

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
FACULTAD DE INGENIERÍA
FACULTAD DE PSICOLOGÍA
FACULTAD DE FILOSOFÍA
FACULTAD DE CIENCIAS POLÍTICAS Y SOCIALES
FACULTAD DE QUÍMICA

MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRADA DE CUENCAS

MODELO DE HUMEDALES EN ZONA PERTURBADA DEL
RÍO SAN MARCOS, MICROCUENCA CRUZ DEL PALMAR

TESIS

QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRIA EN GESTIÓN INTEGRADA DE CUENCAS

PRESENTA:

GERARDO LÓPEZ MORA

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QRO., JUNIO DE 2007



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ciencias Naturales
Facultad de Ingeniería
Facultad de Psicología
Facultad de Filosofía
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales
Facultad de Química

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

MODELO DE HUMEDALES EN ZONA PERTURBADA DEL RÍO SAN MARCOS, MICROCUENCA CRUZ DEL PALMAR

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

MAESTRO EN GESTIÓN INTEGRADA DE CUENCAS

Presenta:

GERARDO LÓPEZ MORA

Dirigido por:

Dr. RAÚL FRANCISCO PINEDA LÓPEZ

SINODALES

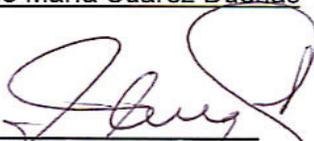
Dr. Raúl Francisco Pineda López
Presidente

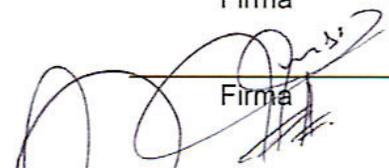
Dr. Ricardo Miguel Pérez Munquía
Secretario

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval
Vocal

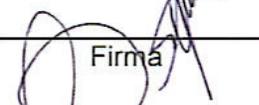
M. en C. Alberto Sánchez Hernández
Suplente

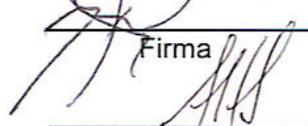
M. en C. José María Suárez Dueñas
Suplente


Biol. Jaime Ángeles Ángeles
Director de la Facultad de Ciencias
Naturales


Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval
Director de Investigación y Posgrado


Firma


Firma


Firma

Firma

Centro Universitario
Santiago de Querétaro, Qro.
Junio de 2007
México

RESUMEN

Los ríos, como sistemas dentro de la cuenca son elementos básicos encargados del balance hidrológico. No obstante, al igual que otros recursos naturales, sufren el impacto erosivo como consecuencia de una mala interacción de sistemas naturales con subsistemas económicos y sociales generados por el hombre. El grado de deterioro que enfrentan es fuertemente acelerado por extracción indiscriminada de recursos pétreos (grava, piedra y arena) que han llevado a una alteración del sistema hídrico. El presente trabajo ofrece un modelo de rehabilitación en una zona impactada por la actividad extractiva en áreas de inundación y dentro del cauce del río San Marcos de la microcuenca Cruz del Palmar, Municipio de San Miguel de Allende, México. Mediante la rehabilitación física del río, lo que permitirá el subsidio del agua requerida por los humedales que se diseñaran a la par como parte sistema hídrico del río para lograr la estabilidad del mismo. Con lo que se generará una oportunidad de explotación sustentable de los recursos del río a los pobladores ribereños, con la opción a futuro de contar con otra alternativa económica vía turismo de recreación. El modelo parte de la rehabilitación del río bajo la metodología de Rosgen, considerando la relación geomorfológica del valle con el sistema hidrológico como parte integral de la cuenca; posteriormente el diseño de humedales en las cavidades abandonadas después de la extracción, vía toma de datos en campo como indicadores. La importancia del marco social en que se encuadra el estudio es básica, ya que serán los pobladores quienes garanticen la sostenibilidad y estabilidad del sistema hídrico.

Palabras clave: Cuenca, Río San Marcos, Materiales Pétreos, Humedales

SUMMARY

Rivers, as systems within a watershed, are basic elements in charge of hydrological balance. However, as many other natural resources, it suffers the erosive impact as a consequence of an inadequate interaction between natural systems and economical and social subsystems created by man. The detriment they are confronting is strongly accelerated by the indiscriminate extraction of stony resources (gravel, stone and sand) that has led to an alteration of hydrological system. This document presents a rehabilitation model for a zone affected by the activity of extraction on flood areas and inside the course of river San Marcos, part of "Cruz del Palmar" micro watershed, in San Miguel de Allende District in México. Through the physical rehabilitation of the river, it will be possible to distribute the water needed by the wetlands, designed in parallel as part of the hydrological system of the river in order to achieve its stability. As a result, it is generated an opportunity for the river population, to extract in a sustainable way the river resources, with the further option of having recreational tourism as an economical way of subsistence. The model parts form the rehabilitation of the river under the Rosgen methodology, considering the geomorphology relation of the valley with the hydrological system as an integral part of the river basin; next, the design of the watershed in the abandoned cavities after the extraction, through field data as indicators. The importance of the social frame that involves these research is relevant, due to the role played by the population, who is in charge of guaranteeing the sustainability and stability of the hydrological system.

KEY WORDS: Watershed, San Marcos River, Stony materials, Wetlands

Las crecientes agresivas, integran la funcionalidad de los elementos que cimientan la estabilidad y tranquilidad.

AGRADECIMIENTOS

- Agradezco grandemente al Dr. Raúl F. Pineda López el apoyo siempre recibido durante mi proceso de formación.
- Sinceramente mi agradecimiento por el apoyo incondicional del Dr. Ricardo Miguel Pérez Munguía, Dr. Luis G. Hernández Sandoval, M. en C., Alberto Sánchez Sandoval.
- Un Agradecimiento especial al M. en C. José María Suárez Dueñas por su apoyo y asesoría durante mi vida profesional.
- Agradezco al Consejo de Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) el apoyo otorgado para el desarrollo de la maestría, parte básica para llegar a la meta.
- A la M. en C. Marisela Gómez Sánchez, agradezco su apoyo para la clasificación taxonómica de plantas acuáticas
- Agradezco grandemente a los habitantes de Cruz del Palmar por su confianza y apoyo durante el proceso de desarrollo del modelo, principalmente a los “paleros” (Sabino, Cresenciano, Hector, José Piedad, Alfonso...) así como a “Doña Vicenta”.
- Agradezco a Pedro Ramírez de la comunidad Bandita y promotor por su apoyo y enseñanza.
- Un agradecimiento especial para Atahualpa, compañero y apoyo de varias batallas durante esta lucha.
- A Susan K. Hughes por el apoyo incondicional antes y durante mi proceso de formación, demostrando que un ambiente de trabajo incluye lasos de amistad, gracias
- A Susan Smith (†) por su confianza, apoyo y oportunidad de descubrir mi nuevo rumbo profesional.
- A mis compañeros de generación (Esther, Carmen, Erika, Araceli, José Luís, J. Guadalupe, Alejandro, Leonel,) agradezco su enseñanza durante este proceso de formación.
- A la Asociación Civil “Salvemos al Río Laja” como parte de esta formación

A mi maestro: Dr. Alvin L. Medina, investigador del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los E.U., agradecimiento muy especial por su guía y apoyo que me enseñó a descubrir los horizontes integradores de mi vida profesional y personal. Gracias mi querido hermano Al.

A mis Padres Ma. Guadalupe (†) y Luís (†) por darme la
oportunidad de vivir y pertenecer a esta gran familia.

A mis hijas Aislinn y Aline, mis grandes sueños hechos
realidad, energía de lucha.

A Martha esposa mía, por nuestros ángeles, y por tu
apoyo incondicional, un sueño mas hecho
realidad, un triunfo de ambos. Te Amo.

A mis hermanos Luís, Manuel, Juan, Nena, Rene,
Diego, Martín y Daniel, pilares para las batallas,
ejemplos de lucha guerrera.

A mis hermanos Francisco (†), Alfonso, Antonio (†),
Raquel, por que, aun los caminos escabrosos,
la enseñanza aflora.

A mis cuñadas, por su apoyo durante la lucha.

A mis sobrinos el apoyo recibido.

Un reconocimiento especial a mis sobrinos, Israel, Hiram,
Sandra, Mariana y Juan Manuel por sus logros.

ÍNDICE

Resumen	iii
Summary	iv
Agradecimientos	v
Índice	lx
Índice de cuadros	xi
Índice de figuras	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	5
III. ANTECEDENTES	8
IV. REVISION DE LITERATURA	10
4.1 Cuenca del río Laja	10
4.2 Sistemas lóticos	12
4.3 Rehabilitación de ríos	15
4.4 Humedales	18
4.5 Bosques riparios	21
4.6 Zona de estudio	23
V. METODOLOGÍA	29
5.1 Estabilización del río	30
5.1.1 Clasificación geomorfológica del río	30
5.1.2 Descripción morfológica del río	31
5.1.3 Diseño de puntos de control	37
5.2 Diseño de humedal	37
5.2.1 Diseño físico del terreno	38
5.2.2 Plantas acuáticas	38
5.3 Aspecto social	39
5.3.1 Dialogo con informantes claves	40
5.3.2 Dialogo con grupos	40
5.3.3 Estrategias de vida	41
5.3.4 Relaciones institucionales	41
5.3.5 Línea del tiempo	41
5.3.6 Mapa de recursos naturales del río	42
VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES	43
6.1 Rehabilitación del río	44
6.1.1 Clasificación geomorfológica del río	45
6.1.2 Descripción morfológica del río	47
6.1.3 Diseño de puntos de control	56
6.2 Diseño de humedales	57
6.2.1 Diseño físico del terreno	57

	6.2.2 Plantas acuáticas	58
	6.3 Factor social	59
VII.	PROPUESTA DE MODELO	67
	7.1 Rehabilitación del río	67
	7.2 Diseño de humedales	72
	7.3 Aspecto social	74
	7.4 Modelo final	76
VIII	BIBLIOGRFÍA	78
IX	APÉNDICE	82
	9.1 Cuadros	82
	9.2 Figuras	87

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadros	Página
1. Diferencias entre Ingeniería Convencional y ecológica, Mejía (1999).	82
2. Beneficios de la Ingeniería Ecológica, Mejía (1999).	83
3. Características Importantes de la Ingeniería Ecológicas. Mejía (1999).	83
4. Guía de campo para la toma de datos de perfiles del río, Rosgen (1996)	84
5. Descripción general de los tipos de río y criterios delineativos para una clasificación amplia, Rodeen (1996)	85
6. Especies de plantas acuáticas presentes y sus requerimientos hídricos	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Ubicación de la cuenca del Río Laja dentro de Región Hidrológica No12 en la República Mexicana.	10
2.	Ubicación de galachos en el Río Ebro. Imagen tomada de http://www.naturalezadearagon.com/engalachosdelebro.php	20
3.	Ubicación espacial del municipio de Allende en Guanajuato dentro de la República Mexicana.	24
4.	Ubicación de las subcuenca Laja y San Damián dentro en la cuenca del Río Laja en Guanajuato.	25
5.	Ubicación de la microcuenca Cruz del Palmar en la subcuenca Laja.	25
6.	Sistemas hídricos de las subcuencas Laja y San Marcos y Laja, ubicación la microcuenca Cruz del palmar.	26
7.	Ubicación espacial del área de estudio en el río San Marcos.	26
8.	Dimensiones del área de estudio.	27
9.	Perfiles dentro del área de estudio y perfil testigo.	32
10.	Nivel de máxima ribera en el área de estudio.	33
11.	Sistemas hídrico del río San Marcos.	43
12.	Ordenamiento territorial de la zona de estudio.	44
13.	Caracterización geomorfológica sobre ortofotos de INEGI escala 1:40 000 (2003). El círculo amarillo enmarca la zona de estudio.	45
14.	Ubicación de los perfiles en el área de estudio sobre ortofoto de INEGI, Escala 1:40 000 (2003).	48
15.	Perfil 1, tipo de río "B5a" en la zona de estudio.	48
16.	Perfil 2, tipo de río "B5a" en la zona de estudio.	49
17.	Perfil 3, tipo de río "D5c" en la zona de estudio.	49
18.	Perfil 4. tipo de río "D5b" en la zona de estudio.	50
19.	Perfil 5. tipo de río "D4b" en la zona de estudio.	50
20.	Perfil6. tipo de río "D4c" en la zona de estudio.	50
21.	Perfil 1, sistema freno-poza. Los puntos de mayor altura representan los posibles frenos y posterior.	51

22.	Perfil 2 del sistema freno-pozza indefinido.	52
23.	Perfil “testigo” en zona estable, indicador parámetros de rehabilitación.	54
24.	Medidas del meandro.	54
25.	Vista lateral de las dimensiones del punto de control, entrada y salida a la zona de estudio.	56
26.	Vista aérea del punto de control, entrada y salida a la zona de estudio.	56
27.	Perfil completo del humedal y distribución plantas acuáticas presentes.	58
28.	Perfil intermedio del humedal, distribución plantas acuáticas presentes.	58
29.	Herramienta de trabajo de los paleros. Harnero, parigüela, pala y pico.	61
30.	Extracción de materiales pétreos con maquinaria pesada.	63
31.	Cauce total sugerido, sinuosidad delimitada con relación a la geomorfología y el valle.	67
32.	Perfil del cauce sugerido para el río en la zona de estudio.	68
33.	Sinuosidad de cauces total y constante. Los puntos rojos delimitan el área de estudio.	69
34.	Punto de control en la parte alta.	70
35.	Puntos de barra y puntos de extracción de material pétreo.	71
36.	Cruce de camino en el río.	71
37.	Perfil humedal propuesto.	73
38.	Sistemas de flujos, alimentación, interconexión y salidas de agua en humedales.	74
39.	“Modelo de humedales en zonas perturbadas del Río San Marcos, microcuenca Cruz del Palmar”.	76
40.	Descripción de “Modelo de humedales en zonas perturbadas del Río San Marcos, microcuenca Cruz del Palmar”.	77
41.	Esquema de Lane, relación del análisis cualitativo, Rosgen (1996)	87
42.	Niveles para la rehabilitación de ríos naturales, (tomado de Rosgen (1996)).	88

43.	Clasificación general de tipos de ríos y criterios delineativos, (tomado de Rosgen, 1994)	89
44.	Río “El Gusano”, comunidad El Gusano, Dolores Hidalgo, Guanajuato, (2006).	89
45.	Río “Santa Rosa”, comunidad San Pedro de la Sierra, Dolores Hidalgo, Guanajuato, (2006).	90
46.	Río “El Gusano”, comunidad La Cantera, Dolores Hidalgo, Guanajuato, (2006).	90
47.	Ubicación de ríos por su clasificación dentro de la cuenca. Rosgen (1996).	91
48.	Representación de los tipos de confinamiento en cortes transversales de varios tipos de canal, Rosgen (1994)	91
49.	Formato de campo para conteo de partículas	92
50.	“Clave de Rosgen” para la Clasificación de ríos naturales, Rosgen (1994)	93
51.	Franjas de especies vegetativas dentro del humedal grande, (2006)	93
52.	Mapa histórico de los recursos del río, elaborado por pobladores de Cruz del Palmar, (2006)	94
53.	Erosión en paredes del río por efecto de acumulación de material y ausencia de zona de amortiguamiento, (2006)	94

I. Introducción.

Las cuencas hidrográficas son unidades territoriales en donde se combina un sistema hídrico productor de agua y recursos naturales que funciona simultáneamente con un subsistema económico y social activado por el hombre, el capital, el trabajo y la tecnología, (Torres et al 2005); en donde, la integración de estos factores ha acelerado los problemas de disminución y pérdida de recursos naturales como suelo y agua, que a su vez, han provocado degradación y pérdida de flora y fauna que en algunos casos ha causado una catástrofe ecológica (Mejía 1999). Generalmente la erosión es referida a las zonas de montañas, laderas y valles, olvidando que los ríos y arroyos son parte importante en la cuenca como base para el equilibrio, y que de igual que otros recursos también se encuentran seriamente degradados.

Los sistemas de ríos son la base del balance hídrico que brinda estabilidad a las cuencas y que junto con la importancia social, debieran ser primordiales para el concepto de rehabilitación en ellas. Los ríos forman un sistema y por tanto, deben tratarse de manera independiente pero con visión integradora, pues las funciones del sistema fluvial no sólo incluyen al cauce, sino también, otros componentes como: los humedales, zonas bajas, llanuras de inundación, áreas aledañas, bosques de ribera y otros, que contribuyen a controlar y modificar el escurrimiento. Originalmente las grandes avenidas reconocían estos elementos, lo que permitía amortiguar el impacto en tiempo y volumen aguas abajo. Actualmente, las modificaciones en estos patrones geomorfológicos o en el uso del suelo en las cuencas son causa principal de los problemas.

Los humedales como elemento de los ríos al igual que de otros, se consideran como los ecosistemas más productivos de la tierra y como fuentes de diversidad biológica, pues aportan el agua y productividad primaria de la que innumerables especies vegetales y animales dependen para su supervivencia. Generan una gran diversidad y hábitats críticos para especies amenazadas, pudiendo albergar poblaciones muy numerosas de aves, mamíferos, reptiles, anfibios, peces y macroinvertebrados. Conforme a Barbie et al (1997). En estos

ecosistemas, existen otros procesos importantes como los hidrológicos (recarga de acuíferos, mitigación de inundaciones, erosión y calidad del agua) y una diversidad de actividades humanas (pesca, agricultura, forestal, manejo de vida silvestre, pastoreo, transporte, recreación y ecoturismo). Los humedales en zonas semiáridas a lo largo de los ríos adquieren un valor muy significativo aun cuando sean intermitentes, sin embargo, estos humedales en el área de inundación (donde se ubican) requieren para su estabilidad de un río también estable que garantice el subsidio de agua a sus elementos.

El impacto erosivo en el sistema hídrico por la interacción del sistema productivo incluye a todas las cuencas. La cuenca del río Laja no es la excepción, presenta el impacto antropogénico que repercute en sus partes media y baja con el consiguiente arrastre excesivo de sedimentos debido al alto grado erosivo aguas arriba, enzolvamiento del cauce principal, cambio en el régimen de crecidas, desbordes y corrientes (Torres 2005). No obstante, la cabecera del río Laja que corresponde a la región hidrológica prioritaria # 57 (CONABIO 2002), es considerada por varias dependencias nacionales e internacionales como un área de alta prioridad, de estado crítico y en peligro por la importancia que representa para las aves migratorias, por su alta biodiversidad, endemismo de especies de peces, aves y por las especies en peligro de extinción y por la sobreexplotación de acuíferos.

El río San Marcos, tributario al río Laja (afluente principal de la cuenca del Río Laja), se une a éste unos kilómetros antes de la llegada a la Presa Ignacio Allende. A lo largo de él se encuentran varios asentamientos humanos que lo utilizan para diversas actividades productivas y extractivas de recursos así como de materias primas. Presenta una fuerte invasión de sus áreas de inundación, en menor escala por asentamientos humanos pero mayormente por actividades agrícolas. Por su baja rentabilidad agrícola, los habitantes locales han optado por la venta del material pétreo de su parcela para su uso en la construcción. El cauce del Río San Marcos y sus riberas actualmente es explotado con maquinaria pesada lo que ha provocado el desplazamiento acelerado del cauce original en aproximadamente 150 metros en algunos sitios, rompiendo el equilibrio y la estabilidad del río. La presencia de desniveles

pronunciados, incrementan la improductividad económica en terrenos, llevando a su abandono. Terrenos de parcelas agrícolas, fuentes de ingresos para las familias, son ahora cavidades pedregosas improductivas, que requieren décadas para un nuevo acumulamiento de sedimento que permita recuperar la productividad. No obstante, la resiliencia del terreno ofrece grandes oportunidades mediante la rehabilitación física y biológica del río de rescatar zonas de alto valor ecológico y de manejo y control de avenidas que, pueden transformarse posteriormente en actividades económicas y sociales para los pobladores mediante la creación de humedales en un tramo de río estable, devolviendo la productividad, bajo la premisa de que un río estable es garantía de beneficios ecológicos y económicos de manera local, pero con impacto regional tanto para la cuenca alta como para su parte baja.

A manera general, pobres son las acciones que para los ríos se realizan y además se hacen de manera inadecuada, lo que técnicamente han acentuado sus problemas de degradación. Tradicionalmente la visión de la rehabilitación por dependencias tienden solamente al cauce sin considerar otros elementos importantes del río, recurriendo para ello a acciones drásticas como cortar meandros, construir diques o muros, eliminar áreas de inundación entre otras, alterando a futuro la estabilidad y el comportamiento funcional del sistema hídrico, generando mayores volúmenes aguas abajo en la cuenca, incrementando la capacidad erosiva, arrastre de flujo y sedimento, que además de promover la destrucción del sistema y hábitats correspondientes para diferentes niveles biológicos disminuyendo la biodiversidad (Mejía 1999). Ejemplo a lo anterior (Mercado-Silva et al 2005) refieren que la estructura y la composición de las comunidades de los peces en los ríos de México central se han alterado como resultado de sobre-explotación del agua, de la fragmentación del hábitat y de la contaminación.

La eco-rehabilitación o cualquier proceso de recuperación requiere no solo del conocimiento del paisaje natural, sino también, de las condiciones socioeconómicas y culturales que sustentan las practicas de manejo (Cotler et al 2004), por lo que el punto de vista y la visión de los pobladores es fundamental en el proceso que se plantea en este estudio. Mejía (1999),

describe algunas diferencias entre la rehabilitación ecológica vs ingeniería convencional, así como algunos beneficios de la ingeniería ecológica y algunas características importantes, como lo muestran los cuadros 1, 2 y 3 del apéndice.

El presente trabajo establece el diseño de un modelo de creación de humedales en ríos perturbados por extracción de materiales pétreos en zonas semiáridas, ofreciendo una alternativa para la creación de humedales bajo la rehabilitación y manejo del río, integrando las partes físicas y biológicas como un sistema dentro de la cuenca, considerando el uso que le dan los pobladores y permitiendo transformarla en una visión de uso y corrección hacia el futuro.

II. Justificación.

La cuenca del Río Laja sufre un acelerado proceso de deterioro ambiental a partir de la sobre explotación de sus recursos naturales, el rápido crecimiento demográfico y los drásticos cambios económicos. La sobreexplotación de acuíferos en la cuenca es básicamente por la gran actividad agrícola, quien demanda, poco más del 80% de la extracción. Actualmente existen 2,500 pozos aproximadamente registrados y una cantidad no determinada de pozos sin registro, lo que han provocado el decremento del nivel del agua en promedio de 2 y hasta 5m por año, (Ortega 2002). El arrastre de sedimento por el impacto agropecuario intenso genera una erosión de suelo de 150 toneladas/ha/año, (SDA 2001), es transportado por los ríos, generando alta concentración de sedimentos disueltos en el agua que restringe la entrada de luz solar, reduciendo las posibilidades de fotosíntesis para las plantas; además, de cubrir el lecho del río, hábitat importante para el desove de peces (Ceccon 2003). Se considera que está en marcha una crisis ambiental, manifiesta en la acelerada erosión del suelo, sobreexplotación de sus acuíferos, deterioro de la calidad del agua, así como una confrontación social.

La erosión en la cuenca del Río Laja presente ha degradado sus recursos naturales, alterado su red hidrográfica, provocando problemas serios en su parte media y alta. El cauce principal como sus tributarios reflejan el desgaste de recursos como la pérdida de zonas riparias, importantes par el amortiguamiento entre cauce y cuenca, control de avenidas al disipar la energía del agua y como hábitats para el equilibrio biológico; extracción indiscriminada de recursos que sumados con otros generan problemas como grandes avenidas, desbordamientos, inundaciones, arrastre de basura, contaminación de agua, pérdida de infraestructura y arrastre de sedimento, entre otros. Esta situación ha sido poco valorada, y las acciones que se han implementado (dragados, limpia de basura, reforestaciones, bordos en sus márgenes, entre otros), no constituyen una solución de fondo al problema, por el contrario, es probable que hayan contribuido a arraigarlo ya que generalmente son concebidas desde el punto de vista hidrológico sin integrar

factores geomorfológicos y bióticos como parte del equilibrio en los sistemas fluviales.

El río San Marcos como tributario principal del Laja sufre una fuerte presión extractiva de materiales pétreos tanto en su cauce como en sus llanuras de inundación (usadas como parcelas de cultivo), de las que se vende el material acumulado por el río durante largos periodos de tiempo. El impacto no sólo se refleja en las cavidades abandonadas, sino también, en la pérdida de taludes responsables del encauzamiento de la corriente del río que por consecuencia, extiende drásticamente su llanura de inundación con un nivel más bajo, creando puntos de vulnerabilidad erosiva en nuevos taludes desprovistos de cobertura vegetal (barreras de protección), generando a su vez deslaves que ensanchan más dicha llanura. Extracciones dentro del cauce generan pequeñas cavidades y desniveles por doquier, así como acumulación de sedimento, que al sumarse a la ausencia de taludes y avenidas de agua han acelerado desplazamientos de corriente hasta en 150 m; proceso que de manera natural se da lentamente en ríos mediante la interacción de varios factores. Esto ha cambiado drásticamente el funcionamiento del río conforme a su ubicación en la cuenca, al llevarlo de buenas condiciones (cauce definido y confinado, bosque ribereño y ripario estables, frenos, pozas y sinuosidad que permiten regular la energía de la corriente con relación a su pendiente, beneficiando a las partes bajas de la cuenca), características ideales para la cuenca media, a condiciones impropias con características de ríos ubicados en las partes finales de la cuenca, técnicamente en los deltas de los ríos a su llegada al mar o algún embalse (acumulamiento de sedimento, corrientes trenzadas en llanuras de inundación muy amplias y pendientes muy ligeras -menos del 1%-) con poca energía de la corriente para esculpir un cauce principal.

Esta situación interpretada socialmente, representa un alto riesgo de inundación en zonas urbanas a futuro de la parte baja en la comunidad de Cruz del Palmar como población ribereña del río San Marcos, así como la parte baja de la cuenca, por lo que, la importancia en tomar acciones preventivas es inminente.

No obstante, el río San Marcos representa grandes oportunidades que bajo un programa de rehabilitación física y biológica permitan el establecimiento y desarrollo de zonas de gran valor ecológico como humedales con explotación sustentable de recursos. Esto requiere una primera etapa de estabilización en el río para garantizar subsidio de agua que alimente humedales, zonas de gran valor ecológico generadas en una segunda etapa, que ofrezcan probabilidades de sostener actividades económicas y sociales de manera sostenible para los pobladores con la oferta de atractivos turísticos en una tercera etapa, acompañadas de explotaciones de recursos de manera sostenible como la extracción de materiales pétreos de manera artesanal (“paleros”) de modo constante dentro del río, y mecanizada cuando se requiera, permitiendo el balance en la carga de sedimentos dentro del río.

La estabilidad del río garantiza beneficios ecológicos a la biota silvestre, infiltración transversal y horizontal de humedad sin afectar la parte baja, control de avenidas, regulación de sedimentos, recuperación de áreas verdes y como paisaje, elemento importante para la estabilidad emocional (situación desvalorada a la fecha y de gran importancia como sujetos), regeneración de hábitats, purificación de agua, entre otros. Así también, las actividades económicas mediante la creación de empleos pueden contribuir a mitigar el fenómeno de migración que conlleva a desintegración familiar y cultural. Situación alarmante en el estado, conforme con el INEGI, Guanajuato en 1995 ocupaba el primer lugar en migración a nivel nacional con un 11.90%, a partir del 2002, el INEGI ubica al estado en el tercer lugar con 9.8%, por lo que la rehabilitación y uso productivo de los ecosistemas es una tarea prioritaria, (INEGI 2002).

Este estudio, ofrecerá una alternativa de conservación, cosecha, mejora de calidad de agua, aprovechamiento sustentable, recuperación de hábitats además de recursos naturales bajo la premisa del manejo del río que integra la parte física y biológica como sistema en la cuenca, así como la oportunidad de actividades económicas. Adicionalmente promoverá que los humedales en zonas semiáridas sirvan como ejemplo de manejo exitoso de cuenca a otras zonas similares en México.

III. Antecedentes.

A lo largo de la historia los ríos en todas sus longitudes han sido fuentes diversas de recursos que han permitido el desarrollo humano y biótico (situación trascendental en zonas semiáridas y áridas) bajo un equilibrio adecuado de explotación. Contexto perdido hace muchos años que ha llevado al empobrecimiento de sus recursos naturales. Aun cuando se tienen gran trayecto en investigación y comprensión de la funcionalidad de los ríos, pocos trabajos se han realizado a fondo; no obstante, existen trabajos y acciones por demás interesantes encuadrados en la preocupación del papel fundamental que juegan en el equilibrio dentro de la cuenca. En México al igual que en otros países, se ve a los ríos y arroyos como drenajes para zonas urbanas y las grandes ciudades, convirtiéndolos en fuentes potenciales de contaminación que se traslada y concentran en grandes embalses, generando focos alarmantes de problemas de salud humana y ecológica. Por ello, se considera que la rehabilitación de ríos es relativamente tema nuevo para México, con pocos trabajos en la materia, enfocándose en acciones superficiales como limpia de basura, dragados y reforestaciones.

El río San Marcos presenta un impacto severo de deterioro y agotamiento de sus recursos, y actualmente los pocos que ofrece para las actividades humanas se limitan a la extracción de grava, arena, piedra, jaras, uso de agua para riego, uso de parcelas agrícolas, leña (en poca cantidad), agua para abrevadero, recreación y convívio familiar. El impacto del deterioro de recursos naturales es irreversible en elementos del sistema como la pérdida de las áreas de inundación que fueron usadas como parcelas agrícolas, y que actualmente no existen por haber sido comercializado para extracción de sus materiales pétreos (suelo). Estas alteraciones deben considerarse como daños ecológicos irreparables, toda vez que el material extraído de las áreas de inundación fue acumulado durante siglos y además contaba con características distintas a las que puede acumular un suelo a futuro, como consecuencia del empobrecimiento de las fuentes de material que lo abastecen para su formación en la cuenca alta. Estos deterioros, ejemplifican la condición de otros muchos sitios del río con características similares en la cuenca y en otras

cuencas de la región, los esfuerzos que buscando contrarrestar la problemática en el mediano plazo por diferentes programas con acciones como: conservación y/o reforestación, buscan incidir en mejorar la calidad de suelos y de los ecosistemas en general, pero no contemplan el deterioro que presentan los ríos. En base a la experiencia se ha comprobado que los problemas no sólo continúan, sino que se ha acentuado el deterioro de la cuenca del Río Laja.

IV. Revisión de literatura.

4.1 Cuenca del Río Laja.

La cuenca del río Laja como subregión hidrológica 12 (RH 12) del Lerma – Chapala (figura 1) cuenta con una superficie de captación de aproximadamente 1' 008, 213. 0 Ha, es la segunda con mayor aportación al sistema Lerma-Chapala, con una área de escurrimiento de 6, 910. 23 Ha (Seguridad Publica 2001). Por su ubicación, esta cuenca es considerada por dependencias nacionales e internacionales como área de alta prioridad para aves migratorias, constituyendo un eslabón crítico entre Canadá, Estados Unidos y los Humedales del Sur de México. Perder este hábitat, podría representar un factor limitante para la migración de especies de aves acuáticas.

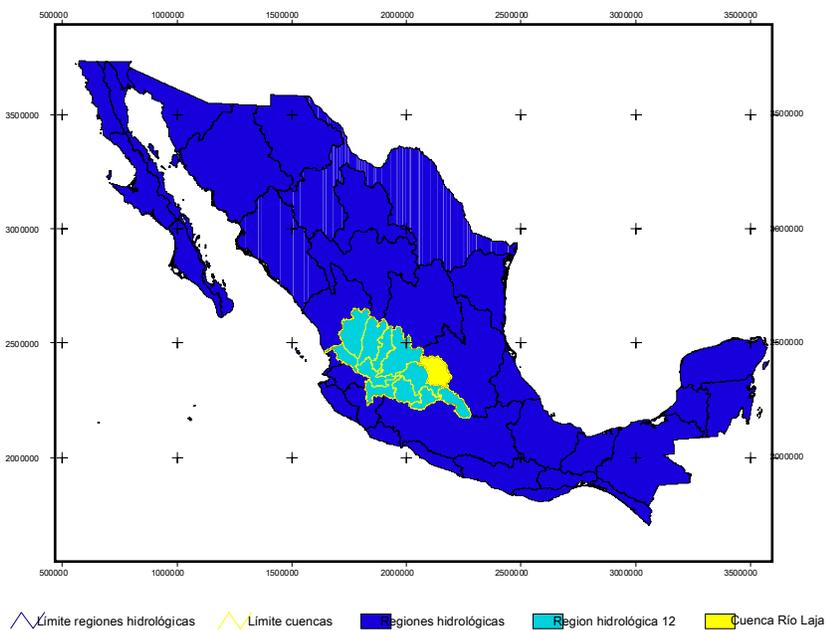


Figura 1. Ubicación de la cuenca del Río Laja dentro de Región Hidrológica No12 en la república Mexicana.

Los tres procesos de degradación más importantes en la RH del Lerma Chapala son: la erosión hídrica superficial, la erosión hídrica en forma de cárcavas y la declinación de la fertilidad; lo que disminuye la infiltración en los suelos y por lo tanto, reduce la función de recarga de la zona. En este contexto la subcuenca Lerma – Ignacio Allende es una de las áreas prioritarias para la rehabilitación dentro de las 28 subcuencas existentes, lo que permitirá el reestablecimiento del funcionamiento hidro-ecológico de la cuenca (Cotler 2004).

El río Laja como principal afluente de la cuenca del Río Laja tiene como principales tributarios los ríos de Los Arrastres, Dolores, San Marcos, El Plan, El Carrizal y Bocas (Torres 2005), estos ecosistemas acuáticos, son la principal fuente de recarga al acuífero de “La Independencia” en toda su longitud, principalmente en las montañas (parte alta de la cuenca del río Laja) que delimitan a la cuenca por ubicarse en el acuífero fracturado; lo que remarca su importancia para la cuenca y dentro del sistema Lerma – Chapala (Ortega 2002).

El territorio del estado de Guanajuato ha sido subdividido hidrológicamente en un gran número de microcuencas buscando contrarrestar de mejor manera la problemática en el mediano plazo; si embargo, la experiencia de trabajo en la cuenca del Laja indica que en muy pocas microcuencas se han generado beneficios claros con respecto a la integración de sus elementos. La Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Guanajuato - SDA-, (2001) refiere mediante el programa de microcuencas trabajos bajo un proceso de planeación – acción participativa de los habitantes en 171 microcuencas y 450 comunidades rurales marginadas dentro de 39 municipios que a manera de ejemplo, se menciona el Plan Rector Para la Conservación (PRPC) del año de 1994 en la microcuenca “El Gusano” en Dolores Hidalgo y la rehabilitación del acuífero de “Laguna Seca” desde 1996. Por otro lado, algunos proyectos pilotos con tecnología integral de los distritos de riego han permitido apoyar el programa de ordenamiento de los aprovechamientos hidráulicos y el saneamiento de la cuenca Lerma – Chapala, con lo que se busca reducir la tasa de sedimentación generada que afecta la calidad y

cantidad de agua de los embalses que se encuentran distribuidos en ella, principalmente en la presa Ignacio Allende (la segunda más grande en estado con un capacidad de almacenamiento de 251 millones de m³) o como el caso de la presa de Peñuelitas que a 30 años de su construcción se estima ha reducido en un 35% su capacidad de almacenamiento inicial (Seguridad Pública 2001), considerando que la estimación del proceso erosivo alcanza tasas superiores a las 150 ton/ha/año como consecuencia de cambio de uso de suelo y explotación agropecuaria intensiva con sistemas de manejo inadecuados en laderas, sin la inclusión de prácticas de conservación; además, una pérdida de la infiltración de agua del 72% y un abatimiento de 3 m/año de los acuíferos (SDA, 2001).

La importancia que trasciende para los embalses, es que por un lado “benefician” aspecto económicos para el hombre a mediano plazo, pero por otro, rompen el equilibrio del sistema hídrico de la cuenca al truncar el proceso de sedimento que debe establecerse a lo largo del río con relación a la pendiente y que, genera condiciones para la biomas del río, responsable de la armonía entre la parte terrestre y acuática. La segunda situación lograr mitigarse a futuro, una vez que su azolve totalmente y se integre el embalse al sistema, permitiendo un flujo constante de agua y sedimento, pero con efectos diferentes. No obstante, para entonces los cambios habrán sido radicales en muchos ecosistemas de la cuenca.

4.2 Sistemas lóticos.

Los ríos integran el sistema hídrico de las cuencas y son las rutas por las cuales el exceso de agua en una cuenca fluye hasta el último nivel base, así como las rutas por las cuales los productos de la erosión continental son transportados a los océanos del mundo, mediante una red de corrientes que fluyen hacia una corriente principal y por esta hacia otro punto común de salida que puede ser un almacenamiento de agua interior como un lago, una laguna o un embalse o bien pueden desbocar al mar. No obstante, una gran cantidad de agua que cae a los ríos por precipitación no se remite a sus caudales inmediatamente, ya que, un gran porcentaje se infiltra al suelo y fluye

subterráneamente en sus cauces, proveyendo una forma de almacenamiento o regulación que mantiene el flujo de la corriente durante un lapso de ausencia de tormentas o periodos secos (Luna 1962). El mismo autor menciona tres características generales por los ríos, el cauce del río, el valle del río y la red hidrográfica. La primera considera al canal por donde corre el flujo de agua; la segunda, el valle del río representa la llanura de inundación, un espacio extenso que integra las otras dos áreas y se denomina también cauce mayor y que es ocupado en proceso de crecidas para disipar la energía de las aguas, teniendo la característica de almacenar materiales sedimentarios de gran fertilidad (Ureña 2000) y; el tercero, es la red que establecen mediante su intercomunicación todos los ríos y arroyos dentro de la cuenca.

Los ríos no son ecosistemas uniformes, en la naturaleza son ecosistemas diversos, con rápidos y remansos, riberas irregulares, cursos no rectilíneos como consecuencia de los mecanismos de erosión, transporte y depósito de sedimentos. Algunas de las características de las áreas fluviales son de estar en permanente cambio (el caudal, erosión, transporte, sedimentación, modificación de su curso y de sus secciones, del territorio ocupado por sus aguas), por lo que se considera un sistema dinámico y multifactorial, en el que tanto su morfología, fauna y flora, son el resultado de los procesos que construyen a los cauces. Adicionalmente integran dos ámbitos, el acuático y el terrestre, siendo la interfaz entre estos, el espacio donde se mueve el cauce con nivel freático alto y la vegetación ribereña, y es esta relación que los convierte en ecosistemas singulares. Un tramo del río no puede aislarse del resto ya que es parte de un sistema y en consecuencia, la ordenación de un tramo del sistema fluvial influye en los demás por lo que debe realizarse con un enfoque de conjunto. Por otro lado, son espacios netamente representativos de la evolución natural de nuestro planeta, su dinámica del cauce puede provocar la escisión de brazos abandonados que pueden mantener durante décadas una lámina de agua y vegetación asociada, convirtiéndose en humedales valiosos con gran valor ecológico.

La dinámica bajo un análisis cualitativo de los ríos esta basada en la relación de dos factores, la pendiente del canal por su descarga y el tamaño y lavado de sedimento, lo que significa que a mayor pendiente, mayor velocidad y mayor lavado y transportación de sedimento, lo que se denomina “degradación”, y por el contrario, a menor pendiente menor velocidad, que en consecuencia se deposita mayor sedimento, a lo que se denominándose “agradación” (Lane 1955, tomado de roseen 1996), (figura 42 del apéndice).

Luna (1962), propuso los principios de estabilización de ríos al describir y demostrar las funciones de sus elementos como sistemas. Comparó análogamente sus historias con la de cualquiera especie biológica del mundo, refiriendo a que un río existente es el sucesor de uno anterior y que se originó a su vez de un progenitor ya que el cauce del río se forma y se mantiene por sí mismo, por que el agua que corre lo esculpe, moldea su profundidad, el perfil transversal, la configuración del área y el perfil longitudinal. Por lo tanto, no se puede pensar que el cauce de un río haya sido formado, sino que ha evolucionado a través del tiempo geológico. Dice que un río aumenta su tamaño en su trayecto por el crecimiento del área de escorrentía al entrar los tributarios, lo que no solo se manifiesta en cantidad de agua (descarga) sino también con el incremento de anchura y profundidad del cauce y que para ajustar esto, el cauce puede crecer en anchura, profundidad o aumento de velocidad del caudal. Este mismo autor considera a los sistemas fluviales como sistemas abiertos en donde sus componentes son el agua y los sedimentos en el cauce del río. Cuando el agua baja por el cauce libera energía potencial que se convierte en cinética de agua corriente y se disipa en su trayectoria en forma de calor a lo largo de los márgenes del río, y este calor, se pierde por convección, conducción o radiación; sin embargo, el cauce podría conservarse en equilibrio dinámico.

4.3 Rehabilitación de ríos.

Rosgen tras 31 años de investigación en ríos naturales desarrolló un esquema práctico y aplicable universalmente en la clasificación de ríos que implica observar los principales parámetros que funcionan en los procesos mecánicos de mantenimiento del río a través del tiempo. Su metodología de restauración de ríos, planeación de control y mantenimiento del canal no requiere de acero ni concreto, sino que, utiliza materiales nativos que permitan al sistema encontrar su auto equilibrio entre el sedimento-agua durante flujo bajo y en etapa de inundación. Su metodología permite la clasificación de la corriente mediante cuatro niveles bajo el concepto de cuenca, considerando su red de drenaje, complejidad de la cuenca (influenciados por el relieve, formas de la tierra y morfología del valle) que son determinados por la interacción de controles estructurales litológicos, procesos fluviales, materiales de depósito, influencia climática y una zona de vida amplia, como se muestra en la figura 43 del apéndice y que para el modelo solo se usaran los primeros dos niveles.

La primera etapa de clasificación describe las características geomorfológicas y se utiliza para delinear tipos geomorfológicos a una escala gruesa, se puede determinar mediante mapas topográficos y fotografía aérea; una segunda proporciona una descripción morfológica detallada de los tipos de la corriente y una clasificación en base al sedimento que procesa, lo que permite obtener o llegar a la “Clave de Rosgen”, mediante datos de campo basados en ocho variables (máxima ribera, ancho de la ribera, área de inundación, la tasa de la relación ancho/profundidad, la tasa de confinamiento, el material de sustratos del canal, gradiente de la pendiente y la sinuosidad), siendo la base el punto de máxima ribera o “bankfull” (nombre en inglés); la tercera etapa implica un análisis de las condiciones del estado de la corriente y, la cuarta etapa es el nivel de validación. La clasificación de Rosgen agrupa ocho tipos de ríos que describe la estandarización de las condiciones geomorfológicas de los ríos en general (figura 44). Como se menciona en la etapa dos, la descarga de máxima ribera es por sí sólo el parámetro más importante, pues es el que establece las dimensiones del canal en sus patrones (longitud del meandro, radio de curvatura, anchura del cinturón,

relación de la anchura del meandro y amplitud). También es el punto o frontera donde si el agua lo rebasa, habrá entrado en su área de inundación y es aquí, donde se desarrolla la formación de las dimensiones físicas del canal ya que el flujo se lleva acabo el movimiento de la mayoría de los sedimentos por mayor tiempo, dando los procesos de transporte y posición de sedimentos mas activos que formar el canal. La descarga de máxima ribera se asocia a un caudal máximo momentáneo que tenga un intervalo medio de la repetición de 1.5 años (Rosgen 1996).

El modelo de Rosgen (1996), tiene como objetivo general el clasificar la corriente en base a la morfología del canal, fijando categorías de tipo discretos de la corriente para desarrollar descripciones y gravámenes constantes, reproductivos de la condición y del potencial. Los objetivos específicos son básicamente:

1. Predecir el comportamiento de un río por su apariencia,
2. Desarrollo hidráulico específico de los tipos de canal y su estado con relación al sedimento,
3. Provee datos que puedan extrapolarse a corrientes con características similares y,
4. Provee un marco de referencia que enlace a la morfología del canal con las disciplinas y participantes interesados.

La sedimentación que genera la máxima ribera da lugar a estructuras naturales en los ríos que son base para su auto estabilización, denominados "Bankfull" (nombre en Ingles), palabra sin traducción técnica, por lo que se denomina "freno", considerando que por un lado cumple esta función en el cauce pero por otro, cumple también algunas funciones de rápidos sin llegar a serlo. Los frenos son estructuras formados por la acumulación del sedimento proporcionalmente mayor dentro del cauce, los que dan lugar a pequeños bordos que por un lado acumulan agua en la parte superior de la corriente generando remansos y por otro, elevan la energía de la corriente al pasar sobre ellos por la pendiente natural del canal lo crea cavidades por el impacto del agua en su parte baja y a las que se denomina "pozas". Estas estructuras

permiten establecer el sistema freno-pozza, elemento fundamental para la estabilización de la corriente. Los frenos comúnmente son confundidos con rápidos o rabiones dentro de los ríos y, aunque tienen funciones similares, presentan características que los diferencian. La principal característica de diferenciación es el sonido típico del golpeteo del agua sobre el sedimento del lecho del río como consecuencia de las mayores dimensiones del sedimento en los rápidos y rabiones que en los frenos; otra es que los frenos se localizan en ríos con pendientes menores del 2% y los rápidos y rabiones en pendientes mayores a esta. Lane 1955, determinó que la dinámica bajo un análisis cualitativo de los ríos se basa en la relación de dos factores, la pendiente del canal por su descarga y la el tamaño y lavado de sedimento, Roseen (1996).

Dentro de los ríos Bagnold, demostró que el material granuloso arrastrado crea una tensión que actúa hacia abajo previniendo erosión del río y posteriormente, Rosgen (1996) menciona que la forma del río y los procesos pluviales evolucionan simultáneamente y a través de ajustes mutuos operan hacia su auto estabilización. De esta forma se logra la estabilidad natural y la recuperación de funciones importantes dentro en el río y en el sistema de cuenca.

Medina y Long (2004), demostraron la viabilidad de la rehabilitación de ríos mediante la colocación de frenos dentro del cauce, tendientes a restablecer los perdidos por los disturbios generados, la propuesta de tratamiento fue colocar frenos que ayudaran a disipar la energía de la corriente aumentando la ondulación del canal, permitiendo que el exceso fluyera hacia el área de inundación. Estos mismos autores, definieron la colocación y altura de los frenos, con base en el estudio de los taludes, además de ajustar la altura de los frenos por eliminación del sonido de gorgoteos que generaban con el paso del agua sobre ellos; la estabilización de los frenos y regeneración en las áreas erosionadas por el corte, se logra por transplante de herbáceas acuáticas, tales como las de los géneros, *Juncus*, *Carex*, *Cyperus* y *Eleocharis*; reduciendo la susceptibilidad a la erosión e incrementando la cosecha de humedad. Estos tratamientos han demostrado ser sostenibles y económicos para la restauración de ríos, por usar materiales naturales para lugares donde no se

cuenta con maquinaria pesada, con poca mano de obra y puede tener o no escasez de material.

4.4 Humedales.

Un elemento de gran importancia en los sistemas lóticos son los humedales como ecosistemas para los procesos hídricos y ecológicos encargados de conservar la diversidad biológica. Son los ecosistemas más productivos de la tierra, y durante siglos fueron considerados tierras marginales que deberían ser drenadas o “recuperadas” para mejorar condiciones sanitarias o para producción agrícola principalmente (Barbie 1997), situación que empezó a cambiar después de 1971, después de la convención sobre los humedales en Ramsar, Irán 1975 en donde se reconoció el valor ecológico, definiéndolos como “las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros”. Han sido descritos como “los riñones del medio natural” por las funciones que pueden desempeñar en los ciclos hidrológicos y químicos, también como “supermercados biológicos” por las extensas redes alimenticias y la rica diversidad biológica que sustentan (Barbie 1997). Los procesos hidrológicos más importantes que cumplen son: recarga del acuífero, mitigación de inundaciones, disminución de la erosión y mantenimiento de la calidad del agua (Ministerio de salud y Ambiente, 1999). Otros papeles de carácter biológico que inducen al sostenimiento de una gran diversidad y provisión de hábitats críticos para especies amenazadas, albergando poblaciones muy numerosas dada su alta productividad, así como para la realización de diversas actividades humanas como la pesca, agricultura, forestal, manejo de vida silvestre, pastoreo, transporte, recreación y ecoturismo, (Ramsar 1998).

Son sistemas dinámicos que cambian como resultado de la acumulación de sedimentos, materia orgánica, las sequías o el aumento del nivel del mar. Muchos son componentes temporales del paisaje que acaban por desaparecer, siendo el tiempo el encargado de formar otros nuevos. Por ello,

sus plantas acuáticas a diferencia de las terrestres no son permanentes en su hábitat, una especie puede ser abundante en un año y desaparecer en otro, (Bonilla y Novelo, 1995).

El Centro Mundial de Monitoreo de la Conservación, ha sugerido que en planeta existe un estimado de 570 millones de hectáreas de humedales, en donde el 65% de la superficie emergente de la tierra esta constituido por ellos. De estos 2% son lagos, 30% turberas, 26% manglares, 20% pantanos y 15% llanuras de inundación (Ramsar 1998). Una clasificación de humedales contempla 30 grupos naturales y nueve artificiales. A titulo ilustrativo, se muestra la clasificación de que encuadran los anteriores en cinco grandes sistemas de humedales, (Barbier 1997):

Estuarios: que comprenden los deltas, bancos frágiles y marismas,

Marinos: involucra a los litorales y arrecifes,

Fluviales: considera las tierras anegadas periódicamente por el desbordamiento de ríos como las llanuras de inundación, bosques anegados y lagos de meandros,

Palustres: comprende a los pantanos de papiro, marismas y ciénegas y,

Lacustres: como las lagunas, lagos glaciares y lagos de cráteres volcánicos.

Actualmente la mayor parte de los trabajos de rehabilitación de humedales se realiza en los de tipo estuarios, marinos, palustres y lacustres, siendo pocos los que se llevan a cabo en los de tipo fluvial. México del año de 1986 al 2003 contaba con 51 sitios RAMSAR que comprendían más de 5.000.000 de hectáreas, de estos, 34 designados oficialmente en la lista Ramsar de humedales de importancia internacional, (Ramsar, 2004).. Humedales importantes en México para la conservación de la biodiversidad son los manglares, playas tortugueras, islas oceánicas, humedales de zonas áridas y sistemas hidrológicos subterráneos entre otros, pero sin considerar alguno de tipo fluvial que se establecen temporalmente en las riberas de los ríos o cerca

de éstos en cauces alimentados por las corrientes intermitentes. El estado de Guanajuato y Michoacán cuentan con humedales de tipo lacustres de importancia que albergar a la única población mundial de Mascarita Transvolcanica (*Geothypis speciosa*), una pequeña ave de 13 cm, (Ramsar, 2004).

Los humedales fluviales puede generarse por la actividad humana o por la dinámica natural del cauce como lo menciona Ollero, al escisión de brazos abandonados, paleocauces que pueden mantener durante décadas una lámina de agua y vegetación asociada convirtiéndose en valiosos humedales, Ureña (2000).



Figura 2. Ubicación de galachos en el Río Ebro. Imagen tomada de www.naturalezadearagon.com/engalachosdelebro.php.

España presenta dos casos interesantes de manejo de humedales fluviales por escisión de brazos abandonados en llanuras de inundación en un río perene y que se convierten en humedales lacustres. España es uno de los pocos países que realiza conservación en este tipo de ecosistemas. Refieren este tipo de humedales como “galachos” y lo definen como un “Sistema marginal fluvial aislado de la corriente principal, formado a partir del aislamiento de un meandro”. Se encuentran inundados permanentemente, y pueden mantener una cierta relación con el río en crecidas o no, y es el río quien sirve de eje para estructura un excepcional paisaje. Presentan aguas claras con una

interesante fauna, flora acuática y bosques de ribera; son espacios de alto valor paisajístico, ecológico y cultural. La calma de sus aguas favorece el asentamiento de numerosas especies de aves que han elegido este lugar para vivir durante el año o por temporadas (200 sp). Se ubican a orillas del Río Ébro en las proximidades a la localidad de Santa Isabel y Pastriz, como lo muestra la figura 2.

Su experiencia se refiere a dos galachos que integran el proyecto; el de Juslibol con mas 100 ha cerca a Zaragoza y, el de Alfranca (en mejores condiciones) con 1.700 m largo y 150 m ancho. Son considerados como ZEPA (Zona de Especial Protección para las Aves), designados como Reserva Natural de los Galachos de La Alfranca, La Cartuja y El Burgo de Ebro por Ley. Los objetivos del proyecto son: 1. la conservación del bosque de ribera y sus valores naturales, 2. la restauración y recuperación de los ecosistemas y, 3. fomento de usos científicos, culturales y educativos referentes la conservación. (www.naturalezadearagon.com/engalachos_delebro.php accesada en 2007).

Aun cuando las condiciones físicas y ambientales de las experiencias anteriores sean diferentes a las condiciones de la microcuenca el modelo de estudio en el estudio, así como en el tipo de río, perenne vs intermitentes, la experiencia es por mucho significativa como una de las pocas existentes.

4.5 Bosques riparios.

Los bosques de ribera son elementos con una función clave para la estabilidad y equilibrio de los ríos. Son la interfaz de los ecosistemas acuáticos y terrestres, y son identificados básicamente por las características del suelo y sus comunidades vegetales únicas adaptadas a las inundaciones, Ceccon (2003); así mismo, son un elemento base para la estabilidad de humedales, galachos y ríos por la presencia bien definida de plantas acuáticas y terrestres. Son Integrados por vegetación con alto valor ecológico, por su flexibilidad, vitalidad, capacidad de regeneración y su proceso de desarrollo acorde a la dinámica del cauce y fluctuaciones del caudal, aunque, su ritmo de cambio es mas lento que el cauce; no obstante, pueden registrar cambios bruscos como

consecuencia de avenidas importantes (Ureña 2000). Aun cuando la zona de estudio no presenta esta importante zona de amortiguamiento riparia, dentro de la cuenca del Río Laja se encuentran algunas que de manera natural buscan mantener su estabilidad, la figura 45 del apéndice muestra un ejemplo de ello.

Algunos beneficios de los bosques riparios son: reducir la conexión entre la fuente de contaminación potencial y cuerpo de agua, actúan como barrera contra sedimentos y contaminantes adheridos, como fuente de nutrimentos transportados por los ríos, reduce el porcentaje de fósforo (ya que el 85% esta ligado a partículas del suelo) y una pequeña cantidad de amonio, como agente de cambio en la composición de los nutrientes (procesos químicos y biológicos), transforma el nitrógeno de escurrimiento y materia orgánica en formas minerales (nitratos aprovechables por plantas y bacterias), convierten el nitrógeno disuelto en gas a la atmósfera, puede reducir hasta el 80% de nitrógeno en el escurrimiento subterráneo superficial, actúa como barrera, son base en la cadena alimenticia, constituye el suministro energético mas importante de material orgánico transportado hacia los cuerpos de agua, hábitat de insectos y varias especies de fauna. Los árboles como parte de la diversidad vegetativa de los bosques riparios tienen efecto al regular la temperatura del agua, haciéndola mas fresca en zonas arboladas, factor importante para la sobrevivencia de peces, importancia en manejo integrado de plagas en zonas aledañas (alberga especies de aves depredadoras), como corredor biológico, como refugio de mamíferos no voladores poco adaptados a zonas con vegetación xerófila.

Las dimensiones recomendadas para los bosques ribereños son de mínimo 30 m de ancho, lo que permite mantener sus componentes biológicos sin embargo, en condiciones extremas se pueden tener zonas mayores o menores (3 a 106m) dependiendo las necesidades de especies (Cecon 2003). Aun cuando estas franjas importantes en ríos es difícil observarlas por el grado de erosión en la microcuenca de estudio, en la cuenca del Río Laja se presentan algunos sitios con dimensiones pequeñas, pero con estratos vegetativos que cumplen su función de bosque de ribera, figura 46 y 47 del apéndice.

4.6 Zona de estudio.

La zona de estudio se localiza dentro del municipio de Allende, Guanajuato, México (figura 3), en un tramo del río San Marcos afluente principal en la microcuenca 12HaLEK, (en donde: 12 es la región hidrológica; Ha, corresponde a Río Laja peñuelitas, afluente principal; L, indica el Río San Marcos; E, indica cuenca baja Río San Marcos y K, indica microcuenca Cruz del Palmar), (SDA 2001), en las coordenadas 20° 58' 21.22"norte y 100° 51' 29.62" oeste, (Google Herath 2007) a una altitud de 1, 920 msnm de acuerdo a información obtenida en el GPS (geoposicionador geográfico) en la zona de estudio. La figura 4 muestra la ubicación espacial de la subcuenca San Damián y subcuenca Laja dentro de la cuenca del Río Laja inmersa en el estado de Guanajuato, la figura 5, ubica espacialmente la microcuenca Cruz del Palmar dentro de la subcuenca San Damián y la figura 5 ubica la microcuenca de Cruz del Palmar.

De acuerdo con la clasificación climática de Köpen, el clima predominante es BS1kw(w)(e)g, que corresponde a semiseco templado con lluvias en verano, extremoso con un porcentaje de lluvia invernal menor de 5%. Precipitación media anual de 547.0 mm, distribuida de junio a octubre y temperatura media anual de 16.3°C. Presentan suelos Phaeozem Lúvicos, Phaeozem háplicos y poco de litosoles, Torres (2005).

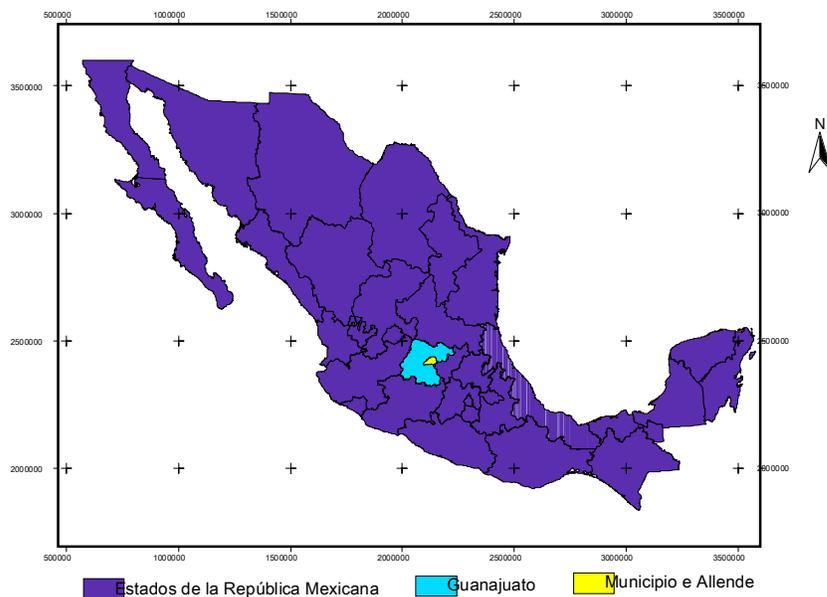


Figura 3. Ubicación espacial del municipio de Allende en Guanajuato dentro de la República Mexicana.

El Río San Marcos es el principal afluente que cruza la microcuenca de Cruz del Palmar y uno de los tributarios principales del Laja. Es un río intermitente, ya que corre agua durante y poco después de la temporada de lluvias, presentando humedad almacenada bajo sus sedimentos durante periodos prolongados de tiempo. El río San Marcos tiene una longitud de 33 km, originado en el parte aguas de los cerros Santa Rosa a una altitud de 2, 712 msnm, El Villalpando con 2, 832 msnm y El Corro con 2, 609 msnm en la sierra de Santa Rosa al oriente de la ciudad de Guanajuato a unos 25 Km, (Seguridad Pública, 2001). La figura 6 ilustra el los sistemas hídricos del río San Marcos y del río Laja y la figura 7, ubica espacialmente de la zona de estudio en la microcuenca Cruz del Palmar.

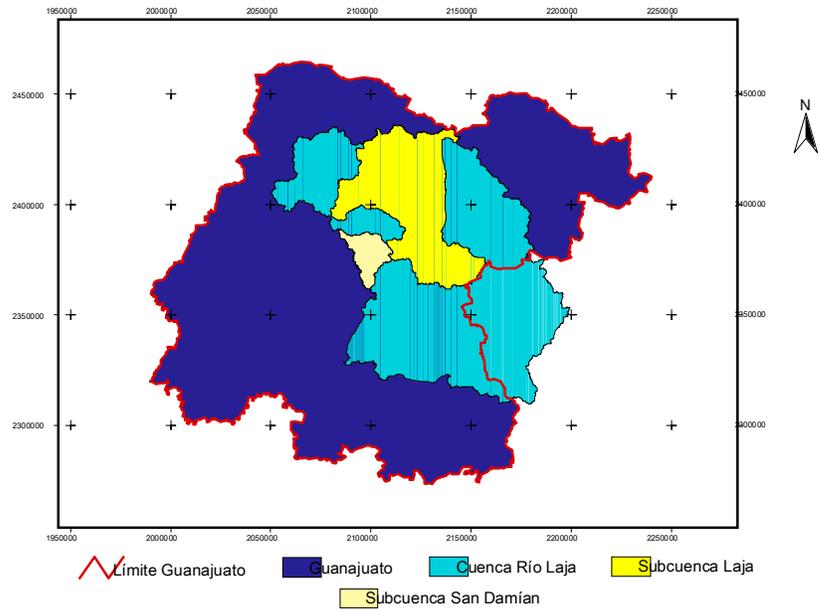


Figura 4. Ubicación de las subcuencas laja y San Damián dentro de la cuenca del Río Laja en Guanajuato.

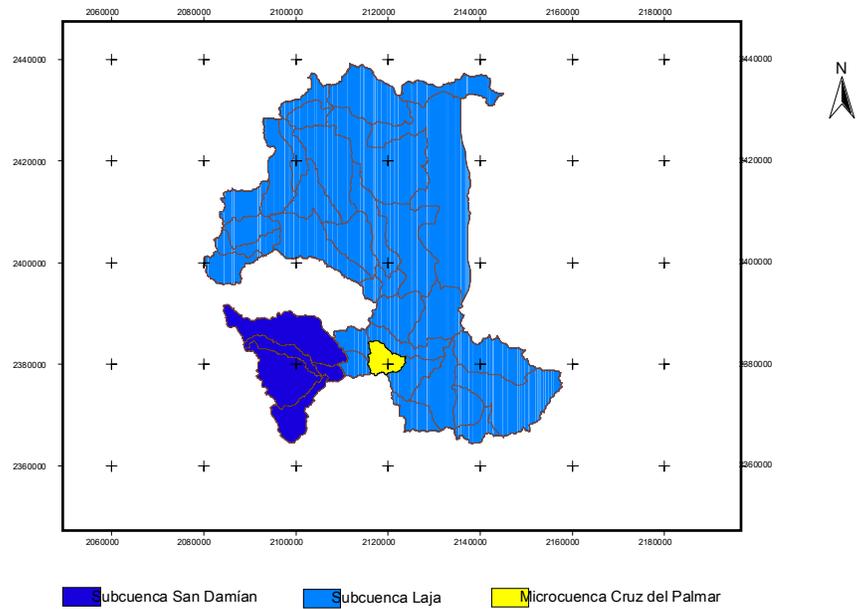


Figura 5. Ubicación de la microcuenca Cruz del Palmar en la subcuenca Laja.

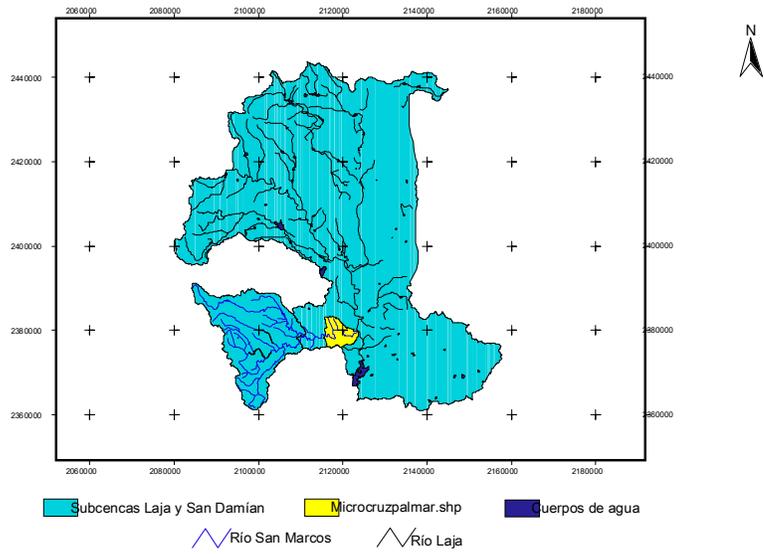


Figura 6. Sistemas hídricos de las subcuencas Laja y San Marcos y ubicación la microcuenca Cruz del Palmar.

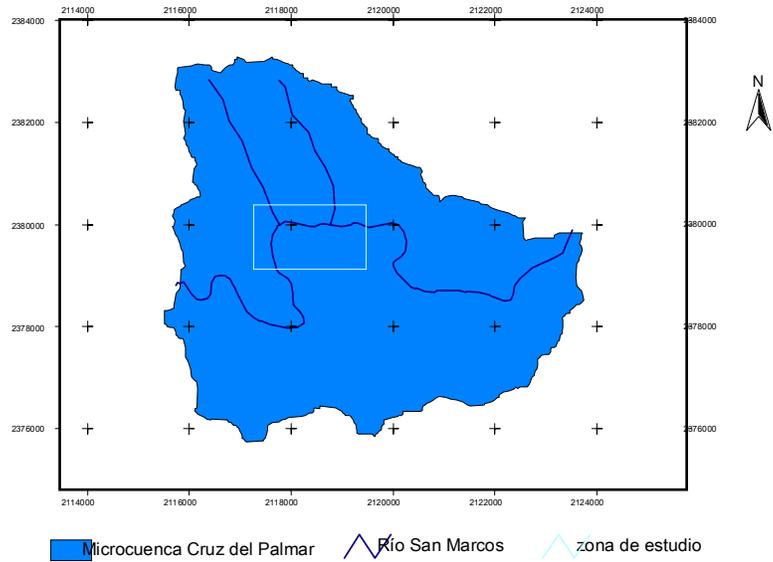


Figura 7. Ubicación espacial de la zona de estudio en el río San Marcos.

Los elementos principales empleados para delimitar la zona de estudio fueron dos: 1. las áreas impactadas por extracción de materiales pétreos en las zonas de inundación y 2, ubicación de puntos en el río con estabilidad, uno hacia arriba de la corriente y otro hacia abajo. Esto permitió establecer un área de 1, 400 m de manera lineal entre ambos puntos estables, 1950 m de cauce de río y una achura delimitada por su zona de inundación en ambos lados del río, figura 8.



Figura 8. Dimensiones de la zona de estudio (imagen procesada de Google Earth, Europa Technologies 2007).

En la microcuenca se presenta una fuerte presión por diversas actividades productivas pero principalmente, por extracción de materiales pétreos, misma que se realiza en dos modalidades. Una con maquinaria pesada por grandes empresas y otra con herramientas convencionales como pala, harnero y parigüela por pobladores locales. La primera se lleva a cabo principalmente en parcelas aledañas al río ubicadas técnicamente en la llanura de inundación y la segunda, se realiza en el lecho del río, lo que ha acelerado el desplazamiento del cauce dentro de su llanura de inundación, la que ha llegado a ser hasta de 150 m en algunos sitios. Esto ha contribuido a la alteración del equilibrio del cauce llevando a perder una importante zona de equilibrio como sus zonas de amortiguamiento y corredores biológicos formadas por los bosques de ribera.

Las llanuras de inundación del río San Marcos presenta un número no determinado de pozos artesanales o norias hechas por dueños de parcelas, y

ha decir de ellos, todos mantienen agua durante el año variando sus niveles con relación al flujo del río. Esto representa que durante el periodo de lluvias sus niveles se incrementen, disminuyendo en épocas de estiaje. Estos datos refieren los niveles en que localiza el acuífero del río en la llanura de inundación de acuerdo a tres tipos de sistemas de resistencia del suelo a la infiltración o visto de otro modo, es el tiempo que tarda una gota en el acuífero desde su ingreso hasta su salida y son: los sistemas locales, intermedios y regionales de flujo; en donde, los locales tienen zonas de descarga y recarga superficiales, si embargo, pueden ir desde unos cientos de metros hasta kilómetros, que perduran por semanas, meses o décadas (Ortega 2002). Esta clasificación y la información proporcionada por los pobladores ubica los acuíferos del río San Marcos en sistemas locales.

V. Metodología.

Para el logro de los objetivos se plantearon tres etapas con diferentes fases:

- I. La primera etapa considera la estabilización del río como base para garantizar el subsidio de agua requerido para los humedales, bajo tres fases (clasificación geomorfológica del río, descripción geomorfológica del río y diseño de puntos de control).
- II. La segunda etapa correspondiente al diseño de humedales con información y datos de campo tomados bajo las condiciones actuales de saqueo de materiales pétreos en parcelas ribereñas dentro de la zona de estudio.
- III. La tercera que comprende el Aspecto social que permite el enfoque social de usos y costumbres sobre el río y que permitió en conjunto con pobladores analizar y definir un manejo sustentable de recursos naturales de la zona, logrando su involucramiento en el modelo.

La carencia de información sobre la dinámica y variación del río San Marcos no permitió generar una base de datos suficiente, por lo que se generó a partir de trabajo de campo y de análisis cartográfico. Así, los datos del modelo de humedales en zonas perturbadas del Río San Marcos, microcuenca Cruz del Palmar son datos adimensionales, mismos que podrán servir a investigaciones subsecuentes bajo condiciones similares. El modelo de rehabilitación del río esta basado en la comparación de datos entre los obtenidos en la zona de disturbio dentro de la zona de estudio vs los obtenidos en una zona que se mantiene estable bajo las condiciones actuales dentro del mismo río San Marcos (denominada “zona testigo” para el modelo) en los límites de la zona de estudio, en la parte baja. La zona testigo estableció los parámetros de rehabilitación en el diseño del modelo, por lo que fue importante

ubicarla lo más cerca posible a la zona de estudio para disminuir diferencias en variables como gastos de agua y diferencias de pendiente.

5.1 Estabilización del río.

Los análisis se llevaron a cabo bajo un punto de vista sistémico lo que implicó incluir las interacciones entre los aspectos biológicos, geomorfológicos y sociales. El diseño para la preservación y restauración de los cauces naturales permite mantener o restaurar las condiciones naturales no solo en aspectos geomorfológicos funcionales, sino en todo el sistema (Mejía 1999).

En su metodología Rosgen (1996) considera cuatro etapas para la rehabilitación de ríos, sin embargo, el modelo solo consideró las dos primeras como herramienta principal por corresponder a la descripción de características geomorfológicas y la descripción morfológica detallada, mismas que para el modelo corresponden a la primera y segunda fase de la primera etapa. Estas permitieron hacer las recomendaciones necesarias para la rehabilitación física del cauce, para garantizar las condiciones de estabilidad y abasto de agua para los humedales.

El análisis de la configuración geomorfológica de los cauces, permite conocer el proceso físico que gobierna el sistema (Mejía 1999). Así también para su diseño contempla el uso de materiales naturales del río lo que por un lado permite buscar el equilibrio tendiente al funcionamiento natural, disminuye el riesgo de degradación ambiental, de paisaje y ayuda a preservar hábitats que favorecen la permanencia de especies vegetales y animales; y por otro lado, representa una alternativa de bajo costo para la rehabilitación pues no considera concreto, ni acero, en comparación con otras convencionales.

5.1.1 Clasificación geomorfológica del río.

Consistió básicamente en realizar una clasificación inicial del río y arroyos tributarios cercanos basada en imágenes o cartografía, que permitieron a grosso modo perfilar los posibles tipos de corrientes en el río San Marcos, así

como sus tributarios dentro de la zona de estudio. Se uso ortofoto de INEGI (2003) a escala 1:40 000, y bajo el análisis en el programa ArcView. Para la clasificación fue usada la figura 44 del apéndice el que muestra una delineación del nivel general de clasificación de corrientes, conforme a Rosgen (1996), considerando el rango de pendiente dominante, vista del corte transversal de la corriente y vista en plano de corriente y áreas de inundación. Con el apoyo del cuadro 4 del apéndice el que describe los tipos de corriente y criterios para la clasificación Rosgen (1996). Con ello se logró conformar la clasificación preliminar en base a la relación de confinamiento, relación ancho profundidad, sinuosidad, pendiente y características geomorfológicas (forma del valle) tanto de la corriente principal como de los tributarios. Esta información se corroboró en campo durante la segunda fase.

5.1.2 Descripción morfológica del río.

Esta consistió en ratificar prácticamente en campo la clasificación general anterior mas la toma de datos referentes al sedimento procesado. El desarrollo implicó la toma de datos de las ocho variables, consideradas en el método de Rosgen (1996): máxima ribera, ancho de la ribera, área de inundación, la tasa de la relación ancho/profundidad, la tasa de confinamiento, el material de sustratos del canal, gradiente de la pendiente y la sinuosidad. La relación cualitativa y cuantitativa entre ellas permite configurar el funcionamiento que existe en el cause en diferentes circunstancias, determinando la funcionalidad y las afectaciones a los componentes del sistema (Mejía 1999), esto permitió llegar a la “clave de Rosgen”. El método considera que los tipos de arroyos están relacionados con la topografía de la cuenca y de acuerdo a dicha clasificación es su ubicación dentro de ella, por lo que, si un tipo de río se encuentra en un área topográfica diferente a la que refiere el cuadro donde se muestra la delineación de clasificación de corrientes, denotaría por tanto, una alteración en la condición natural del sistema hídrico en la cuenca. De acuerdo a la clasificación de ríos, Rosgen (1996), ilustra en la figura 48 del apéndice la ubicación que de manera natural presentan los ríos dentro de la cuenca.

Los datos geomorfológicos de campo, se tomaron en el cauce principal del río San Marcos con ayuda del nivel láser marca LASERMARK, serie LHM se levantaron seis perfiles en la zona degradada y otro en una estable junto a la zona de estudio, bajo el formato de campo ilustrado en el cuadro 4. La figura 9 muestra su ubicación de los perfiles en la zona de estudio. Se levantó la información de los perfiles (cortes transversales) dentro del río, los que denotan parte de la morfología, mismos que se complementaron con los referentes a la frecuencia o ritmo del sistema rabión/poza y pendiente.



Figura 9. Perfiles dentro de la zona de estudio y perfil testigo. (imagen procesada de Google Earth, Europa Technologies 2007).

La recolección de datos se hizo bajo los criterios siguientes:

Máxima Ribera (MR). Es el punto base para la toma de datos de campo, se ubica mediante indicadores del río; la figura 10 muestra el nivel de máxima ribera. La complejidad de su ubicación en las riberas del río es un problema ya que generalmente tiende a confundirse con las terrazas del río, elementos diferentes. Se ubica a simple vista analizando los indicadores que se han formado a orillas de la corriente o por ella misma como pueden ser: terrazas pequeñas donde cambia la estructura del sedimento por la deposición de materiales finos, ubicando las líneas de pastos ribereños bien establecidos en los taludes o la erosión formada por la corriente. La máxima ribera indica el

nivel máximo del agua alcanzado en promedio cada 1.5 años. Rosgen (1996) lo describe como el flujo que cubre justo la parte de la orilla del canal y el punto donde el flujo excesivo del agua desborda sobre la llanura de inundación.



Figura 10. Nivel de máxima ribera en la zona de estudio.

Ancho de Máxima Ribera (AMR). Una vez ubicada la máxima ribera en cualquiera de las orillas, el AMR se obtiene mediante la proyección del nivel MR ubicado hacia la otra orilla. Así pues, el ancho de máxima ribera es la longitud proyectada entre los dos puntos dentro del cauce del río, lo que delimita el cauce constante del río.

Profundidad Máxima (PM). Bajo la proyección del ancho de máxima ribera se ubicó la máxima profundidad del cauce al ubicar el “thalweg” (es la línea de donde parten los procesos de disipación de energía o bien, el punto mas bajo dentro del cauce del canal) mediante el desplazamiento sobre la línea que demarcó el ancho de la máxima ribera. Se decidió tomar medidas a cada 2 m para garantizar una mejor información que permitiera graficar los perfiles. De acuerdo al tamaño de la corriente, la metodología recomienda tomar el mayor número posible de medias. El “Thalweg” (palabra en Ingles) literalmente no tiene traducción ni alguna otra que asimile sus funciones.

Profundidad Promedio (PP). Esta se obtuvo básicamente por el promedio de las medidas obtenidas durante la ubicación de la máxima profundidad en cada perfil. Se calculó dividiendo la suma de todas las lecturas entre el número de lecturas obtenidas, bajo la siguiente fórmula:

$$PP = 1 + 2 + \dots + n / N$$

En donde:

1 + 2 ... = El número de medidas tomadas.

n = Representa la última medida tomada.

N = El total de medidas hechas.

Área de Inundación (AI). Representa el área que alcanza la inundación para un evento específico de máxima ribera. Se obtuvo multiplicando la máxima profundidad por dos (constante), o lo que es igual, el doble de la altura de profundidad máxima tomada desde el "thalweg". Esta indica el área de inundación alcanzada al menos cada cinco años y se obtiene con la fórmula:

$$AI = (PM) (2)$$

En donde: PM = Profundidad Máxima.

2 = Constante.

Ancho del Área de Inundación (AAI). Conocer la altura del área de inundación permitió ubicar bajo la proyección del nivel en ambas riberas el ancho del área de inundación para determinar la máxima ribera.

La Relación Ancho / Profundidad (R A/P). Es la relación de la anchura de la superficie de la ribera máxima entre la profundidad media de la máxima ribera del canal. Se obtuvo al dividir el ancho de la máxima ribera y la profundidad media. Proporciona una evaluación rápida de la estabilidad del canal, interpretando la energía disponible dentro del canal y la capacidad de las varias descargas que ocurren dentro de él para mover el sedimento.

Se obtiene dividiendo $TA/P = MR / PM$

En donde: MR es la ribera máxima y,
PM es la profundidad media.

Tasa de Confinamiento (TC). Es la relación existente entre el AAI y el AMR. Se obtiene al dividir el ancho del área de inundación entre el ancho de la máxima ribera. Rosgen (1994) define la tasa de confinamiento de manera cuantitativa como la contención vertical del río. El Figura 49 del apéndice demuestra las relaciones de los tipos de confinamiento en cortes transversales de varios tipos de canal. La TC se obtiene bajo la siguiente formula:

$$TC = \frac{AAI}{AMR}$$

En donde: AAI = Ancho del área de inundación.
AMR = Ancho de máxima ribera.

Materiales del Canal (Índice del tamaño de las partículas). Se refiere a las partículas que componen la cama y los bancos dentro del canal del área de máxima ribera. Se llevo acabo con el método de Bunte y Abt, tomado de Roseen (1996), el cual estima el diámetro dominante (D_{84}) en las partículas del fondo del canal y representa el 84% de las partículas dominantes en el cauce del río. Para un muestreo más representativo de la zona de estudio se realizaron tres repeticiones de conteos en diferentes sitios. La figura 50 del apéndice muestra el formato de campo usado para el conteo de partículas, en donde, en al número total se sumaron las partículas de cada rango, en el porcentaje se anotó el número que cada rango obtuvo y en el porcentaje acumulado se plasmó el que cada uno suma. Así, las partículas que suman el 84 % o más en el porcentaje acumulado determinó el diámetro dominante de partículas.

La cama del canal y el banco de material influyen en la forma del corte transversal, la vista del llano, el perfil longitudinal, el transporte de sedimento y

además proporcionan el significado de la resistencia hidráulica; además, permite mediante una evaluación de la naturaleza y la distribución de los materiales de sedimentación del canal, el estado crítico para la función biológica, para la determinación de la fuente productora de sedimento en la cuenca (permitiendo la toma de decisiones de conservación en esas zona).

Gradiente de Pendiente (GP) del cauce. Esta medida refleja la diferencia de pendientes. Se obtuvo mediante la medición de la altura sobre la superficie del agua, para lo cuál se colocaron dos estacas a la altura del agua separadas en una distancia mayor a 30 m; al dividir la diferencia de altura entre la distancia (d) se obtuvo el gradiente de la pendiente y al dividir este resultado entre 100, se obtiene el porcentaje de pendiente. La formula usada fue:

$$GP = \frac{h}{d}$$

En donde: h = Diferencia de altura.

D = Distancia.

Sinuosidad del Cauce (S). Se obtuvo con la diferencia de dos medidas, una que se realizó en la parte central del cauce, tomando como base un meandro completo (las curvas que dentro del cauce figuran una "S"), a esta medida se le denomina longitud del cauce (**LC**), y la otra, se obtuvo midiendo en línea recta los extremos que separa la medida de la longitud del cauce, a esta se le denomina Longitud del Valle (**LV**). Se obtuvo con la siguiente formula:

$$S = LC / LV$$

Donde:

S = sinuosidad.

LC = Longitud del cauce.

LV = Longitud del valle.

5.1.3 Diseño de los puntos de control.

Los puntos de control son importantes puesto que la zona de estudio en el río San Marcos se ubica en una parte intermedia considerando desde su cabecera hasta su llegada al embalse principal de la cuenca del Río Laja, la presa Ignacio Allende. Se requirió por ello reducir riesgos mediante puntos de control al inicio y final de la zona de estudio, lo que permitió mayor estabilidad dentro del área. El diseño requirió de toma de datos en campo de variables como: altura de la máxima ribera, ancho de la corriente, ancho total del río, tipo y tamaño de sedimento, considerando los indicadores que el río ha establecido con su dinámica natural; tomados en el inicio y final de la zona de estudio. Los sitios límites de la zona de estudio se ubicaron en las zonas donde se encontraron las condiciones de estabilidad lo que representa, que la zona de estudio esta limitada por zonas estables bajo condiciones actuales de disturbio del río. Esta información permitió las dimensiones de los puntos de control, en donde, es importante referir que estos datos son adimensionales para el diseño del modelo y que podrán servir a otras investigaciones bajo condiciones similares, al igual que los datos obtenidos de los perfiles en las áreas de disturbio y estabilidad del río para su rehabilitación del cauce.

Un río clasificado permite diseñar su metodología de rehabilitación, considerando su ubicación en la cuenca y sus funciones geomorfológicas e hídricas que permiten condiciones a su vegetación ribereña y riparia, que de manera pasiva y gradual se establece. Un río estable garantiza el subsidio hídrico necesario a los humedales dentro de en su llanura de inundación y que, mediante las conexiones adecuadas, permiten flujos superficiales y subterráneos en los periodos durante y posteriormente a las lluvias.

5.2 Diseño del humedal.

Es importante retomar parte de la definición de humedales por Ramsar (1971) en donde se citan como “extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas

...”, y la fracción del párrafo del artículo 2.1 donde refieren que “podrán comprender sus zonas ribereñas o costeras adyacentes.....”, el diseño de humedales en las áreas de inundación del río San Marcos de la microcuenca Cruz del palmar, se consideró un humedal estancado temporal de agua dulce.

5.2.1 Diseño físico del terreno.

Las condiciones naturales que presentan las cavidades generadas en parcelas impactadas son condiciones de humedales que buscan establecerse adecuadamente, indicadas por la presencia de plantas acuáticas, por lo que se les denominó “pre-humedales”. Estas especies, refieren indicadores de estratos requeridos entre ellas y la geomorfología, mismos que se usaron para el diseño de humedales, bajo el conocimiento de sus necesidades hídricas. Se recabó información referente a las condiciones físicas de la cavidad más grande (seleccionada por presentar mayor diversidad de especies acuáticas) para conocer la geomorfología existente, mediante el levantamiento de dos transectos tomados de manera perpendicular al río dentro del área zona de estudio. Uno tomado en su parte de mayor longitud de norte a sur y otro en la misma dirección, solo que en la parte intermedia donde existe la presencia de agua al momento de la toma de información. El transécto consistió en un perfil de lado a lado del pre-humedal en donde, a cada dos metros se determinó el desnivel del terreno.

5.2.2 Plantas acuáticas.

Se realizó una primera clasificación en campo de identificación taxonómica de las especies acuáticas, misma que fue corroborada con ejemplos botánicos tomados del Herbario de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro, generando una base de datos clasificándolas en base a sus requerimientos hídricos de acuerdo a su distribución en campo dentro del pre humedal. Esta información al igual que la de los puntos de control y de estabilización del río, son datos adimensionales por sus condiciones, mismos que podrán usarse en características similares.

El diseño de suministro de agua y conexión entre los humedales en la zona de estudio se basó en información observada de manera natural dentro del río, en donde de acuerdo a las condiciones similares del río estabilizado se definió la entrada que alimentara al humedal por la parte baja del meandro (otro suministro importante será de manera subterránea, por filtración) y la conexión entre humedales se propuso mediante desniveles de grava y arena, lo que permitirá un flujo de agua por gravedad.

5.3 Aspecto social.

El empoderamiento del desarrollo por parte de los habitantes de la microcuenca depende del grado de su involucramiento desde su planeación hasta la ejecución y evaluación, por lo que, resulta fundamental la participación activa desde antes del inicio del desarrollo del modelo.

La herramienta base para ello fue la metodología participativa mediante los instrumentos del Sondeo Rural Participativo (SRP) que según Selener et al. (1997) lo define como “un método que permite identificar los problemas de la comunidad y planificar actividades para la solución con la participación activa de las comunidades”; partiendo de principios como: los habitantes rurales conocen sus problemas y pueden proponer soluciones locales a los mismos y que a veces no están concientes del poder de la información que poseen, pueden movilizarse para la acción rompiendo la dependencia externa y lograr consensos para identificar problemas y potenciales soluciones, detectando los que requieren de asistencia externa, y por ultimo, que los proyectos planteados con la metodología tienden a ser mas sostenibles. Geilfus (2000), expone que la participación no es un estado fijo; sino que mas bien un proceso mediante el cuál la gente puede ganar más o menos grados de participación en el proceso de desarrollo. Fundamentado en el dialogo, el SRP permite que todos los actores se consideren fuentes de información y para la toma de decisiones para analizar problemas y soluciones. Es importante destacar que la información obtenida representa una fotografía actual de la realidad, que de no usarse en el momento adecuado se vuelve obsoleta.

Con dos herramientas de diálogo y cuatro del diagnóstico participativo de Selener (1997) y Geilfus (2000) aplicadas en la zona de estudio, se promovió el involucramiento de los habitantes que se benefician de manera directa del río como son: los paleros, parceleros a las orillas del río, lavanderas y de los ejidatarios y/o representantes en la comunidad. Así pues, después de haberse identificado a los actores claves para el estudio se desarrollaron las herramientas que a continuación se mencionan.

5.3.1 Dialogo con informantes clave.

Permitió la información rápida, pertinente para orientar el trabajo y prepara ejercicios de grupo, así como para completar otros ejercicios o checar información. La metodología consistió de inicio en el sondeo en la zona e instituciones municipales que ayudaron a la detección de informantes y una vez detectados, mediante diálogos informales sin la presencia de preguntas escritas (semi-estructurado) y conversaciones sencillas que permitieron dirigir la conversación mediante el intercambio de visiones sobre los problemas del río, haciendo referencia a la historia. Esta herramienta permitió generar confianza en los entrevistados, pues junto con ellos se refirieron soluciones que dependían de apoyos externos, pero también con acciones que ellos pueden iniciar.

5.3.2 Dialogo con grupos.

Este es similar al anterior con la diferencia que se realiza de manera grupal, basado también en un dialogo semiestructurado, con la participación de los informantes claves y resultados de la información generada previamente se logró complementar y ampliar los resultados. A manera de reuniones informales el análisis y conversación dependió de los grupos. La herramienta permitió información rápida y pertinente como resultado, así como ir estableciendo una relación de confianza enmarcada en el ámbito de respeto.

5.3.3 Estrategias de Vida.

El objetivo de esta técnica fue el entender las diferentes posibilidades de ingresos con que cuentan los pobladores así como las condiciones de acceso a ellas, bajo su propia visión. Esta herramienta permitió conocer las actividades productivas y de ingresos, y por ende, la estratificación social existente y se logró penetrar en la problemática que conlleva el desarrollo en la comunidad. El método de aplicación incluyó el desarrollo de un taller participativo con agentes involucrados directamente a el uso y explotación del río, y que mediante grupos de trabajo ellos expresaron mediante papelógrafos (en hojas de rotafolio y con marcadores) sus ideas y una vez concluidas se expusieron a manera de asamblea a los demás grupos en donde se complementó la información recabada.

5.3.4 Relaciones Institucionales.

Bajo la misma dinámica por equipos otro de ellos plasmó en papelógrafos la visión que tienen acerca de las instituciones, organizaciones u cualquier otro actor dentro de la comunidad. Igualmente, una vez concluida se expuso a manera de plenaria explicando uno de los participantes de cada grupo la grafica donde al final se enriqueció la información. Esta dinámica permitió conocer la presencia de agentes, organizaciones, grupos activos en la comunidad, instituciones externas, y el cómo la comunidad los visualiza y así entender las interacciones (si se dan o no) entre ellas, lo que puede ayudar a la sinergia de esfuerzos en la zona de estudio. Se anexa en el apéndice copia de la herramienta usada.

5.3.5 Línea del tiempo.

Con la ayuda de esta herramienta se pudo entender la problemática actual del río, aunado a sus efectos en la comunidad. Mediante una retrospectiva del análisis de eventos y sucesos mas representativos en el río y la comunidad y que han sido determinantes y que siguen influenciando eventos y acciones actuales y futuras. El desarrollo de la herramienta basado en un

análisis y reflexión cronológica lo mas lejano posible sobre el pasado (recordado por los participantes del equipo) de los eventos que han marcado de manera contundente la problemática dentro del río, las actividades y por lo tanto a la comunidad, refiriendo preferentemente el año, evento y algún acontecimiento y/o efecto sobre la comunidad y/o el río. La información se plasmó en una matriz que al igual que las anteriores al finalizar se expuso en plenaria, enriqueciendo la información mediante la participación de los presentes. Se anexa formato de la matriz de la línea del tiempo en el apéndice.

5.3.6 Mapa de recursos naturales del río.

Se desarrolló con la participación de un último equipo que construyó en una hoja de rotafolio un mapa de la situación actual del río y de recursos naturales importantes que perciben, incluyendo algunos cambios y/o elementos que se encontraban dentro del río o sus áreas de inundación y que actualmente se han perdido o cambiado. La herramienta permitió conocer la visión de los participantes con referencia al cambio y disturbios que han venido sufriendo los elementos del río. Se anexa copia del plano realizado por los participantes en el taller en el apéndice.

VI. Resultados y Discusión.

La nomenclatura de la subcuenca 12Ha(LEK) considera la combinación de la clasificación del INEGI que comprende la región hidrológica, cuenca y subcuenca así como la nomenclatura sugerida por el IMTA (clasificación en paréntesis) dividida en tres niveles de división; el primer nivel que subdivide a la subcuenca del INEG, el segundo nivel divide el primer nivel del IMTA y el tercero que enmarca a la microcuenca o sección. Esta nomenclatura no coincide con la delimitación total de la subcuenca San Marcos, por lo que para el estudio, se realizó el mapa con las microcuencas que integran la subcuenca en base al sistema hidrológico del río San Marcos (figura 11).

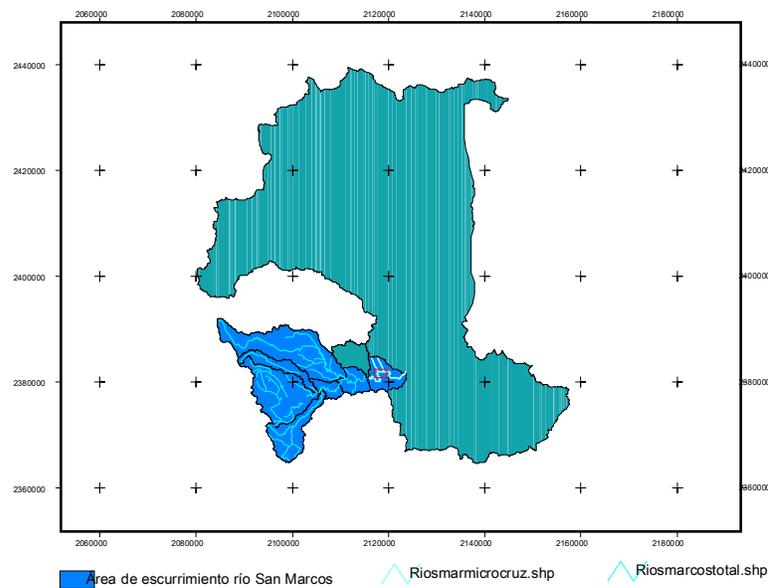


Figura 11. Sistema hídrico del río San Marcos.

De acuerdo a las condiciones y uso actual del río y con ayuda de ortofoto de INEGI (2003) se generó para el modelo de estudio un mapa de ordenamiento territorial, donde se consideraron las variables de cauce constante, anchura del cauce erosionado, zonas impactadas por extracción de materiales pétreos, parcelas de cultivos, al momento de su diseño. Este mapa refiere el primero en su tipo realizado para la microcuenca, no existe

antecedente documentado de alguno que ejemplifique ordenamiento y que apoyara los fines del estudio. La figura 12 muestra el ordenamiento final.

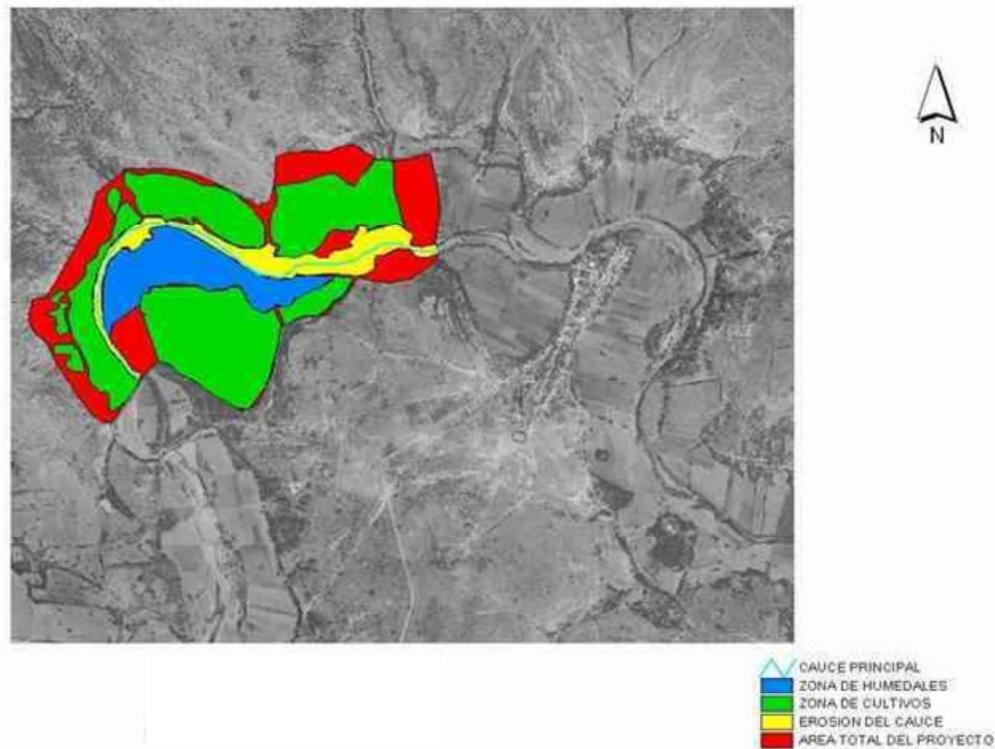


Figura 12. Ordenamiento territorial de la zona de estudio.

6.1 Rehabilitación del río.

Los resultados de esta etapa por un lado reflejan los obtenidos en la zona de estudio que muestran el impacto negativo, y por otro, los de la zona testigo que ofreció parámetros de rehabilitación del río tendientes a su forma natural considerado bajo las condiciones actuales, pero que garantizan estabilidad de al menos para un periodo de retorno de 80 años, periodo estimado con información vertida por los pobladores; dato importante toda vez que no se cuenta con información técnica documentada para ello.

6.1.1 Clasificación geomorfológica.

De acuerdo a la clasificación geomorfológica, los arroyos tributarios que concurren directamente al río San Marcos en la zona de estudio y cerca de esta, cuentan con diferentes clasificaciones con relación a su forma y pendiente, determinada por la orografía de la zona; siendo principalmente los ríos de tipos “A” y “G” en las partes altas y otros de tipo “B” en las bajas. La figura 13 diseñada en base a ortofoto de INEGI escala 1:40 000 (2003) ejemplifica los tipos de ríos encontrados.

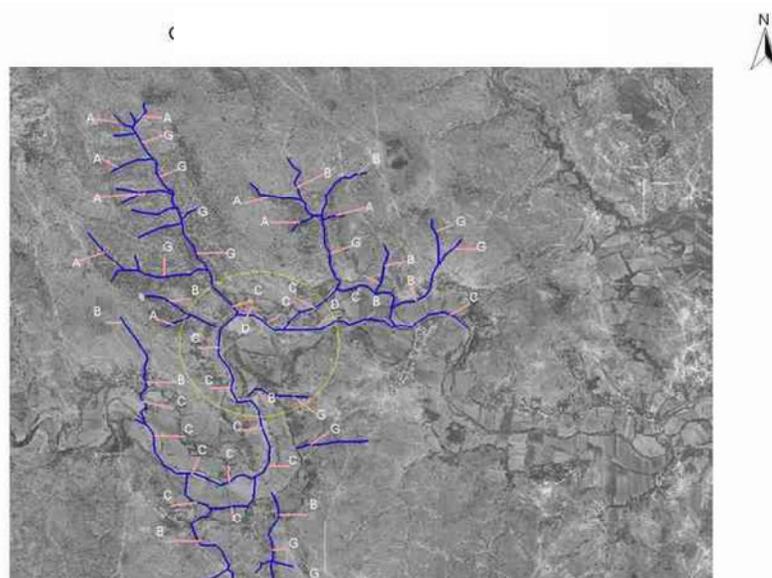


Figura 13. Caracterización geomorfológica sobre ortofoto de INEGI, escala 1:40 000 (2003). El círculo amarillo enmarca la zona de estudio.

De acuerdo a la clasificación y con referencia al cuadro 5 del apéndice que describe las características generales de los ríos, encontramos que: los del tipo “A” presentan condiciones escarpadas, canal confinado, presencia de cascadas, corriente con sistema escalón-poza con espacios frecuentes asociado a la profundidad de las pozas, transporte de escombros y deposición de suelo por la concentración de energía en el cauce, canales confinados (angostos y profundos, con área de inundación sobre sus taludes o dicho de otra forma, su nivel de agua al rebasar la máxima ribera sube sobre sus taludes), poca sinuosidad (curvas marcadas por la orografía), pendiente de 4 a

10%. Los ríos de tipo "G" presentan características similares a los anteriores, con diferencias como grandes zanjas, pendientes moderadas y anchas, baja relación pendiente–profundidad, corriente con sistema escalón-poza, valles estrechos (área de inundación igual a la anterior), incidencia de materiales aluviales y coluviales o deltas (factor de inestabilidad en su control), poca sinuosidad (igual la anterior), pendiente de 2 a 4%. Los ríos del tipo "B" presenta un escarpado moderado con una pendiente de 2 a 4%, canal dominado por el sistema freno-poza (espaciadas frecuentemente), perfil y bancos muy estables, confinamiento moderado, pendiente de 2 a 4%, poco sinuoso y en comparación con los anteriores, presenta un canal más ancho y menos profundo, con taludes afinados y estables, por lo que el nivel de inundación máxima se localiza mas cerca del nivel de máxima ribera con relación a los anteriores.

Con referencia a la clasificación del río San Marcos dentro de la zona de estudio bajo condiciones actuales presenta ríos del tipos "B", "C" y "D" con las siguientes características: Los de tipo "C" son de canal amplio poco confinado y valles amplios (llanos de inundación bien definidos), terrazas anchas (asociados con llanura de inundación y suelos aluviales), sinuosidad bien definida, poco gradiente menor al 2% y un sistema freno y poza, presencia de meandros, puntos de barra y amplios canales aluviales, lo que genera condiciones para disipar la energía del agua por el mayor espacio dentro del canal y por su sinuosidad. Los de río tipo "D" presenta varios canales trenzado con barras longitudinales y transversales, canal muy ancho con riberas erosionados, valles amplios más escarpados, ventilados con aluvión, con ajustes de actividades laterales y fuente de sedimento abundante (procesos de agradación con alto lavado de la cama y erosión de bancos), gradiente menor al 4%, no presenta sinuosidad definida, su proporción de confinamiento no aplica por presentar varios canales y por consecuencia la relación de ancho profundidad es muy variable.

La clasificación a grosso modo entre los perfiles transversales dentro de la zona de estudio representa un significativo contraste entre los tipos de ríos que se encuentran en un tramo corto menor a 1.5 km, lo que indica el alto

grado de deterioro y alteración que sufre. Considerando que las condiciones geomorfológicas en este tramo son similares con relación a la pendiente del terreno, al área de inundación, gasto de agua, arrastre de sedimento y zona de amortiguamiento, debiera ser del mismo tipo. Esta situación pone en evidencia la necesidad de rehabilitar con tendencia a un río del mismo tipo en este tramo, considerando los parámetros encontrados en la zona testigo, como lo establece la metodología; lo que permite demostrar que la metodología usada perfiló acertadamente los tipos de arroyos tributarios dentro de la zona de estudio, así como los diferentes tipos posibles del río San Marcos dentro de la zona de estudio, demostrando grosso modo el disturbio que sufrió en el pequeño tramo considerando su longitud.

6.1.2 Descripción morfológica del río.

Los perfiles obtenidos que comprobaron la clasificación geomorfológica y permitieron llegar a la “llave de Rosgen” mediante la descripción morfológica se muestran en la figura 14. Por las condiciones de alteración en la zona como muestran la figura de perfiles, el río no cuenta con un cauce definido ni estable.

La ubicación de la máxima ribera en algunos puntos fue fácil, sin embargo, en otros el desgaste de las laderas complicó su ubicación, lo que requirió de identificar otros parámetros que facilitarían su localización. Importante resaltar que de no hacer la localización adecuada de la máxima ribera, toda vez que es la variable más importante y de donde parte toda la toma de datos, generará un cálculo adecuado para el periodo de retorno que se proyecte. Este dato se aprecia en las figuras de perfiles, al igual que el ancho del área de inundación y el flujo al momento de su medición.



Figura 14. Ubicación de los perfiles en la zona de estudio. La línea verde enmarca la zona de estudio, las rojas los perfiles y el verde fuera del área indica el perfil testigo.

(Imagen procesada de Google Earth, Europa Technologies 2007).

Se encontraron cuatro diferentes tipos de ríos dentro de la zona de estudio en base a los perfiles obtenidos (del 1 al 6). Con diferencia a los anteriores, esta clasificación incluye una clasificación mas fina con relación a la pendiente y el tipo de sedimento.

Los perfiles 1 (figura 15) y 2 (figura 16) presentan ríos tipo “B5a” que de acuerdo al clave Rosgen (figura 51 del apéndice) la clasificación “B” es en relación a su tasa de confinamiento, relación ancho profundidad y su sinuosidad; la subclasificación “5c” por su pendiente y material o tipo de partículas dominante que el canal presenta o que procesa, que para el caso son arenas.

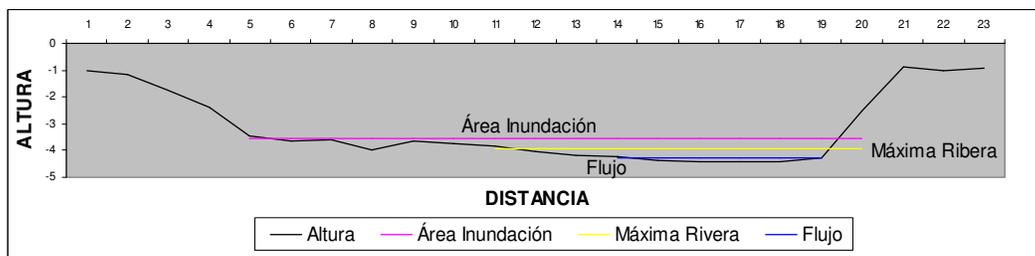
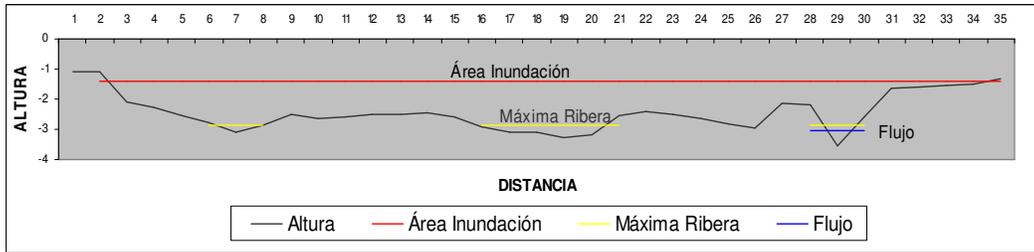
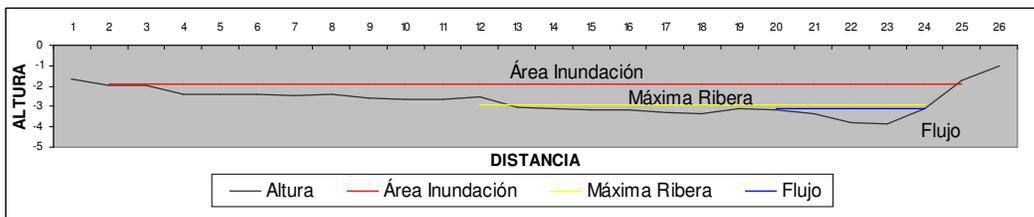


Figura 15. Perfil 1, tipo de río “Ba5” dentro de la zona de estudio.



El perfil 3 (figura 17) presenta el tipo "C5c" que de igual forma a las clasificaciones anteriores, "C" es en base a una tasa de confinamiento (más baja que la anterior, menos confinado), con relación ancho profundidad moderada así como su sinuosidad, con una subclasificación "5b" por su relación pendiente y material o tipo de partículas dominantes, siendo de tipo arena. La figura 18 que muestra el perfil 4, presenta un río del tipo "D5b" y que a diferencia de los anteriores, no presenta tasa de confinamiento del canal por el contrario, contiene más de uno, con relación ancho profundidad muy superficial y sinuosidad muy baja lo clasifica como tipo "D" y, su subclasificación por el tipo de partícula dominante procesada lo lleva al 5b que al igual que los anteriores son arenas. Los perfiles 5 y 6 (figuras 19 y 20) ilustran clasificaciones del tipo "D4b" con características similares al anterior, variando solo en el tipo de sedimento, siendo para esta caso de subclasificación "4d" grava el material dominante; donde, importante mencionar que la diferencia de sedimento en su lecho del río obedece al fuerte impacto extractivo por los "paleros".



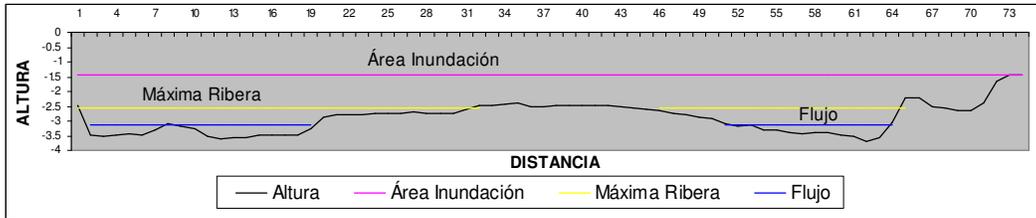


Figura 18. Perfil 4, tipo de río "D5b" dentro de la zona de estudio.

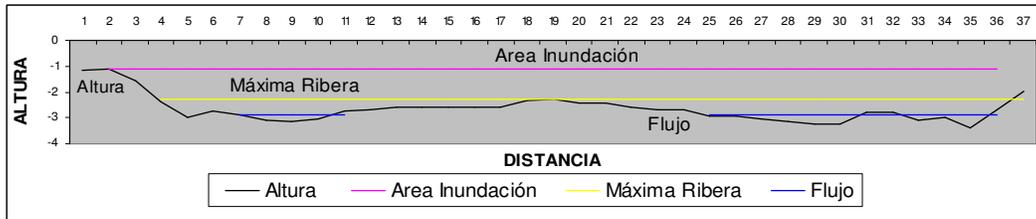


Figura 19. Perfil 5, tipo de río "D4b" dentro de la zona de estudio.

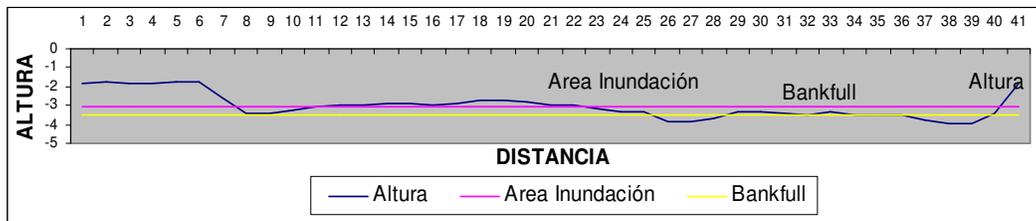


Figura 20. Perfil 6, tipo de río "D4b" dentro de la zona de estudio.

El perfil 1 (figura 15) presenta y mantiene condiciones más estables por la poca actividad extractiva de materiales pétreos en su lecho y parcelas riparias, sus taludes representan su estabilidad de años mediante la presencia de su vegetación ribereña y riparia, siendo técnicamente los cambios dinámicos del cauce los encargados de sus modificaciones. Limitante de esta condición es de contar con solamente una longitud de 40 m y se ubica en la parte alta, en el inicio de la zona de estudio. El perfil 2 presenta taludes relativamente estables, pero con un ancho de cauce total mayor al sugerido, por lo que se aprecia los niveles de máxima ribera y área de inundación más superficiales al suelo, a mayor confinamiento, mayor profundidad del cauce; además de presentar agradación en su lecho lo que genera diversificación de canales. El perfil 3 Presenta taludes relativamente estables también, su forma representa otra aproximación a un cauce con características apropiadas para la zona de estudio. El Perfil 4, 5 y 6 demuestra la ruptura de la estabilidad del río por la

extracción de grava y arena en parcelas y dentro del cauce, reflejando el impacto manifiesto, llevando a la pérdida de sus terrazas, taludes, riberas, vegetación riparia y ribereña (responsables de la estabilidad y control del cauce del río). Ello ha derivando en la ausencia de un cauce definido, que se transforma año con año de acuerdo a los desniveles que va generando la actividad extractiva y que invaden, desviando y alterando los procesos de disipación de la energía, lo que provoca deslaves y pérdidas de los taludes en parcelas; además de modificaciones fuertes en la morfología del cauce, comprobables visualmente, situación que se corroboró técnicamente al ubicar el punto de máxima ribera en distancias de hasta 150 m dentro del área de inundación.

La presencia de la significativa diferencia de perfiles en la corta longitud de la zona de estudio demuestra el grado de erosión que por consecuencia conlleva a la pérdida de elementos importantes como el sistema freno-pozas y sinuosidad del cauce constante. La ausencia del sistema freno-pozas no permitió información confiable en el área de disturbio ni en la zona testigo ya que, la metodología sugiere longitudes de al menos 300 m paralelos al lecho del río para la obtención de datos fidedignos, condición no dada en ninguno de los sitios (disturbio y testigo), en donde se encontraron solo distancias cortas que no rebasaban los 100 m. Las figuras 21 y 22 muestran los perfiles (1 y 2) de sistemas frenos-pozas obtenidos en el área de disturbio.

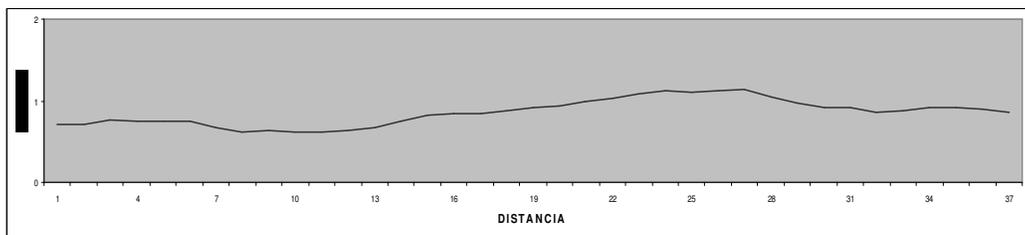


Figura 21. Perfil 1, sistema freno-pozas indefinido. Los puntos de mayor altura representan los posibles frenos y posterior a ellos las pozas.

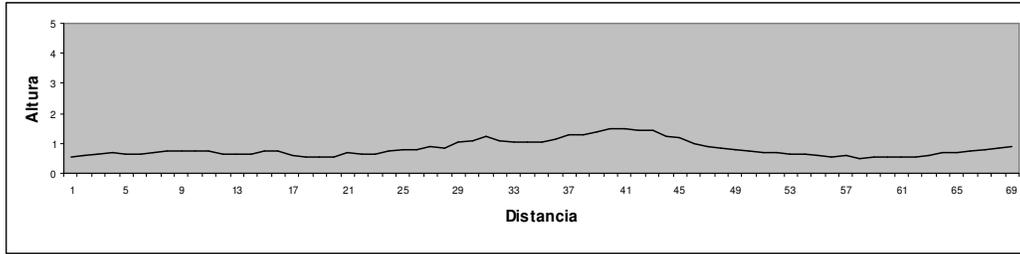


Figura 22. Perfil 2, sistema freno-pozas indefinido.

El impacto generado sobre el lecho del río por “paleros” es la consecuencia de la pérdida del sistema freno-pozas, lo que rompe el equilibrio de remansos y flujos generado por el sistema freno-pozas que contribuyen al control de la energía del agua a los niveles de máxima ribera, que a su vez forma o mantenimiento la sinuosidad. La ausencia del sistema freno-pozas altera otras actividades importantes dentro del cauce del río como es la oxigenación, filtración y regulación de temperatura del agua, acumulación de materia orgánica (para la biota y suelo), condiciones de hábitat para peces y macroinvertebrados, almacenamiento de humedad para la vegetación, entre otros.

La rehabilitación del sistema freno-pozas para el modelo por la ausencia de información que la orientara, contempla para su recuperación la metodología propuesta por Medina y Long (2004), realizable en un ciclo de lluvias, calibrando con ayuda del sonido generado por la fricción del agua al pasar sobre el sedimento de los frenos donde, una vez que desaparece sonido por el “golpeteo” pero que cumpla las funciones del sistema indicará las dimensiones adecuadas de altura y longitud para la zona de estudio en el río San Marcos.

La conjunción erosiva de estas variables es severa y que sumado al acumulamiento en un tramo del río de grava abandonada por las empresas extractoras, precisamente en una parte interna de curva, provoca la concentración de energía del agua en la pared contraria (parte externa de la curva) que año con año erosiona la base junto al lecho del río provocando

desgajamiento de terrones de estos puntos, lo que viene reduciendo las dimensiones de estas parcelas que son agrícolamente usadas.

La pérdida de riberas y taludes conlleva también a la ausencia de zonas de amortiguamiento o bosques riparios mismos que han sido destruidos al extraer el material pétreo de parcelas colindantes al río. La importancia de la presencia estratificada de vegetación en la línea riparia es determinante para la conservación de los sistemas lóticos. Son importantes la presencia de árboles, arbustos y los pastos acuáticos ribereños. La pérdida de bosques riparios es sinónimo de pérdida de estabilidad del río y pérdida de hábitats y ecosistemas lóticos, afectando a sin número de especies acuáticas y terrestres por igual; situación que requiere de la evaluación minuciosa del grado impacto en la biota dentro del ecosistema de la cuenca, más al considerar que en la cuenca existen especies endémicas y en peligro de acuerdo a referencias citadas. A esto contribuye la falta de conciencia de los parceleros sobre la importancia que tienen estas riberas en la estabilidad del ecosistema, como consecuencia del uso del sistema en las labores de cultivo, llevando el surcado a los límites del río, sin permitir el espacio necesario para el establecimiento dinámico de este ambiente.

La importancia de la información de datos en la zona testigo radica en proporcionar las dimensiones de rehabilitación para el tramo de río en la zona de estudio. Así, el perfil 7 (La figura 23) representa el tipo de clasificación del río en esta zona y que corresponde al tipo "B5c", tipo de río que debe estar presente en la zona de estudio y en otros tramos contiguos con las mismas características. Las características de la clasificación tipo "B" son de confinamiento amplio, relación ancho profundidad y sinuosidad moderadas, con diferencia al perfil 1 (en el área de inicio de la zona de estudio el cual fue del tipo "B5a") presenta un grado de pendiente menor. Presenta taludes bien definidos y estables con una altura de mayores a 4 m. Un ancho de canal del cauce constante de 3 m, con una sinuosidad bien establecida como muestra la figura 23, ancho de cauce total de 20 m en su parte baja y de 40 m en la alta, diferencia por la pendiente de taludes.

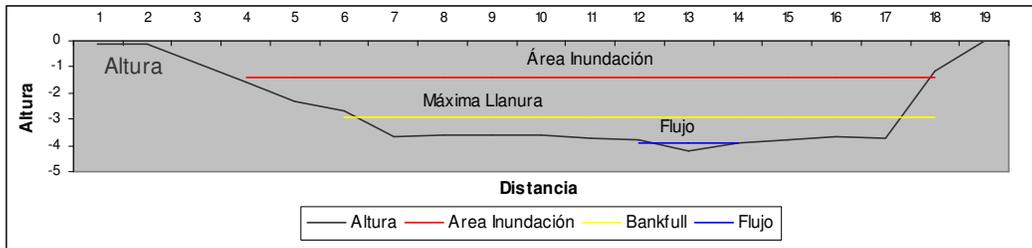


Figura 23. Perfil 7, “testigo” en zona estable, indicador parámetros de rehabilitación.

La sinuosidad obtenida para el cauce constante en el tipo de río “B5c” de la zona testigo es de meandros intermedios con dimensiones de 67.5m de longitud, 21.5m de ancho total y con curvas de 33.5m de largo y 7.5 en la cresta de la parábola (figura 24).

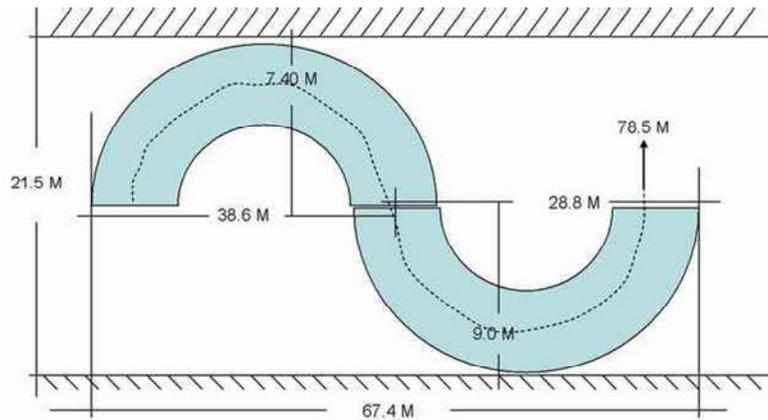


Figura 24. Medidas del meandro, zona testigo.

Como se aprecia, el modelo considera dos tipos de sinuosidades en el río, una para el cauce total que es definido por la geomorfología de la microcuenca y la correspondiente al cauce constante que se establecerá al interior del cauce total conforme a las dimensiones obtenidas en campo. La sinuosidad del cauce constante generará puntos de barra, uno en cada meandro, donde se establecerán los bancos de materiales pétreos como resultado de la acumulación por el flujo, permitiendo extracciones mas sencilla que las actuales para los “paleros” y con recargas anuales de manera natural. Este método de extracción requerirá de concientización con los “paleros”, toda vez que los puntos de extracción cambiarán y no podrán hacerlo en cualquier lugar como normalmente lo hacen lo que puede interpretarse como reducción

en volumen extraído, situación que se compensará con un mayor número de sitios de extracción sobre el mismo tramo del río.

La metodología de rehabilitación de Rosgen (1996) requiere de la réplica de parámetros naturales que garanticen recuperar la funcionalidad del sistema; por lo que, los parámetros del sitio testigo son de vital importancia para permitir indicadores de rehabilitación. La importancia de que el sitio testigo reúna las condiciones lo mas prístinas posibles es básica, por tanto, su ubicación se determinó dentro del mismo cauce del río y muy cerca de la zona de estudio, escasos 100 m después del límite en la parte baja de la zona de estudio y que se han mantenido estables por periodos mayores a los 80 años de acuerdo al análisis retrospectivo obtenido de los pobladores de la microcuenca, lo que garantiza datos para periodos de retorno de 80 años. Significativo el resultado de información, toda vez que no se cuenta con documentos sobre los eventos históricos en el Río San Marcos.

El perfil testigo, presenta la estabilidad requerida para generar información y dimensiones bases de rehabilitación para el modelo. La estabilidad de sus taludes y cauce es reflejada en indicadores como los estratos de vegetación, cauces (total y constante) bien definidos por periodos de tiempo mayores al menos a 80 años.

Por último, una parte importante a considerar en la rehabilitación del río fueron los cruces de caminos por el impacto negativo sobre el río pero necesarios por la importancia social y productiva para los pobladores. Actualmente en la zona de estudio existen cuatro cruces de caminos, número alto si se considera la longitud total del área y las condiciones en que se encuentran. El modelo sugiere reducir a dos, remodelando los ubicados en puntos estratégicos para la comunidad, situación que de concensuarse con ello. El diseño empleado fue en forma de media luna perpendicular al río con la parábola hacia la parte baja del cauce para disminuir el impacto de la energía del agua en los taludes.

6.1.3 Diseño de los puntos de control.

Las dimensiones de los puntos de control se obtuvieron mediante la medición de variables como: máxima ribera, área de inundación, ancho total del cauce, ancho del cauce constante que generan la mayor energía del cauce, por lo que deberán considerar las siguientes mediadas (figuras 25 y 26).

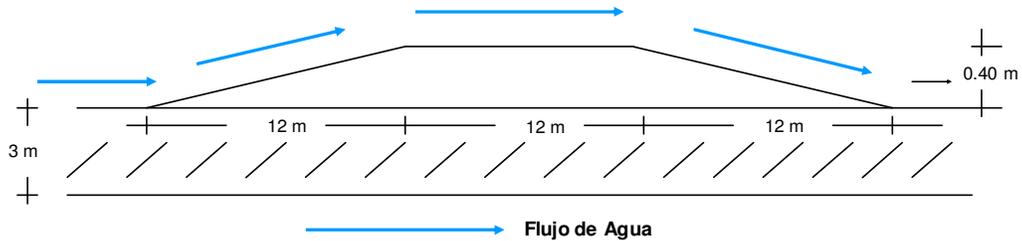


Figura 25. Vista lateral de las dimensiones del punto de control, entrada y salida a la zona de estudio.

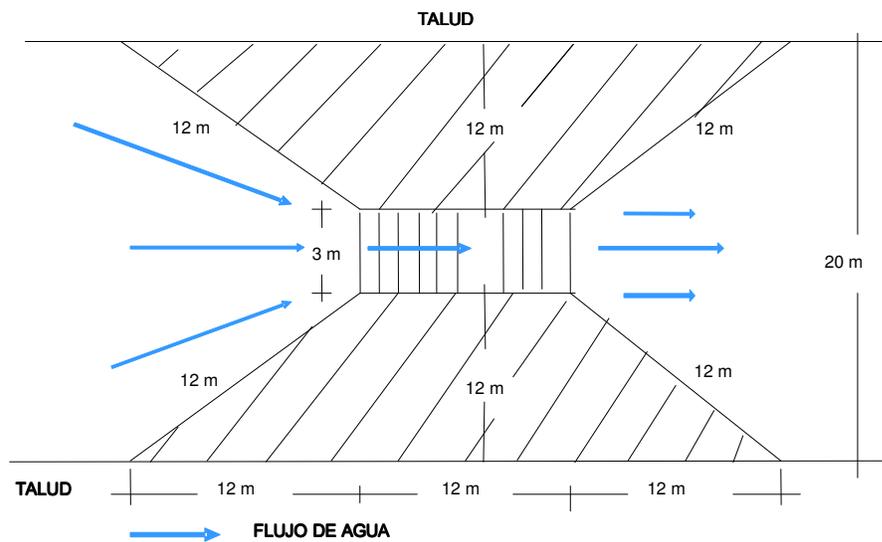


Figura 26. Vista aérea del punto de control, entrada y salida a la zona de estudio.

Considerando que la zona de estudio se localiza en una zona intermedia de cuenca y por lo tanto intermedio en el Río San Marcos, se establecieron puntos de control al inicio y al final para garantizar estabilidad. Los puntos de control cuentan con las mismas dimensiones y desarrollarán

funciones parecidas a un freno en grande, en donde el de la parte alta si generará ruido (por el golpeteo y fricción del agua con el sedimento) por concentrar la energía del agua que entra de una zona donde no existe control alguno (en la parte alta del río antes del punto de control) a una área en que se forzara a encauzarla cambiando drásticamente las condiciones (después del punto de control, dentro de la zona de estudio).

6.2 Diseño de humedales.

6.2.1 Diseño físico del terreno.

La figura 27 muestra el perfil de la geomorfología actual del pre-humedal de extremo a extremo de acuerdo a sus límites presentes, el nivel existente de agua (es variante conforme la dinámica que el flujo en río presenta) y la distribución espacial de especies vegetales acuáticas establecidas. La figura 28 ilustra otro perfil del terreno y distribución de especies de manera intermedia en el mismo pre-humedal y la figura 51 del apéndice, refleja las franjas vegetativas establecidas de acuerdo a las especies actualmente con su nombre común en el pre-humedal, donde se aprecian especies acuáticas y terrestres.

El modelo contempla tres humedales, el mismo número de cavidades y áreas ya presentes. El primero (de acuerdo al flujo de agua en el río, de arriba hacia abajo) es el más grande en el que se tomó la información (transectos y especies acuáticas), cuenta con un perímetro de 745 m; el segundo (intermedio) tiene un perímetro de 695 m y el tercero de 560 m de perímetro; los tres presentan formas irregulares en su periferia. Las profundidades son por debajo del nivel del lecho del río, como parámetro de la dinámica del flujo de agua en el y por tanto también del humedal como consecuencia del tipo de material (grava y arena principalmente) que los interconecta.

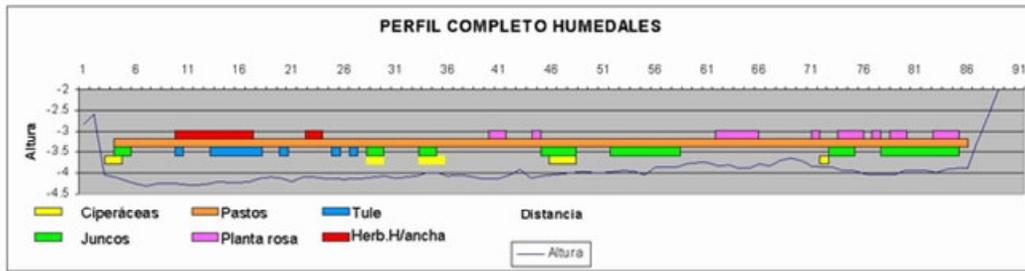


Figura 27. Perfil completo del humedal y distribución de plantas acuáticas presentes.

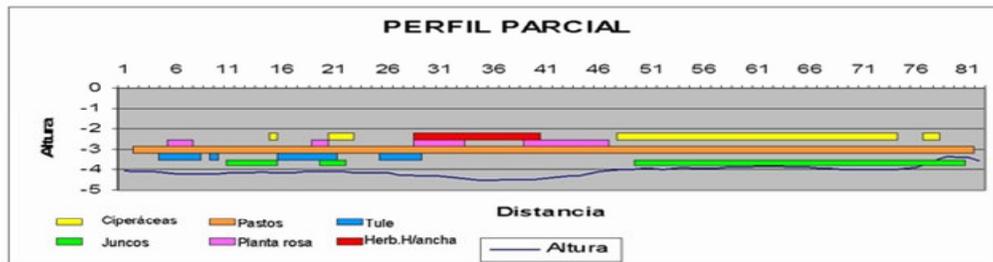


Figura 28. Perfil intermedio del humedal, distribución de plantas acuáticas presentes.

En condiciones actuales la regeneración vegetativa será demasiado lenta por las pobres condiciones que requieren, por ello, el diseño del humedal sugiere terrazas a diferentes desniveles que proporcionen las características para el establecimiento de plantas acuáticas. La importancia en sus desniveles y sus pendientes modifican la geomorfología con tres desniveles en cada uno de los humedales, contribuyendo también al cambio, las islas intermedias en ellos que serán de formas irregulares, beneficiando también a las aves acuáticas y a la biota.

6.2.2 Plantas acuáticas.

Las especies de plantas acuáticas y sus requerimientos conforme a su distribución en el pre humedal se muestran en el cuadro 6 del apéndice. Se encontraron 11 especies de cuatro diferentes familias acuáticas presentes actualmente, siendo las de la familia Cyperacea (*Cyperus Níger*, *Cyperus odoratus*, *Cyperus viren minarum*, *Cyperus sesieroides HBK*, *Eleocharis bonariensis*, *Eleocharis crusgalli* y *Eleocharis jaliscana*) de mayor numero, seguidas de de la familia Juncaceae (*Juncos effusus* y *Luzula caricina*), otra de

la familia Typhaceae (*Typha latifolia*) y una más de la familia Polygonaceae (*Polygonum mexicanum*).

Las especies de la familia Cyperaceae se localizan principalmente a la orilla del agua y hasta una distancia de 10 m donde había existe presencia de humedad, otras de ellas se localizan dentro del agua cercanas a las orillas, sin embargo, pueden desarrollarse bien en profundidades mayores; encontrándose aislada una planta de otra a manera de macollos. Las especies de la familia Juncaceae se ubicaron principalmente sobre la orilla del agua, no obstante, algunas dentro del pre humedal y a diferencia de las anteriores, estas se encontraron en abundancia. Las especies de las familias Typhaceae y Polygoneceae prácticamente se localizaron dentro del agua, la primera en profundidades mayores con pequeña población y la segunda a todo lo largo y ancho del pre humedal, lo que representa mayor abundancia de plantas.

Considerando la teoría de Bonilla y Novelo (1995), de que las especies no son perennes en su hábitat y que una especie puede ser abundante en un año y desaparecer en otro debido a la fluctuación del nivel de agua, la destrucción artificial, la contaminación y las modificaciones de la superficie del suelo, se concluye que el establecimiento de las especies acuáticas es dinámico y acorde a el nivel de agua relacionada a los desniveles geomorfológicos, algunas especies algunas se ubican dentro del agua, buscando mayores profundidades, otras lo hacen en la frontera del nivel de agua, básicamente en las orillas y algunas mas fuera del agua, pero con alto grado de humedad, lo que permite una mejor distribución.

6.3 Aspecto social.

A lo largo de la historia los ríos en todas sus longitudes han sido fuentes diversas de recursos que han permitido el desarrollo humano y biótico (situación trascendental en zonas semiáridas y áridas) bajo un equilibrio adecuado de explotación, situación perdida hace muchas. Así, el Río San Marcos presenta el impacto severo de deterioro y agotamiento de sus recursos

y actualmente los recursos que ofrece para las actividades humanas se limitan a grava, arena, piedra, jaras, uso de agua para riego, uso de parcelas agrícolas, leña (en poca cantidad), agua para abrevadero, recreación y convívio familiar.

La actividad económica en la zona esta conformado por dos tipos de pobladores, los que tienen tierra para sembrar y aquellos que no. Los primeros se subdividen en dos, en aquellos que cuentan con riego (cultivan con semilla mejorada como maíz, frijol, alfalfa y calabaza) y los de temporal (semilla criolla con rendimientos de 500 kg/ha de maíz y fríjol y algunos frutales para autoconsumo). Los segundos se subdividen también en dos, los paleros que se mantienen de los recursos pétreos del río junto y, los que migran por trabajo uso a ciudades cercanas (San Miguel, Celaya, Querétaro) como albañiles de manera diaria o semanalmente y otros a EU durante periodos no menores a ocho meses y que durante su estancia en la comunidad se emplean como paleros.

Los ingresos económicos que genera la actividad de los paleros esta distribuida de la siguiente manera: un pago de \$ 250. 00 pesos por camión de 6 m³, que cargan entre tres y por tanto, el pago es dividido en las mismas partes, sin embargo, llegan a cargar hasta tres camiones, no obstante la cifra es variante dependiendo de la demanda. Este costo incluye la recolección y selección de material, lo que les absorbe un tiempo de 2 h si el lugar es bueno (suave sin mucha grava) y hasta medio día si es malo. Para el caso de la grava, el pago por la recolección y carga de camión de 6m³ de grava es de \$ 600. 00 pesos, que al igual al anterior, lo realizan tres personas, pero con la diferencia de ser menos solicitado; por lo que, a lo largo del río se encuentran montones de grava abandonada que genera disturbios. Otro recurso pétreo menos solicitado que la grava es la piedra bola, la que venden a precio de \$ 500. 00 pesos por camión de 6m³ y que es dividido entre tres que participan en la recolección y carga. Estos precios distan mucho a los que se comercializa en San Miguel de Allende, en donde, alcanzan los \$ 800. 00 pesos el camión de 6m³ de arena y \$ 1, 300. 00 el de grava y piedra de las mismas dimensiones. Para La figura 29 muestra la herramienta de trabajo de los paleros que son: el

pico, la pala, harnero (tamiz para seleccionar arena) y parigüela (carretilla rustica, cargada por dos personas) y que tienen un costo en total de \$ 700. 00 pesos (figura 29). Con una jornada de trabajo de 7 h de lunes a viernes y sábado medio día, obtienen ingresos variantes (dependiendo la demanda) que van en promedio de \$ 1, 000. 00 pesos semanales cada uno. Actualmente existe un grupo de 15 paleros de manera constante de la comunidad de Cruz del Palmar y otro número igual de manera eventual quienes migran periodos largos de tiempo durante el año a los EU principalmente, sin embargo en la microcuenca suman aproximadamente 50 paleros, a una actividad que se desarrollando desde por lo menos tres generaciones a tras.



Figura 29. Herramienta de trabajo de los paleros. Harnero, parigüela, pala y pico.

Esta situación se compensará una vez que el río establezca puntos de barra (puntos naturales de acumulación de sedimentos de diferentes tamaños y que son parte de la sinuosidad que el río establece) que sirvan como bancos de materiales recargables ciclo a ciclo, solamente habrá que enseñarles los puntos adecuados de extracción de estos para evitar que se rompan y pierdan, de lo contrario se romperá el equilibrio nuevamente. Esta situación requiere de un trato especial con los paleros ya que esto implica someterlos a sitios específicos de extracción, reduciendo su área de extracción y quizás su volumen, pero con la garantizando zonas de recarga año tras año. La extracción a gran escala por empresarios con maquinaria pesada es

relativamente nueva en la zona, con inicios apenas del año 2000 a la fecha, sin embargo el impacto es irreversible en los elementos del sistema lótico como las áreas de inundación que fueron usadas como parcelas agrícolas y que se comercializaron para extraer sus materiales pétreos; o el suelo, que permitía la actividad productiva y que fue acumulado por siglos en la zona de estudio del río San Marcos. Estos deterioros, ejemplifican la condición de otros muchos sitios del río con características similares en la cuenca y aun en otras cuencas de la región. Estas alteraciones deben verse como daños ecológicos irreparables, puesto que el material extraído de los bancos aun cuando se pudiera remplazar, será con características diferentes por el empobrecimiento las fuentes de éste. Esta modalidad de extracción de materiales (maquinaria pesada) se realiza solo en parcelas aledañas al cauce del río, en donde los dueños perciben un pago por el material pétreo existente en ellas. No se cuenta con datos fidedignos sobre esta actividad, pues no se pudo establecer participación alguna de los empresarios puesto que son de ciudades de estados vecinos como Querétaro, Jalisco y San Luís Potosí. La figura 30 ejemplifica este tipo de extracción.

La actividad económica es apoyada por algunas dependencias vía empleo temporal, por lo que identifican como mas cercanas, encontrándose el Centro de Salud, Registro Civil, Universidad de Querétaro (apoyo con el río), programa de Oportunidades y la Secretaria de Educación Pública, otras que no representan gran interés por la poca cercanía con ellos son los Partidos Políticos, Desarrollo Integral de la familia, policía, Secretaría de Comunicaciones y transportes, Iglesia y la Comisión Nacional del Agua y otras intermedias a estas como Protección Civil y Ecología municipal. Los paleros y parceleros dentro de la actividad económica representan la población de mayor importancia al modelo, por su influencia directa en el río, junto con los empresarios foráneos, no obstante, toda la población y visitantes quedan incluidos de manera indirecta.



Figura 30. Extracción de materiales pétreos con maquinaria pesada

La diversidad de actividades han marcado la historia del río como lo demuestra el análisis retrospectivo con los participantes, análisis considerado desde 1950 donde se presentó una gran inundación grande que llegó a la mitad del pueblo (éste se ubica a orillas del río, 500 m en dirección este a partir de la zona de estudio) por no contar con taludes, sin embargo, dejó beneficio como exceso de humedad que permitió cultivos de humedad residual (lenteja y garbanzo) beneficiando la economía familiar; se repitió otra similar en 1974 y aun cuando ya se contaba con taludes del río, estas fueron arrasadas por la fuerza del agua, lo que obligó a reforzarlas y que son las que han permitido estabilidad al río; ya en 1990 solo hubo un desbordamiento del río en la parte baja de la comunidad, afectando a un número menor de familias, sin embargo, fueron evacuadas; 1998 marcó de manera social y tradicional a la comunidad con la llegada del padre a su parroquia (mismo que se mantiene a la fecha), se ha encargado de ir quitando tradiciones, cambiar las imágenes antiguas a modernistas, interviniendo en eventos comunitarios (bailes, rodeos y comercio para beneficio propio), así como intervención partidista en celebraciones, fraccionando a la población y generando confrontación; el 2000 marca el cambio drástico en río con la llegada de grandes extraccionistas quienes convencen a parceleros ribereños para que vendan el material pétreo de sus predios abriendo así las puertas a la maquinaria pesada y; finalmente en el 2006, donde algunos paleros fueron arrestados y encarcelados por autoridades

municipales por extraer materiales del río, como consecuencia de la polarización de grupos ya mencionada.

Estos cambios han generado que los recursos naturales en el río se vean ahora alterados. La figura 52 del apéndice muestra el mapa generado por los participantes sobre las condiciones que el río presentaba algunas décadas atrás, en donde sobre salen una mayor vegetación estratificada en la ribera, un cauce estable, lagunas en el área de inundación como la de la leyenda del “Chan” en la zona, caminos principales antiguos como el real a Dolores Hidalgo, áreas verdes de recreación como la de “la Peña” y limitado por parcelas agrícolas sembradas en toda su longitud.

El involucramiento dado a los pobladores dentro del proceso fue fundamental. Permitió primeramente generar la confianza para desarrollar libremente el trabajo de campo y posteriormente una participación activa. Los paleros y parceleros circunvecinos al río tuvieron participación activa, compartiendo su experiencia, puntos de vista y visión a futuro sobre el río, permitiendo conocer a fondo sus actividades; situación que a decir de ellos, no permiten a cualquiera mucho menos a dependencias. Estas circunstancias fueron básicos para permitir cierto un grado de empoderamiento sobre el modelo toda vez que permite continuidad a sus diversas actividades económicas y productos del río como; extracción de materiales pétreos, uso de parcelas agrícolas riparias, energéticos, alimento y abrevadero ganadero y, la opción de activar el turismo que generará fuentes de empleo, recobrando la productividad de terrenos abandonados. Aun cuando no para todos representa un beneficio económico el río, para muchos representa la única fuente de ingresos durante el año (paleros) y temporal para otros (paleros, parceleros, “ganaderos”), sin embargo, tampoco se presentó inconformidad manifiesta contra el trabajo de campo del modelo, situación atribuible a dos factores principalmente, el primero a la comunicación entre los participantes y la comunidad y el segundo a la necesidad de rehabilitación del río y oportunidades de uso. Esta situación genera certidumbre sobre el modelo ya que el éxito de la permanencia y sostenibilidad del modelo depende directamente de ellos como pobladores y beneficiarios directos.

Por otro lado, se puede inferir que los responsables directos del daño al río son los grandes extraccionistas de materiales pétreos, quienes lucran con las necesidades que prevalecen en el medio rural y usan argucias legales, ofreciendo “pagos atractivos” pero muy por debajo de un costo real, se dedican al saqueo de recursos, sin importarles el daño que generan en la zona. Importante remarcar que las dependencias como la CNA y dependencias de Ecología (estatales y municipales) carecen de fuerza legal y moral para evitar la extracción de materiales sin dar un seguimiento de supervisión constante sobre el cumplimiento de las explotaciones otorgados y los daños que causan en los ambientes lóticos. Esta situación que puede atribuirse al sinfín de limitantes tanto de dependencias y empresas como la falta de personal especializado para la extracción, manejo del río y medidas de mitigación y compensación como la afinación de taludes y la reforestación riparia entre otras. En el tramo del río en estudio solo uno de los extractores de material acumuló material de grava en una pared del río, pero lo hizo sin considerar la geomorfología del río, ocasionando de la pared baja del talud contrario, provocando el desgajamiento paulatino de las parcelas, pérdida que se ha incrementa año tras año Figura 53 del apéndice.

La búsqueda de soluciones integrales para este río y su cuenca de captación requiere ubicar la causa o causas del o de los problemas, se podría pensar que los dueños de las parcelas ribereñas, que las han vendido para la extracción del material pétreo pudieran ser los principales responsables del deterioro. Esta aseveración requiere de un análisis más profundo que permita interpretar adecuadamente la racionalidad en la toma de decisiones que implicó la venta de su parcela al mejor postor, ello debe considerar la problemática económica, social y cultural que enfrentan cotidianamente. La falta de oportunidades de mejora en la calidad de vida y la depresión de las actividades del sector primario, es sin duda, causas importantes para que los poseedores de los recursos los pongan en venta. No obstante, se requieren establecer un sistema de explotación que permita la sustentabilidad de recursos pétreos en sitios y volúmenes adecuados que garantice la generación de bancos de materiales que año con año se recargan por la captura de sedimento,

aprovechando la energía que el agua presente y facilitando su extracción con el uso de sus herramientas empleadas.

VII. Propuesta de modelo.

7,1 Rehabilitación del río.

El modelo de rehabilitación del río requiere primeramente diseñar en base a su geomorfología del valle un cauce total, en donde la sinuosidad es en relación a los cerros que lo rodean. El cauce total requiere de taludes reforzados principalmente en los que actualmente son impactados severamente por la energía del agua sin control alguno. En algunas áreas mantendrá el cauce actual pero en otras se reconstruirán, en aquellas donde alguna vez cruzo de manera estable, siendo estas las áreas erosionadas. Así, el cauce total definido para la zona de estudio se ejemplifica en la figura 31.

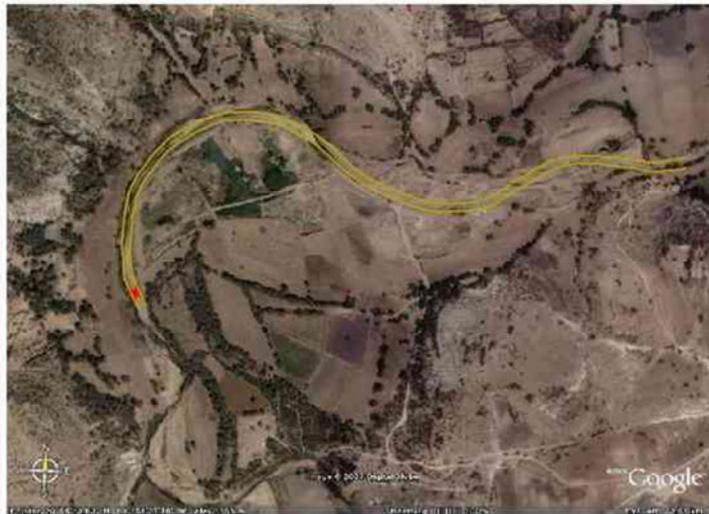


Figura 31. Cauce total sugerido. Sinuosidad delimitada por la geomorfología y el valle.

Las dimensiones de ancho del cauce total, taludes, altura, áreas de inundación para la rehabilitación del tramo del río en la zona de estudio se ilustran en el perfil simulado de la figura 32 y que conforme a la información obtenida del sobre el sitio testigo corresponde a: 20 m de ancho en su base entre pared y pared, una pendiente que se extienda al menos de entre 6 a 10 m en cada talud teniendo una distancia entre taludes en la parte alta estos de al menos 32 m; una altura de la menos 5 m, considerada de manera

perpendicular al río desde su lecho hasta la inferencia de la proyección de los dos puntos máximos de los taludes. La agradación que presenta algunos tramos del río en la zona de estudio requiere de su remoción para generar las condiciones adecuadas, lo que ofrece material para la creación de taludes en las riberas a una altura de al menos 5 metros permitiendo aprovechar los recursos que ofrece el río.

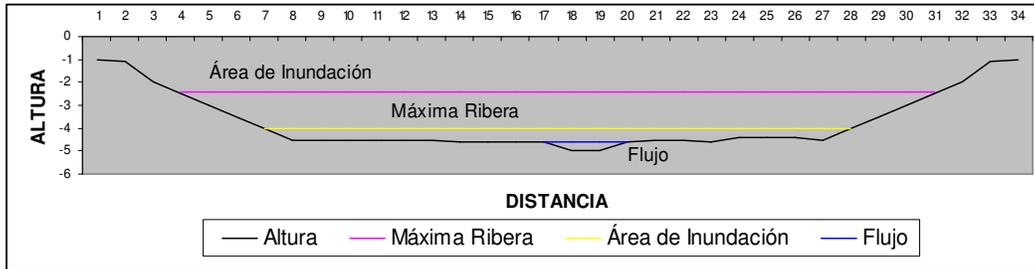


Figura 32. Perfil del cauce sugerido para el río en la zona de estudio.

Las dimensiones del cauce constante en el cauce total son de 3 m de ancho con una sinuosidad constante de acuerdo a las medidas obtenidas en los meandros de la zona estable y en donde la energía del flujo de la máxima ribera será responsable de mantener su forma y profundidad toda vez que se establezca gradualmente la relación pendiente–sedimento (figura 41 del apéndice). EL flujo constante debe contener meandros de al menos 67.5m de longitud, 21.5m de ancho total y con curvas de 33.5m de largo, 7.5 en la cresta de la parábola (Ver figura 24), 18m de ancho, evitando siempre que su longitud de honda coincida con los taludes del río que los erosione mientras logra su estabilización, por el contrario, se debe ubicar al menos un metro hacia el centro del cauce total; generando así un cauce sinuoso en sus dos cauces en la zona de estudio como lo ejemplifica la figura 33.



Figura 33. Sinuosidad de cauces total y constante. Los puntos rojos delimitan la zona de estudio mediante puntos de control 1 y 2 .

EL modelo de rehabilitación requiere de considerar factores críticos de erosión de la subcuenca y de su ubicación ya que se localiza en una zona intermedia de la subcuenca, en donde ni cuenca alta, media y baja presentan trabajos de apoyo para controlar las condiciones de avenidas de agua, sedimento y/o cualquier tipo de material arrastrado por el agua del río San Marcos, lo que potencializa su agresividad. Por ello, el establecimiento de puntos de control que garanticen un área con condiciones controladas bajo las dimensiones naturales del río, son importantes, para disipar y concentrar la energía del agua en las zonas adecuadas, logrando así el manejo del cauce río que permita su rehabilitación. Por lo tanto, cualquier sitio se puede trabajar a lo largo del río considerando los puntos de control.

Así, los puntos de control 1 y 2 se ubicarán en el inicio y al final de la delimitación la zona de estudio (figura 34), ambos de las mismas dimensiones. Deben contar con las siguientes medidas: 36 m de largo paralelos a la longitud del río y el ancho será basado al que corresponde a las dimensiones del cauce total, 20 m. Importante la cimentación de al menos 3 m por debajo del nivel del lecho del río con piedra grande de por lo menos 0.50 m; una altura en los taludes de 1 m a lo largo de 36m con una pendiente decreciente hasta 0.40 m en el centro del cauce de manera transversal al cauce, considerada del talud a

una distancia de 13.5, quedando una altura de 0.4m en una longitud de 3m perpendiculares al cauce total de 20m. Esto generará un canal con una altura de 0.40 m y una anchura de 3 m en el centro del río, en una posición transversal y una distancia de 12 m con un desnivel de manera radial hacia las partes entrantes y salientes para canalizar el flujo al punto de control, concentrando así, la energía que permita el inicio del manejo del flujo de agua con una salida de 3 m a nivel máxima ribera. La figura 34 ejemplifica el punto de control de entrada en la parte alta de la zona de estudio.

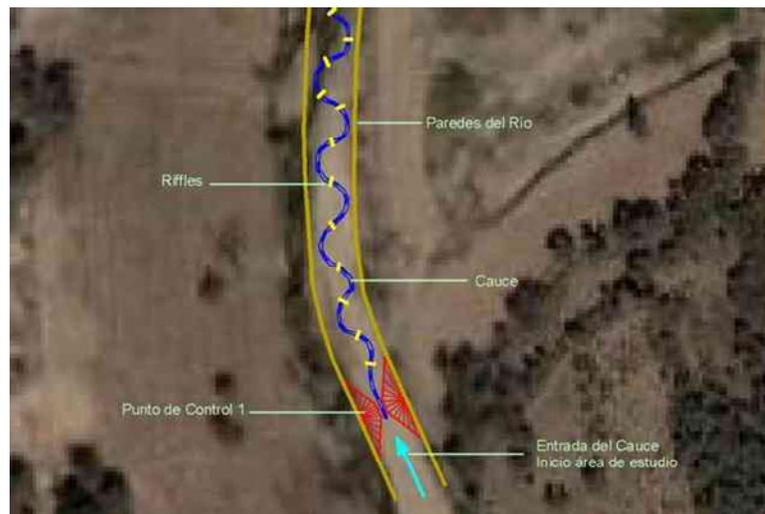


Figura 34. Punto 1 de control en la parte alta.

La sinuosidad del cauce constante dentro del cauce total como lo muestra la figura 34, tendrá dimensiones de 67.5m de longitud, 21.5m de ancho total, con curvas de 33.5m de largo y 7.5 en la cresta de la parábola. El inicio será la salida en el punto de control de entrada del flujo a la zona de estudio. La figura 35 ejemplifica los meandros y sus puntos de barran.

El establecimiento del sistema freno-pozas requiere de la sinuosidad para su implementación por no contar con dimensiones de campo, si embargo, una vez integrado al sistema hídrico, contribuirá para la estabilidad de la sinuosidad del cauce constante. Las dimensiones se definirán a prueba y error, considerando la metodología usada por Medina y Long (2004), el cual se basa en la calibración de la utilización del sonido que genera el golpeteo del agua sobre los sedimentos, ajustando su altura hasta que este desaparezca.

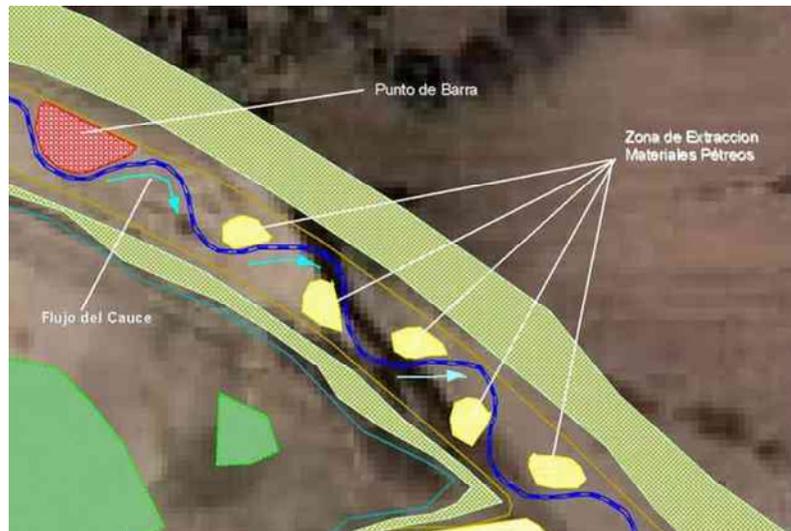


Figura 35. Puntos de barra, puntos de extracción de material pétreo.

El diseño para los cruces de caminos será del tipo de media luna, con inferencia de la curva hacia la parte baja de la corriente; con una pendiente en las orillas que será marcada por las mediadas determinadas para las paredes del río. Se recomiendan dos cruces, ya que un número mayor aumentaría el riesgo de formación de puntos susceptibles a la erosión; los cruces deben ser ubicados de común acuerdo con los pobladores quienes serán usuarios, una propuesta preliminar se muestra en la figura 36.

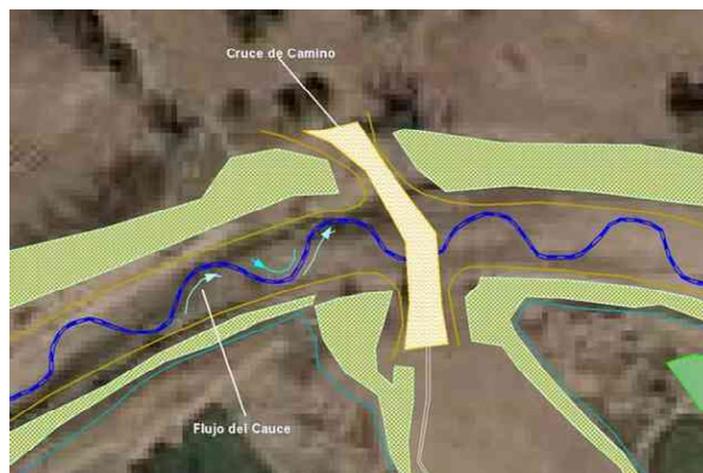


Figura 36. Cruce de camino en el río.

7.2 Diseño de humedales.

La importancia de la rehabilitación del río radica en que la estabilización que se logre permitirá el subsidio de agua requerido por los humedales, es decir, mientras no se tenga un río estable no se podrá contar con un subsidio constante y seguro de agua para los humedales. Esto determina que el modelo de creación de humedales depende de la rehabilitación del río, por lo que, representa gran parte del trabajo en el modelo y en la rehabilitación.

El abandono de predios que hasta hace una década fueron parcelas agrícolas y que actualmente se encuentran en abandono total por las condiciones de degradación una vez saqueado el material pétreo, representa gran oportunidad ecológica directamente para la biota endémica y migrante. Esta oportunidad se aprovechará con el modelo de creación de humedales, integrando estos a los elementos del río y que representa una situación única para la microcuenca que permitirá grandes beneficios ecológicos como: la creación de hábitats para la biodiversidad de especies de flora y fauna tanto acuáticas como terrestres; contribuirá a mantener una dinámica estable del sistema lótico de la microcuenca por ser sumideros y bancos de especies, barreras, filtros y conductores naturales; promoverá el control de avenidas.

Los humedales que están establecidos de manera natural en la zona de estudio están limitados especialmente a las cavidades generadas por la actividad extractiva, sin embargo, requieren de construir desniveles a lo largo de cada uno de ellos para generar estratos para el establecimiento de las diferentes especies y formas de vida de plantas acuáticas así como para la fauna. Las profundidades en las cavidades deberán variar desde la máxima de hasta 1.5 m por debajo del nivel del lecho del río rehabilitado y deberán considerar longitudes ubicadas aleatoriamente dentro de cada humedal, con al menos otros tres niveles de 0.50, 1.0 y 1.5 m con taludes afinados entre cada uno de ellos como lo muestra la figura 37.

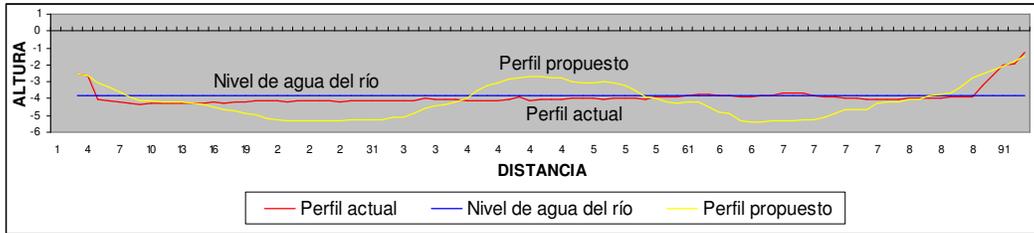


Figura 37. Perfil de humedal propuesto.

El punto de alimentación del suministro de agua hacia el humedal será diagonal a la corriente del río, con la canalización de entrada desde el punto que se establezca aguas arriba y no en el mismo sentido de esta para evitar que las avenidas generen erosión en ellas. El otro ingreso del agua a los humedales será mediante infiltración horizontal y vertical desde el suelo y paredes del río (ver figura 39). La interconexión entre los distintos humedales se promoverá mediante la construcción de pasos de flujo con gravas y arenas basadas en cimentaciones por debajo del lecho de los humedales lo que favorecerá la circulación por gravedad en los desniveles y que a la vez pueden usarse como senderos.

La salida del flujo de agua es al igual que a la entrada, diagonal al río para evitar de la misma forma puntos susceptibles de erosión a las avenidas fuertes, figura 38. La salida contará con un freno que ayude a la estabilidad hídrica. Elementos importantes dentro del humedal son las islas, mismas que serán de dimensiones y formas aleatorias elaboradas con el material que se remueva durante la creación de los desniveles.



Figura 38. Sistemas de flujos, alimentación, interconexión y salidas de agua en humedales.

7.3 Aspecto social.

El valor agregado que representan los humedales tanto para los dueños, usuarios y pobladores de la microcuenca es el establecimiento de un centro recreativo y turístico que pueda generar fuentes de empleo y de ingresos dentro de su comunidad, devolviendo la rentabilidad a los terrenos abandonados, con beneficio indirecto a la comunidad en general, ello puede contribuir a resolver problemática locales como la migración por falta de fuentes de empleo, la desintegración familiar, la degradación de recursos naturales, y en donde la extracción de materiales puede mantenerse de manera sustentable y permitiendo la diversificación de actividades productivas locales a acordes a las diferentes épocas del año.

Un río estable en todos sus elementos, así como los humedales ofrecen una alta diversidad de recursos naturales que explotados de manera sustentable representan beneficios económicos y en especie a las familias de las microcuenca. No obstante, estos trabajos solo serán exitosos si los pobladores se involucran en el desarrollo del modelo, ya que son ellos los que garantizarán la sostenibilidad del río y el manejo de los humedales. La participación debe estar encaminada a evitar conflictos entre los intereses que

cada uno de los actores sobre el uso y los beneficios actuales y potenciales del río y humedales. Es importante plantear que el sistema propuesto ofrece beneficios a cada uno de los actores y que una manera sustentable permite crear bancos de recursos renovables y no solo puntos de oferta de productos inciertos año con año. Bajo esta perspectiva la participación actual de los pobladores involucrados en la propuesta ha sido positiva y dinámica, aportando información e ideas sobre el modelo, a pesar de que actualmente no perciben con claridad los beneficios del desarrollo del modelo río-humedales.

7.4 Modelo final.

Así, la propuesta final integrada del “Modelo de humedales en zonas perturbadas del Río San Marcos, microcuenca Cruz del Palmar” se representa en las figura 39 y 40. La primera ejemplifica sobre imagen de la zona de estudio el modelo sugerido y la segunda, ofrece el mismo modelo de forma descriptiva en sus elementos sin imagen de la zona de estudio.



Figura 39. “Modelo de humedales en zonas perturbadas del Río San Marcos, microcuenca Cruz del Palmar”.

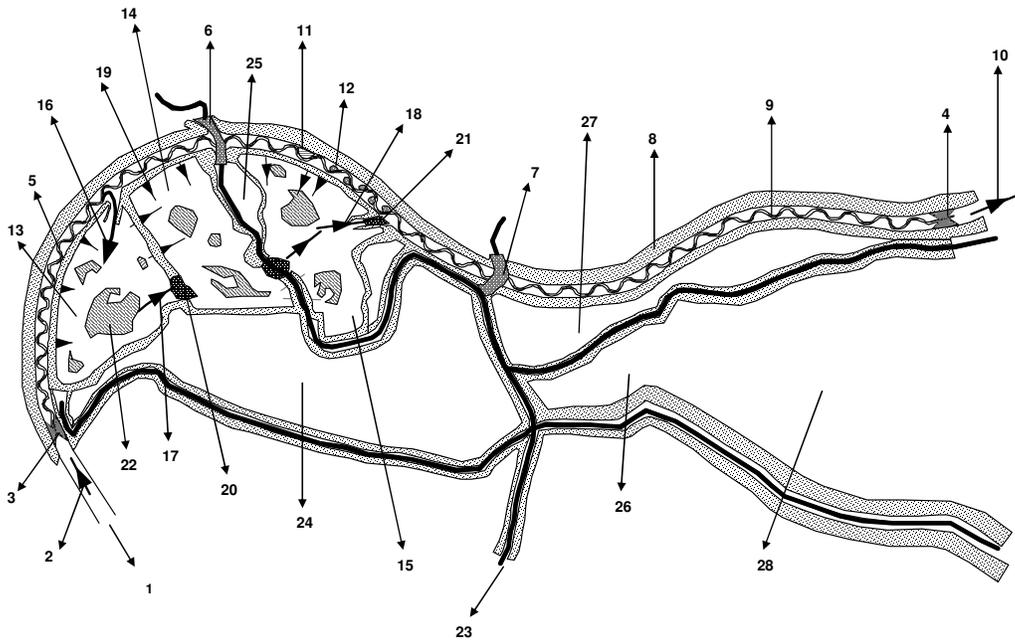


Figura 40. Descripción de modelo de humedales en zonas perturbadas del Río San Marcos, microcuenca Cruz del Palmar”. 1. Cauce total, 2. Entrada de flujo a la zona de estudio, 3. Punto de control 1 (inicio de la zona de estudio), 4. Punto de control 2 (fin de la zona de estudio), 5. Cauce constante, 6 y 7. Cruces de caminos sobre el río, 8. Zonas de amortiguamiento, 9. Frenos, 10. Salida del flujo de la zona de estudio, 11. Meandros, 12. Punto de barra, sitios de extracción de materiales pétreos, 13. Humedal “1”, 14. Humedal “2”, 15. Humedal “3”, 16. Entrada de flujo de agua superficial a humedal, 17. Conexión de flujo superficial entre humedales, 18. Salida de Flujo de agua superficial, 19. Entradas de flujos subterráneas a humedales. 20. Punto de conexión de flujo entre humedales, 21. Freno de salida del flujo de agua de los humedales, 22. Islas dentro de humedales, 23. Caminos, 24 y 25. Parcelas Agrícolas riparias, 26. Ladera, 27. Parcela agrícola y 28. Loma (cerro).

VIII. Bibliografía

- Barbie Edgard B., Acremman Mike, Knowler Duncan. 1997. Valoración económica de los humedales: Guía para decisores y planificadores. Oficina Convención Ramsar. Gland, Suiza. Documento en línea [Fecha de consulta 25/07/07]. Disponible en http://www.ramsar.org/lib/lib_valuation_s.htm
- Bonilla J., Novelo Alejandro. 1995. Manual de identificación de plantas acuáticas del parque nacional laguna de Zempoala, México. Instituto de biología. Universidad Nacional Autónoma de México. 137 pp
- Ceccon Eliane. 2003. Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas. Ciencias 72 octubre-diciembre.
- Conabio 2002. Regiones Hidrológicas Prioritarias. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Hmapa.html>
- Cotler Helena, Priego Ángel, Rodríguez Claudia, Enríquez Guadarrama Carlos. 2004. Determinación de las zonas prioritarias para la eco-rehabilitación de la cuenca Lerma- Chapala. Gaceta Ecológica No 71. INE-SEMARNAT, México.
- Geilfus Frans. 2000. 80 Herramientas para el sondeo rural participativo. Diagnóstico, planificación, monitoreo y evaluación. IICA-SAGARPA, México.
- INEGI 2002. Censo de económico 1999. <http://inegi.gob.mx>
- INEGI 2003. Ortofoto F14 C54, B1 y B2. Escala 1:40 000.
- Luna Leopold 1962. Ríos. Tomado de Gaceta Ecológica No. 64. INE-SEMARNAT, México.

- Medina Alvin L. and Long W. Jonathan. 2004. Placing riffle formations to restore stream functions in a Wet Meadow. *Ecological Restoration* 22:2 junio.
- Mejía Zermeño Roberto. 1999. Diseño, restauración y rehabilitación de cauces con materiales naturales. VI Jornadas del CONAPHI-CHILE. Santiago de Chile. Documento en línea [Fecha de consulta: 11/12/07]. Disponible en <http://www.unesco.org.uy/phi/libros/VIjornadas/B24.pdf>
- Mercado-Silva Norman, Lyos Jhon, Días-Pardo Edmundo, Gutiérrez-Hernández Altagracia, Pedraza-Lara Carlos, Ornelas-García Claudia Patricia, Vander Zanden M. Jake. 2005. Long term changes in the fish assemblage of the Laja River, Guanajuato, central Mexico. *Aquatic Conservation, Freshwater and Marine Ecosystems*. 15: 000-000
- Ministerio de Salud y Ambiente. 1999. Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Argentina. Documento en línea [Fecha de consulta 24/05/05]. Disponible en <http://www2.medioambiente.gov.ar/faq/humedales/default.htm>
- Ole Hansen Hans. 1997. Restauración de ríos y arroyos. Experiencias y ejemplos de Dinamarca. Ministerio de medio ambiente y de la energía, Instituto Nacional de Medio Ambiente. Dinamarca. Documento en línea [Fecha de consulta 22/04/05]. Disponible en http://www2.dmu.dk/1_viden/2_publicationer/3_Ovrige/rapoporte/river_restoratio_es_1-2.pdf
- Ortega-Guerrero M. Adrian, Castellanos Javier Z., Aguilar G. Ramón, Vázquez-Alarcon Antonio, Alanis R. Eduardo, Vargas C. Carlos, Urrutia E. Francisco. 2002. A conceptual model for increases of sodium, SAR, alkalinity and pH at the Independence aquifer in Guanajuato. *Terra* 20:199-207.

- Ramsar 1998. ¿Qué son los humedales?. The Ramsar Convention Bureau. Gland, Suiza. Documento en línea [Fecha de consulta 24/05/05]. Disponible en http://www.ramsar.org/about/about_infopack_1s.htm
- Ramsar. 2004. Día mundial de los humedales 2004-México. Documento en línea [Fecha de consulta 13/03/07]. Disponible en http://www.ramsar.org/wwd2004_rpt_mexico1bis.htm
- Reserva Natural de los Galachos de La Alfranca de Pastriz, La Cartuja y El Burgo de Ebro. 2006. Documento en línea [Fecha de consulta 08/08/06]. Disponible en <http://www.aragonesasi.com/natural/epgalachos.htm>
- Rosgen Dave, Silvey Milton Lee. 1996. Applied River Morphology. Wildland Hydrology. 1481 Stevens Lake road. Pagosa Sprins, Colorado, EU.
- SDA 2001. Plan estatal de rehabilitación de recursos naturales en cuencas de captación. Celaya, Guanajuato.
- Seguridad Pública. 2001. Atlas de riesgos del Estado de Guanajuato. Protección Civil. Documento en Línea [Fecha de consulta 07/03/06]. Disponible en http://proteccioncivil.guanajuato.gob.mx/hidro_edo.htm
- Selener Daniel, Endara Nelly, Carvajal José. 1997. Sondeo rural participativo. Instituto Internacional de reconstrucción Rural. Quito, Ecuador.
- Torres-Benites Elibeth, Mejía-Saenz Enrique, Cortés-Becerra José, Palacios-Velez Enrique, Exebio-García Adolfo. 2005. Adaptación de un modelo de simulación hidrológica en la cuenca del Río Laja, Guanajuato, México. Agrocien 39: 481-490. Documento en línea [Fecha de consulta 06/05/06]. Disponible en <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2005/sep-oct/art-1.pdf>

Ureña Frances José María de & Ollero Ojeda Alfredo 2000. Criterios y propuestas para la ordenación de áreas fluviales. Ciudad y Territorio: Estudios territoriales XXXII. Ministerio de Fomento. España.

IX. Apéndice

9.1 Cuadros

Cuadro 1. Diferencias entre Ingeniería Convencional y ecológica (Mejía 1999).

Característica	Ingeniería Convencional	Ingeniería Ecológica
Objetivos	Uno	Múltiples
Beneficios al ecosistema	Bajo Obras civiles artificiales de concreto, acero y otros	Alto Características naturales de paisaje y acuáticas
Materiales	Regulados por el hombre	Naturales, autorreguladas
Procesos	Relativamente poco importantes	Critico
Clima y paisaje	Relativamente corta	Relativamente alta Flexible, variable
Vida útil Ejecución	Controlada	Bajo
Costos de operación y mantenimiento	Alto	Alto
Uso de suelo, afectaciones	Alto	Bajo

Cuadro 2. Beneficios de la Ingeniería Ecológica (Mejía 1999).

Reducción y preservación de daños a personas, propiedades y ecosistema	Beneficios adicionales y no cuantificables
Control de contaminación	Turismo
Control de erosión	Zona de recreación
Protección contra inundaciones	Hábitat para nuevas especies
Recarga de acuíferos	Hábitat para vida natural
Manejo y reducción de azolves	Paisajes
Determinación de zonas de riesgo	Protección para la biodiversidad
Mantener funcionalidad del cauce	Uso de especies de manera racional Enriquecimiento del suelo

Cuadro 3. Características Importantes de la Ingeniería Ecológica, (Mejía 1999).

Paisaje y estructuras acuáticas	Funcionalidad del cauce	Plantas y comunidades animales
Pozas	Llanuras de inundación	Vegetación de humedales
Humedales	Meandros	Pantanales
Meandros	Estabilidad	Pastos
Terrazas	Cauce de avenidas	Árboles
Bermas	Cauce de estiaje	Arbustos
Fondo de cauce	Zonas inundables	Animales terrestres
Riberas	Depósitos y erosión	Cuevas en ríos
Orillas		Aves
Rápidos		Peces
Curvas		Insectos
Grupos de rocas		

Cuadro 4. Guía de campo para la toma de datos de perfil del río, Rosgen (1996).

GUÍA DE CAMPO PARA LA CLASIFICACIÓN DE RÍOS

Nombre del Río: _____
Nombre de la cuenca: _____ Microcuenca: _____
Localidad: _____ Municipio: _____
Orden: _____ Sección: _____ Altura: _____ Lat: _____ Long: _____
Observaciones: _____

<p>Ancho de Máxima Ribera (AMR) _____ m Anchura del canal de la corriente, en la elevación de la etapa del máxima ribera, en una sección del riffle</p>			
<p>Profundidad promedio (PP) _____ m Profundidad promedio del canal en el corte transversal, en la elevación de máxima ribera, en un sección del freno ($PM = 1 + 2 + \dots + n / N$)</p>			
<p>Relación profundidad/Ancho (AMR / PP) _____ División del Ancho de Máxima Ribera sobre Profundidad Promedio</p>			
<p>Profundidad Máxima (PM) _____ m Máxima profundidad entre la etapa de máxima ribera y la elevación del thalweg en la sección del freno</p>			
<p>Ancho del Área de Inundación (AAI) _____ m Dos veces la profundidad máxima ó ($2 \times PM$) = La etapa de elevación en la cual se determina la anchura del área propensa a inundación. (sección del freno)</p>			
<p>Relación Ancho Profundidad (confinamiento) (R A/P) _____ La proporción del ancho del área de inundación sobre el ancho de máxima ribera</p>			
<p>Materiales del Canal (índice del tamaño del partículas) D₈₄ _____ mm El índice de tamaño de partículas D_{84} representa el diámetro medio de los materiales del canal, entre la etapa de máxima ribera y la elevación del thalweg</p>			
<p>Gradiente de Pendiente (GP) _____ m Diferencia de nivel de la superficie del agua en una distancia mayor de 30 m</p>			
<p>Sinuosidad del canal (S) _____ La sinuosidad es el índice de la relación longitud de cauce entre la longitud del valle (LC / LV)</p>			
<table border="1"> <tr> <td>TIPO DE RÍO \Rightarrow</td> <td></td> <td>Nota: El tipo de río es la clave de clasificación</td> </tr> </table>	TIPO DE RÍO \Rightarrow		Nota: El tipo de río es la clave de clasificación
TIPO DE RÍO \Rightarrow		Nota: El tipo de río es la clave de clasificación	

Cuadro 5. Descripción general de los tipos de corriente y criterios delimitativos para una clasificación amplia, Rosgen (1996).

TIPO DE RÍO	DESCRIPCIÓN GENERAL	PROPORCIÓN DE CONFINAMIENTO	ELACIÓANCHO/PROFUNDIDAD	SINUOSIDAD	PENDIENTE	FORMA DE LA TERRA/SUELO/CARACTERÍSTICAS
Aa+	Muy escarpado, profundamente confinado, transporte de escombros, corriente de torrente	< 1.4	< 12	1.0 a 1.1	> 10	Relieve muy alto. Cama de piedra erosionada o características deposicionales; potencial del flujo del escombros; profundidad del confinamiento del río. Confinamiento profundo del canal. Cascadas con escalones verticales y rastro de piscinas profundas.
A	Escarpado, Confinado, cascadas, corriente con escalón-alberca, energía alta asociación con el transporte de escombros y deposición de suelo. Canal muy estable dominado por cama de piedra de de canto rodado	< 1.4	< 12	1.0 a 1.2	4 a 10	Relieve alto, Erosión o deposición y forma de cama de piedra. Río confinado y escarpado con cascadas. Morfología de la cama de escalón-alberca con espaciado frecuente, asociado a la profundidad de las albercas
B	Escarpado moderado, gradiente moderado, canal dominado por frenos con albercas espaciadas frecuentemente. Plano y perfil muy estables. Bancos estables	1.4 a 2.2	> 12	>1.2	2 a 4	Relieve moderado y/o estructural con deposición coluvial. Confinamiento moderado en proporción de la anchura y profundidad. Valles estrecho, inclinados suavemente. Predominan rápidos anchos con lavado de piscinas
C	Bajo gradiente, meandros, puntos de barra, frenos/alberca con amplios canales aluviales, llanos de inundación bien definidos	> 2.2	> 12	>1.2	2 a 4	Valles amplios con terrazas anchas asociados con llanura de inundación y suelos aluviales. Confinamiento de canales ligero con sinuosidad bien definida. Morfología de la cama con freno y alberca
D	Canal trenzado con barras longitudinales y transversales. canal muy ancho con bancos erosionados	n/a	> 40	n/a	< 4	Valles amplios más escarpados, ventilados con aluvión. Ruina glacial y características deposicionales. Ancho, con ajustes de actividades laterales y abundante fuente de sedimento. Características de convergencia y divergencia en la cama, procesos de agradación, alto lavado de la cama y erosión de bancos
DA	Formación de red (múltiples canales) con excesiva profundidad y estrecho, llanuras de inundación con buena vegetación y humedales asociados. Sinuosidad altamente variable con relieves muy delicados en relación a la profundidad y anchura. Bancos del río muy estables	> 2.2	Muy variable	Muy variable	< 0.5	Valles amplios de gradientes bajos con aluvión fino y/o suelos lacustres. Control geológico ancho en forma de red (múltiples canales), anchas barras de deposición finas con vegetación lateral muy estable y amplios llanos de inundación y humedales, muy baja carga de la cama por lavado alto de la carga de sedimento.
E	Pendiente baja, sinuosidad, sistema freno - pool en canal, anchura baja en proporción a la profundidad y pequeña deposición. Estable y muy eficiente. Sinuosidad alta en proporción a la profundidad	> 2.2	< 12	> 1.5	< 2	Valles amplios con praderas. Llanos de inundación con materiales aluviales. Alta sinuosidad con bancos de vegetación muy estable. Morfología freno-piscina con muy baja relación de anchura y profundidad
F	Canal confinado sinuoso con sistema freno -piscina en bajas pendientes, con alta relación de anchura y profundidad	< 1.4	>12	> 1.2	< 2	Confinamiento grande con materiales de mucho tiempo. Pendientes apacibles con alta relación de anchura y pendiente. Sinuosidad lateral inestable con relación ala alta erosión de los bancos. Morfología freno-piscina
G	Confinamiento ("zanjas grandes"), gradientes moderados, escalón-alberca y baja elevación anchura y profundidad	< 1.4	< 12	> 1.2	2 a 4	Grandes zanjas, morfologías escalón-alberca con pendientes moderadas y anchas y baja relación de pendiente y profundidad. Valles estrechos con profunda incidencia de materiales aluviales y coluviales, i.e., ventilados o deltas. Inestable, en relación a los problemas de control del alto grado de erosión de los bancos.

Cuadro 6. Especies de plantas acuáticas.

Familia	Genero	Especie	Variedad	Ubicación con referencia a la lamina de agua
Juncaceae	Luzula	caricina		Orilla de la amina de agua
Juncaceae	Juncus	effusus		Orilla de la amina de agua
Cyperaceae	Cyperus	niger		Orilla de la amina de agua, distribuidas hasta 10 metros de distancia
Cyperaceae	Cyperus	odoratus		Orilla de la amina de agua, distribuidas hasta 10 metros de distancia
Cyperaceae	Cyperus	virens	Minarum	Orilla de la amina de agua, distribuidas hasta 10 metros de distancia
Cyperaceae	Cyperus	seslerioides	HBK	Orilla de la amina de agua, distribuidas hasta 10 metros de distancia
Cyperaceae	Eleocharis	bonariensis		Orilla de la amina de agua, distribuidas hasta 10 metros de distancia
Cyperaceae	Echinochloa	crusgalli		Orilla de la amina de agua, distribuidas hasta 10 metros de distancia
Cyperaceae	Echinochloa	jaliscana		Orilla de la amina de agua, distribuidas hasta 10 metros de distancia
Polygonacea	Polygonum	mexicanum		Dentro del agua, a todo lo largo y ancho
Typhaceae	Typha	latifolia		Dentro del agua en las profundidades mayores

9.2 Figuras



Figura 41. Esquema de Lane, relación del análisis cualitativo (Tomado de Rosgen, 1996).

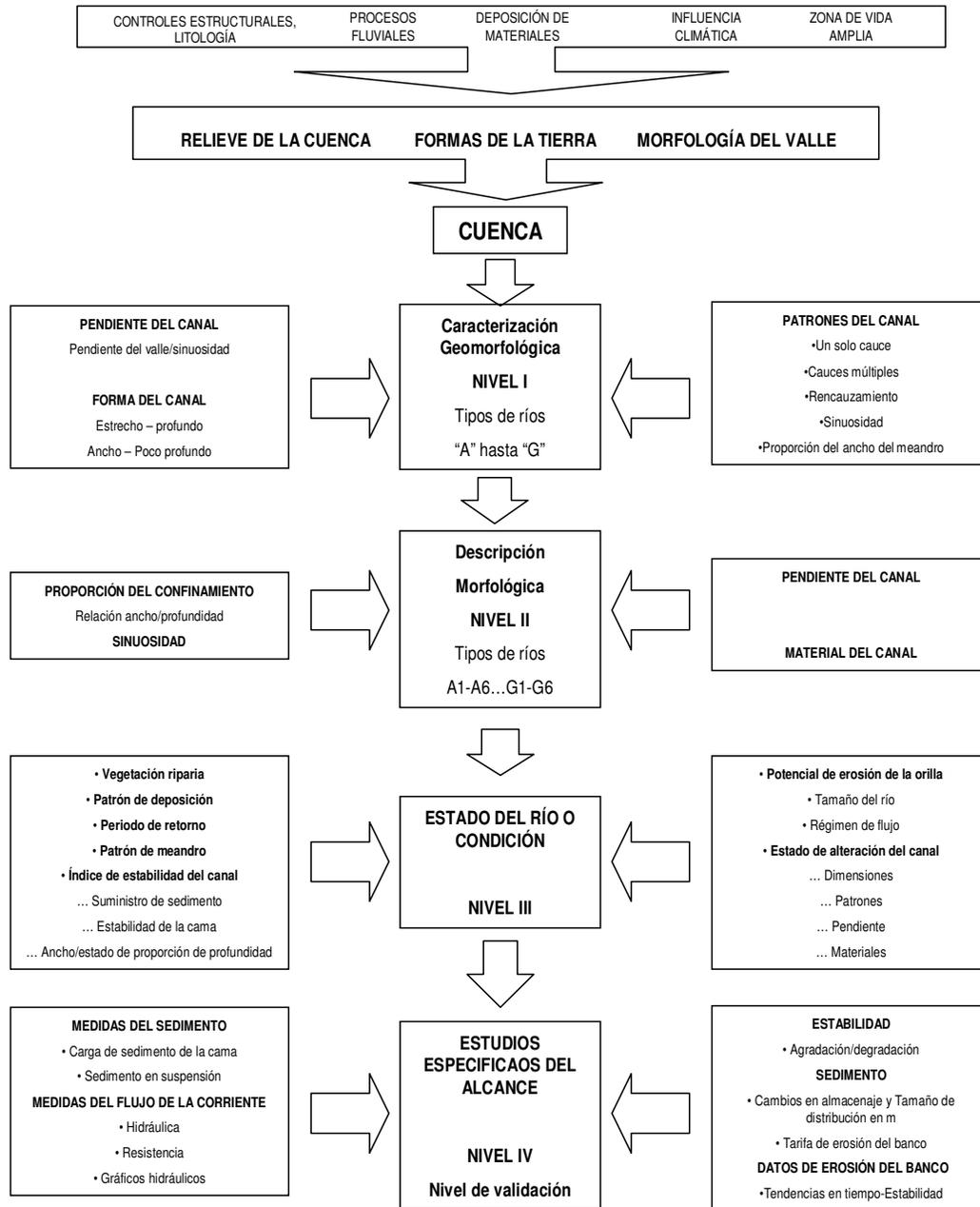


Figura 42. Niveles por la clasificación de ríos naturales Rosgen (1996).

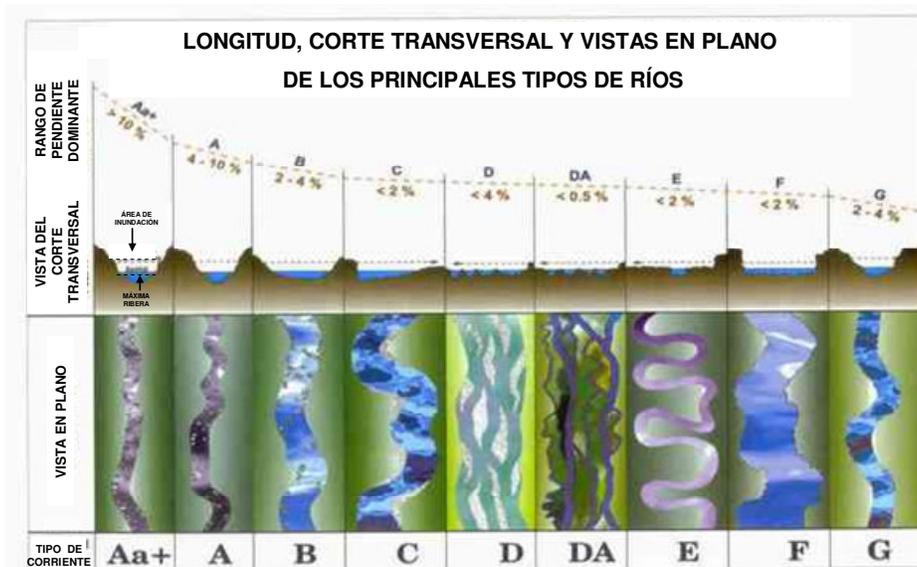


Figura 43. Clasificación general de tipos de ríos y criterios delineativos, Rosgen (1996).



Figura 44. Río "El Gusano", comunidad El Gusano, Dolores Hidalgo, Guanajuato, (2006).



Figura 45. Río "Santa Rosa", comunidad San Pedro de la Sierra, Dolores Hidalgo, Guanajuato, (2006).



Figura 46. Río "El Gusano", comunidad La Cantera, Dolores Hidalgo, Guanajuato, (2006).

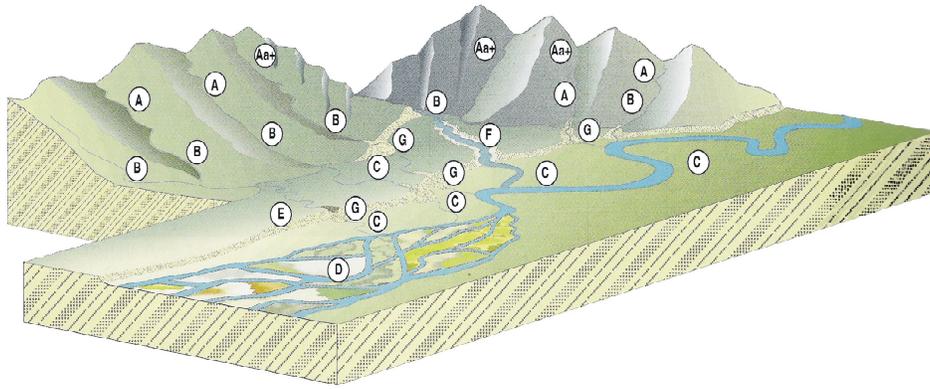


Figura 47. Ubicación de ríos por su clasificación dentro de la cuenca. Rosgen (1996).

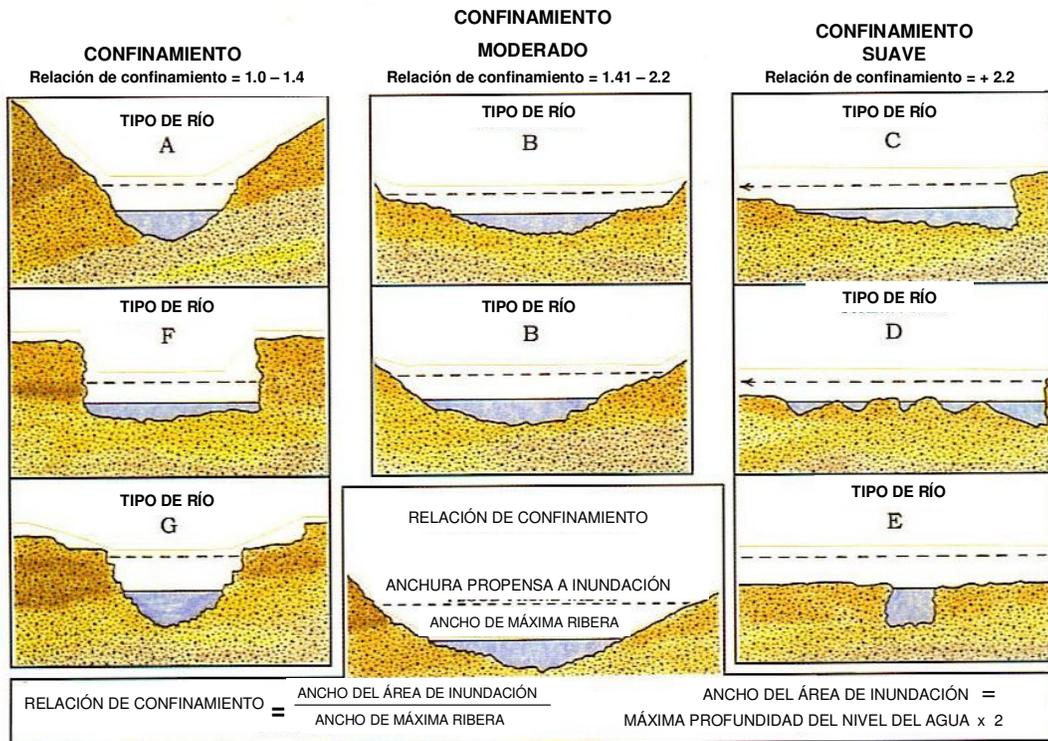


Figura 48. Representación de los tipos de confinamiento en cortes transversales de varios tipos de canal (Rosgen 1996).

CONTEO DE PARTÍCULAS DEL SUBSTRATO													
LOCALIDAD:				TOTAL DE SECCIONES:			ESTANQUE			RÁPIDOS			
CUERPO DE AGUA:				FECHA:			FECHA			FECHA			
PARTÍCULAS	TAMANO (mm)				OT #	% ITEM	% ACUM	OT #	% ITEM	% ACUM	OT #	% ITEM	ACUM
CIENO/ARCILLA	< 0.062	S/C											
MUY FINA	0.062 - 0.125	ARENA											
FINA	0.125 - 0.25												
MEDIANA	0.25 - 0.50												
GRUESA	0.50 - 1.0												
MUY GRUESA	1.0 - 2.0												
MUY FINA	2.0 - 4.0	GRAVA											
FINA	4.0 - 7.8												
MEDIANA	7.8 - 16												
GRUESA	16 - 32												
MUY GRUESA	32 - 64												
PEQUEÑOS	64 - 128	GUIJARROS											
GRANDES	128 - 256												
PEQUEÑAS	256 - 512	ROCAS											
MEDIANAS	512 - 1024												
MUY GRANDES	1024 - 2048												
LECHO ROCOSO	> 2048	ROCA MADRE											

Figura 49. Formato de campo para conteo de partículas

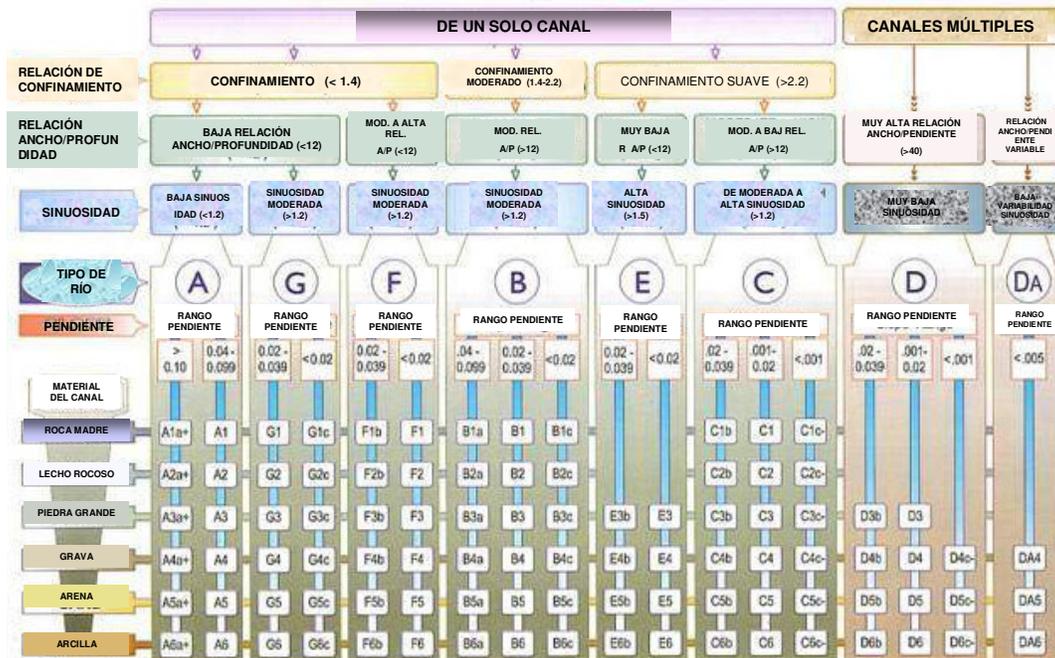


Figura 50. "Clave de Rosgen" para la clasificación de ríos naturales, Rosgen (1994).



Figura 51. Franjas de especies vegetativas dentro del humedal, (2006).

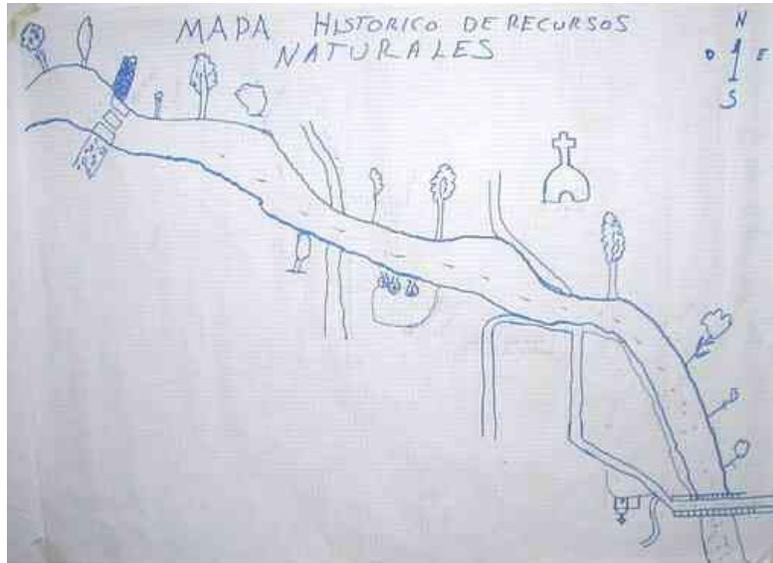


Figura 52. Mapa histórico de los recursos del río, elaborado por pobladores de Cruz del Palmar, (2006).



Figura 53. Erosión en paredes del río por efecto de acumulación de material y ausencia de zona de amortiguamiento. Al lado izquierdo se ubica la grava acumulada, zona de estudio, microcuenca Cruz del Palmar (2006)