, R. 1986. *Occurrence patterns of riparian plants and their significance to water resource development*. Biological Conservation 38: pp. 273-286.
- Hernández Garcíadiego, R y Herrerías Guerra, G. 2001. *Procesos de delimitación de cuencas tributarias*. Alternativas y Procesos de Participación Social A.C. Tehuacan, Puebla, México.

- Hernández Garcíadiego, R y Herrerías Guerra, G. 2001. *Programa Agua para Siempre. Alternativas y Procesos de Participación Social A.C.* Tehuacán, Puebla, México.
- INEGI, 1985. *Síntesis Geográfica del Estado de Michoacán.* Dirección General de Geografía. México, D. F. p. 316.
- INEGI. 1995a. Ortofotografías Cuítzeo, E14A13d y E14A13e esc. 1:20 000.
- INEGI. 1995b. Ortofotografías Morelia, E14A23b, E14A23c y E14A23e esc. 1:20 000.
- INEGI. 1995c. Ortofotografías Tzitzio, E14A23a esc. 1:20 000.
- INEGI. 1995d. Ortofotografías Zinapécuaro, E14A14d esc. 1:20 000.
- INEGI. 1998a. Carta topográfica Cuítzeo, E14A13, esc. 1:50 000.
- INEGI. 1998b. Carta topográfica Morelia, E14A23, esc. 1:50 000.
- INEGI. 1998c. Carta topográfica Tzitzio, E14A24, esc. 1:50 000.
- INEGI. 1998d. Carta topográfica Zinapécuaro, E14A14, esc. 1:50 000.
- Leopold, L. 2002. *Ríos.* Gaceta Ecológica. INE- SEMARNAT. Num. 64. México. pp. 47-71.
- López Granados, E., Mendoza, M. y Acosta, A. 2002. *Cambio de cobertura vegetal y uso de la tierra. El caso de la cuenca endorreica del lago de Cuítzeo, Michoacán.* Gaceta Ecológica. INE- SEMARNAT. Num. 64. México. pp. 19-34.
- López-Guerrero, A. 1992. *Escorrentía en pequeñas cuencas hidrológicas con selva baja caducifolia en Chamela, Jal. , México.* Tesis Prof., ENEP-Iztacala, UNAM.
- McInnis, M. y McIver, J. 2001. *Influence of off-stream supplements on streambanks of riparian pastures.* Journal of Range Management 54 (6). pp. 648-652.
- Medina, A., Gómez-Tagle, R., Baker, M. y D. Neary.1994. *Propuesta de Proyectos para el diagnostico de condiciones y manejo de ecosistemas ribereños en la cuenca del arroyo El Carrizal, Tapalpa, Jalisco, México.* Quinto Simposium Bienal México/Estados Unidos de América. Cooperación Social para el Manejo Sostenible de los Ecosistemas Forestales. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. General Technical Report RM-GTR-266: p. 125.
- Mendoza, M., Bocco, G., Lopez G., E y Bravo M. 2002. *Implicaciones hidrológicas del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: una propuesta de análisis espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del lago de Cuítzeo, Michoacán.* Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm 49. pp. 92-117.
- Munsell Soil Color Charts. 2000 Revised Washable Edition. NY, USA.
- Petts, G y Calow, P. 1996. *River Restoration.* Blackwell Science. USA.

- Phillips, J. 1989. *Evaluating of North Carolina's estuarine shoreline area of environmental concern from a water quality perspective*. Coastal Management. 17: pp. 103-117.
- Porta, J., López-Acevedo, M. y Roquero, C. 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3° edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. p. 960.
- Price, K. y Leigh. 2006. *Morphological and sedimentological responses of streams to human impact in the southern Blue Ridge Mountains, USA*. Geomorphology 78 . pp. 142-160.
- Rosgen, Dave. 1994. *A classification of Natural Rivers*. Catena, Vol. 22. El servier. Wildland Hidrology, I Steven's Lake Road, Pagosa Spring, CO 81147, USA. p. 199.
- Rosgen, Dave. 1996. *Applied River Morphology*. 2o. Edition. Hilton Lee Silvey. USA.
- Solis-Garza, G., Brady, W. y Medina, A. 1993. *Riparian plant communities on the Rio Los Ajos, Sonora, México*. Ecológica 3(1): pp. 13-22.
- van Reeuwijk, L.P. 2002. *Procedures for Soils Analysis*. 6° edition. International Soil Reference and Information Center (ISRIC). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Zepeda C., Gómez-Tagle R., Chávez H. y Medina A. 2002. *Metodología rápida para la evaluación de ecosistemas riparios en zonas templadas*. Ingeniería hidráulica en México. Vol. XVII, num. 1. pp. 61-74.
- Zepeda Castro, H. 1999. *Determinación del estado de conservación de las áreas del arroyo Tiquio municipio de Morelia, Michoacán y sus relaciones con el uso del Suelo de la cuenca*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Michoacán. México. p. 60.

ANEXOS

Anexo I.

Formato de Campo

CLASIFICACIÓN DE RÍOS "Rosgen"

Microcuenca: _____

Río: _____

Orden: (o.) _____

X: _____

Y: _____

Altitud: _____

Pendiente: _____ %

Permanencia: _____

Ind. Sinuosidad: _____

Long. Río: _____ m

Long. valle: _____ m

FECHA: _____ 2006

No. Transecto: _____

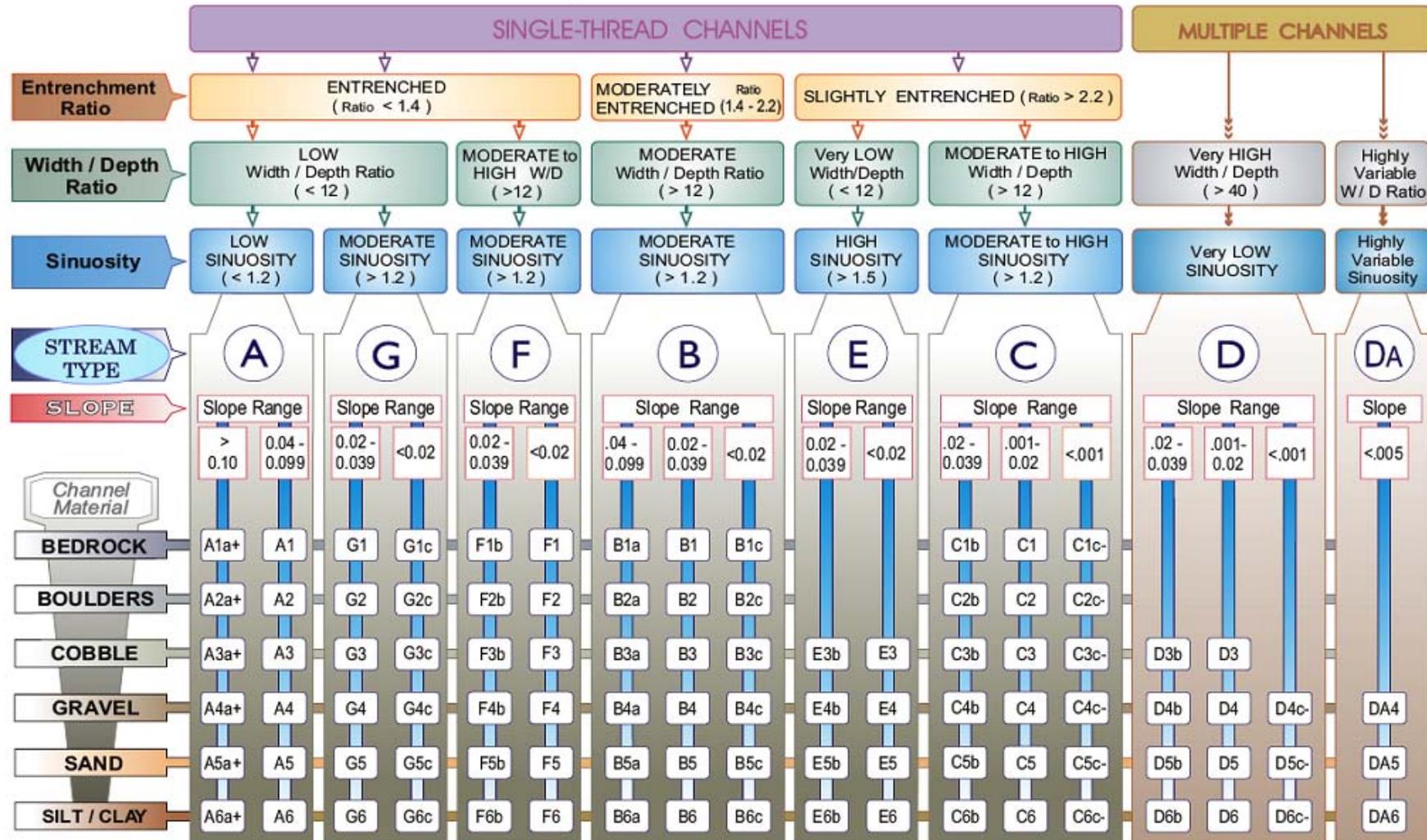
TIPO DE RÍO: _____

Sitio	A	B	C
Ind. Estrech.			
Ind. A/P			

Ma Te rial	LIMO/ARCIL(%)			ARENA			GRAVA			CANTO_RODADO			Piedr Bolas /ROCA					
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C			
ÁREAS DE RENDIDA	Cauce afectado %			Banco Pisoteado %			Camino/Brechas			Cobert. veg. Banco %			Colonizac. de Depósitos			Cobert. Estrato ARBOREO %		
	<i>INCENDIADO</i>						<i>TALA DE ÁRBOLES</i>						<i>TERRENOS DE CULTIVO</i>					

SITIO A				SITIO B				SITIO C			
Dist	Prof	Dist	Prof	Dist	Prof	Dist	Prof	Dist	Prof	Dist	Prof
0	0	6.0		0	0	6.0		0	0	6.0	
0.2		6.2		0.2		6.2		0.2		6.2	
0.4		6.4		0.4		6.4		0.4		6.4	
0.6		6.6		0.6		6.6		0.6		6.6	
0.8		6.8		0.8		6.8		0.8		6.8	
1.0		7.0		1.0		7.0		1.0		7.0	
1.2		7.2		1.2		7.2		1.2		7.2	
1.4		7.4		1.4		7.4		1.4		7.4	
1.6		7.6		1.6		7.6		1.6		7.6	
1.8		7.8		1.8		7.8		1.8		7.8	
2.0		8.0		2.0		8.0		2.0		8.0	
2.2		8.2		2.2		8.2		2.2		8.2	
2.4		8.4		2.4		8.4		2.4		8.4	
2.6		8.6		2.6		8.6		2.6		8.6	

The Key to the Rosgen Classification of Natural Rivers



KEY to the **ROSGEN** CLASSIFICATION of NATURAL RIVERS. As a function of the "continuum of physical variables" within stream reaches, values of **Entrenchment** and **Sinuosity** ratios can vary by +/- 0.2 units; while values for **Width / Depth** ratios can vary by +/- 2.0 units.

Descripción general de los tipos de ríos naturales

Tipo de Río	Descripción General	Radio de Estrechamiento	Radio A/P	Índice de Sinuosidad.	Pendiente (%)	Forma del Terreno/Suelos/Características
Aa+	Rangos de pendiente muy elevada, profundamente atrincherado, transporte de sedimentos, ríos torrenciales	< 1.4	< 12	1.0 a 1.1	>0.10	Relieve muy alto. Erosión, lecho rocoso o características de deposición; sedimentos en el flujo potencial. Profundamente atrincherados, escalones verticales con pozas profundas y cascadas.
A	Mayores pendientes, 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.	<1.4	<12	1.0 a 1.2	0.04 - 0.10	Relieve alto, formas del lecho rocoso de erosión o deposición, atrincherado y confinado con extensiones de cascadas. Frecuentemente espaciado, pozas profundas asociadas a la morfología del lecho de escalones y pozas.
B	Moderadamente atrincherado con gradiente moderado, dominado por depósitos, con pozas infrecuentemente espaciadas. Muy estable el perfil y los bancos.	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.
C	Bajo gradiente, meandrónico, barras de punto, depósitos/pozas, cauces aluviales anchos, bien definido el plano de inundación.	> 2.2	>12	>1.2	<0.02	Valles anchos con terrazas, en asociación con el plano de inundación, suelos aluviales. Ligeramente atrincherados con buena definición de cauces meándricos. Morfología del lecho depósitos/pozas.
D	Cauce trenzado con barras longitudinales y transversales. Cauce muy amplio con bancos erosionados.	n/a	>40	n/a	<0.04	Valles de aluviones amplios, abanicos empinados. Materiales glaciales o deposición característica. Activo ajuste lateral, con abundancia de suministro de sedimento. Convergencia / divergencia del lecho característica., procesos de acumulación, alta disminución del lecho y erosión del banco.

Continuación...

Tipo de río	Descripción general	Radio de estrechamiento	Radio A/P	Índice de sinuosidad	Pendiente	Forma del terreno/suelos/características
DA	Anastomosado (cauces múltiples) estrecho y profundo con extensiones, bien vegetado en los planos de inundación asociados a humedales. Relieve muy suave con sinuosidad e índice A/P altamente variable. Bancos muy estables.	> 2.2	Altamente variable	Altamente variable	<0.005	Amplio, bajo gradiente de valles de aluvión fino y/o suelos lacustres. Anastomosado, control geológico creando deposición fina con buena vegetación en las barras que son lateralmente estables con anchos humedales en planos de inundación.
E	Bajo gradiente, meandrónico con depósitos/pozas con bajo índice A/P y ligera depositación. Muy eficiente y estable. Alto índice de sinuosidad.	> 2.2	< 12	> 1.5	<0.02	Valles y meandros anchos. Materiales aluviales con planos de inundación. Altamente sinuoso con estabilidad, bien vegetado los bancos de orilla. Morfología de depósitos y pozas con muy poco índice A/P
F	Meandros estrechos, cauces con depósitos y pozas sobre un bajo gradiente con un alto índice A/P.	< 1.4	>12	> 1.2	<0.02	Atrincherado altamente intemperizado el material. Gradientes suaves, con un alto índice A/P. meandrónico, lateralmente inestable con altas tasas de erosión en los bancos Morfología de depósitos y pozas.
G	Estrecho en "barranca" con escalones y pozas, y un bajo índice A/P sobre gradientes moderados.	< 1.4	< 1.2	>1.2	0.02 a 0.039	Barrancas, morfología de escalones y pozas con pendiente moderada e índice A/P bajo. Valles estrechos, o profundamente cortado en materiales aluviales o coluviales, e.i. abanicos o deltas. Inestable, con grado de problemas de control y altas tasas de erosión de banco.

Anexo III.

Perfiles morfológicos de la red hidrológica de la subcuenca Mil Cumbres (río Grande)

Microcuenca I “Río Grande”

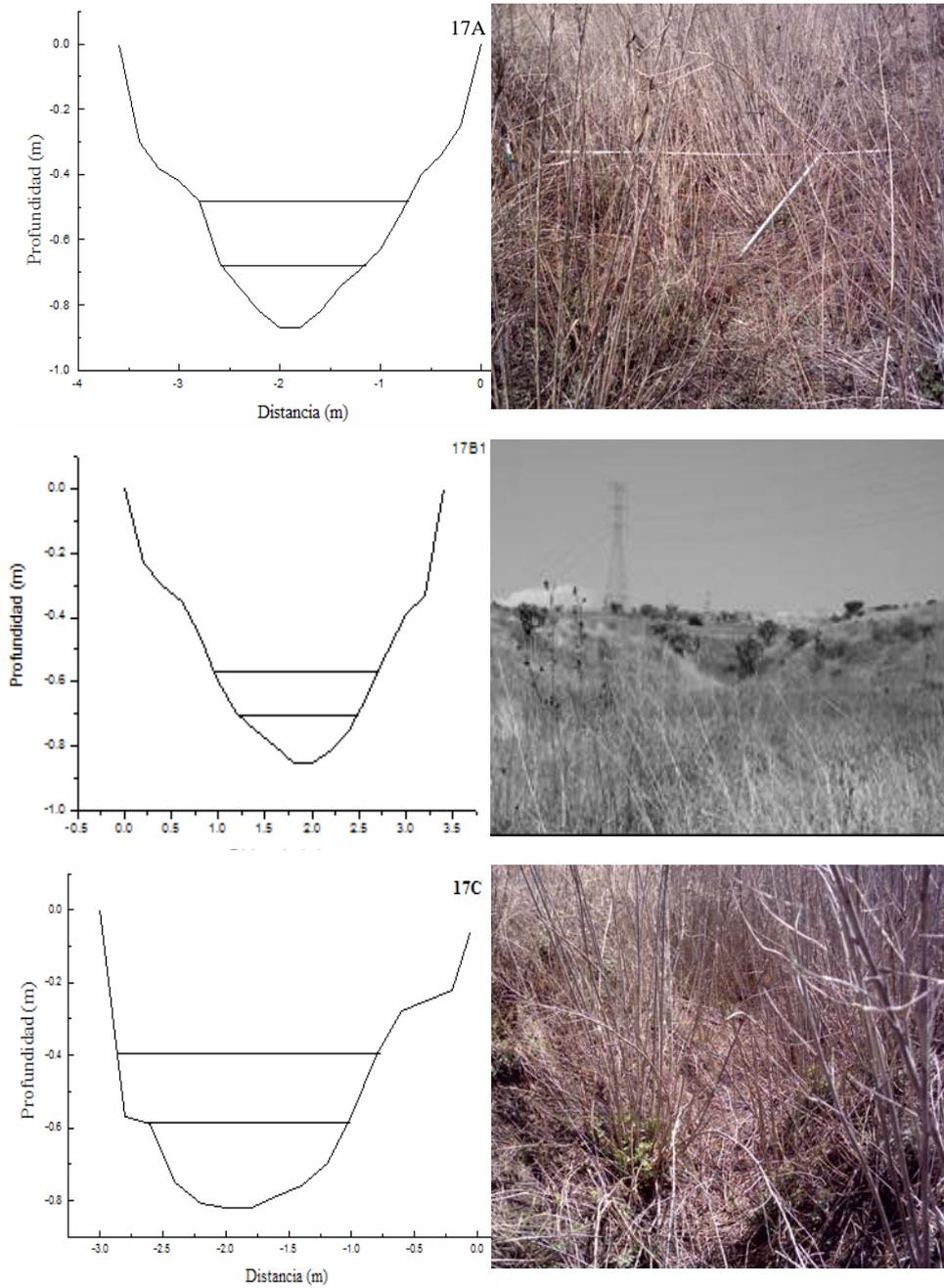


Figura 30 . Perfiles morfológicos de las secciones transversales del cauce de 1° orden (Sitio 17)

Microcuenca I “Río Grande”

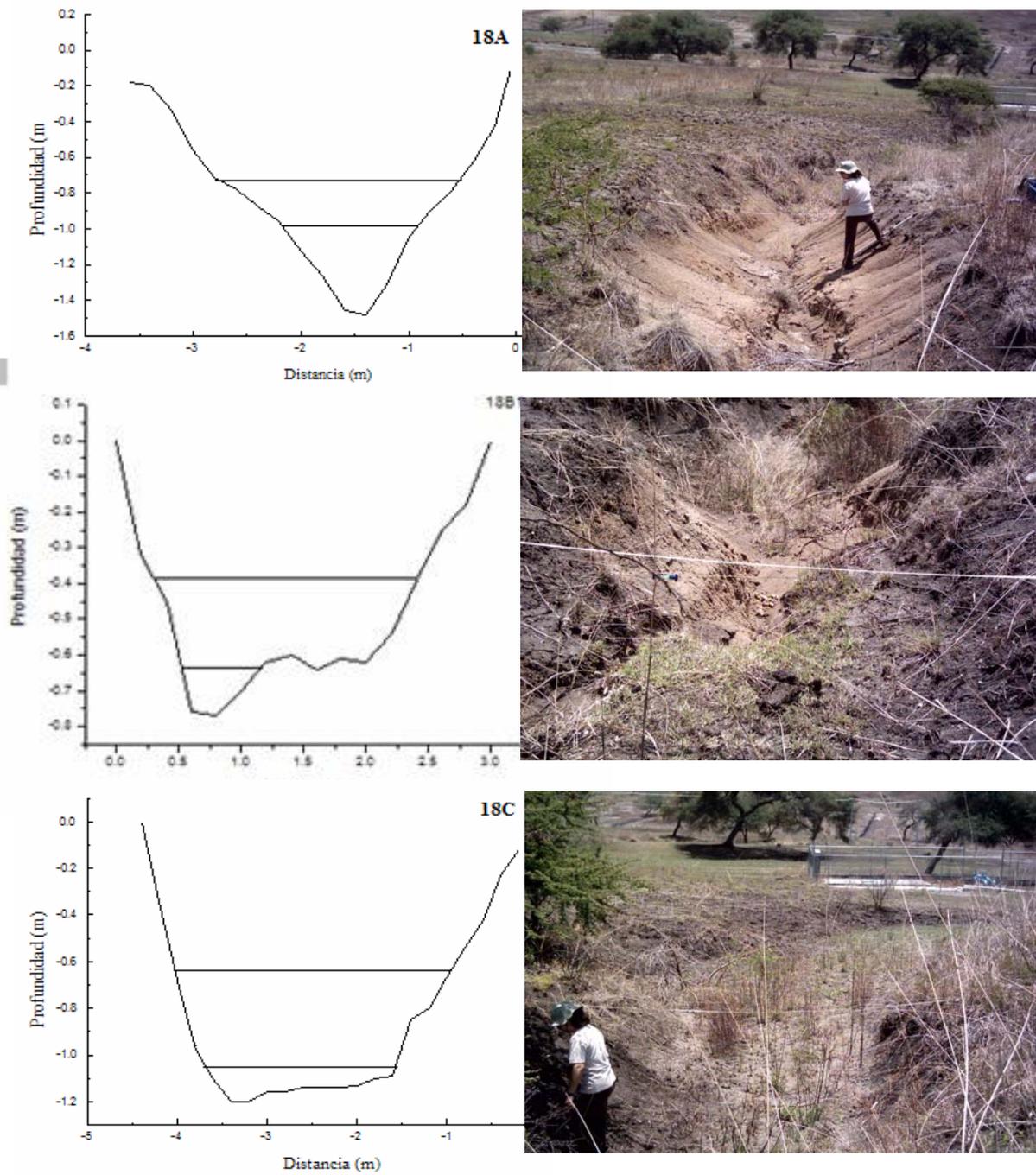


Figura 31 . Perfiles morfológicos de las secciones transversales del cauce de 1° orden (Sitio 18)

Microcuenca II “Vado Blanco – Lobera”

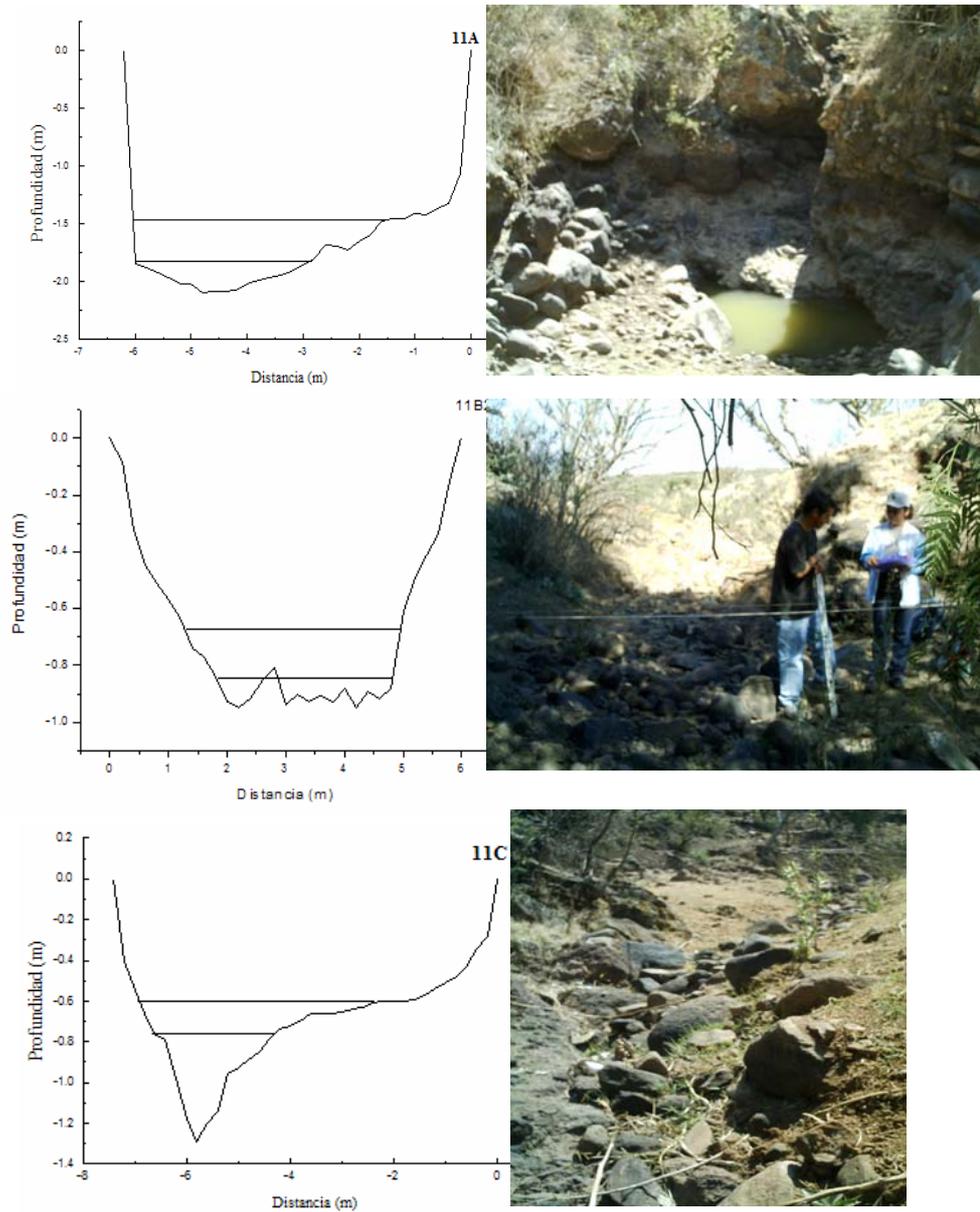


Figura 32 . Perfiles morfológicos de las secciones transversales del cauce de 2° orden (Sitio 11)

Microcuenca II “Vado Blanco – Lobera”

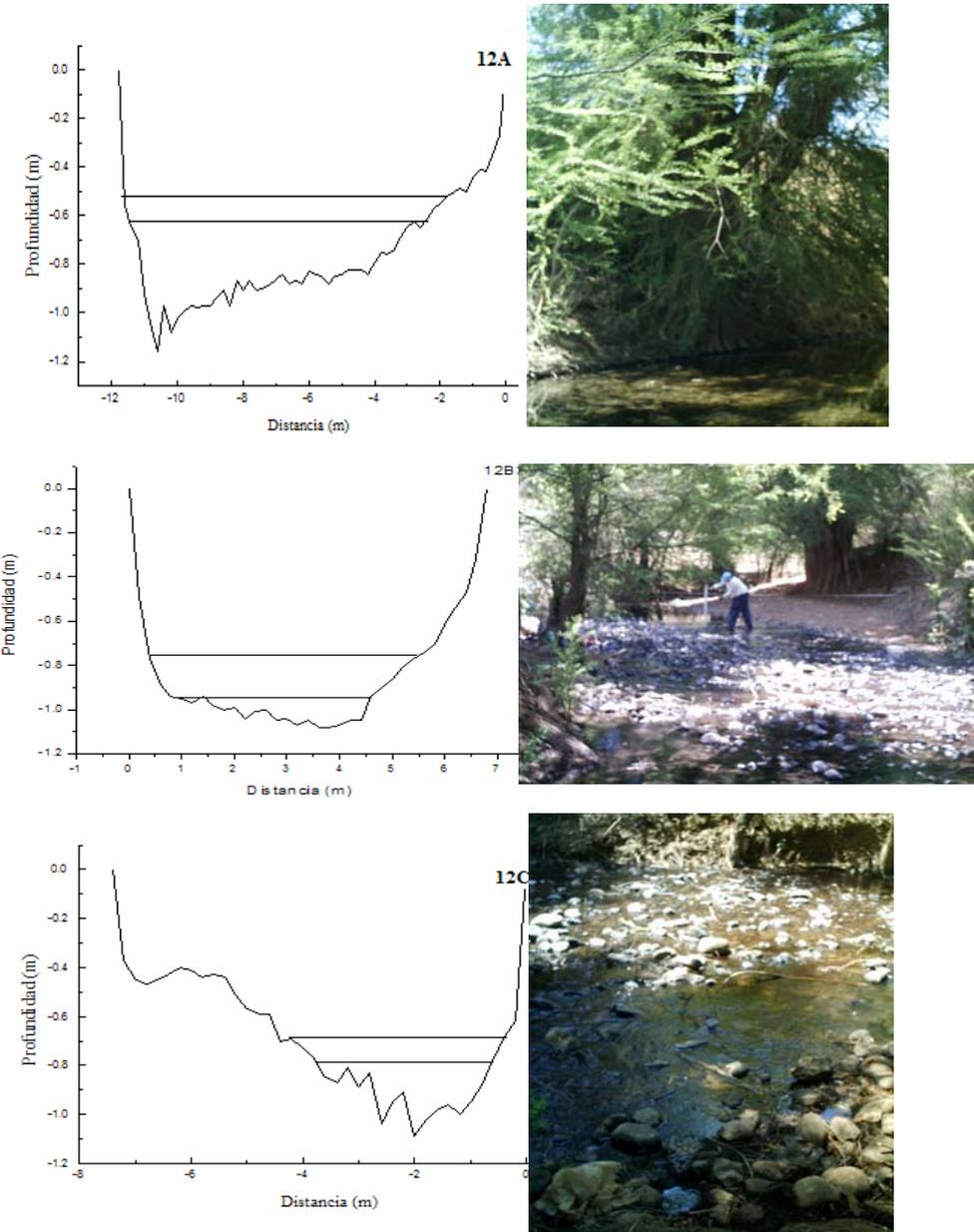


Figura 33 . Perfiles morfológicos de las secciones transversales del cauce de 3° orden (Sitio 12)

Microcuenca II “Vado Blanco – Lobera”

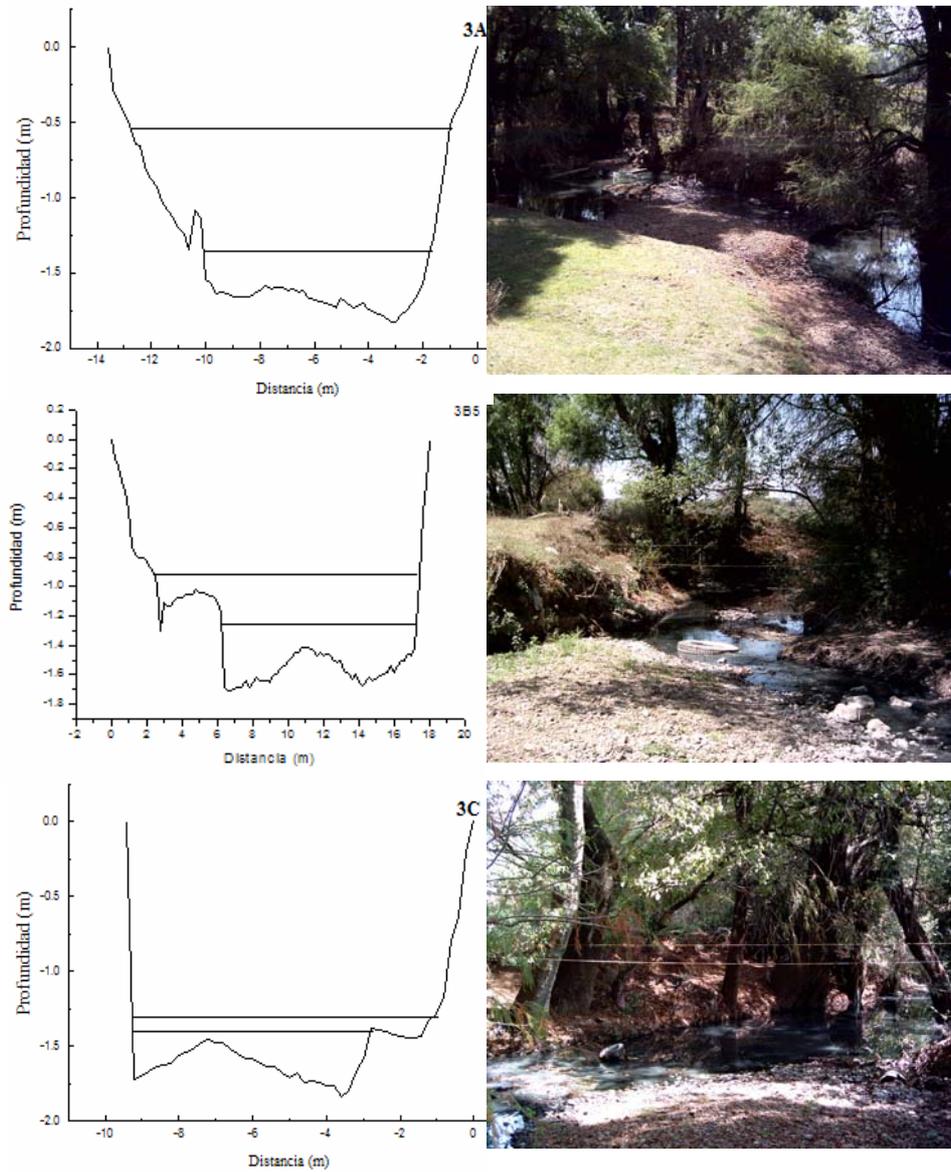


Figura 34. Perfiles morfológicos de las secciones transversales del cauce de 5° orden (Sitio 3)

Microcuenca III “Tijeras – Jagüey”

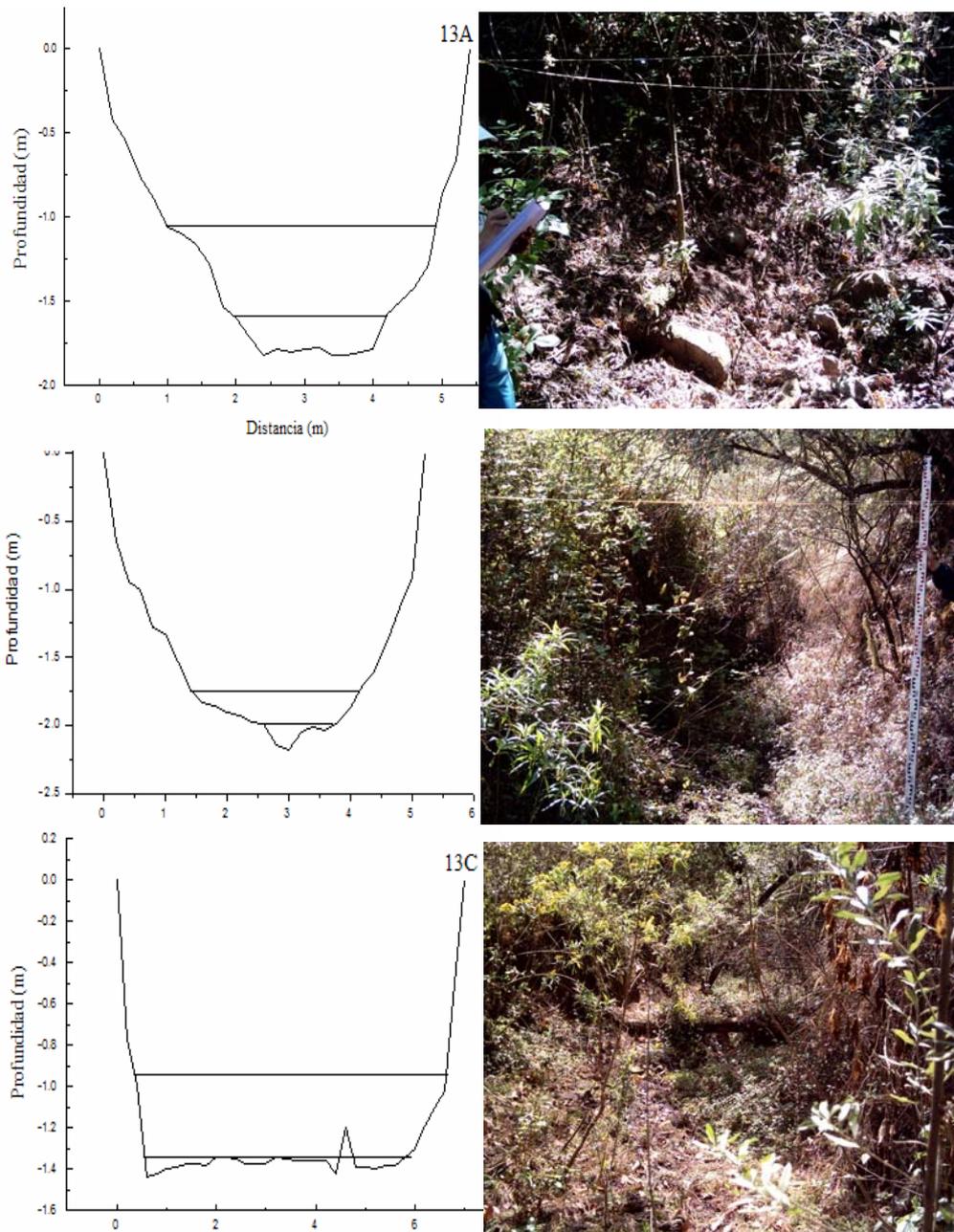


Figura 35. Perfiles morfológicos de las secciones transversales del cauce de 1° orden (Sitio 13)

Microcuenca III “Tijeras – Jagüey”

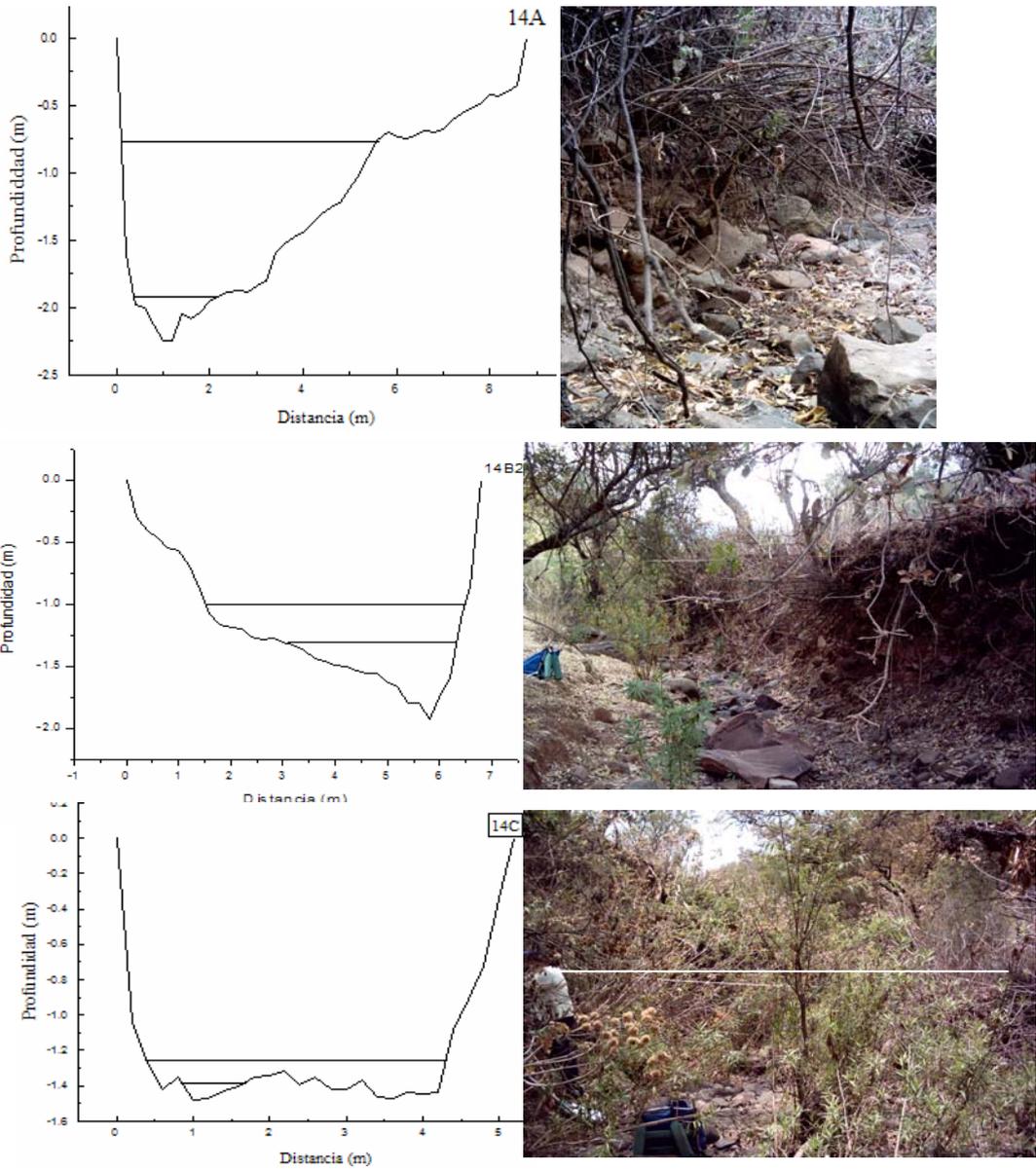


Figura 36. Perfiles morfológicos de las secciones transversales del cauce de 2° orden (Sitio 14)

Microcuenca III “Tijeras – Jagüey”

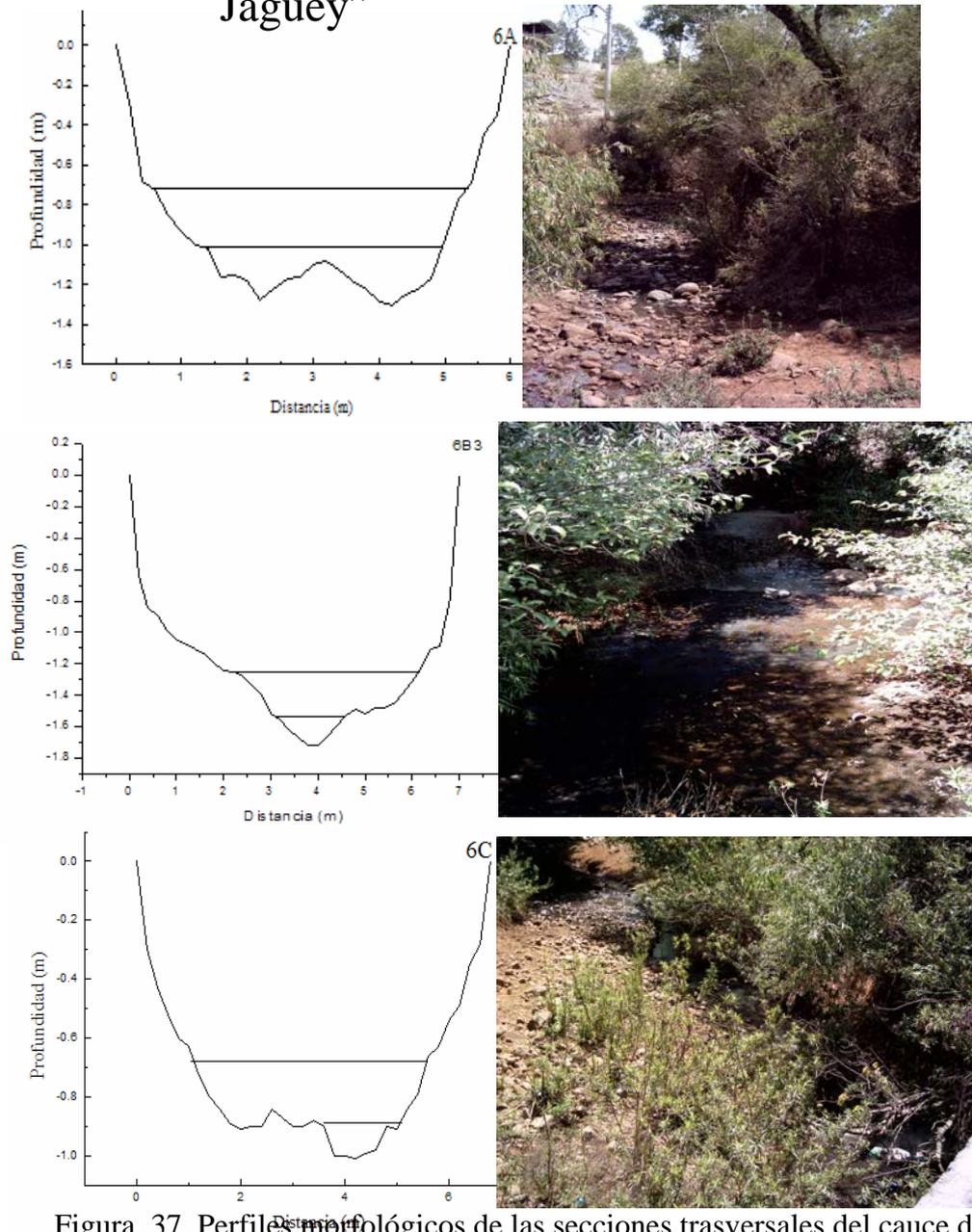


Figura 37. Perfiles morfológicos de las secciones transversales del cauce de 3° orden (Sitio 6)

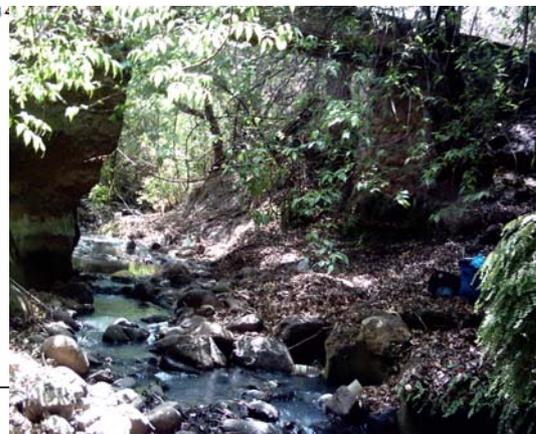
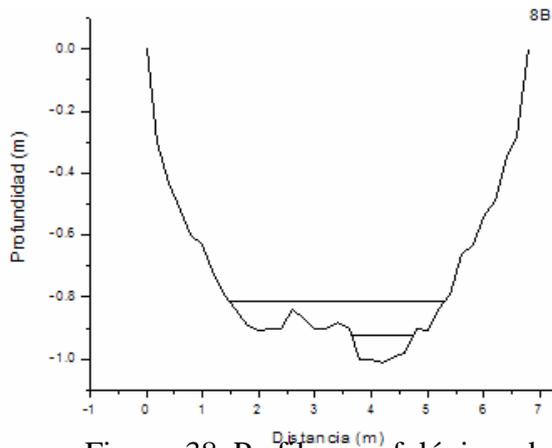
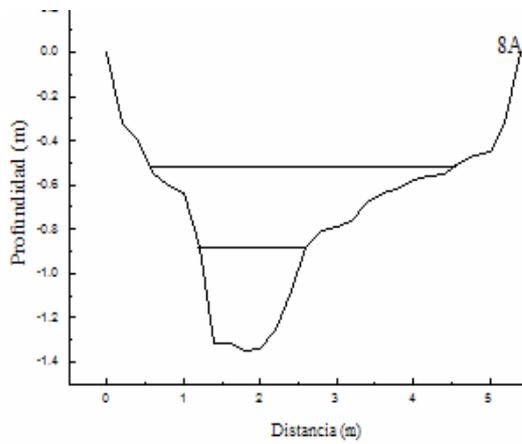


Figura 38. Perfiles morfológicos de las secciones transversales del cauce de 4° orden (Sitio 8)

Microcuenca IV “Vaquerito – Zurumbeneo”

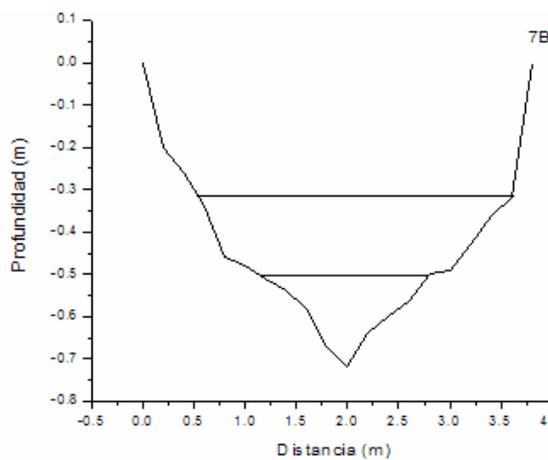


Figura 39. Perfiles morfológicos de las secciones transversales del cauce de 4° orden (Sitio 7)

Microcuenca IV “Vaquerito – Zurumbeneo”

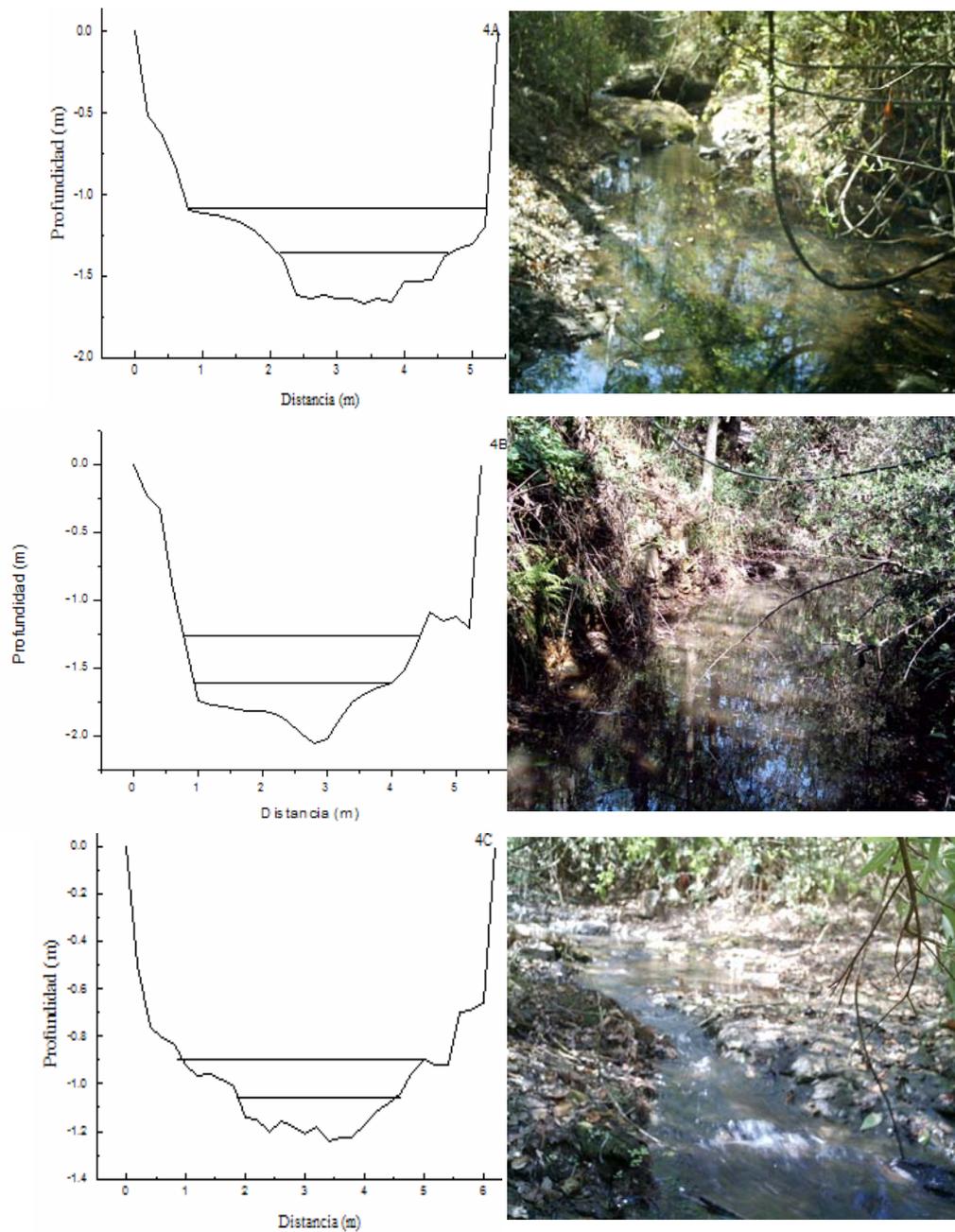


Figura 40. Perfiles morfológicos de las secciones transversales del cauce de 2° orden (Sitio 4)

Microcuenca IV “Vaquerito – Zurumbeneo”

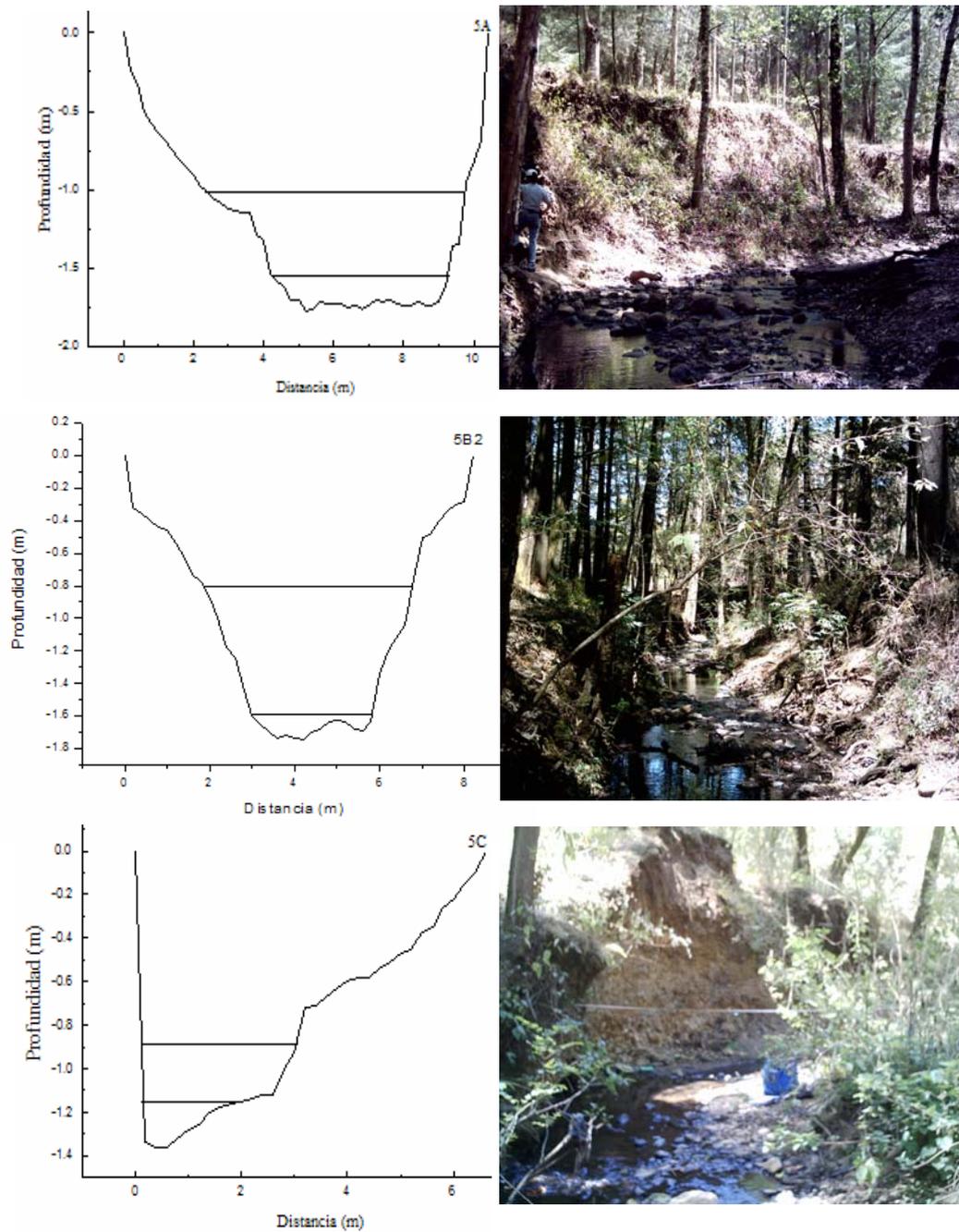


Figura 41. Perfiles morfológicos de las secciones transversales del cauce de 3° orden (Sitio 5)

Microcuenca IV “Vaquerito – Zurumbeneo”

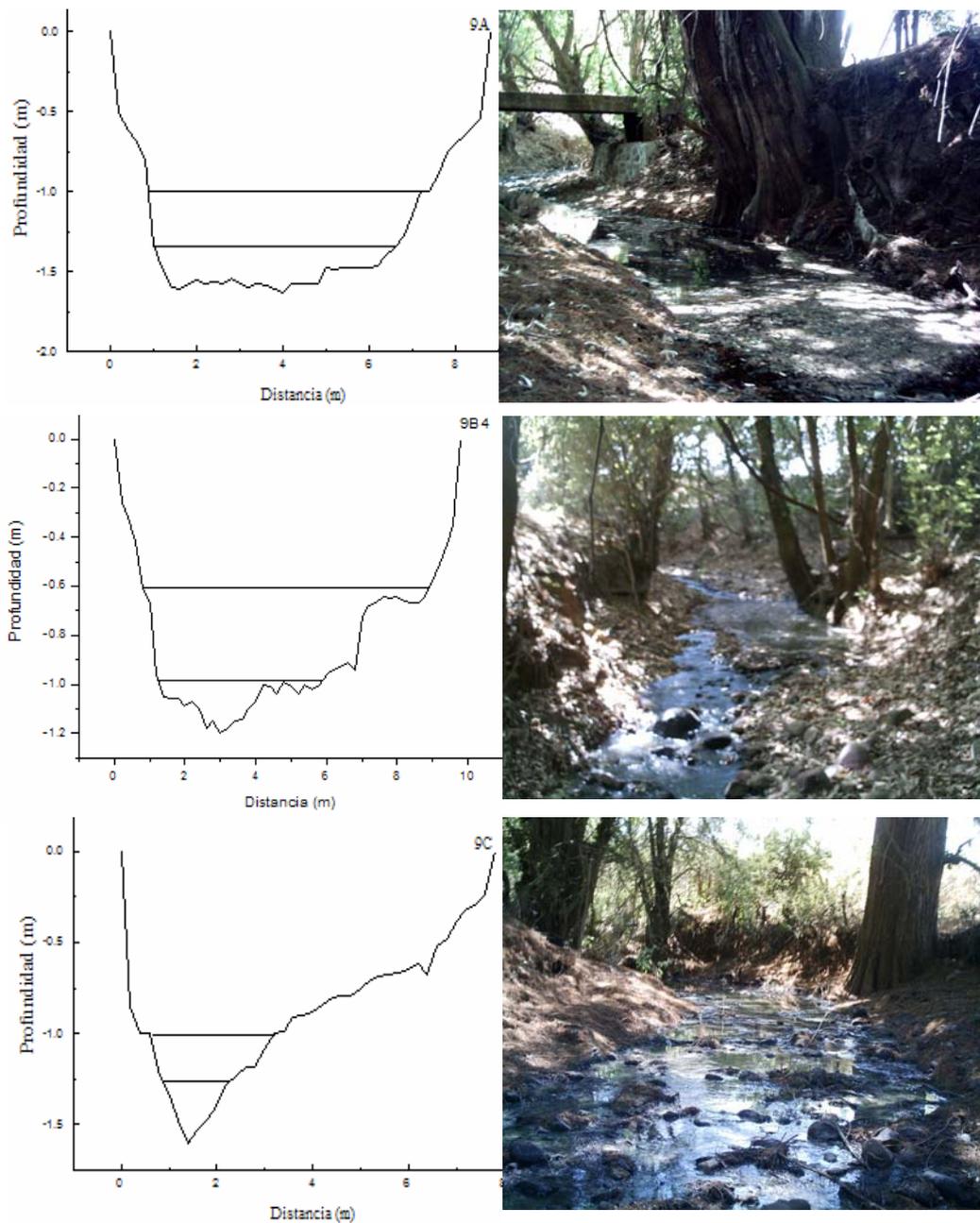


Figura 42. Perfiles morfológicos de las secciones trasversales del cauce de 4° orden (Sitio 9)

Microcuenca V “Rile – Varas Cenizas”

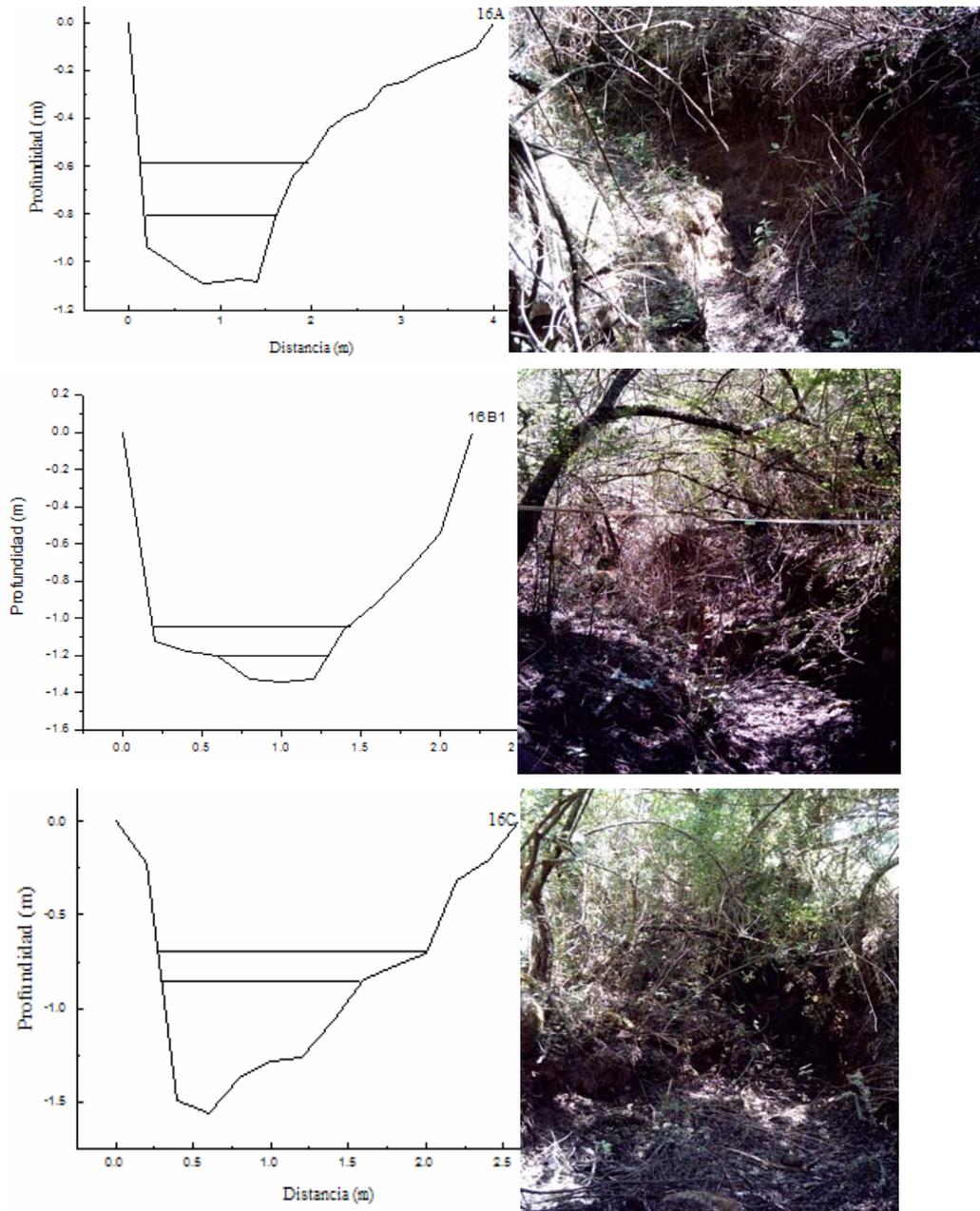


Figura 43. Perfiles morfológicos de las secciones transversales del cauce de 1° orden (Sitio 16)

Microcuenca V “Rile – Varas Cenizas”

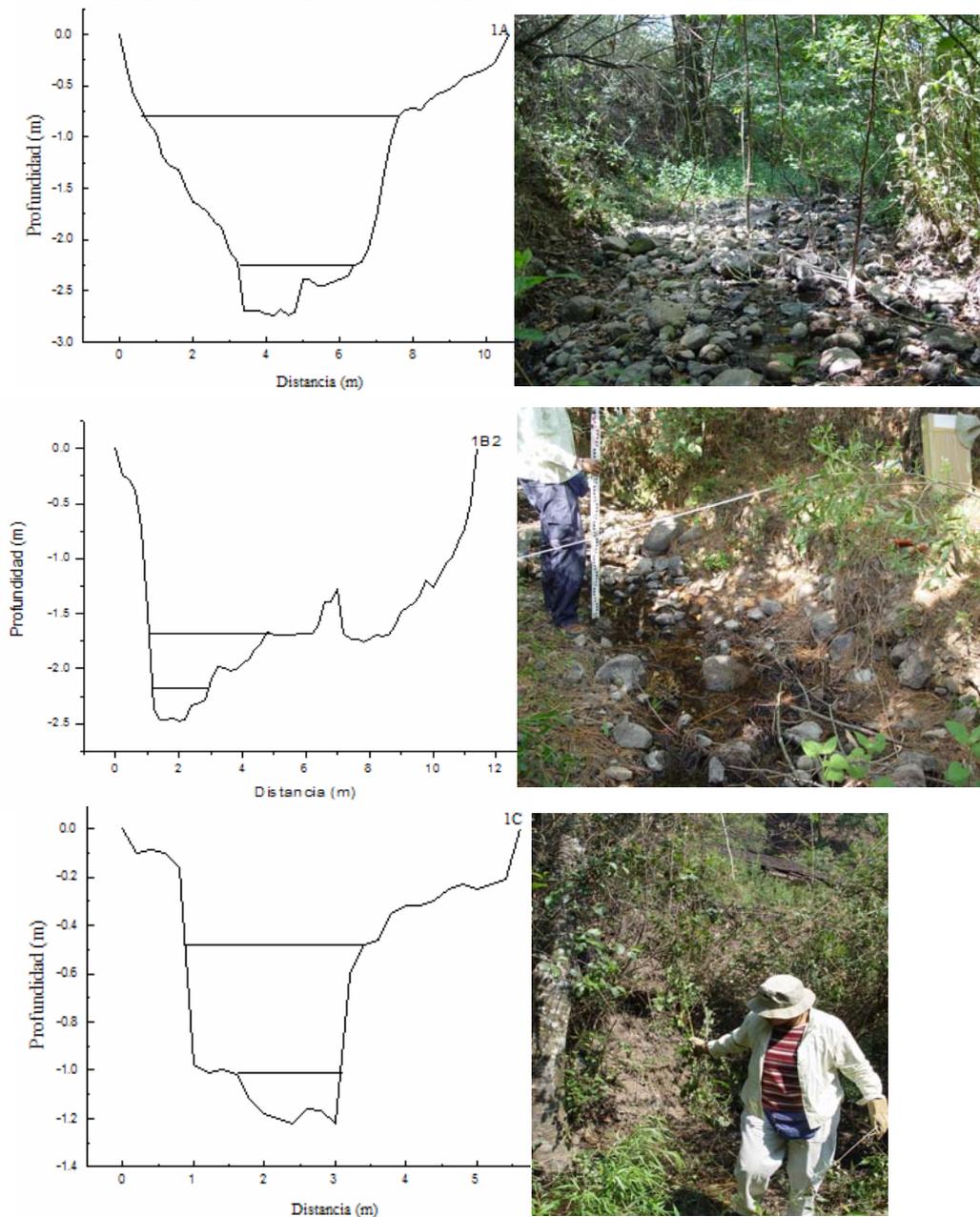


Figura 44. Perfiles morfológicos de las secciones transversales del cauce de 2° orden (Sitio 1)

Microcuenca V “Rile – Varas Cenizas”

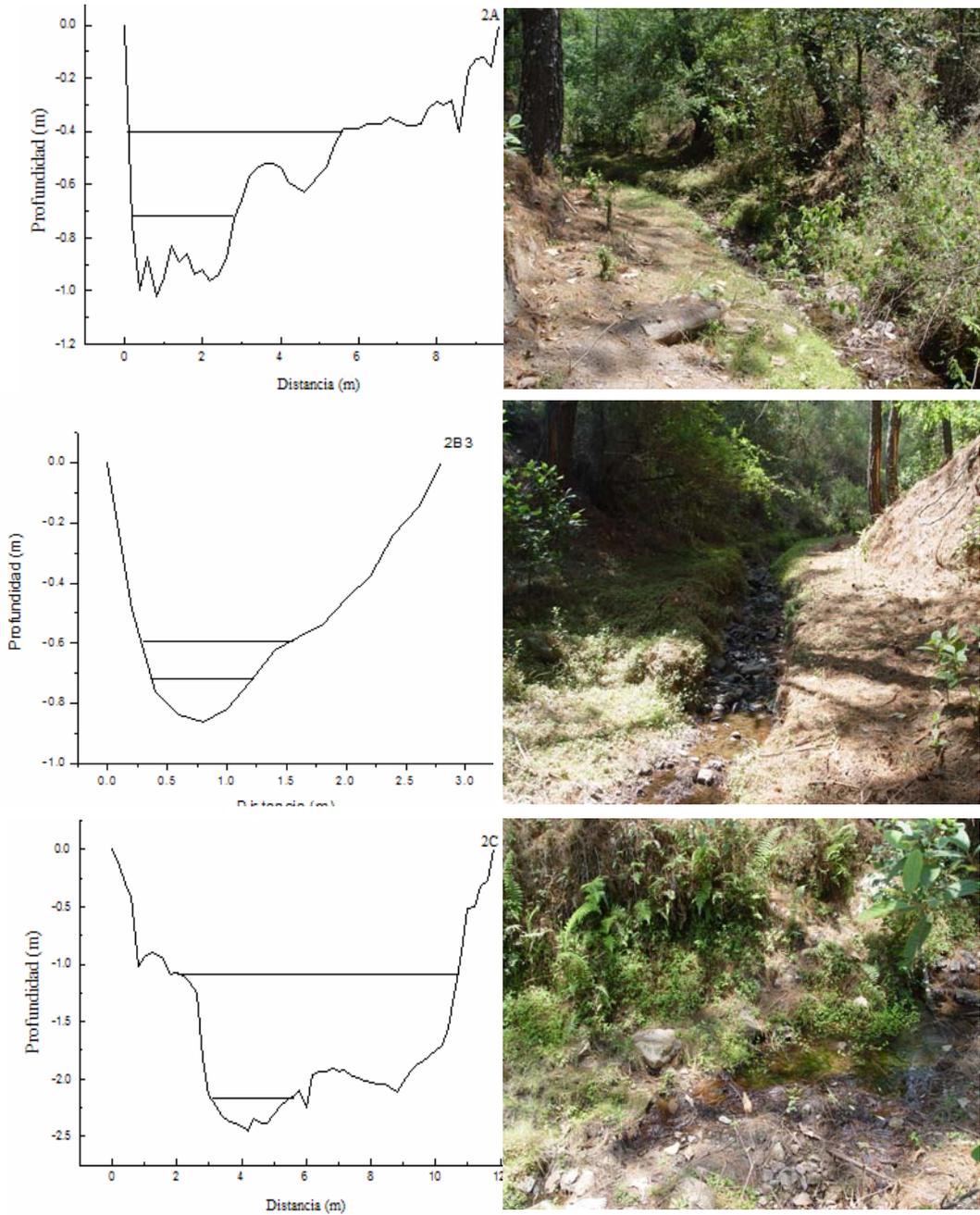


Figura 45. Perfiles morfológicos de las secciones transversales del cauce de 3° orden (Sitio 2)

Microcuenca V “Rile – Varas Cenizas”

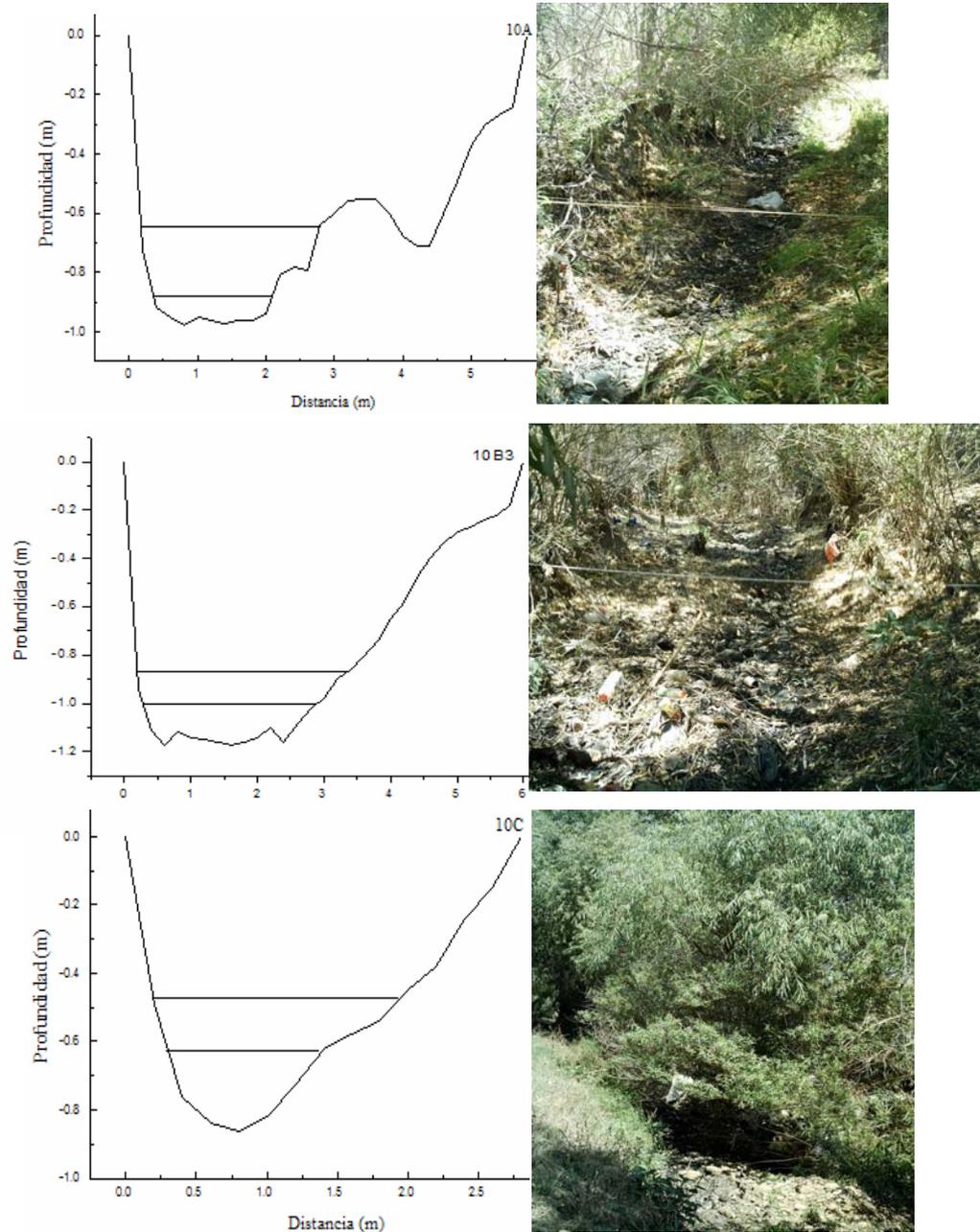


Figura 46. Perfiles morfológicos de las secciones transversales del cauce de 3° orden (Sitio 10)

Microcuenca V “Rile – Varas Cenizas”

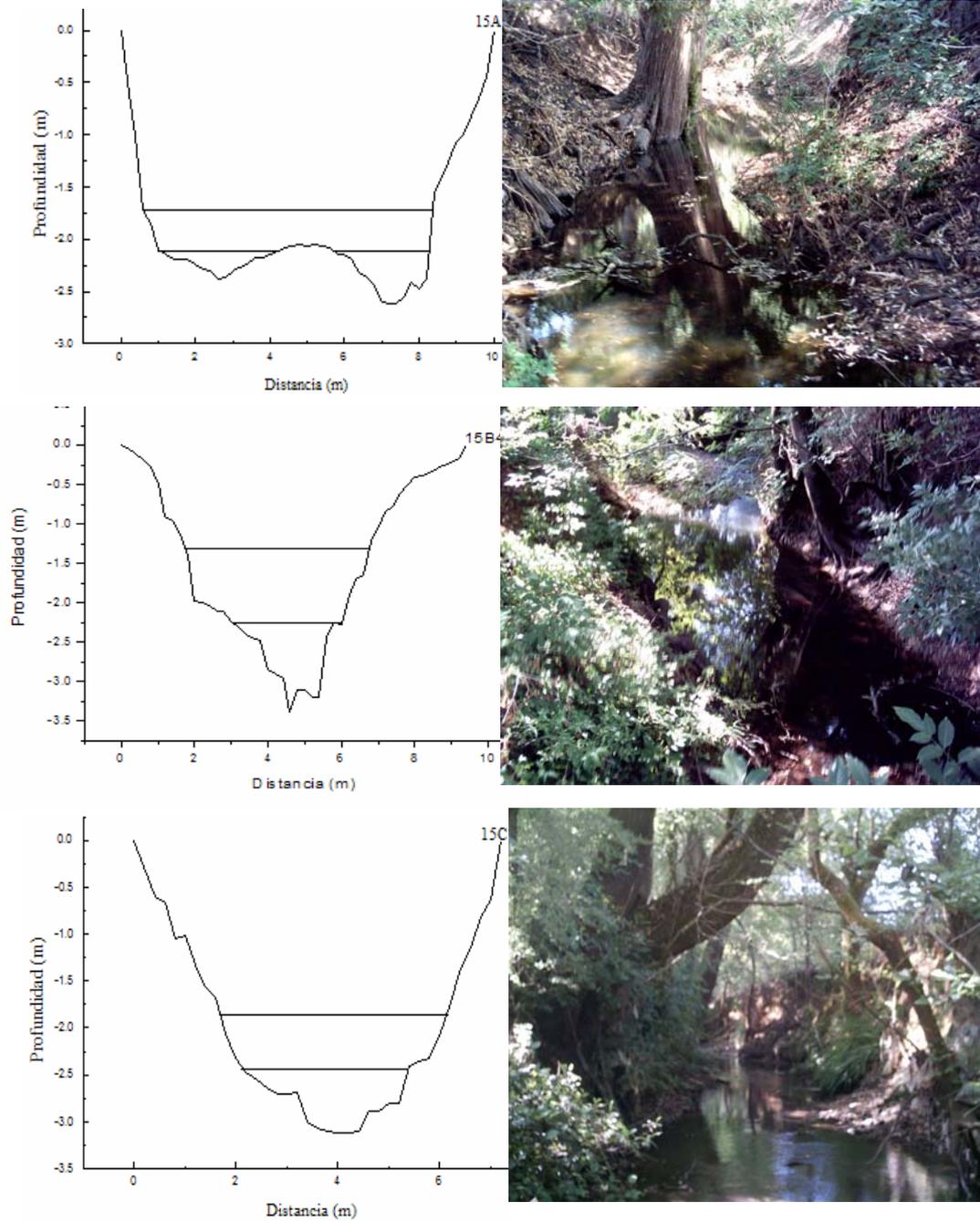


Figura 47. Perfiles morfológicos de las secciones transversales del cauce de 4° orden (Sitio 15)