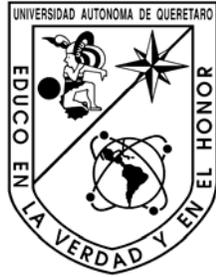


Universidad Autónoma de Querétaro



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

Propuesta de rehabilitación del bosque ripario, en áreas de extracción de grava y arena en el río San Marcos, San Miguel de Allende, Guanajuato.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Maestro en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta:

Atahualpa Caldera Sosa

Dirigida por:

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Junio del 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

Propuesta de rehabilitación del bosque ripario, en áreas de extracción de grava y arena en el río San Marcos, San Miguel de Allende, Guanajuato.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Maestro en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta:

Atahualpa Caldera Sosa

Dirigida por:

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval

SINODALES

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval

Presidente

Firma

Dr. Raúl Pineda López

Secretario

Firma

Dr. Miguel A. Domínguez Cortazar

Vocal

Firma

M. en I. Pablo Talamantes Contreras

Suplente

Firma

Dr. Ricardo Pérez Munguía

Suplente

Firma

Biol. Jaime Ángeles Ángeles
Director de la Facultad de ciencias naturales

Dr. Luis Hernández Sandoval
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Junio del 2007

RESUMEN

El presente trabajo es un diagnóstico de las condiciones actuales de un tramo del río San Marcos (tributario del Río Laja) en el Municipio de Allende, Guanajuato, donde durante varios años se ha extraído grava y arena de la zona de inundación del río, dejando huecos que se han convertido en humedales provocados por la actividad extractiva. Esta actividad también ha provocado la modificación del cauce y el deterioro de las franjas de vegetación en las dos orillas del cauce, provocando impactos significativos al ecosistema fluvial y a las poblaciones ribereñas. Por ello con este diagnóstico se pretende diseñar un modelo para la rehabilitación y conservación de los bosques de ribera en este tramo del río San Marcos. Este trabajo es complementario al diseño de humedales en la zona de extracción de grava y arena, que pretende de forma integral la creación de un parque ribereño manejado por la comunidad local de Cruz del Palmar.

(Palabras clave: **bosque ripario, grava y arena, rehabilitación**).

SUMMARY

The present work is a diagnosis of the actual conditions of a section of the river San Marcos (tributary of the Laja River) in the Municipality of San Miguel de Allende Guanajuato, where during several years it has been extracted gravel and sand of the zone of flood of the river, leaving pits which they have become wetlands caused by the extractive activity. This activity also has caused the modification of the channel and the deterioration of the strips of vegetation in the two borders of the channel, causing significant impacts to the fluvial ecosystem and the people of the riparian communities. For that reason, with this diagnosis it is tried to design a model for the rehabilitation and conservation of the riparian forests in this section of the river San Marcos. This work is complementary to the design of wetlands in the zone of extraction of gravel and sand, that tries of integral form the creation of a riparian park handled by the local community of Cruz del Palmar.

(Key words: **riparian forest, gravel and sand, rehabilitation**).

Quiero dedicar éste trabajo a los

habitantes de la Comunidad de Cruz del Palmar

en el Municipio de San Miguel de Allende,
Guanajuato,

comunidad ribereña, que sabe lo que

significa vivir al lado

de un río tan

importante como el río San Marcos.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer de manera especial al Dr. Luis Hernández Sandoval, por su apoyo en la realización de éste trabajo.

Agradezco las observaciones y sugerencias hechas al revisar este trabajo por el Dr. Luis Hernández Sandoval, Dr. Raúl Pineda López, M. en I. Pablo Talamantes, al Dr. Miguel A. Rodríguez Cortazar y al Dr. Ricardo Pérez Murguía.

Agradezco también a: Carmen Rioja, Celeste Phaiser y su amiga, Rolando Tenoch y su compañera, a Amy González por brindarme su apoyo en la toma de datos de vegetación.

Agradezco el apoyo brindado por Pedro, Doña Vicenta, Doña Juana, Crescenciano, Don Magdaleno, que siempre nos brindaron su confianza para realizar estos estudios en su comunidad.

Agradezco a Gerardo López Mora por su apoyo incondicional en la realización de este trabajo, por su amistad y por todos los momentos agradables que hemos pasamos como compañeros de trabajo y en la realización de este estudio.

Agradezco de manera especial al Dr. Alvin Medina, del Servicio Forestal de E.U. por habernos dado la inspiración y motivación para trabajar en el tema de humedales y ecosistemas ribereños. ¡Gracias por tus enseñanzas estimado A!

A Betsy y Susan de Save the Laja inc. por brindarnos su apoyo en la realización de estos estudios de maestría, por su cariño y amistad.

Gracias en especial a Luis Franki de Salvemos al Río Laja A. C. por su comprensión y apoyo en la realización de los estudios de maestría.

También quiero agradecer el ánimo brindado por Mario Orozco, Diana Gutiérrez, mis padres, mi hermana y todas aquellas personas que han estado vinculadas a este trabajo de forma directa o indirecta....a todos ellos y ellas.....

¡MUCHAS GRACIAS!

ÍNDICE

I.	INTRODUCCION	1
	1.1. Descripción del problema	5
	1.2. Hipótesis de trabajo	5
	1.3. Objetivos	6
II.	ANTECEDENTES	7
	2.1. Las cuencas Hidrográficas	7
	2.2. La cuenca del río Laja	10
	2.3. La cuenca del río San Marcos	12
	2.4. Componentes de las áreas fluviales	13
	2.5. La vegetación riparia	15
	2.6. Factores que alteran los ecosistemas fluviales	20
	2.7. Trabajos y técnicas para evaluar y rehabilitar ríos	24
III.	METODOLOGÍA	29
	3.1. Localización del área de estudio	29
	3.2. Proceso Metodológico	31
IV.	RESULTADOS	44
	4.1. Caracterización y análisis del paisaje del área de Trabajo	44
	4.2. Características geomorfológicas de la zona de trabajo	49
	4.3. Impactos de deterioro en el sitio de trabajo	59
	4.4. Evaluar la calidad de los ecosistemas de ribera	63
	4.5. Estructura y composición de la vegetación riparia	66
	4.6. Talleres de diagnóstico participativo con pobladores de la comunidad de Cruz del palmar	74
	4.7. Proponer un modelo de rehabilitación del bosque ripario	83
V.	DISCUSIÓN	96
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Géneros de especies dominantes en los bosques de galerías	16
2	Árboles presentes en los bosques de galerías	17
3	Mediciones del ancho del cauce, ancho de la zona de amortiguamiento 1 y ancho de la zona de amortiguamiento 2 en 11 sitios de medición en un tramo de 1,100 metros lineales de ribera en el área de estudio.	57
4	Resultados de la evaluación y determinación de la calidad de la ribera en la estación uno de la zona de estudio.	65
5	Rangos de calidad del QBR	66
6	Especies de plantas colectadas	72
7	Valores de los índices de Diversidad Biológica de los transectos muestreados.	73
8	Equipo 1 (mujeres)	74
9	Equipo 2 “Paleros” Extractores de grava y arena	75
10	Equipo 3. Dueños de parcelas agrícolas en el área de inundación del río	75
11	Problemas detectados por los participantes	76
12	Actividades actuales	76

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía		Página
1	Nivel láser con el que se midieron los perfiles del río	55
2	Medición del área con vegetación entre el cauce y la zona de cultivo	56
3	Vista de las parcelas y la pequeña franja de vegetación	56
4	Midiendo el cauce	56
5	Otra vista de las parcelas	56
6	Extracción de grava y arena a gran escala	59
7	Tala de árboles	59
8	Erosión de riberas y caída de árboles	59
9	Corte de corteza	60
10	Corte de jara	60
11	Derrame de aceite	60
12	Pastoreo de caprinos	60
13	El Sr. Sabino, explicando el mapa de la comuidad y el río.	76
14	Equipo de “Paleros” trabajando	76
15	Grupo de mujeres trabajando	76
16	Herramienta de trabajo de los paleros, se puede apreciar el arnero, parigüela, pala y pico	81
17	Maquinaria pesada seleccionando y cargando material en trailers que lo transportan a ciudades.....	82
18 y 19	Álamos (<i>populus</i> sp.) sembrados por los habitantes de cruz del palmar en la zona de estudio	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Mapa de la cuenca del río Laja.	11
2	Modelo digital de elevación y modelo de escurrimientos de la Cuenca del río San Marcos, divididas en las sub-cuencas del río San Damián y de la Laja.	13
3	Localización del área de estudio en la cuenca del río San Marcos, marcada con un círculo rojo.	29
4	Imagen de satélite donde se muestra la zona donde se llevó a cabo el presente trabajo.	30
5	Diagrama de flujo de proceso metodológico utilizado	31
6	Caracterización de los componentes del paisaje y de los usos actuales del suelo, en un tramo del corredor ribereño del río San Marcos.	45
7	Zonas de Extracción donde se han formado huecos que se llenan de agua	46
8	Cauce del río San Marcos	46
9	Zona impactada por la extracción de materiales pétreos (grava y arena)	47
10	Caminos usados por los camiones que sacan material de grava y arena.	47
11	Zonas de parcelas agrícolas en el área de inundación del río.	48

12	Zona de acumulación y de extracción de arena fina y grava.	48
13	Ubicación de los perfiles en el área de estudio. La línea verde enmarca el área de estudio, las rojas los perfiles y el verde fuera del área indica el perfil testigo.	49
14	Perfil 2, río tipo "B5a". La línea naranja indica el área de inundación, la amarilla la máxima ribera y la azul el flujo	50
15	Perfil 3, río tipo "C5c". La línea naranja indica el área de inundación, la amarilla la máxima ribera y la azul el flujo	50
16	Gráfico del perfil "testigo" o de la zona estable, que fue el indicador para parámetros de rehabilitación.	51
17	Perfil de las diferentes formas de erosión, encontradas en los bancos de la ribera de la zona de estudio.	52
18	Ejemplo de la erosión en los bancos de la ribera, causada principalmente por la extracción de grava y arena en sitios inadecuados.	53
19	Ubicación donde se tomaron los datos del perfil estable e inestable, en la zona de estudio.	54
20	Esquema de un perfil del río San Marcos y el corredor ripario con sus franjas de vegetación en uno de los puntos estables del área de trabajo.	54
21	Esquema de un perfil del río San Marcos y el corredor ripario con sus franjas de vegetación en uno de los puntos inestables del área de trabajo.	55
22	Gráfica de los resultados de las mediciones del ancho del cauce y las zonas de amortiguamiento de las dos riberas	57
23	Vista de satélite de la zona de estudio con la ubicación de los sitios de medición del cauce y las zonas de amortiguamiento.	58
24	Fotografía aérea de la zona de estudio en el año 1970.	61
25	Fotografía aérea de la zona de estudio en el año 1994.	61
26	Fotografía aérea de la zona de estudio en el año 2004.	62

27	Esquema del trayecto recorrido en el área de estudio para medir las condiciones actuales de la ribera 1 y ribera 2.	64
28	Condiciones actuales de la ribera 1 y 2.	64
29	Cobertura de vegetación en m ² en cada transecto. Cada transecto se hizo de 2 m de ancho por 50 m de largo.	67
30	Fotografía de los transectos de la zona dañada.	67
31	Gráficas de los estratos de vegetación y cobertura en el transecto 1 de la zona dañada.	68
32	Gráficas de los estratos de vegetación y cobertura en el transecto 2 de la zona dañada.	68
33	Fotografía de los transectos de a zona media.	69
34	Gráficas de los estratos de vegetación y cobertura en el transecto 1 de la zona media-	69
35	Gráficas de los estratos de vegtación y cobertura en el transecto 2 de la zona media.	70
36	Fotografía de los transectos de la zona conservada.	70
37	Gráficas de los estratos de vegtación y cobertura en el transecto 1 de la zona conservada.	71
38	Gráficas de los estratos de vegtación y cobertura en el transecto 2 de la zona conservada.	71
39	Gráfica de los resultados de la encuesta	78
40	Cauce total sugerido, sinuosidad delimitada con relación a la geomorfología y el valle.	83
41	Esquema del perfil propuesto para la rehabilitación del cauce.	84
42	Sinuosidad de cauces (total y constante). Los puntos rojos delimitan el área de estudio mediante puntos de control 1y 2.	85
43	Punto de control en la parte alta. Concentra la energía que promoverá el cauce constante.	86

44	Puntos de barra formados por la sinuosidad del cauce constante y puntos de extracción de material pétreo.	87
45	Cruce de camino en el río.	88
46	Diferentes técnicas de ingeniería naturalística utilizadas para la rehabilitación de riberas.	89
47	Foto aérea donde se muestra en color rojo, las áreas donde se deben sembrar árboles para poder re-encauzar el río.	91
48	Esquema de funcionamiento de las franjas de vegetación como zonas de amortiguamiento o zonas buffer en los corredores ribereños.	92
49	Fotomontaje mostrando la vegetación que debería existir en el corredor ribereño.	93
50	“Modelo de humedales y bosque ripario en zonas perturbadas del río San Marcos, microcuenca Cruz del Palmar” sobre imagen de la zona de estudio.	94
51	“Modelo de humedales y bosque ripario en zonas perturbadas del río San Marcos, microcuenca Cruz del Palmar” con explicación de los componentes.	95



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

Propuesta de rehabilitación del bosque ripario, en áreas de extracción de grava y arena en el río San Marcos, San Miguel de Allende, Guanajuato.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Maestro en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta:

Atahualpa Caldera Sosa

Dirigida por:

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval

SINODALES

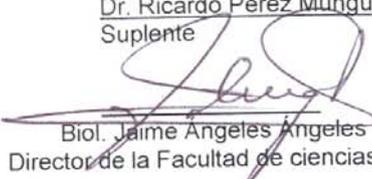
Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval
Presidente

Dr. Raúl Pineda López
Secretario

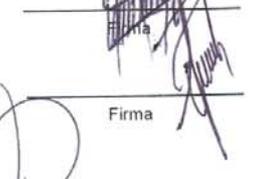
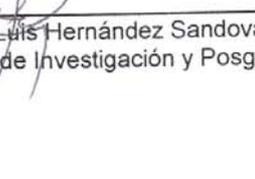
Dr. Miguel A. Domínguez Cortazar
Vocal

M. en I. Pablo Talamantes Contreras
Suplente

Dr. Ricardo Pérez Munguía
Suplente


Biol. Jaime Angeles Angeles
Director de la Facultad de ciencias naturales


Firma

Firma

Firma

Firma


Dr. Luis Hernández Sandoval
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Junio del 2007

I. INTRODUCCION

El Municipio de San Miguel de Allende, Guanajuato, en la cuenca alta del río Laja, ha tenido en los últimos años un crecimiento significativo de su población. Éste ha provocado la urbanización de la ciudad por medio de fraccionamientos que demandan grandes cantidades de materiales para la construcción como la grava y arena. Los ríos que atraviesan al municipio, principalmente el río Laja y el río San Marcos o también llamado San Damián; se han convertido en fuente de extracción de materiales pétreos como grava y arena utilizada en la industria de la construcción.

Durante varios años estos ríos han sido explotados por concesionarios provenientes de diferentes lugares, que explotan la grava y la arena con maquinaria pesada, ésta situación ha generado graves impactos en los cauces de los ríos y por consecuencia en los bosques riparios causando su deterioro y fragmentación. También las comunidades asentadas a lo largo de los corredores ribereños se han dedicado como principal actividad a la extracción de grava y arena pero de forma manual y con cierto manejo del río, que les permite explotarlo con menos impactos.

Actualmente la cuenca del río Laja y la cuenca del río San Marcos están severamente dañadas, pues aún cuando todavía cuentan con áreas de bosque y zonas conservadas, el crecimiento de la población, la conversión de las zonas forestales al uso agrícola y/o ganadero, la sobreexplotación del acuífero subterráneo y la degradación de los sistemas acuáticos, ha impactado no sólo en los ecosistemas sino también en los sistemas productivos de los cuales depende la supervivencia de la población de las Cuencas (López, 2005)

La cuenca alta del río Laja se localiza en el Estado de Guanajuato en la región central del altiplano mexicano, constituye un corredor vital para la vida silvestre local y migratoria y el territorio de numerosas comunidades locales. El río San Marcos forma parte de la cuenca del río Lerma, uno de los ríos más grandes de México que comprende al principal corredor industrial del país y

que fluye hasta desembocar en el lago de Chapala. Por su biodiversidad y alto valor de endemismos de peces y aves, la eco región del Lerma es considerada una Zona de Importancia Global por el World Wildlife Fund (López, 2005).

Los trabajos de rehabilitación de ecosistemas ribereños en los últimos años, han adquirido mayor importancia para la población por los valiosos servicios ambientales que brindan este tipo de ecosistemas. Por tales razones, se han iniciado estrategias importantes de rehabilitación en los ecosistemas ribereños del municipio de San Miguel de Allende. Se han identificado necesidades para trabajar en la rehabilitación de un tramo del río San Marcos donde hay impactos importantes en el bosque ripario por actividades antropogénicas.

Las acciones de rehabilitación ambiental requieren de tiempo para tener resultados significativos. Con este trabajo se pretende iniciar un proceso de diagnóstico para dar soluciones a la problemática existente, así como una experiencia piloto en un sitio donde se podrá medir en un espacio definido y pequeño, pero con una visión de cuenca considerando la integración de otros factores. Como meta se espera que esta experiencia pueda reproducirse en otras partes afectadas del mismo río o de otros con problemas similares.

La extracción de grava y arena con maquinaria pesada a gran escala en diferentes tramos del río San Marcos, donde se ha modificado el canal del río, tiene efectos sumamente graves en estos ecosistemas. Una alternativa para rehabilitarlos puede ser la creación de humedales ribereños y recuperación del bosque ripario. Esto representa un potencial para la conservación del ecosistema fluvial, brindando alternativas productivas para los pobladores de la localidad.

En el municipio de San Miguel de Allende en el Estado de Guanajuato, existen varias organizaciones sin fines de lucro como Salvemos al río Laja A. C., Audubon San Miguel A.C., El Charco del Ingenio A.C., Ciencias de los Ecosistemas A.C., Grupo de Acción Interdisciplinaria Ambiental A.C., Programa

de Educación Ambiental para San Miguel de Allende (PEASMA) conformadas por ciudadanos preocupados por la situación ambiental de la región, especialmente la situación de los recursos hídricos. Por ello, se han abocado al trabajo de recuperación de los ecosistemas de la cuenca, trabajando en diferentes proyectos de diagnóstico, educación ambiental y rehabilitación.

La organización Salvemos al río Laja A. C. y sus colaboradores han sido concientes, que la rehabilitación de la cuenca del río Laja requiere de esfuerzos integrales, que garanticen su conservación y su aprovechamiento sustentable. Los proyectos se han enfocado a la estabilización de pequeños arroyos, por medio de la construcción de estructuras de piedra, para la captación de agua y azolve.

También, se han diseñado nuevos proyectos para la recuperación de zonas ribereñas en ríos grandes como el San Marcos, uno de los ríos tributarios más importantes del río Laja y que juntos cumplen una función muy importante dentro de la gran cuenca del sistema Lerma – Chapala. Entre los proyectos nuevos destacan el proyecto denominado “Creación de Humedales en la ribera del río San Marcos”, el cual está organizado en diferentes etapas de ejecución.

En este estudio se tiene como objetivo el proponer un modelo de rehabilitación del bosque ripario en áreas de extracción de grava y arena en el río San Marcos, como parte importante de las etapas del proyecto general “Creación de Humedales en la ribera del río San Marcos”. Cabe destacar que el presente trabajo es parte de un proyecto más amplio que incluye una propuesta de modelo de humedales en el mismo sitio de trabajo. Este estudio propone parte del sustento técnico y científico al proyecto propuesto por Salvemos al Río Laja A. C. y las organizaciones colaboradoras.

Las razones por las que se escogió trabajar en el río San Marcos, y específicamente en el meandro donde se encuentra la extracción de grava y arena, ubicado en la comunidad denominada Cruz del Palmar; son:

1. La cercanía con la ciudad de San Miguel de Allende.
2. Gran potencial eco-turístico y de turismo rural existente en la zona por la llamada ruta de las capillas, senderos activos de ciclismo de montaña que actualmente se utilizan como rutas y el alto valor paisajístico que tiene la zona.
3. Existen varias poblaciones ribereñas entre las que se encuentran Cruz del Palmar, San Isidro del Capadero, Oaxaca, San Isidro de Bandita, Bandita, Banda, con las que hay acercamiento por medio de líderes comunitarios que han colaborado en proyectos anteriores con la organización Salvemos al Río Laja A. C. y otras organizaciones.
4. La actividad extractiva de grava y arena de forma rustica y manual es en la actualidad una de las principales fuentes de ingreso económico para muchos habitantes de la ribera, los llamados “Paleros” con los cuales la organización ha tenido acercamiento.
5. La extracción de grava y arena realizada por maquinaria pesada ha dejado grandes huecos que pueden ser rehabilitados como humedales artificiales con grandes beneficios ambientales.
6. Estos humedales artificiales tienen un gran potencial como sitios hidrológicos cuando hay crecidas del río.
7. Estos sitios son refugio y fuente de alimento para aves migratorias.
8. Estos sitios son viveros naturales de plantas acuáticas.
9. Existe poca contaminación.
10. Es uno de los ríos más impactados por la extracción de grava y arena por compañías privadas que usan maquinaria pesada.
11. Estas zonas de extracción han ocasionado diferentes impactos a lo largo del río. Uno de los impactos inmediatos detectados es la pérdida de vegetación riparia por la erosión de las riberas, movimiento del cauce, pérdida de parcelas con uso agrícola, entre otros.
12. A pesar de la explotación de grava y arena, el lugar tiene un potencial para desarrollar proyectos productivos, entre los que se contemplan el desarrollo de un parque comunitario con servicios de turismo rural y visita al humedal

para observación de aves. Para ello primero se necesita rehabilitar el bosque ripario y los humedales.

1.1. Descripción del Problema

El Río San Marcos en el Municipio de San Miguel de Allende, Guanajuato, es un tributario principal del río Laja. Éste río, presenta invasión del llano de inundación que es usado para agricultura y asentamientos humanos, pastoreo, red de caminos rurales, y principalmente el saqueo de materiales pétreos en su cauce, riberas y llano de inundación. Ésta situación ha acelerado el desplazamiento de aproximadamente 200 metros del cauce original en su área de inundación, alterando su estabilidad, perdiendo sus riberas (zonas importantes que funcionan como franjas hidrorreguladoras y/o amortiguamiento), generando problemas como inundaciones en cultivos, y en algunas partes de las comunidades ribereñas. Las actividades agrícolas ribereñas han dejado de ser productivas para algunos, lo que ha provocado que dueños de parcelas con uso agrícola asentadas en el área de inundación del río, vendan los terrenos para que se les extraiga el material pétreo existente. Esto genera desniveles considerables en el área de inundación, volviendo improductiva la zona para la comunidad, pero, convirtiéndose en oportunidad ecológica, económica y social de una manera sustentable, mediante la creación de humedales y la rehabilitación del bosque ripario. Por ello este trabajo tiene como hipótesis y objetivos lo siguiente:

1.2. Hipótesis de trabajo

El impacto provocado por extracción de grava y arena con maquinaria pesada a gran escala en diferentes tramos del río San Marcos, puede aprovecharse para la rehabilitación del bosque ripario y la construcción de humedales artificiales, creando un potencial para la conservación del ecosistema fluvial, actividades recreativas y de educación, así como, alternativas productivas para los pobladores del corredor ribereño.

1.3. Objetivos

General

Proponer y evaluar la factibilidad de un modelo de rehabilitación del bosque ripario, en áreas de extracción de grava y arena en el río San Marcos, en el Municipio de San Miguel de Allende, Guanajuato.

Particulares

- 1.- Caracterizar y analizar el paisaje del área de trabajo, determinar las características físicas (geomorfológicas) críticas en la zona e Identificar los impactos de deterioro en el sitio de trabajo.

- 2.- Evaluar la calidad de los ecosistemas de ribera y analizar la estructura y composición de la vegetación riparia.

- 3.- Hacer un diagnóstico participativo con pobladores de la comunidad de Cruz del Palmar por medio de talleres y entrevistas para conocer la situación socio-económica de la zona de estudio.

- 4.- Proponer y evaluar la factibilidad de un modelo de rehabilitación del bosque ripario impactado por la extracción de grava y arena en un tramo del río San Marcos.

II. ANTECEDENTES

2.1.- Las Cuencas Hidrográficas

El Instituto Nacional de Ecología (INE) en su página de internet define a la cuenca hidrográfica como: Unidad natural definida por la existencia de la divisoria de las aguas en un territorio dado. Las cuencas hidrográficas son unidades morfográficas superficiales. Sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones; también conocido como "parteaguas". El parteaguas, teóricamente, es una línea imaginaria que une los puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes pero de exposición opuesta; desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de emisión, en la zona hipsométricamente más baja. Al interior de las cuencas se pueden delimitar subcuencas o cuencas de orden inferior. Las divisorias que delimitan las subcuencas se conocen como parteaguas secundarios.

Los procesos de los ecosistemas que describen el intercambio de materia y flujo de energía a través de la vinculación de los elementos estructurales del ecosistema pueden ser vistos como un sistema: Dentro de la cuenca, se tienen los componentes hidrológicos, ecológicos, ambientales y socioeconómicos, cuyas funciones a continuación se describen:

Función Hidrológica

- 1.- Captación de agua de las diferentes fuentes de precipitación para formar escurrimiento de manantiales, ríos y arroyos.
- 2.- Almacenamiento del agua en sus diferentes formas y tiempos de duración.
- 3.- Descarga del agua como escurrimiento.

Función Ecológica

- 1.- Provee diversidad de sitios y rutas a lo largo de la cual se llevan a cabo interacciones entre las características de calidad física y química del agua.
- 2.- Provee de hábitat para la flora y fauna que constituyen los elementos biológicos del ecosistema y tienen interacciones entre las características físicas y biológicas del agua

Función Ambiental

- 1.- Constituyen sumideros de CO₂.
- 2.- Alberga bancos de germoplasma.
- 3.- Regula la recarga hídrica y los ciclos biogeoquímicos.
- 4.- Conserva la biodiversidad.
- 5.- Mantiene la integridad y la diversidad de los suelos

Función Socioeconómica

- 1.- Suministra recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas que dan sustento a la población.
- 2.- Provee de un espacio para el desarrollo social y cultural de la sociedad.
(<http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/conceptos.html>)

A nivel global, las cuencas hidrográficas están siendo sometidas a una fuerte presión antrópica que se traduce en una degradación de los recursos naturales, contaminación de cuerpos de agua, pérdida de biodiversidad, disminución de la productividad de la tierra, vulnerabilidad ante sequías e inundaciones, el incremento del riesgo de desastres naturales y la disminución de la calidad de vida de la población (Ortiz -Arrona, *et al.* 2004).

La cuenca, sea en forma independiente o interconectada con otras, es la unidad territorial más aceptada para la gestión integrada de los recursos hídricos. Las políticas para utilizar el territorio de una cuenca como base para la gestión del agua han tenido diferentes enfoques y una desigual evolución en los países de América Latina y el Caribe. Desde fines de los años treinta, en muchos de ellos se ha tratado de adoptar los modelos de gestión del agua a nivel de cuencas, pero ha habido –y hay actualmente– una serie de dificultades (Dourojeanni, *et al.* 2002).

La validez de usar el espacio conformado por una cuenca, o cuencas interconectadas, como territorio base para la gestión integrada del agua ha sido enfatizada y recomendada en todas las grandes conferencias internacionales sobre los recursos hídricos. Así, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua, Mar del Plata, Argentina, 14 al 25 de marzo de 1977, se recomendó que los países consideraran, “como cuestión urgente e importante, el establecimiento y fortalecimiento de direcciones de cuencas fluviales, con miras a lograr una planificación y ordenación de esas cuencas más eficientes e integradas respecto de todos los usos del agua”. (Dourojeanni, *et al.* 2002).

En la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente “El Desarrollo en la Perspectiva del Siglo XXI”, Dublín, Irlanda, 26 al 31 de enero de 1992, se recalcó que la “gestión eficaz establece una relación entre el uso del suelo y el aprovechamiento del agua en la totalidad de una cuenca hidrológica o un acuífero” y que la “entidad geográfica más apropiada para la planificación y gestión de los recursos hídricos es la cuenca fluvial” (Dourojeanni, *et al.* 2002).

2.2. La cuenca del río Laja

Es importante mencionar a la cuenca del río Laja (figura 1) debido a que es el río principal que recibe las aguas de la Cuenca del río San Marcos.

La cuenca de aportación de la presa Ignacio Allende corresponde a la cuenca alta del río Laja, ubicado en el Estado de Guanajuato, México; el cual es tributario del río Lerma localizado en la región hidrológica 12 denominada Lerma-Balsas-Santiago. Se localiza en el este del Estado de Guanajuato y se extiende hasta el sureste del mismo. La cuenca se localiza entre los paralelos 20° 15' 40" y 21° 32' 42" N y entre los meridianos 100° 11' 23" y 101° 31' 33" O, cubre una superficie de 701, 664 ha. Y drena una superficie de 7016.64 km²; los tributarios más importantes del río Laja son los ríos arrastres, Dolores, San Marcos, el Plan, el Carrizal, y Bocas (Torres B, *et al.* 2005).

De acuerdo con las cartas edafológicas del INEGI (1996), los suelos predominantes en la cuenca del río Laja son los Phaeozem lúvicos con 39.52% de la superficie total, los Phaeozem háplicos con 30.15%, los Litosoles con 8.3%, los Vertisoles, 6.21%, y el resto lo forman otras unidades de suelo de menor importancia. (Torres B, *et al.* 2005).

De acuerdo con la clasificación climática de Köpen, modificada por García (1973), el clima predominante en la cuenca es el semiseco templado con lluvias en verano BS1kw(w)(e)g, extremo con un porcentaje de lluvia invernal menor de 5%. Los datos climáticos promedio para la zona de estudio son: precipitación media anual 547.0mm, distribuida de junio a octubre; y temperatura media anual de 16.3°C, La información climática fue proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional, y la información hidrométrica por la comisión Nacional del Agua para 10 años de observación (1993-2002). (Torres B, *et al.* 2005)

de la región en cuanto a calidad del agua, pero es uno de los más impactados por la extracción de grava y arena de su cauce y las áreas de inundación. Como consecuencia de la extracción de materiales pétreos a lo largo del corredor ribereño, podemos encontrar sitios de extracción donde se han formado huecos funcionando como pequeños humedales, con un valor para el ecosistema ribereño muy alto, por lo que es necesario su conservación y aprovechamiento. Por eso, para el buen funcionamiento de los humedales y del corredor ribereño es importante la rehabilitación del bosque de ribera asociado a estas áreas de extracción (López, 2005).

2.3. La cuenca del río San Marcos

El presente trabajo se está llevando a cabo en la cuenca del río San Marcos, por lo que consideramos importante hacer una breve descripción de la cuenca. El Río San Marcos es el principal afluente que cruza la micro-cuenca de Cruz del Palmar y uno de los tributarios principales del río 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. En la parte alta de la cuenca se generan numerosos afluentes que fluyen hacia el este y después de unos 25 km de recorrido medio, forman ya un sólo cauce aguas abajo de un poblado llamado San Damián, después el cauce conserva una dirección este y finalmente entra a la margen derecha del río Laja cerca de la presa Ignacio Allende. La cuenca tiene un perímetro de 513 km².

En la (figura 2) se observa la ubicación de la Cuenca del río San Marcos en color amarillo, en color azul las sub-cuencas, en color rojo las micro-cuencas. Se resalta la micro-cuenca de cruz del palmar debido a que en ella se llevó a cabo el presente trabajo.

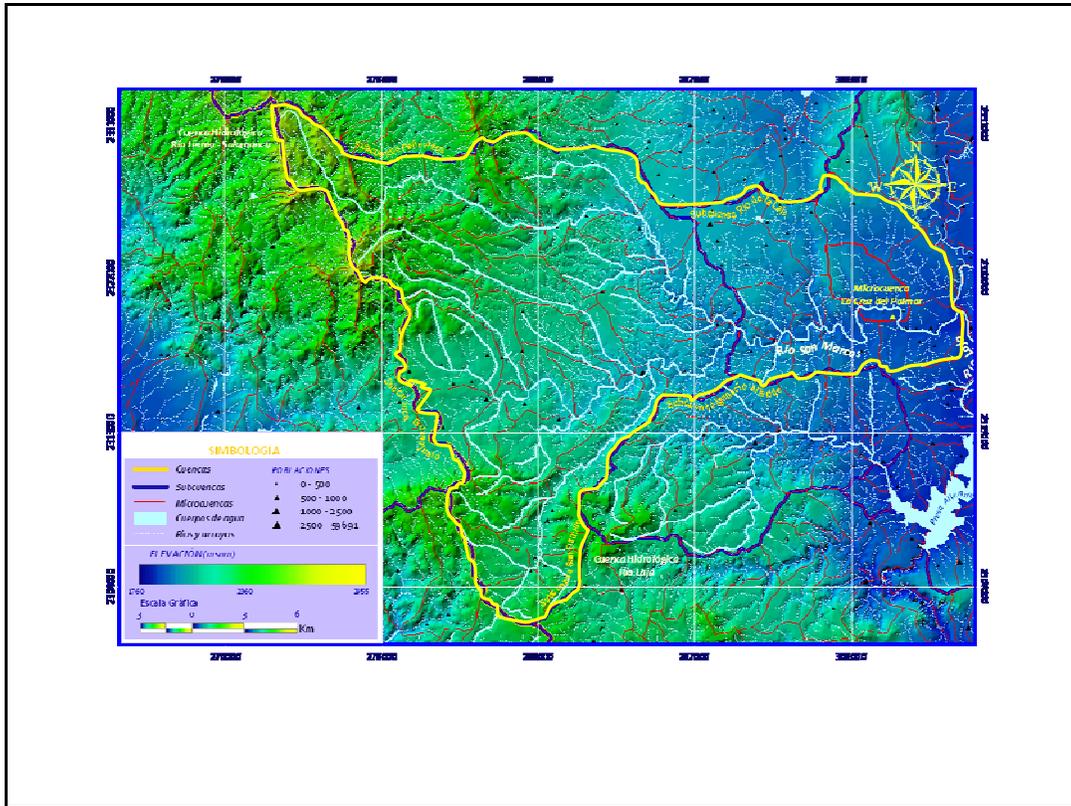


Figura 2.- Modelo digital de elevación y modelo de escurrimientos de la cuenca del río San Marcos, divididas en las sub-cuencas del río San Damián y de la Laja.

Fuente: Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro.

2.4. Componentes de las áreas fluviales

El cauce

El cauce menor o canal fluvial es un elemento geomorfológico que se encarga del transporte del caudal hídrico y sólido del sistema fluvial. Simple o múltiple, rectilíneo, dendriforme o trenzado, presenta cierto encajamiento que permite su delimitación y por él circula el caudal la mayor parte de los días del año. Sus caracteres (sección, profundidad, número de brazos, morfología del lecho y orillas) han sido conformados como respuesta de la interacción entre las condiciones geomorfológicas del terreno concreto por el que circula (litología, pendiente) y las características del flujo (cantidad, variación, régimen,

procesos extremos, caudal sólido.), que a su vez dependen del comportamiento de toda la cuenca vertiente. (Ureña, J. M. y Ollero, A. 2000)

La morfología del cauce (rápidos, remansos, meandros, trenzamientos, granulometría de los depósitos.) es vital para el ecosistema fluvial. En los espacios urbanos y rurales algunas de éstas características se modifican, lo que tiene una gran incidencia en la diversidad ecológica. (Ureña, J. M. y Ollero, A. 2000)

La morfología general del cauce permanece en líneas generales, pero sus elementos varían cada poco tiempo, algunos de ellos con flujos frecuentes de agua y sólidos (cambio suave y progresivo por los procesos continuos de erosión y sedimentación) y otros solo a partir de un caudal determinado (cambios bruscos de trazado como consecuencia de las avenidas importantes); por ello, el cauce no es rígido sino dinámico. (Ureña, J. M. y Ollero, A. 2000)

El corredor ribereño

Es el área de interfase entre el ecosistema acuático y el terrestre, un espacio en el que se mueve el cauce. Se caracteriza por un nivel freático alto, responsable del desarrollo de masas de vegetación de ribera. La dinámica del cauce puede provocar la escisión de brazos abandonados, paleo-cauces que pueden mantener durante décadas una lámina de agua y vegetación asociada, convirtiéndose en valiosos humedales (Ollero, 1996). Otra característica de este corredor ripario es su topografía muy llana pero irregular, labrada por las aguas de desbordamiento. Así pues, el corredor es la banda central de la llanura de inundación, la franja que integra el cauce, su cortejo de bosques ribereños y los paleo-cauces más recientes. (Ureña, J. M. y Ollero, A. 2000)

La vegetación de ribera destaca por su elevado gradiente ecológico, por su gran flexibilidad, por su vitalidad y su capacidad de regeneración y por un proceso de desarrollo compatible con la dinámica del cauce y con las

fluctuaciones del caudal. Su principal función es la de filtro de los procesos fluviales, disminuyendo la velocidad de la corriente, favoreciendo la sedimentación diferencial, reduciendo la turbidez del agua, fijando nutrientes, mejorando los parámetros de calidad del elemento hídrico y reforzando y estabilizando las orillas. (Ureña, J. M. y Ollero, A. 2000)

En general, el corredor ribereño presenta un ritmo de cambio más lento que el del cauce, pero puede registrar cambios bruscos como consecuencia de avenidas importantes. Las actividades que se ubiquen sobre el mismo deberán ser compatibles con dicho proceso de cambio lateral y con el mantenimiento de los humedales y la vegetación riparia. (Ureña, J. M. y Ollero, A. 2000)

El llano de inundación

Es un espacio más extenso que integra a las áreas anteriores. También denominado cauce mayor, el río lo ocupa en procesos de crecida. Se trata de un terreno fundamentalmente llano, consolidado, de materiales sedimentarios y de una gran fertilidad. Su papel es fundamental en la disipación de energía de las aguas desbordadas y en el almacenamiento del caudal a lo largo del proceso de avenida, efecto laminador que repercute en la reducción del caudal-punta con el aplanamiento del hidrograma aguas abajo. Las actividades humanas que ocupen las llanuras de inundación deberán ser compatibles con la inundación periódica. (Ureña, J. M. y Ollero, A. 2000)

2.5. La vegetación riparia

Con el nombre de “bosques de galería” se conocen las agrupaciones arbóreas que se desarrollan a lo largo de corrientes de agua más o menos permanentes. Desde el punto de vista fisonómico y estructural se trata de un conjunto muy heterogéneo, pues su altura varía de 4 a más de 40 m y comprende árboles de hoja perenne, decidua o parcialmente decidua. Puede incluir numerosas trepadoras y epífitas o carecer por completo de ellas y si bien

a veces forma una gran espesura, a menudo asta constituido por árboles muy espaciados e irregularmente distribuidos. En la mayor parte de los casos estos bosques han sufrido intensas modificaciones debido a la acción del hombre, incluyendo la introducción y plantación de especies exóticas. En México estos bosques se presentan en altitudes de 0 a 2,800m y las especies dominantes más características pertenecen a los géneros:

Cuadro 1.- Géneros de especies dominantes en los bosques de galerías.

<i>Platanus,</i>	<i>Astianthus,</i>	<i>Acer,</i>
<i>Populus,</i>	<i>Ficus,</i>	<i>Alnus,</i>
<i>Salix,</i>	<i>Bambusa,</i>	<i>Carya</i>
<i>Taxodium,</i>	<i>Inga,</i>	<i>Fraxinus</i>
	<i>Pachira,</i>	

Fuente: (Rzedowski, 1998)

Los de la primera columna tienen tolerancias ecológicas muy vastas y están ampliamente distribuidos, aunque no se ha visto *Taxodium* en altitudes superiores a 2,500m, mientras que *Platanus* y *Populus* tienen una repartición algo irregular, faltando en muchas partes del país. Este último género es quizá de los más típicos en las zonas áridas y semiáridas del norte de México. En la segunda columna aparecen árboles mas bien restringidos a condiciones de temperaturas elevadas. De éstos *Ficus* es el género más extendido, *Inga*, *Bambusa* y *Pachira* prefieren un clima húmedo, en cambio *Atianthus* existe en regiones de larga temporada de sequías, donde las corrientes llegan a secarse durante varios meses. El tercer grupo incluye plantas propias de climas más frescos, siendo las especies de *Alnus* las más extendidas y frecuentes, mientras que las de los demás géneros son más esporádicas. (Rzedowski, 1998)

Además de los citados muchos otros árboles pueden formar parte de los bosques en galería, como por ejemplo:

Cuadro 2.- Árboles presentes en los bosques de galerías.

<i>Celtis</i>	<i>Bucida</i>
<i>Chilopsis</i>	<i>Cedrela</i>
<i>Cornus</i>	<i>Chlorophora</i>
<i>Cupressus</i>	<i>Coccoloba</i>
<i>Juglans</i>	<i>Enterolobium</i>
<i>Prosopis</i>	<i>Guazuma</i>
<i>Prunus</i>	<i>Hasseltia</i>
<i>Quercus</i>	<i>Lonchocarpus</i>
<i>Tamarix</i>	<i>Piscidia</i>
<i>Viburnum</i>	<i>Pithecellobium</i>
	<i>Pouteria</i>
	<i>Tabebuia</i>
	<i>Trophis</i>

Fuente: (Rzedowski, 1998)

Siendo los de la segunda columna propios de regiones calientes y más o menos húmedas, mientras que en la primera se agrupan más bien plantas características de clima fresco y de clima seco. (Rzedowski, 1998)

Diversos arbustos pueden participar en estas comunidades y a menudo en ausencia de árboles asumen el papel de dominantes, formando matorrales que pueden ser densos o espaciados. Generalmente miden 1 a 2m de alto y son perenifolios. Algunos de los géneros más frecuentemente encontrados son: *Acacia*, *Aeschynomene*, *Baccharis*, *Brickellia*, *Cephalanthus*, *Dalbergia*, *Heimia*, *Hibiscus*, *Hydrolea*, *Hymenoclea*, *Lindenia*, *Mimosa*, *Piper*, *Pluchea*, *Salix*, *Solanum* y *Vallesia*. (Rzedowski, 1998)

Los bosques riparios ocupan franjas angostas a lo largo de corrientes fluviales. Se distinguen de los bosques templados localizados en áreas aledañas por ser relativamente más altos, de mayor densidad, contener en proporción una mayor cantidad de biomasa, ser estructuralmente más complejos y poseer un mayor número de especies siempre verdes (Lamprecht, 1990).

Los servicios ecológicos que prestan estas comunidades son considerados de gran importancia, pues una comunidad conservada sirve de filtro entre el río y los ambientes adyacentes impide el flujo al torrente del río de agroquímicos y productos orgánicos utilizados como insumos agrícolas y desechos agropecuarios, además de amortiguar algunos de los procesos de sedimentación de los lechos de los ríos. Estos servicios ecológicos mantienen la calidad del agua y proveen protección contra las inundaciones y la erosión (Timoney *et al.* 1997).

La vegetación de riparia es, probablemente, la vegetación más intensamente transformada por la actividad humana y la menos conocida. Las características de los suelos propios del medio ribereño son tales que, en casi todos aquellos valles en los que la accesibilidad es suficiente, los bosques riparios han sido eliminados, fragmentados o profundamente modificados y reducidos a una estrecha franja junto al cauce. (Ministerio de Medio Ambiente de España. 2007)

Entre las principales amenazas para la conservación de estos bosques se encuentran su sustitución por cultivos agrícolas y forestales, el encauzamiento de los tramos sobre los que se asientan, la construcción de infraestructuras hidráulicas y la contaminación por especies invasoras. La estrecha relación que la vegetación de ribera tiene con el estado del medio fluvial convierte las alteraciones de estos sistemas en serios problemas para el mantenimiento de las dimensiones y diversidad de los sotos. (Ministerio de Medio Ambiente de España. 2007)

Por otro lado, la adecuada comprensión de las formaciones vegetales de ribera requiere el empleo de un criterio unificado que permita caracterizar con homogeneidad las diferentes comunidades riparias, de forma que se permita la identificación de tramos de ríos con elevado valor ecológico, y que posibilite la selección adecuada de especies vegetales para la recuperación de ríos y riberas degradadas. (Ministerio de Medio Ambiente de España, 2007)

Las funciones que desempeñan los bosques riparios, pueden considerarse que tienen un carácter múltiple, pero entre ellas cabe destacar las que se citan a continuación por el Ministerio de Medio Ambiente de España:

- Regulan el microclima del río.
- Aseguran la estabilidad de las orillas.
- Regulan el crecimiento de macrófitas.
- Son un hábitat ideal para un gran número de especies animales y vegetales.
- Suponen una fuente de alimento para las especies que albergan.
- Actúan como filtro frente a la entrada de sedimentos y sustancias químicas en el cauce.
- Cumplen un papel de acumuladores de agua y sedimentos.
- Funcionan como zonas de recarga de aguas subterráneas.
- Poseen un gran valor paisajístico, recreativo y cultural.

En lo que se refiere a la anchura del bosque ribereño, se ha encontrado que el mínimo necesario para el mantenimiento de los componentes biológicos de áreas inundadas y ríos es de 30 metros. Sin embargo, en condiciones muy específicas se pueden aceptar zonas ribereñas mayores o menores. También se ha establecido que para la distribución y diversidad de las especies silvestres en zonas templadas, los anchos sugeridos están entre 3 y 106 metros, dependiendo de los recursos necesarios de cada especie. (Ceccon, 2003).

Por otro lado, el papel del bosque ribereño como corredor y lugar de alimento y descanso para la fauna silvestre es indiscutible e independiente de su ancho. Se ha concluido que todos los parches de bosques ribereños en el sureste de Arizona son importantes como sitios de reposo para animales migrantes, independientemente del tamaño y el grado de aislamiento o conectividad en relación con otros fragmentos de bosque. (Ceccon, 2003).

Dada su importancia ecológica, y las ventajas prácticas asociadas a una buena conservación de los bosques aluviales, parece necesaria y urgente la adopción de medidas encaminadas a la protección y regeneración de estos medios. Para ello, es imprescindible contar con un conocimiento real del estado de la vegetación de los ríos, a partir de la elaboración de inventarios, caracterización y valoración de estas comunidades. (Ministerio de Medio Ambiente de España, 2007).

2.6. Factores que alteran los ecosistemas fluviales.

Son muchas las causas de destrucción de las riberas y así diferentes autores (Yon & Tendrán, 1981; Malanson, 1993) las resumen como sigue:

Causas directas:

- Agricultura y ganadería
- Minería
- Industria
- Transporte y comunicación
- Urbanización

Causas indirectas:

- Presas y embalses
- Canalizaciones
- Protección de márgenes
- Contaminación

A continuación se explican con mayor detalle algunos de los factores que alteran los ecosistemas riparios.

Construcción de presas y embalses

Son numerosos los estudios realizados sobre el efecto de las presas en la vegetación de las riberas. En síntesis puede decirse que la regulación de los caudales deteriora el bosque ripario por varios motivos; en primer lugar, la eliminación de las avenidas ordinarias disminuye la humedad de las zonas riparias, generando en ocasiones estrés hídrico, especialmente en las zonas

más secas; en segundo lugar, el cambio geomorfológico debido a ésta regulación, con disminución de la sinuosidad y reducción de los procesos de sedimentación, inhibe la creación de sustratos necesarios para la germinación de las semillas de muchas especies (Rood & Mahoney, 1990).

Canalizaciones

Las canalizaciones y rectificaciones de los ríos, en especial cuando incluyen recubrimientos de las orillas con obras de fábrica, suponen la modificación de las condiciones riparias y la pérdida o empobrecimiento de su vegetación. (González del Tánago, 1998).

Estas intervenciones de modificación de los cauces, de forma similar a los embalses y trasvases, están íntimamente ligadas a la gestión del agua, cuando desde una perspectiva que tiende a minusvalorar los recursos de los ecosistemas fluviales, se fomenta o exagera su función como fuente del recurso hídrico, de energía eléctrica, o como vía de desagüe de las avenidas extraordinarias, cuyo control permite el aprovechamiento intensivo de las márgenes. (González del Tánago, 1998).

Ocupación de los cauces y las planicies de inundación

La forma de ocupación de los cauces y las planicies de inundación es entonces un tema altamente relevante para una buena gestión de cuencas y el agua. Su inadecuada utilización da origen a grandes pérdidas debido a inundaciones. Estas áreas tienden a ser intensamente utilizadas debido a que son altamente atractivas para la población, tanto de escasos recursos como para construcciones de lujo, dependiendo del desarrollo urbanístico del lugar. Ambos grupos de usuarios sufren las consecuencias de la inadecuada ocupación de las planicies de inundación y causan también problemas. (Dourojeanni, *et al.* 2002).

Estas áreas son atractivas porque proveen acceso fácil a paisajes y fuentes de suministro de agua, así como un medio para la disposición de aguas servidas (Pérez, 1996). Además, en algunos casos, poseen suelos fértiles debido a depósitos de sedimentos. Otros factores que contribuyen a su ocupación son la ignorancia sobre los riesgos que su uso acarrea consigo y el sentido de seguridad que experimentan algunos usuarios al conocer la implementación de medidas de control de inundaciones.

Extracción de grava y arena

Los impactos de la extracción de arenas de cauces aluviales pueden ser clasificados en tres categorías según (Ponce *et al.* 2000):

- ***Físicos***

La extracción en gran escala de materiales de cauces aluviales, la explotación de materiales y dragado debajo del fondo del cauce, y la alteración de la forma y sección del canal lleva a impactos tales como la erosión del lecho y bancos, aumento de la pendiente longitudinal del cauce, y cambios en la morfología del canal. Estos impactos pueden causar:

- El colapso de los bancos.
- La pérdida de terrenos adyacentes a los bancos.
- Erosión aguas arriba debido a aumentos en la pendiente del canal y cambios asociados en la velocidad de flujo.
- Erosión aguas abajo debido a una mayor capacidad de transporte de la corriente, cambios en los patrones de deposición aguas abajo, y cambios en el lecho y tipos de hábitat.

- ***Calidad del agua***

La extracción y dragado de materiales, la acumulación y eliminación no controlada de materiales de desecho, y los derrames de productos químicos y

combustibles pueden causar la reducción en la calidad del agua para usos domésticos, un mayor costo de tratamiento de agua y el envenenamiento de la vida acuática. (Ponce *et al.* 2000).

- ***Ecológicos***

La extracción que lleva a la remoción del material de substrato, la eliminación de vegetación, y el almacenamiento de materiales en el cauce, tendrá impactos ecológicos. Estos impactos podrán tener efecto en la pérdida directa de hábitat en el cauce, el disturbio de especies que habitan los depósitos, reducción en la penetración de luz, reducción en la producción primaria, y una reducción de oportunidades de alimentación para las especies del sitio. (Ponce *et al.* 2000).

Contaminación puntual y difusa

La degradación de la calidad de los recursos hídricos es la resultante de la contaminación que afecta los cuerpos de agua, ya sean contaminantes originados por fuentes puntuales, como desagües industriales o domésticos, o por fuentes de origen difuso, como los generados por actividades urbanas o rurales (fertilizantes, agro-tóxicos, combustibles, solventes, etcétera). (Ceccon, 2003).

Las fuentes de contaminación difusa, debido a su carácter estacional y amplio (grandes áreas), son más difíciles de identificar y cuantificar, pues involucran el manejo de toda la cuenca. Por lo tanto la manutención de la biodiversidad o la rehabilitación de la vegetación natural en las márgenes de los cuerpos de agua representan la solución más eficiente en lo que se refiere a la disminución de la contaminación difusa, la rehabilitación de ecosistemas y la restauración del manto freático. (Ceccon, 2003).

2.7. Trabajos y técnicas para evaluar y rehabilitar ríos.

Existen varias investigaciones y trabajos relacionados a la rehabilitación de ríos en diferentes partes del planeta, que han contribuido al conocimiento de los sistemas fluviales y las interacciones existentes entre los humanos y estos importantes ecosistemas.

Según Ceccon (2003) la restauración de los bosques ribereños no necesita solamente de manejo forestal, sino también de manejo de la matriz del paisaje. Cuando se hace un acercamiento al paisaje se presenta un gran número de especies en los bosques ribereños remanentes en un complejo patrón de variación entre áreas y una gran variación de grados de perturbación antrópica, lo que hace imposible el establecimiento de un único modelo para la rehabilitación de este tipo de áreas degradadas. Por ésta razón las acciones de restauración de la vegetación deben ser adaptadas al ambiente local, a las condiciones del paisaje y a la situación económica y cultural de la población que en ella habita.

Rosgen tras 31 años de investigación en ríos naturales desarrolló un esquema práctico y universal aplicable para clasificar los ríos que implica observar los parámetros principales que funcionan en los procesos mecánicos del mantenimiento del río a través del tiempo. Su metodología para restauración de ríos, planeación de control y mantenimiento del canal no requiere de acero y concreto, sino que utilizan materiales nativos que permita 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. (López en prep.).

Munné y colaboradores, han desarrollado un índice para la evaluación y determinación de la calidad de los sistemas ribereños (llamado QBR), ésta metodología ha sido aplicada en tres cuencas mediterráneas, el Besós, el Llobregat, y el Foix (NE de la península Ibérica) en un total de 64 estaciones de muestreo. El QBR se mueve entre valores de 0 – 100, ponderando cuatro atributos:

- 1) Cobertura total de la vegetación de ribera
- 2) La estructura o grado de Madurez
- 3) La complejidad y naturalidad
- 4) El grado de alteración del canal fluvial

Este índice puede ser fácilmente calculado en el campo en unos pocos minutos, y ser usado, junto con indicadores biológicos de calidad de las aguas, para la determinación del estado ecológico de los ríos. (Munné, *et al.* 1998)

Ortiz-Arrona y colaboradores realizaron un trabajo en el río Ayuquila en el Estado de Jalisco, México en el cual evaluaron el estado ecológico de los bosques ribereños y analizaron las condiciones socio-ecológicas referentes al uso y manejo de estos bosques, así como la implementación de áreas demostrativas de restauración de la vegetación ribereña, desde una perspectiva participativa. En este estudio los investigadores colectaron datos de la composición y estructura de las especies leñosas (con diámetros > 2.5 cm DAP), condiciones geomorfológicas y de uso y manejo del sitio. En cada sitio se establecieron cinco transectos de 25 metros de longitud x 4 metros de ancho (100m²), ubicados de manera perpendicular al río y separados 20 metros entre ellos. Dentro de cada transecto se identificó y midió altura, diámetro, distancia del margen del río, estado o vigor. Se colectaron también datos del componente herbáceo y arbustivo. (Ortiz, 2004)

La realización de cualquier proyecto de protección, mejora o restauración de un área degradada o hábitat fluvial requiere conocer las interrelaciones principales de los diferentes componentes que integran este ecosistema, ya que el principal objetivo es recuperar un equilibrio en el río, lo más natural posible. También hay que tener en cuenta que este equilibrio nunca va a ser estable. El propio funcionamiento del río (avenida, sequía, etc.) lo convierte en un equilibrio de carácter dinámico. (Schmidt, 1999)

Por otro lado, el conocimiento del río incluye todas las perspectivas tanto territoriales como temporales. Hay que saber cuales son los condicionantes en toda la cuenca superior al tramo de actuación, así como los posibles efectos de la actuación se dejarán notar en los tramos inferiores del río. (Schmidt, 1999)

A la hora de una actuación puntual en un río, conviene observar sus consecuencias desde la distancia, pensando también en las posibles o necesarias actuaciones complementarias para recuperar un equilibrio dinámico. En este contexto, se puede reseñar que las actuaciones generalmente se estructuran en los siguientes niveles territoriales:

- Tratamientos y estructuras acuáticas, en el cauce.
- Estabilización y diversificación de la orilla.
- Reconstrucción de la llanura fluvial.
- Creación de un corredor fluvial.
- Gestión sostenible de la cuenca (agrícola, forestal, urbano, etc.).

Es especialmente importante que una restauración sea auto-sostenible en el tiempo, es decir que después de la fase de construcción y el mantenimiento necesario durante los primeros años, las funciones ecológicas se mantengan sin continua intervención humana. Para ello, es importante contar con la perspectiva temporal de la restauración en su diseño y ejecución, así como lograr que el impacto inicial desaparezca. (Schmidt, 1999)

El estudio del funcionamiento del ecosistema fluvial, junto con el análisis de las alteraciones, determinan los objetivos y los principios para la

restauración. Objetivos y principios, a su vez, son un escalón necesario para vincular los conocimientos adquiridos con las técnicas concretas de bioingeniería para la restauración de los ríos y riberas. (Schmidt, 1999)

Dentro de los objetivos de los proyectos encaminados hacia la conservación de ríos y riberas, se pueden establecer las siguientes cuatro categorías de mejora del hábitat (White, 1975):

1. Protección del hábitat: prevenir su deterioro, en especial aquel producido por los usos antrópicos.
2. Restauración del hábitat: recuperar el hábitat que ya se encuentra en estado degradado.
3. Mejora del hábitat: crear una mayor disponibilidad de hábitats de la que por las condiciones naturales existirían en el tramo o río.
4. Mantenimiento: realizar los esfuerzos necesarios para mantener las actuaciones incluidas en las categorías anteriores.

Generalmente, los proyectos de restauración incluyen actuaciones dirigidas hacia estas cuatro categorías y actúan a corto, medio y largo plazo. Por otro lado, las actuaciones a corto plazo, y directamente situadas en la zona de alteración solamente son necesarias y justificables bajo las siguientes condiciones (Payne & Copes, 1986):

- Cuando sea necesario restaurar el hábitat que ha sido dañado o alterado por la actividad humana o por catástrofes naturales, y no pueda ser restaurado de forma natural en un tiempo razonable.
- Cuando sea la única vía de proporcionar el hábitat desaparecido.
- Cuando la mejora de hábitat proporciona estructuras sustancialmente mejores que el proceso natural.

Tratándose específicamente de los ecosistemas fluviales, existe una serie de principios de actuación que deben tenerse en cuenta para el diseño concreto de la restauración. Son los siguientes principios (González del Tanago & García de Jalón, 1995):

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

Actualmente un método de rehabilitación de las riberas es usando técnicas de bioingeniería o ingeniería naturalística que consiste en el uso de las plantas vivas o partes de éstas, conjuntamente con otros materiales naturales (madera, rocas, manta orgánica, metal) y otros sintéticos. (Herrera, 2005)

En realidad no se trata de algo novedoso, pues técnicas similares se utilizaban desde la época medieval y fueron abandonadas a principios del siglo XX con la aparición del hormigón o el acero. Actualmente, por fortuna para nuestro medio ambiente, estas técnicas se están recuperando y mejorando, aprovechando los conocimientos actuales y en función también de las nuevas demandas socioeconómicas y ambientales. La aplicación de técnicas de bioingeniería permite la acción anti-erosiva y de consolidación de taludes, recuperación de los ecosistemas naturales y por tanto de la fauna y flora asociadas, mejora estético-paisajística, creación de empleo y alternativa a la obra tradicional. (Herrera, 2005)

Un proyecto de intervención por medio de bioingeniería requiere de un estudio previo del espacio a restaurar, especialmente en el caso de ríos, que exigen sin excusa una valoración de aspectos faunísticos, botánicos, hidráulicos y geotécnicos. En definitiva, toda una gama de materiales: bio-rollos de fibra de coco, gaviones de red fotodegradable, geo-mallas orgánicas biodegradables y fotodegradables, mantas de vegetación acuática, islas flotantes de vegetación, etc., comprenden algunos de los materiales que se utilizan, junto con técnicas tradicionales o novedosas, para dar forma a un nuevo concepto de restauración ambiental. (Herrera, 2005)

III. METODOLOGIA

3.1.- Localización del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el Municipio de San Miguel de Allende, Guanajuato, en un tramo de 1,500 m lineales en la parte baja del río San Marcos, tributario del río Laja. El área de estudio abarca una extensión de aproximadamente 50 hectáreas ubicadas en la zona de extracción de grava y arena en uno de los meandros del río, cercano a la comunidad ribereña de Cruz del Palmar, marcado con un círculo rojo (figura 3). La microcuenca correspondiente es: 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), según datos de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado de Guanajuato.

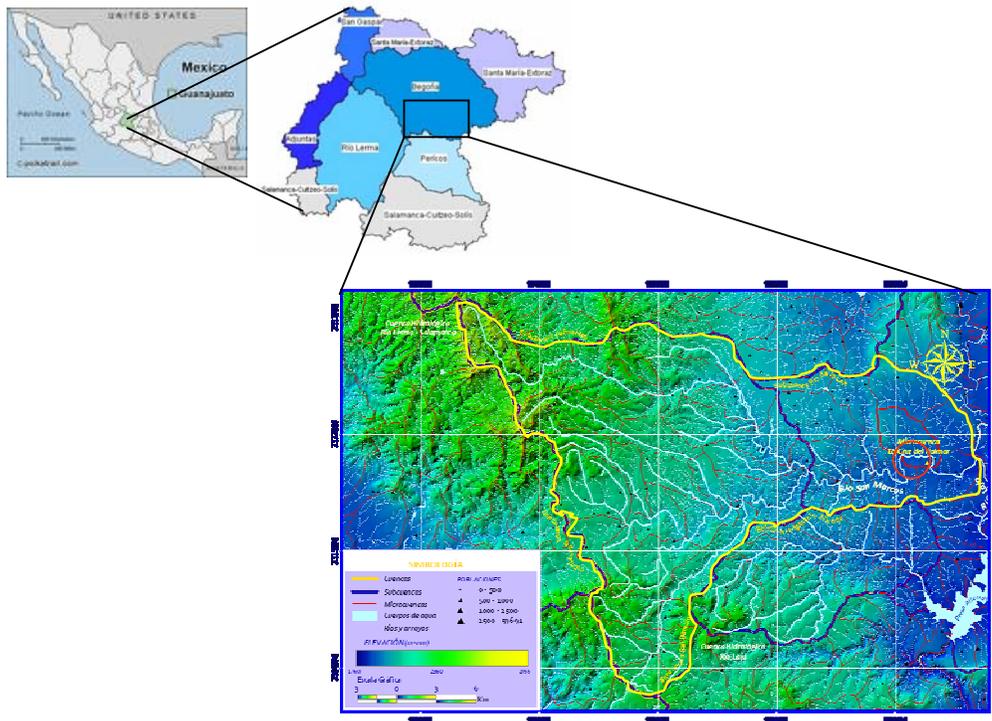


Figura 3.- Localización del área de estudio en la cuenca del río San Marcos, marcada con un círculo rojo.

En la (figura 4) se observa una imagen de satélite donde se marca con un círculo blanco la zona de estudio con un mayor acercamiento. La línea verde muestra el tramo de cauce estudiado y la línea roja la distancia en metros de forma lineal.

Los elementos principales empleados para delimitar el área 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 distancia de 1, 400 m de manera lineal entre ambos puntos estables (línea roja), y 1,950 m de cauce de río (línea verde) y una achura delimitada por su zona de inundación en ambos lados del río.



Figura 4.- Imagen de satélite donde se muestra la zona donde se llevó a cabo el presente trabajo. Fuente: Adaptado de Google Earth.

3.2.- Proceso Metodológico

La metodología utilizada para la realización de éste trabajo se basa en una visión integral de análisis e interpretación de la información, tomando en cuenta aspectos del paisaje, bióticos y sociales. A continuación se presenta el diagrama de flujo del proceso metodológico que se utilizó para la realización del presente trabajo:

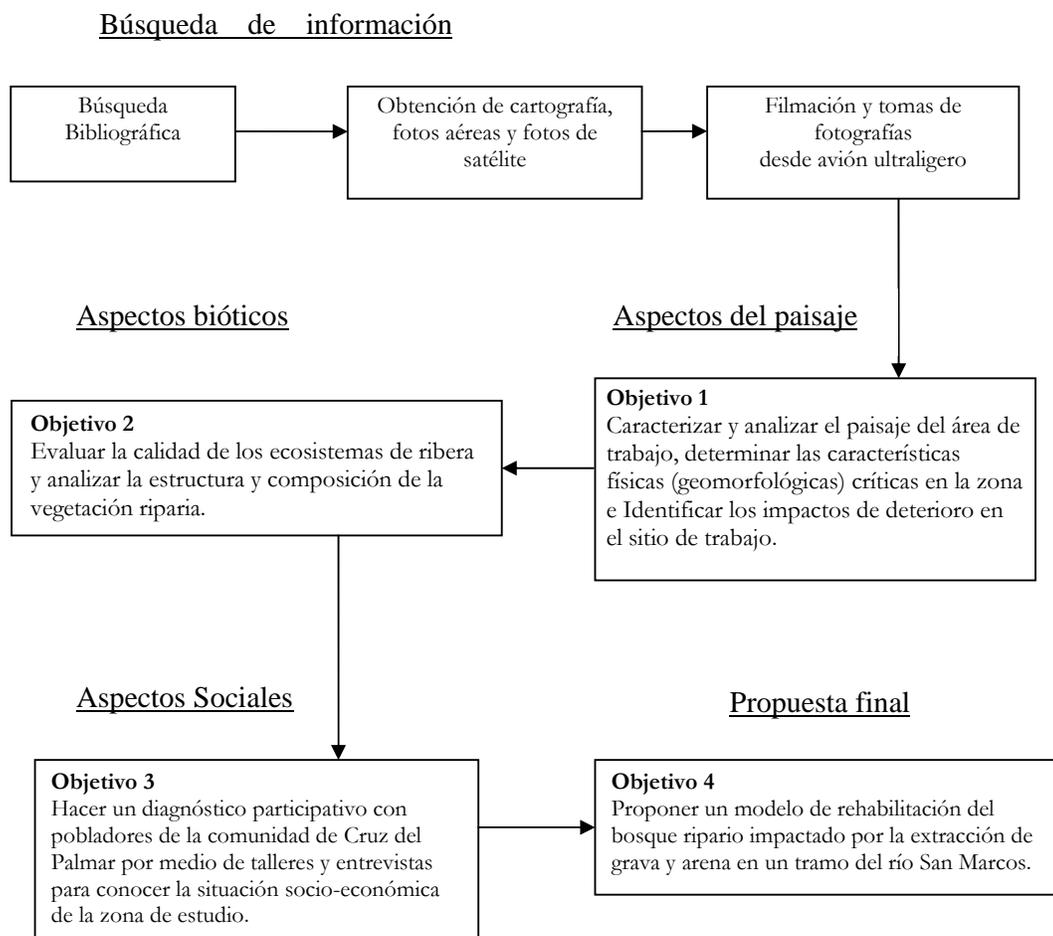


Figura 5.- Diagrama de flujo del proceso metodológico utilizado.

A continuación se describen de manera más detallada los cuatro pasos del proceso metodológico que se siguieron en éste estudio:

1.- Caracterizar y analizar el paisaje del área de trabajo, determinar las características físicas (geomorfológicas) críticas en la zona e identificar los impactos de deterioro en el sitio de trabajo.

El paisaje del área de trabajo

Se caracterizó y analizó por medio de un SIG (Sistema de Información Geográfico) un tramo del corredor ribereño del río San Marcos, incorporando las variaciones espaciales de algunas características bióticas, abióticas y socio-económicas (centros de población, caminos, agricultura, vegetación, zonas impactadas) del área de trabajo. Según un enfoque jerárquico para identificar los distintos paisajes, sectores y unidades funcionales que constituyen el corredor.

- Se utilizaron dos ortofotos escala 1: 10,000 tomadas en el año 2003 de la zona.
- Se tomaron fotografías aéreas desde un avión ultraligero del área de estudio. Las fotos fueron tomadas el 10 de Junio del 2005.
- Se utilizó un SIG para la elaboración de los mapas y la interpretación de la información.
- Se utilizó el software de Arc View para la elaboración de cartografía.
- Se elaboró un mapa de uso actual del suelo y otro sobre zonas con impacto a nivel de paisaje.

Características geomorfológicas de la zona de trabajo.

Se utilizó la metodología de clasificación de ríos de Rosgen (1994) para determinar el tipo de río y algunas características geomorfológicas. (Ver anexos).

- Se determinaron tres perfiles del río usando un nivel láser.

- Se midieron en campo las zonas de interés con cintas métricas de 100 m

Los elementos que se midieron fueron los siguientes:

Áreas de inundación del río.

Perfiles del cauce en diferentes puntos del área de estudio.

Perfil del corredor.

Distancia lineal del área de estudio.

Distancia del cauce.

Franjas de vegetación (Zonas de amortiguamiento)

Identificación de Impactos de deterioro.

Se hicieron 10 recorridos de campo para identificar y caracterizar los impactos y sus causas. Los recorridos se hicieron entre los meses de Febrero a Mayo 2005 debido a que se puede trabajar dentro del cauce.

- Se hizo una identificación de impactos y se tomaron fotografías en el sitio.
- Se hizo una comparación del antes y el después a nivel de paisaje usando fotografías aéreas del año 1970, 1994, y 2003.

2.- Evaluar la calidad de los ecosistemas de ribera y analizar la estructura y composición de la vegetación riparia.

Cálculo del índice QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera.

Se utilizó un índice para la evaluación y determinación de la calidad de los sistemas ribereños (llamado QBR), desarrollado por Munné y colaboradores (1998), el cual ha sido aplicado en tres cuencas mediterráneas, el Besós, el Llobregat, y el Foix (NE de la península Ibérica) en un total de 64 estaciones de muestreo. El QBR se mueve entre valores de 0 – 100, ponderando cuatro atributos:

- 1) Cobertura total de la vegetación de ribera
- 2) La estructura o grado de Madurez
- 3) La complejidad y naturalidad
- 4) El grado de alteración del canal fluvial

Este índice puede ser fácilmente calculado en el campo en unos pocos minutos, y ser usado, junto con indicadores biológicos de calidad de las aguas, para la determinación del estado ecológico de los ríos. (Munné, *et al.* 1998)

El índice QBR consta de cuatro apartados que sintetizan diferentes aspectos cualitativos del estado de la zona de ribera: el porcentaje de recubrimiento vegetal, la estructura de este, el grado de naturalidad con respecto a las especies y las comunidades vegetales esperables, y el grado de alteración del canal fluvial desde un punto de vista físico. Cada apartado tiene la misma importancia en la cuantificación final del estado de la zona ribereña, y es puntuado, de manera independiente, con un mínimo de 0 puntos, y un máximo de 25. El resultado final del índice se obtiene de la suma de las puntuaciones de cada apartado. Así, el QBR da una puntuación a la zona de ribera que varía desde 0 (mínima calidad) hasta 100 (máxima calidad). El índice se calcula en una hoja de campo (Anexo 1) donde están anotadas las observaciones que tienen que hacerse y la puntuación en cada caso. (Munné, *et al.* 1998)

Obsérvese en la hoja de campo (anexos), que en cada apartado hay cuatro entradas, entre las que se debe escoger una. Las entradas puntúan 0, 5, 10, y 25 puntos según si indican un estado de la zona de ribera más o menos alejado del valor de referencia. Esta puntuación puede ser modificada, en positivo o en negativo, si se da alguna de las características especificadas para cada apartado, mediante la suma o la resta de 5 ó 10 puntos tantas veces como sea necesario. De todas formas, la puntuación final del apartado no podrá ser negativa ni superior a 25: los puntos por exceso o por defecto no se contabilizan. (Munné, *et al.* 1998)

Para calcular el QBR, en un determinado punto de muestreo, debe observarse la totalidad de la zona de ribera (la orilla y la ribera propiamente dicha) en una longitud de 100 metros aproximadamente. La orilla como se muestra en el dibujo de la hoja de campo, es la zona de avenidas ordinarias, con un tiempo de recurrencia de dos o tres años. Puede que no haya vegetación arbórea. La ribera es la zona sometida a avenidas de recurrencia superior, e incluye las terrazas fluviales cuando las hay. Los cálculos se realizan sobre el área que presenta potencialidad de albergar una masa vegetal permanente, de manera que no se cuentan las zonas con un sustrato duro, donde la vegetación no puede enraizarse (por ejemplo losas de piedra). Todos los porcentajes indicados hacen referencia al conjunto del margen derecho e izquierdo del río. (Munné, *et al.* 1998)

En la hoja de campo (ver anexos) tiene que constar la localidad donde se mide el QBR, así como la fecha del muestreo. Conviene remarcar también las opciones escogidas en cada apartado, y no solo la puntuación final, para poder tener una idea más amplia de la zona muestreada y contrastar los resultados posteriormente. (Munné, *et al.* 1998)

En los (anexos) se explican y describen con detalle los cuatro apartados de la hoja de campo.

Estructura y composición de la vegetación riparia.

Se hizo un estudio de la vegetación comparando una zona conservada, una zona media y una zona deteriorada de acuerdo con la metodología que propone Hernández (en prep.). La zona conservada fue el testigo. Para ello se establecieron dos sitios de muestreo en la zona conservada. En cada sitio de muestreo se establecieron dos cuadrantes de dos metros de ancho por 50 m de largo, de las especies arbóreas contenidas se contaron el número (frecuencia) de individuos. Se hizo una colecta de especies y se identificaron.

Los ejemplares colectados se determinaron y procesaron de acuerdo con Lot y Chiang (1986)

Las mediciones que se tomaron en cuenta fueron: Altura, que sirvió para determinar estructura (estratos, dosel); diámetros y radios de cobertura para determinar la cobertura vegetal; áreas basales y DAP (Diámetro a la Altura del Pecho) para determinar la dominancia. Hernández (en prep.).

Se midieron arbustos: tomando en cuenta la altura, área basal (diámetro en la base, radio de cobertura);

La medición de árboles se hizo tomando en cuenta: diámetro a la altura del pecho (DAP), altura, radio de cobertura.

Los valores que se determinaron fueron: densidad, dominancia, y frecuencia absolutas y relativas. Con estos datos se estimaron los valores de importancia (especies clave: las que tienen mayores valores de importancia). Hernández (en prep.).

Las fórmulas que se utilizaron para la determinación de los datos fueron las siguientes:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de individuos}}{\text{Área muestreada}}$$

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{densidad de una especie}}{\text{Densidad de todas las spp.}} \times 100$$

$$\text{Dominancia} = \frac{\text{valores totales de áreas basales o de cobertura}}{\text{Área muestreada}}$$

$$\text{Dominancia relativa} = \frac{\text{dominancia de una especie}}{\text{Dominancia de todas las especies (tot)}} \times 100$$

$$\text{Frecuencia} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de cuadros (sitios) en que aparece una especie}}{\text{N}^\circ \text{ de cuadros muestreados}}$$

$$\text{Frecuencia relativa} = \frac{\text{Valores de frecuencia de una especie}}{\text{Valores de frecuencia de todas las especies}} \times 100$$

Valores de importancia = densidad rel. + dominancia rel. + frecuencia rel.

Finalmente con la información obtenida se determinaron los índices de diversidad que a continuación se explican y las fórmulas utilizadas:

Shannon-Wiener: Medida de la información contenida en un código o muestra. Da más peso a especies raras por que es más sensible a los cambios en esas especies. (Hernández, en prep.)

Índice de Shannon-Wiener

$$H = -\sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

Donde: P_i = abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i

Simpson: índice basado en la teoría de la probabilidad. Da mas peso a especies dominantes en comunidades con muchas especies. (Hernández, en prep.)

Índice de Simpson

$$\lambda = 1 / \sum_{i=1}^S p_i^2$$

3.- Hacer un diagnóstico participativo con pobladores de la comunidad de Cruz del Palmar por medio de talleres y entrevistas para conocer la situación socio-económica de la zona de estudio.

El éxito de cualquier proyecto de rehabilitación de ecosistemas riparios depende del grado de involucramiento de los habitantes locales desde su planeación, ejecución, monitoreo y evaluación. Por ello, el aspecto social, en el presente trabajo, fue fundamental.

Se aplicaron técnicas y metodologías de diagnósticos participativos, encuestas y entrevistas con los pobladores de la zona de estudio. Entre los sujetos sociales se encuentran los “Paleros”, extractores de grava y arena y dueños de parcelas agrícolas que han sido afectados por las avenidas del río en el área de inundación. Se utilizaron metodologías usadas en el manual “80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación de Geilfus, (1997).

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 son: 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), nos dice 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.

Diálogo con informantes clave.

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 que el río padece, haciendo referencia a la historia.

Permitió la información rápida, pertinente para orientar el trabajo y preparar ejercicios de grupo, así como para completar otros ejercicios o checar información. 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.

Diálogo con grupos.

Esta técnica es similar a la anterior, con la diferencia que se realiza de manera grupal, basada también en un dialogo semi-estructurado, 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.

Estrategias de vida.

Esta técnica consiste en entender las diferentes posibilidades de ingresos con que cuentan los pobladores así como las condiciones de acceso a ellas, bajo su propia visión. El método de aplicación incluyó el desarrollo de un taller participativo con agentes involucrados directamente en 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 complemento la información recabada.

Relaciones Institucionales.

Bajo la misma dinámica por equipos, ésta dinámica consistió en plasmar en papelógrafos la visión que tienen los habitantes de la comunidad acerca de las instituciones, organizaciones o cualquier otro actor dentro de la comunidad.

Línea del tiempo.

El desarrollo de esta herramienta está 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.

Mapa de recursos naturales del río.

Esta herramienta participativa consiste en hacer un dibujo en una hoja de rotafolio, donde elaborando se plasma 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 han cambiado.

Cuestionario

También se hizo un cuestionario que se les dejó a los habitantes para responder la siguiente pregunta: *¿Qué estarías dispuesto a hacer para mejorar las condiciones del río?* las opciones de respuesta fueron las siguientes:

- 1.- Dejar espacio entre las parcelas y el cauce.
- 2.- Educación y capacitación.
- 3.- Sembrar árboles.
- 4.- Evitar la extracción de grava y arena.
- 5.- No vender parcelas.
- 6.- Darle otros usos al río.

Se les indicó subrayar las respuestas que ellos consideraban importantes. Se escogieron 4 grupos de “sujetos sociales” cada uno con 10 personas para realizar la encuesta. Los sujetos sociales fueron:

- 1.- 10 Paleros
- 2.- 10 Agricultores
- 3.- 10 Mujeres
- 4.- 10 Jóvenes

Este cuestionario se hizo con la finalidad de conocer la opinión entre diferentes sectores de la población en relación a la disposición que tienen para hacer mejoras en el río.

4.- Proponer un modelo de rehabilitación del bosque ripario impactado por la extracción de grava y arena en un tramo del río San Marcos.

En este punto se hizo una integración de todo el proceso metodológico tomando en cuenta los aspectos geográficos, físicos, bióticos y sociales. La propuesta del modelo de rehabilitación deberá considerar la experiencia local de los habitantes con base en los diagnósticos participativos.

El modelo de rehabilitación es el resultado principal de este trabajo de tesis. El análisis espacial de un tramo del corredor ribereño nos indicará la situación actual y futura del área propuesta para la rehabilitación. Los análisis de campo permiten ubicar los sitios a rehabilitar y escoger las técnicas apropiadas.

Los análisis de vegetación nos permitirán tener mayor información sobre el tipo de especies existentes en la zona de trabajo para poder hacer propuestas de re-vegetación con especies nativas y en los sitios donde sea necesario.

Otro método utilizado en la elaboración de la propuesta del modelo de rehabilitación es el uso de técnicas de ingeniería naturalística para recuperar sitios impactados o en proceso de deterioro. Las técnicas propuestas dependerán de la factibilidad de su aplicación en términos económicos, sociales y biofísicos.

Entre los aspectos a considerar en la elaboración del modelo de rehabilitación se propone:

Aspectos de Paisaje

Mapas temáticos (uso actual del suelo, ubicación de sitios a rehabilitar).

Fotografía aérea con fotomontaje.

Aspectos Físicos

Técnicas de control de erosión de paredes de la ribera.

Suavizar taludes de la ribera.

Aspectos Biológicos (Vegetación)

Protección de árboles que están a punto de caer.

Proponer una zona de amortiguamiento entre la ribera y los cultivos agrícolas.

Siembra de árboles (zonas de siembra y tipo de árboles).

Siembra de pastos.

Aspectos Sociales

Identificación de conflictos.

Organización comunitaria para la protección del río.

Proyectos productivos.

Seguimiento y monitoreo.

Aspectos legales.

IV. RESULTADOS

Los resultados que a continuación se presentan, están organizados conforme se fue desarrollando el proceso metodológico para mantener una secuencia lógica.

4.1.- Caracterización y análisis del paisaje del área de trabajo

Como podemos observar en la (figura 6), se hizo una caracterización de los componentes del paisaje y de los usos actuales del suelo, tomando como unidades del paisaje al río San Marcos en color amarillo, caminos en color rojo, zonas de extracción de grava y arena en color morado, agricultura de temporal en color verde, asentamientos humanos en color amarillo claro, el río Laja en azul claro y ríos tributarios en color azul fuerte. El recuadro marcado en color anaranjado muestra el área de estudio, donde se llevó acabo el presente trabajo.

Como se puede observar hay un gran porcentaje destinado a la agricultura de temporal a lo largo del corredor ribereño. Esta actividad representa la superficie con mayor extensión de uso.

Al analizar las fotografías se observó una gran fragmentación del bosque ripario, provocando una gran falta de conectividad entre las áreas boscosas en el corredor del río San Marcos. Esta fragmentación se debe principalmente a la actividad agrícola, ganadera y a la extracción de grava y arena.

A nivel de la cuenca del río San Marcos en la parte alta del río encontramos tres ríos que tributan al río San Marcos. Estos ríos que drenan al cause principal aportan gran cantidad de sedimento al río por la fácil erosividad del terreno, principalmente en las zonas altas de la cuenca por la poca vegetación existente. En la zona media del río hay un cañón donde la agricultura y la extracción de grava y arena se hacen imposibles. Después del cañón los terrenos se hacen mas bajos y los depósitos aluviales comienzan a caracterizar la zona apta para la agricultura y la extracción de grava y arena.

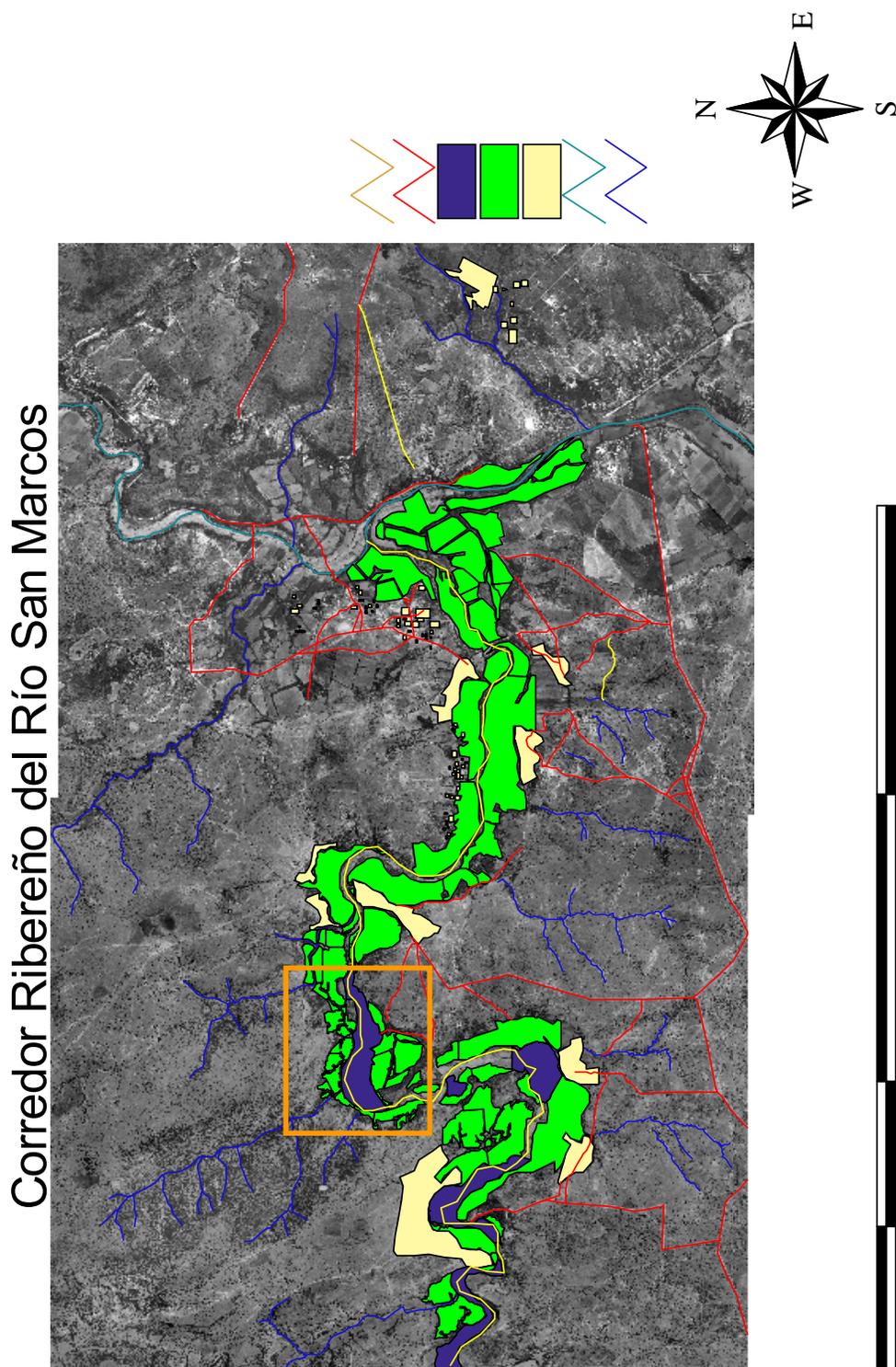


Figura 6.- Caracterización de los componentes del paisaje y de los usos actuales del suelo, en un tramo del corredor ribereño del río San Marcos.

A continuación se presentan una serie de fotografías del área de estudio tomadas desde un avión ultraligero para poder identificar las zonas con impacto a nivel de paisaje. En la (figura 7) podemos observar marcadas en color azul las áreas donde se han formado huecos profundos (de 2 a 3 m) hechos por la maquinaria que extrae grava y arena del río. Estos huecos en temporada de lluvia se llenan de agua funcionando como humedales artificiales brindando alimento y refugio a varias especies de aves migratorias.



Figura 7.- Zonas de Extracción donde se han formado huecos que se llenan de agua

En la (figura 8) podemos observar lo que es el cauce actual del río en este tramo estudiado.



Figura 8.- Cauce del Río San Marcos

En la (figura 9) se observa la zona impactada por la extracción de grava y arena en su totalidad en la zona de estudio. Esta área es la que presenta inundación en época de lluvia. La presencia de agua durante varios meses del año en esta zona provoca el crecimiento de varias especies de plantas acuáticas que sirven como refugio y alimento a varias especies de aves migratorias.



Figura 9.- Zona impactada por la extracción de materiales pétreos (grava y arena)

En la (figura 10) lo que se observa son los caminos utilizados por los camiones que transportan la grava y la arena. Los camiones utilizados son tolvas de 6 m³ y rastras de 20 m³ principalmente. Uno de los impactos que provocan son la compactación del suelo y el derrame de aceites.



Figura 10.- Caminos usados por los camiones que sacan material de grava y arena

En la (figura 11) podemos observar las parcelas destinadas a la agricultura en la zona de estudio. En estas parcelas de temporal se siembra principalmente maíz, frijol y calabaza. En la zona central de la fotografía podemos ver que todavía existe una parcela que no se ha vendido para ser explotada por los extractores de grava y arena, éste ejemplo nos muestra como las parcelas agrícolas se han perdido.



Figura 11.- Zonas de parcelas agrícolas en el área de inundación del río.

En la (figura 12) observamos la zona que al momento que fue tomada la fotografía estaba siendo explotada por los areneros usando maquinaria a gran escala.



Figura 12.- Zona de acumulación y de extracción de arena fina y grava.

4.2.- Características geomorfológicas de la zona de trabajo.

La diferencia entre los perfiles transversales dentro del área de estudio es significativa, al encontrarse tres tipos de ríos de acuerdo a la clasificación de Rosgen (1996) en un tramo menor a 1.5 km, lo que indica un alto grado de deterioro. Es decir que el tramo de río en estudio, considerando que las condiciones geomorfológicas es similar con relación a la pendiente del terreno, área de inundación, gasto de agua, arrastre de sedimento y zona de amortiguamiento, esperaríamos un solo tipo de río en toda la longitud del área de estudio. Esta situación establece que la rehabilitación del río debe tender a lograr un solo tipo de río acorde al encontrado en la zona testigo y que debe basarse en los parámetros que permiten su estabilidad.

A continuación se observa (figura 13) la ubicación donde se tomaron los datos de los perfiles en el área de estudio.

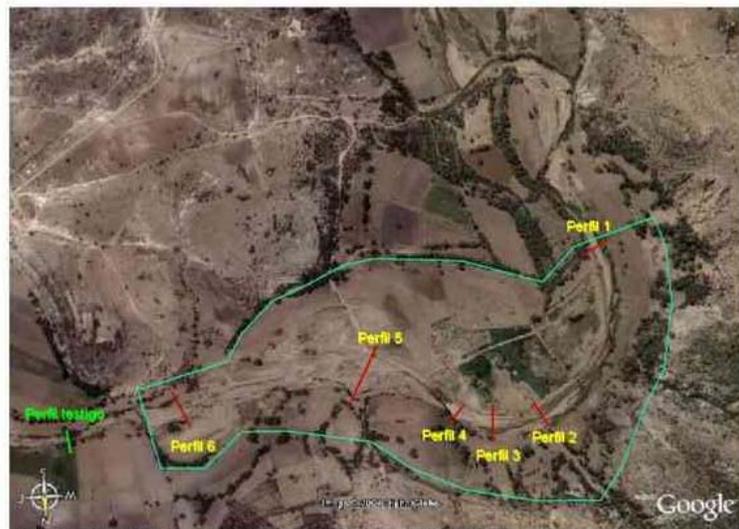


Figura 13. Ubicación de los perfiles en el área de estudio. La línea verde enmarca el área de estudio, las rojas los perfiles y el verde fuera del área indica el perfil testigo.

En este caso se presenta solamente los perfiles 2, 3 y el perfil testigo.

Dentro de la zona de estudio, el perfil 2 (figura 14) 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 del área de estudio.

El perfil 2 (figura 14) es del tipo “B5a” que en base a la clave rosgen la clasificación de tipo “B” está relacionado con su tasa de confinamiento, relación ancho profundidad y su sinuosidad; la subclasificación “5c” es en base a su pendiente y material o tipo de partículas dominante que el canal presenta o que procesa, correspondiendo a arenas.

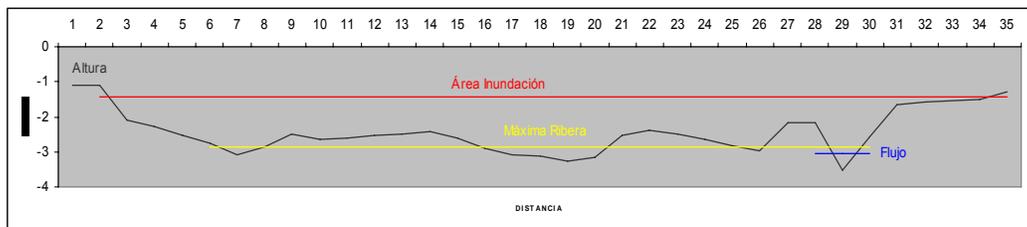


Figura 14. Perfil 2, río tipo “B5a”. La línea naranja indica el área de inundación, la amarilla la máxima ribera y la azul el flujo.

El perfil 3 (figura 15) es del tipo “C5c”, donde “C” representa una clasificación con tasa de confinamiento baja, relación ancho profundidad moderada así como su sinuosidad y, la subclasificación “5c”, de su relación pendiente y material o tipo de partículas (arena) dominante que el canal presenta o que esta procesando.

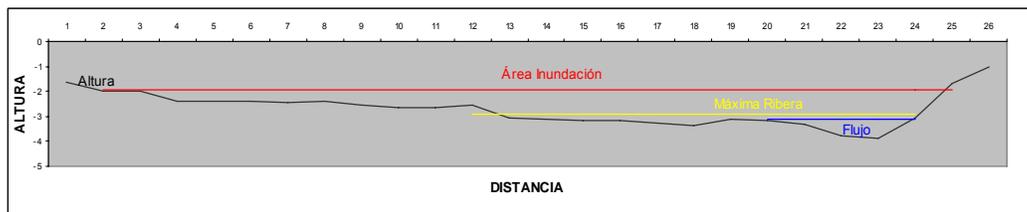


Figura 15. Perfil 3, río tipo “C5c”. La línea naranja indica el área de inundación, la amarilla la máxima ribera y la azul el flujo.

El perfil 7, perfil testigo (Figura 16) presenta la estabilidad requerida para generar la 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. Este se localizo aledaño a la parte baja (considerando la dirección del flujo de agua) del área de estudio, a 100m de la ubicación del límite.

El perfil testigo presentó un río tipo “B5c” que de acuerdo a la relación pendiente y sedimento es la adecuada junto con cualquiera de de los tipos “C” que deben regir toda la zona de estudio. Así, la clasificación tipo “B” presenta confinamiento, relación ancho profundidad y sinuosidad moderados, existiendo solo diferencia con el perfil 1 en lo referente al grado de pendiente, siendo menor en el de tipo “5c”, pero con taludes bien definidos y estables con una altura de arriba de 4m. Un ancho de canal del cauce constante de 3 m con una sinuosidad bien establecida como muestra la (figura 16). Un ancho de 20m para el cauce total en su parte baja y de 40m en la alta. La altura presentada en la figura del perfil 7 muestra una mínima de 4m para sus taludes del río, garantizando que aun en la máxima inundación hay un periodo de retorno de por lo menos 80 años.

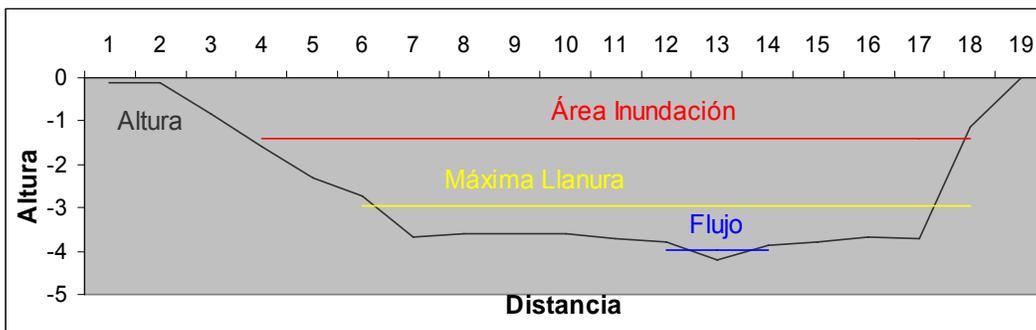


Figura 16. Grafico del perfil “Testigo” o de la zona estable que fue el indicador para parámetros de rehabilitación.

Perfiles de los bancos de la ribera.

En la (figura 17) podemos ver 5 perfiles del banco de la ribera y las distintas formas encontradas en la zona de estudio, las cuales nos indican el grado de fragilidad de la ribera. Las líneas azules nos muestran los niveles del agua.

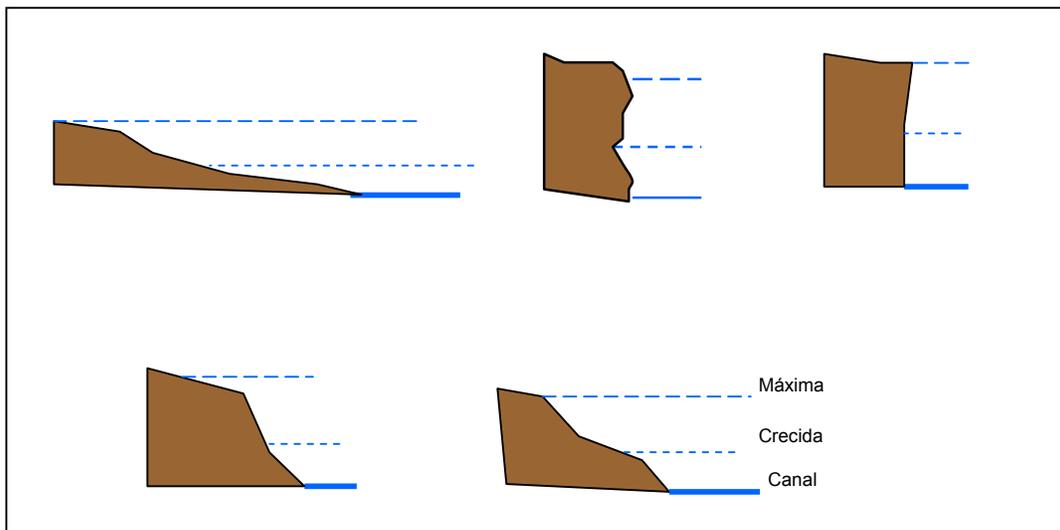


Figura 17.- Perfil de las diferentes formas de erosión, encontradas en los bancos de la ribera de la zona de estudio.

En la (figura 18) se observa el efecto de la erosión en los bancos de las riberas. En la fotografía aérea se distingue la zona que fue erosionada por la fuerza del agua. En la gráfica se muestra en color azul el cauce actual, en color negro lo que era el cauce original, en verde la zona de vegetación riparia y en rojo el área erosionada de la parcela.

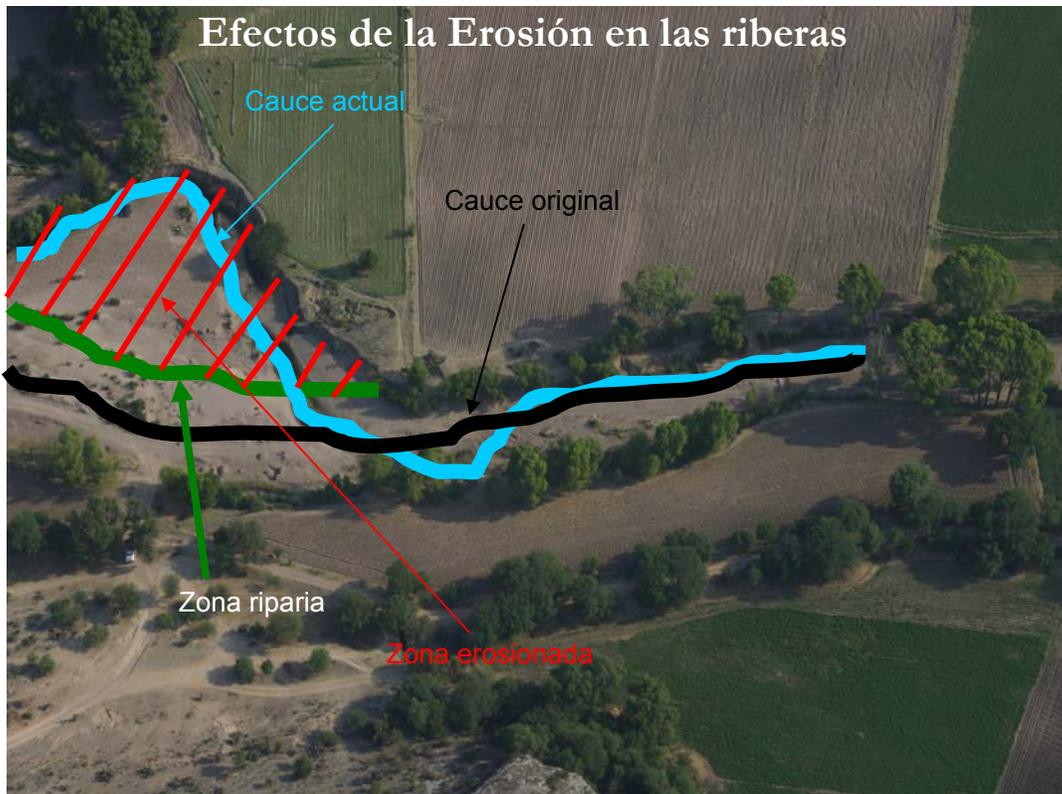


Figura 18.- Ejemplo de la erosión en los bancos de la ribera, causada principalmente por la extracción de grava y arena en sitios inadecuados.

Perfil del corredor.

Se hicieron las mediciones correspondientes a dos perfiles, uno en una zona estable del río y el otro en una zona inestable o con impacto provocado por las actividades extractivas de grava y arena. La ubicación donde se realizaron los perfiles se muestran en la (figura 19).

En la (figura 20) se puede observar un esquema del perfil en la zona estable y las medidas correspondientes al caudal bajo al cauce, máxima ribera, máxima crecida, ancho del corredor hasta donde inician las parcelas agrícolas, el ancho del bosque ripario, y la altura desde el punto más bajo del cauce hasta el talud más alto de la ribera.



Figura 19.- Ubicación donde se tomaron los datos del perfil estable e inestable, en la zona de estudio.

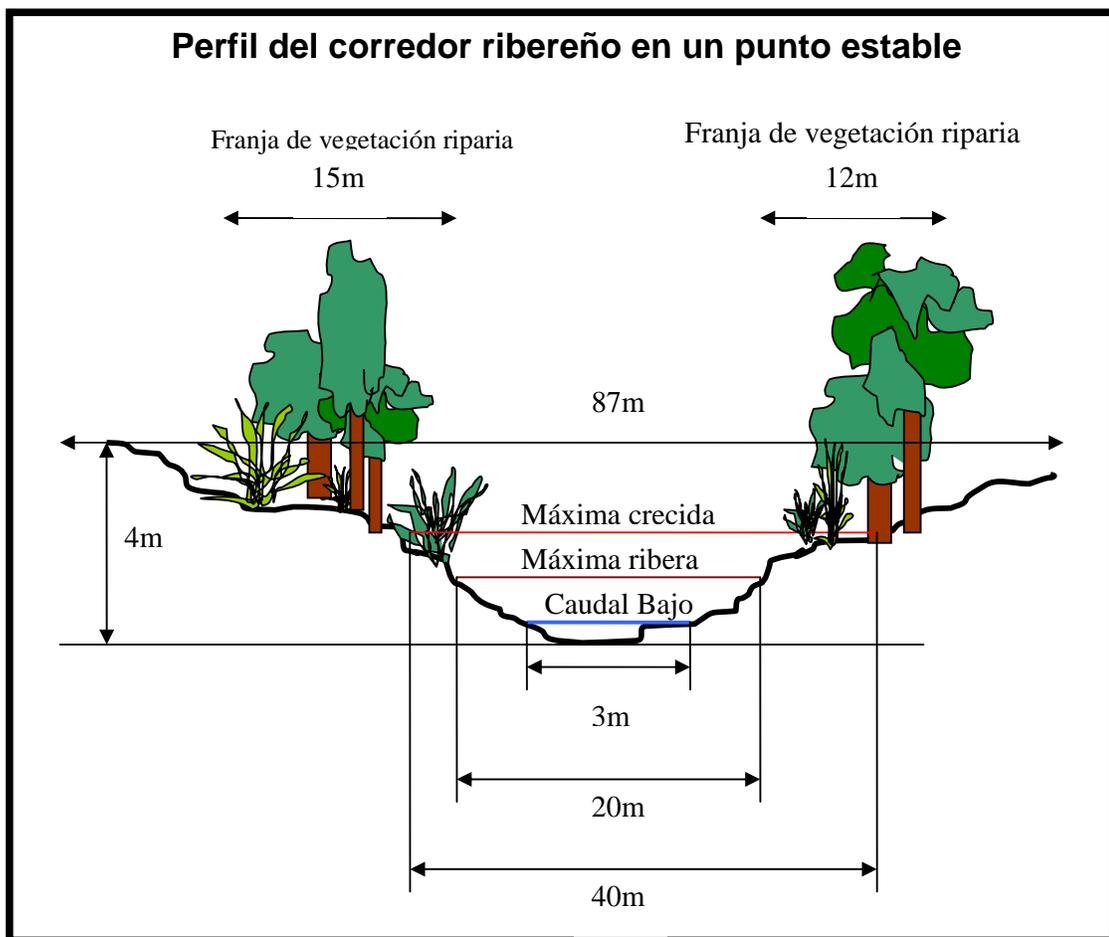


Figura 20.- Esquema de un perfil del río San Marcos y el corredor ripario con sus franjas de vegetación en uno de los puntos estables del área de trabajo.

En la (figura 21) se observa un esquema del perfil del cauce inestable alterado por las actividades antropogénicas en el sitio de estudio. Las distancias son mucho mayores y no existen franjas de vegetación.

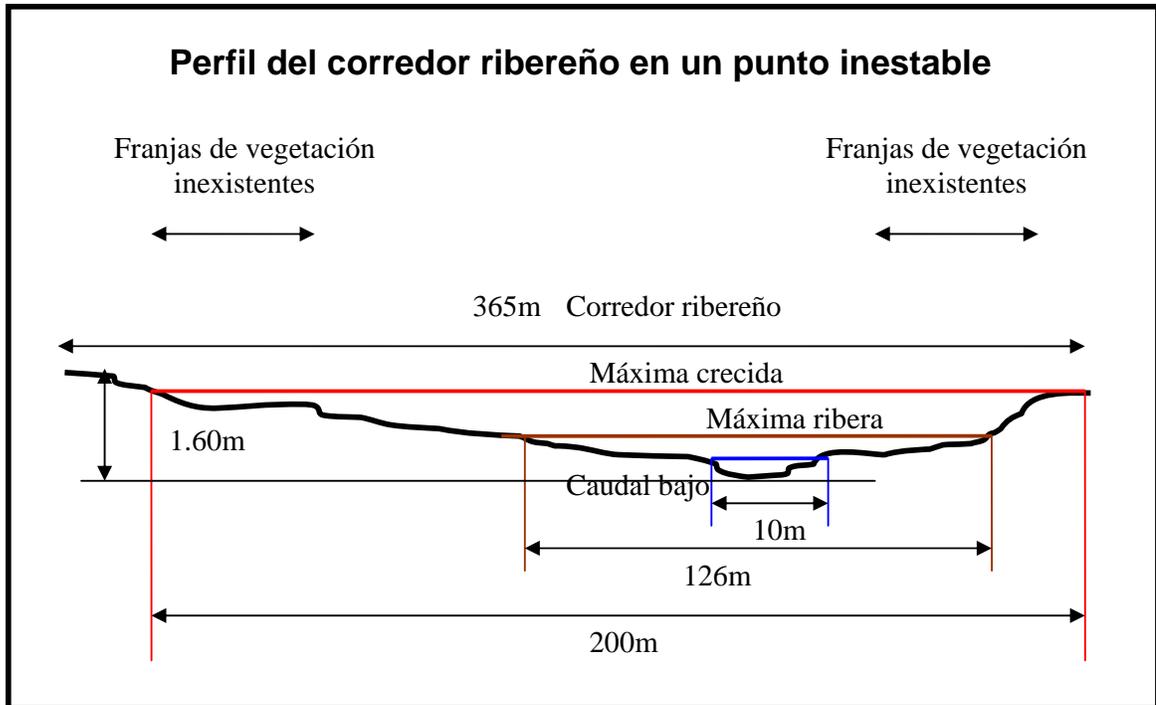


Figura 21.- Esquema de un perfil del río San Marcos y el corredor ripario con sus franjas de vegetación en uno de los puntos inestables del área de trabajo.

En la (foto 1) se puede observar el equipo de medición que consistió en un nivel láser, una cinta métrica y un par de estadales, utilizado para las mediciones de los perfiles del río y otras mediciones.



Foto 1.- Nivel láser con el que se midieron los perfiles del río.

Medición de franjas de vegetación riparia (zonas de amortiguamiento)

En éste estudio se consideraron como “zonas de amortiguamiento” las áreas entre el cauce y la zona de cultivo de las parcelas aledañas al cauce en ambos lados del río. Estas franjas de vegetación se midieron en once sitios cada 100 metros, partiendo del punto estable río arriba. A partir de ese punto la distancia total que se midió fue de 1,100 m siguiendo la sinuosidad del río. En cada sitio se midió el ancho del cauce y el ancho de estas franjas de vegetación, tomando como referencia los surcos de las parcelas de cultivo en ambos lados. El recorrido se hizo en época de secas. Los materiales que se utilizaron fueron, una cinta métrica de 100 m, un cuaderno y un lápiz. A continuación se pueden observar algunas fotografías de las mediciones que se tomaron.



Foto 2.- Medición del área con vegetación entre el cauce y la zona de cultivo



Foto 3.- Vista de las parcelas y la pequeña franja de vegetación.



Foto 4.- Midiendo el cauce



Foto 5.- Otra vista de las parcelas

Los resultados obtenidos al hacer las mediciones de las “zonas de amortiguamiento” se pueden observar en el (cuadro 3) y en la (figura 22):

Cuadro 3.- Mediciones del ancho del cauce, ancho de la zona de amortiguamiento 1 y ancho de la zona de amortiguamiento 2 en 11 sitios de medición en un tramo de 1,100 metros lineales de ribera en el área de estudio.

Sitio de medición	Ancho de la zona de amortiguamiento 1 (m)	Ancho del cauce (m)	Ancho de la zona de amortiguamiento 2 (m)
1	8.5	30.4	8.5
2	13.6	44	0.3
3	0	33	4
4	0	36.6	2
5	6.6	41.8	1.1
6	0	46.3	3
7	19	38	6
8	16.8	33.5	9.5
9	8	26.5	10.3
10	5.4	40.5	16
11	8.6	61	25

Comparación del ancho de las zonas de amortiguamiento de las dos riberas y el ancho del cauce

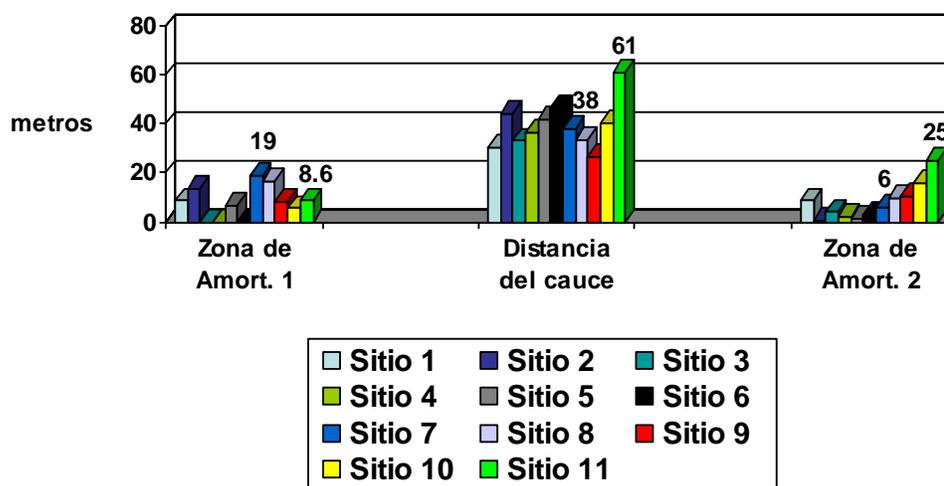


Figura 22.- Gráfica de los resultados de las mediciones del ancho del cauce y las zonas de amortiguamiento de las dos riberas.

En la (figura 22) se puede observar el graficado de los resultados de las mediciones de las zonas de amortiguamiento en cada lado de la ribera. El sitio 11 fue el que tuvo el cauce más ancho y el sitio 9 fue el del cauce más angosto.

En el caso de las zonas de amortiguamiento solo el sitio 11 de la ribera 2 sobrepasó los 20 metros de distancia, el resto de los sitios muestreados estuvieron por debajo de los 20 metros, lo que nos indica que queda una franja de vegetación muy angosta para las condiciones del tipo de cauce. En los sitios donde se midió el ancho del cauce sobrepasan los 5 m, por lo que la anchura de la zona federal o de ribera (en este caso considerada como zona de amortiguamiento o franja de vegetación riparia) no corresponde a la anchura del cauce.

En todos los sitios de medición solamente en un solo caso se sobrepasaron los 20 metros de franja de vegetación riparia o zona de amortiguamiento, pero con un ancho del cauce de 61 metros. Esta irregularidad en el cauce y en las zonas de amortiguamiento nos muestra el grado de impacto provocado por las actividades humanas en dicho sitio. En la (figura 23) se aprecia la ubicación de los sitios de medición en la zona de trabajo.

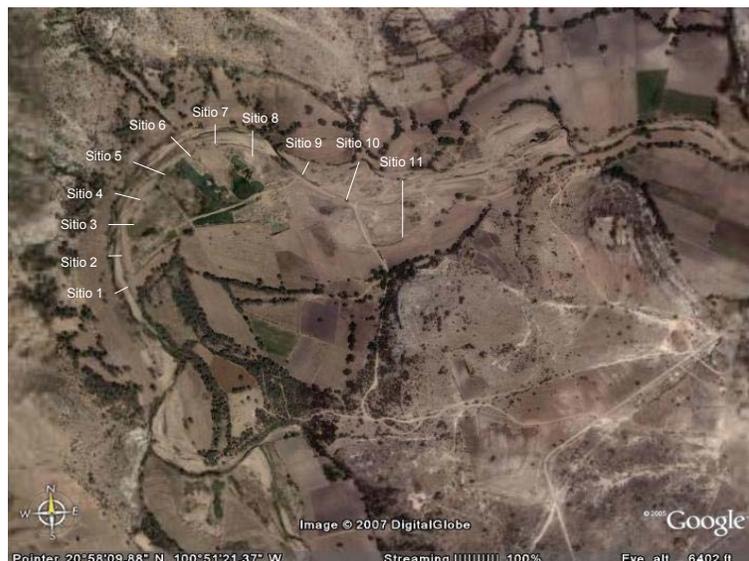


Figura 23.- Vista de satélite de la zona de estudio con la ubicación de los sitios de medición del cauce y las zonas de amortiguamiento.

4.3.- Impactos de deterioro en el sitio de trabajo.

En los 10 recorridos de campo que se hicieron al sitio de trabajo se identificaron varias actividades que causan impactos en el área de estudio. Se tomaron varias fotografías de los sitios con impacto, causados por factores antropogénicos y naturales. A continuación se muestran las siguientes fotografías:



Uno de los impactos mayores que encontramos en el sitio de trabajo fue la extracción de grava y arena en grandes volúmenes efectuada por maquinaria pesada en uno de los meandros del río San Marcos.

Foto 6.- Extracción de grava y arena a gran escala.



Se encontraron 3 sitios con árboles talados. Los árboles encontrados fueron álamos (*populus* sp.) y sauces (*salix* sp.) Se encontraron rodajas de álamo en tiendas de muebles en San Miguel de Allende, y personas de la comunidad de cruz del palmar talando para uso artesanal.

Foto 7.- Tala de árboles



Se pudo observar la erosión de los bancos de la ribera y la caída de sauces (*salix* sp.). Se identificaron tres sitios con ésta problemática en el área de estudio.

Foto 8.- Erosión de riberas y caída de árboles



Foto 9.- Corte de corteza

Se encontraron álamos (*populus* sp.) con un tramo de su corteza destruida. Pobladores locales nos comentaron que ésta práctica la realizan para provocar que se seque el árbol y lo puedan talar para vender la madera para hacer mesas.



Foto 10.- Corte de Jara

En los recorridos de campo pudimos observar gente que corta jara (*Baccharis* sp.) de la ribera con fines comerciales para la fabricación de cohetes usados en las fiestas tradicionales de la región.



Foto 11.- Derrame de aceite

Se pudo observar en el lecho del río varios derrames de aceites que suponemos fueron provocados por las operaciones de la maquinaria pesada usada en la extracción de grava y arena.



Foto 12.- Pastoreo de Caprinos

Otro impacto de deterioro en la ribera identificado fue el pastoreo constante de ganado vacuno y caprino en y a lo largo de la vegetación riparia, afectando los pastos y arbustos que le dan estabilidad a los bancos de la ribera. Existen aproximadamente 250 cabras y 120 vacas, solo en la comunidad de Cruz del Palmar, pero vecinos de otras comunidades también llevan a sus animales a pastorear a la zona.

A continuación se puede observar en las figuras (24 y 25) fotografías aéreas tomadas por el INEGI y cómo se ha modificado el cauce y la vegetación en la zona de estudio desde el año 1970 hasta el 2004.

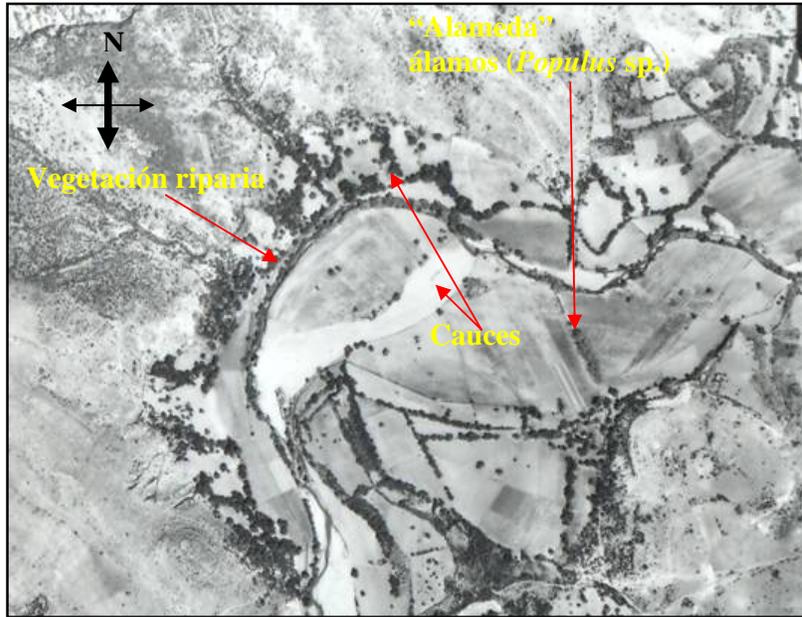


Figura 24.- Fotografía aérea de la zona de estudio en el año 1970.

Escala1: 20,000 Fuente: INEGI, 1970.

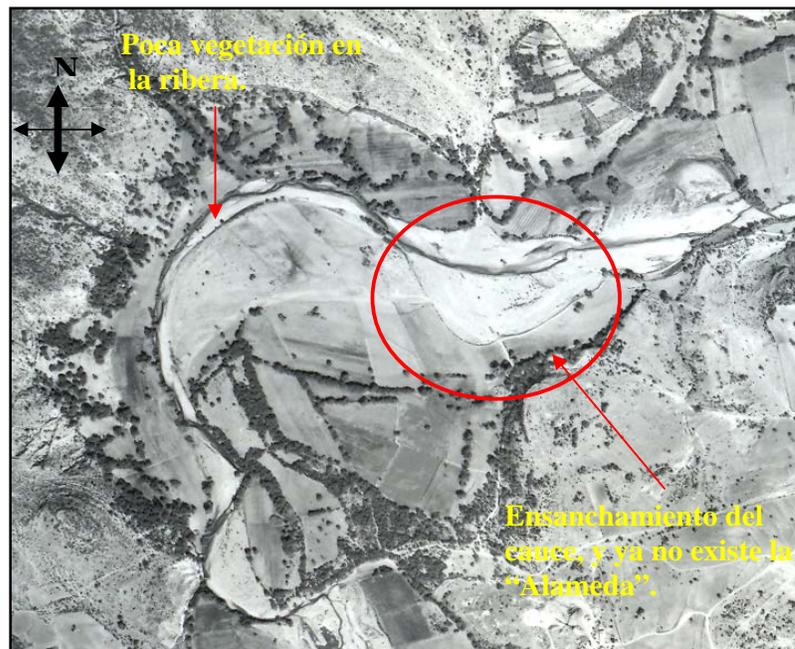


Figura 25.- Fotografía aérea de la zona de estudio en el año 1994.

Escala 1:20,000 Fuente: INEGI, 1994.

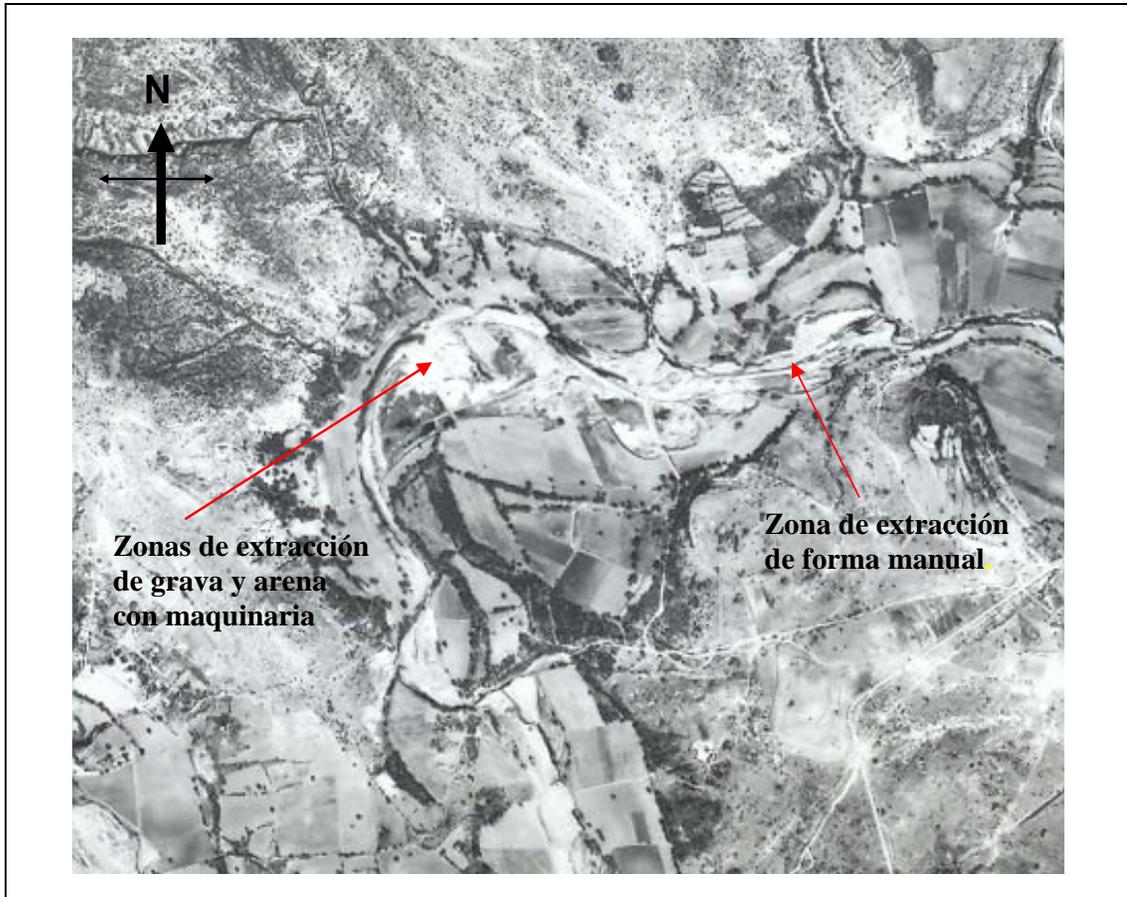


Figura 26.- Fotografía aérea de la zona de estudio en el año 2004.

Escala 1:40,000 Fuente: INEGI, 2004.

En la (figura 24) se pudo ver claramente el cauce del río entre las parcelas agrícolas, pero también hay un cauce en la zona del meandro. Los habitantes del lugar nos comentaron que el cauce se cambió de lugar a causa de una crecida del río. También se puede observar la “Alameda” (zona donde había álamos (*Populus* sp.) sembrados que se encontraba en la zona este del área de estudio en uno de los caminos que usaban los agricultores. También se puede observar mucha mayor conectividad y continuidad en el área del bosque ripario.

En la (figura 25) se aprecia nuevamente el cauce en su curso natural y acumulación de sedimento en el meandro donde había abierto un cauce nuevo. Lo que es evidente es que hay mucho menos vegetación en el cauce

original y una zona donde se ensancha el cauce de una manera desproporcionada, la destrucción de las parcelas agrícolas en el área de inundación es evidente y la zona de la “Alameda “ya no existe, comentan las personas de la comunidad de Cruz del Palmar que en esa época hubo mucha tala de árboles por la demanda de madera para usos artesanales (puertas de Mezquite (*Prosopis laevigata*) y tablones de Sauce (*Salix sp.*) y Álamo (*Populus sp.*) para construir mesas que principalmente se vendían en San Miguel de Allende.

En la (figura 26), tomada en el año 2004, se ve claramente como la actividad extractiva de grava y arena modificó completamente la zona. Primero podemos ver una serie de caminos que son usados por los camiones que sacan la grava y arena. Otro factor son la cantidad de huecos que se observan en la zona de inundación donde antiguamente los pobladores locales usaban estas zonas como áreas de cultivo. En ésta imagen se puede apreciar la fragmentación del bosque ripario y la nula continuidad del mismo.

Según los habitantes de la zona, a partir de los inicios del año 2000, fue cuando empezaron los concesionarios con maquinaria a extraer grandes volúmenes de material pétreo de éstas zonas del río San Marcos. Río arriba, en otras comunidades, con características similares, también se inició ésta actividad lucrativa. Los habitantes de la zona también empezaron a dedicarse a ésta actividad en sitios donde argumentan que antiguamente estaban sus parcelas.

4.4.- Evaluar la calidad de los ecosistemas de ribera.

Análisis visual de dos tramos de la ribera en el área de estudio.

En la (figura 27), se muestra el recorrido realizado por los dos lados de la ribera en el tramo “A” izquierdo, “B” derecho, con una distancia de 2,230 metros y 1,890 metros recorridos por cada lado para conocer las condiciones actuales de las dos riberas. En el recorrido se encontraron varias categorías del

status actual: ribera erosionada, ribera erosionada con siembra de sauces (*salix* sp.), ribera con vegetación, ribera estable con pendiente sin vegetación, bordo con montones de piedra. En la (figura 28), se muestran graficados los resultados de las condiciones actuales de la ribera 1 y 2 y el porcentaje que representan las diferentes condiciones encontradas en el recorrido.

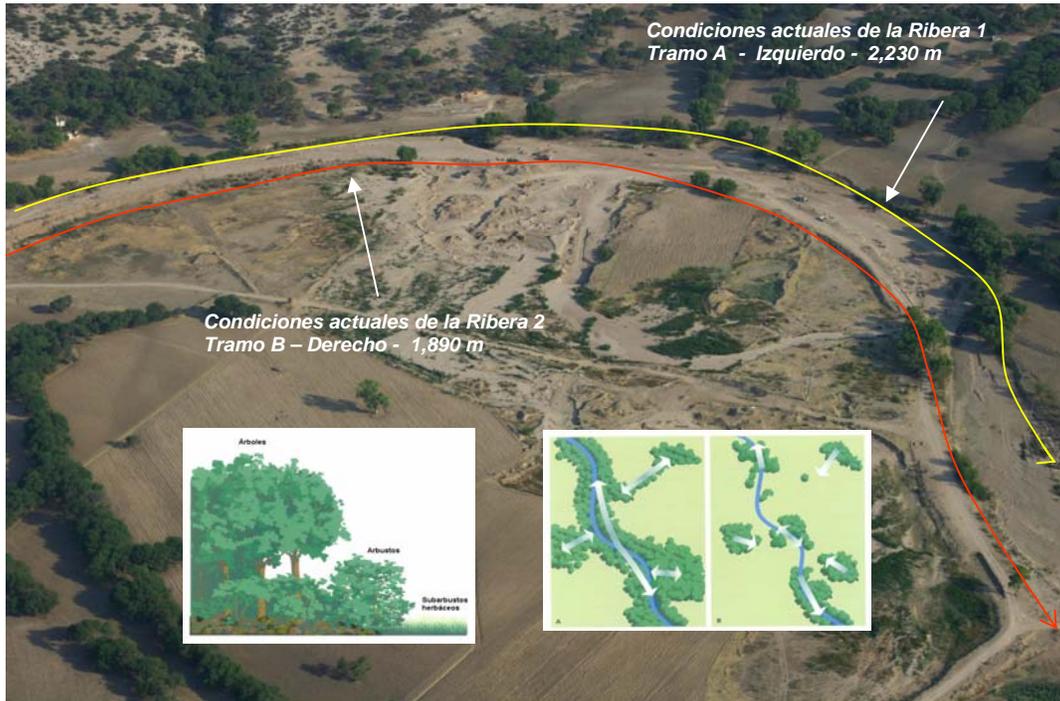
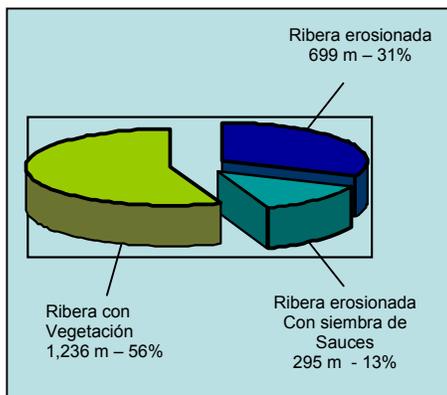


Figura 27.- Esquema del trayecto recorrido en el área de estudio para medir las condiciones actuales de la ribera 1 y ribera 2

**Condiciones actuales de la Ribera 1
Tramo A - Izquierdo - 2,230 m**



**Condiciones actuales de la Ribera 2
Tramo B - Derecho - 1,890 m**

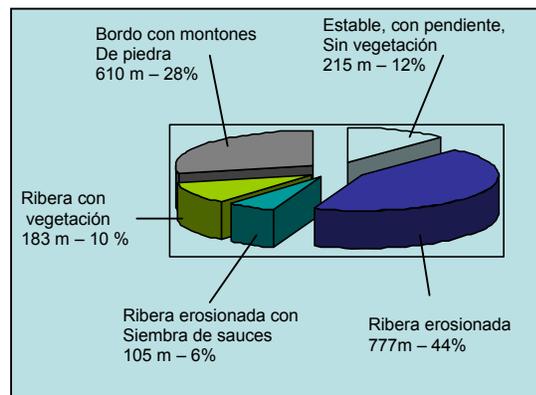


Figura 28.- Condiciones actuales de la ribera 1 y 2

Evaluación y determinación de la calidad de los sistemas ribereños
Índice QBR. Munné et al. (1998).

A continuación en el (cuadro 4), se presentan los resultados obtenido en el análisis realizado bajo la metodología de Munné et al. (1998). Para la evaluación y determinación de la calidad de los sistemas ribereños.

Cuadro 4.- Resultados de la evaluación y determinación de la calidad de la ribera en la estación uno de la zona de estudio.

Estación 1 (Zona de estudio) Meandro de cruz del palmar.

<u>Grado de cubierta de la zona de ribera</u>	<u>5</u>
<ul style="list-style-type: none">• 10 – 50 % de cubierta vegetal de la zona de ribera (5)• Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es inferior al 25% (-10)	
<u>Estructura de la Cubierta</u>	<u>0</u>
<ul style="list-style-type: none">• Recubrimiento de árboles inferior al 50% y el resto de la cubierta con arbustos entre 10 y 25 % (5)• Si los árboles y arbustos se distribuyen en manchas, sin una continuidad (-5)	
<u>Calidad de la cubierta</u>	<u>10</u>
<ul style="list-style-type: none">• Número de especies diferentes de árboles autóctonos Tipo 3 (3) (10)• Si el número diferente de arbustos es: >4 (+5)• Si existen estructuras construidas por el hombre (-5)	
<u>Grado de Naturalidad del Cauce fluvial</u>	<u>5</u>
<ul style="list-style-type: none">• Signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río. (5)	
<u>Puntuación Final</u>	<u>20</u>

En el (cuadro 5), se muestra el rango de calidad de los sistemas ribereños establecidos por Munné et al. (1998). Los resultados obtenidos nos indican una puntuación de 20, lo cual quiere decir, que la ribera estudiada tiene una degradación extrema, calidad pésima, según ésta metodología.

Cuadro 5.- Rangos de calidad del QBR.

<i>Puntuación</i>	<i>Calidad</i>	<i>Color</i>
≥ 95	<i>Ribera sin alteraciones, estado natural</i>	<i>Azul</i>
75 – 90	<i>Ribera ligeramente perturbada, calidad buena</i>	<i>Verde</i>
55 – 70	<i>Inicio de alteración importante, calidad aceptable</i>	<i>Amarillo</i>
30 – 50	<i>Alteración fuerte, calidad mala</i>	<i>Naranja</i>
0 – 25	<i>Degradación extrema, calidad pésima</i>	<i>Rojo</i>

Fuente: Munné et al. (1998).

4.5.- Estructura y composición de la vegetación riparia

Mediciones en campo de la vegetación ribereña.

Los resultados de los análisis de los tres sitios que se muestrearon nos indican claramente el grado de deterioro que tiene el corredor ribereño en el tramo estudiado. A continuación, en la (figura 29) se muestra la gráfica de cobertura de vegetación en m² por cada transecto que se midió. Los transectos se hicieron de 2 metros de ancho por 50 metros de largo.

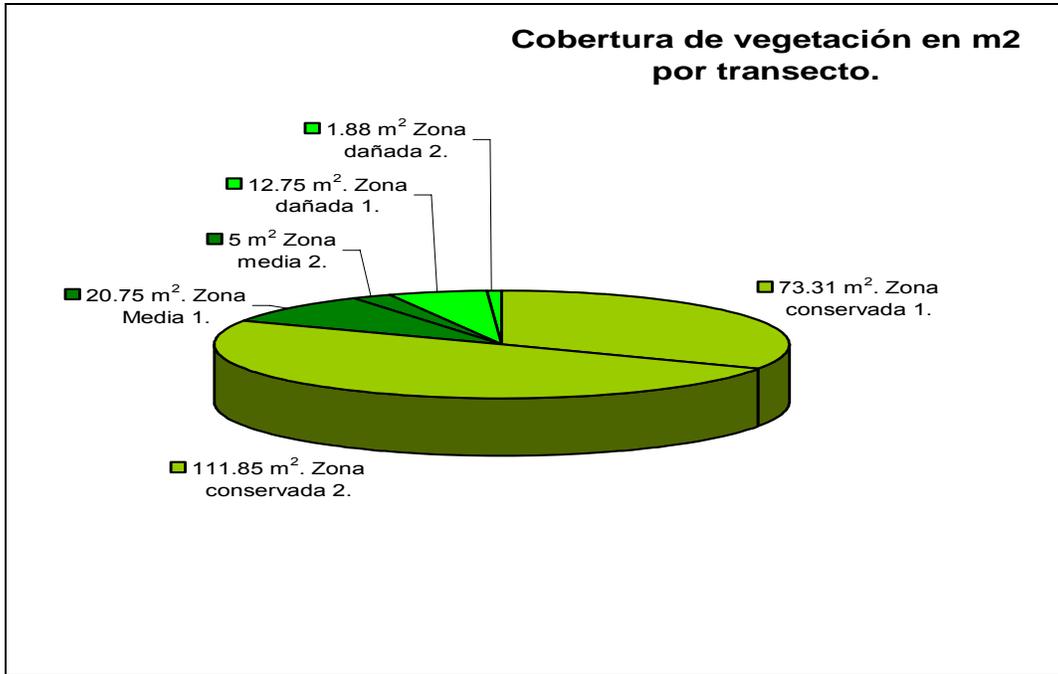
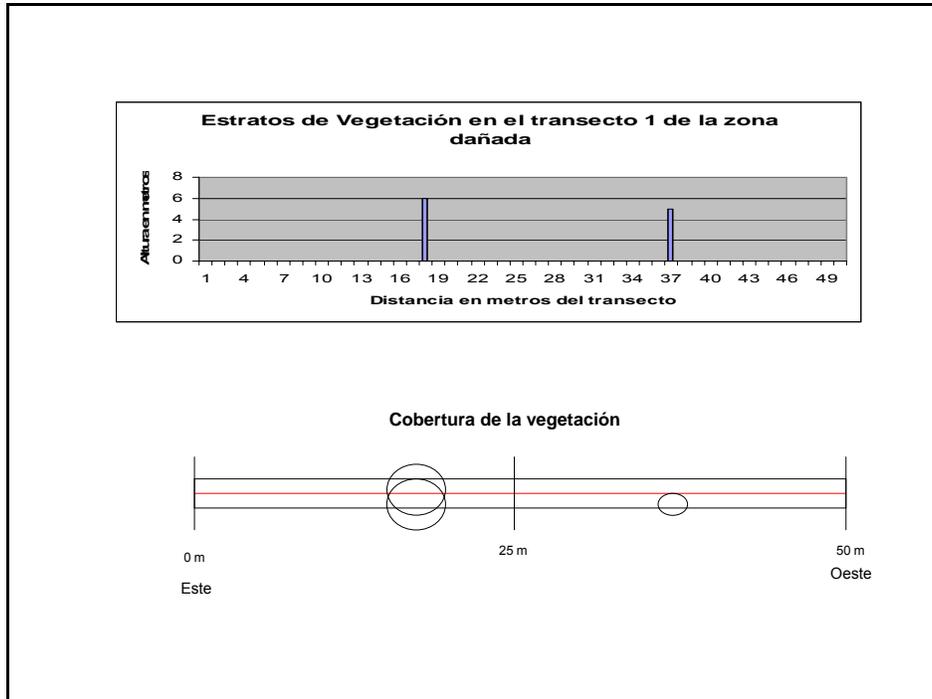


Figura 29.- Cobertura de vegetación en m² en cada transecto. Cada transecto se hizo de 2 m de ancho por 50 m de largo.

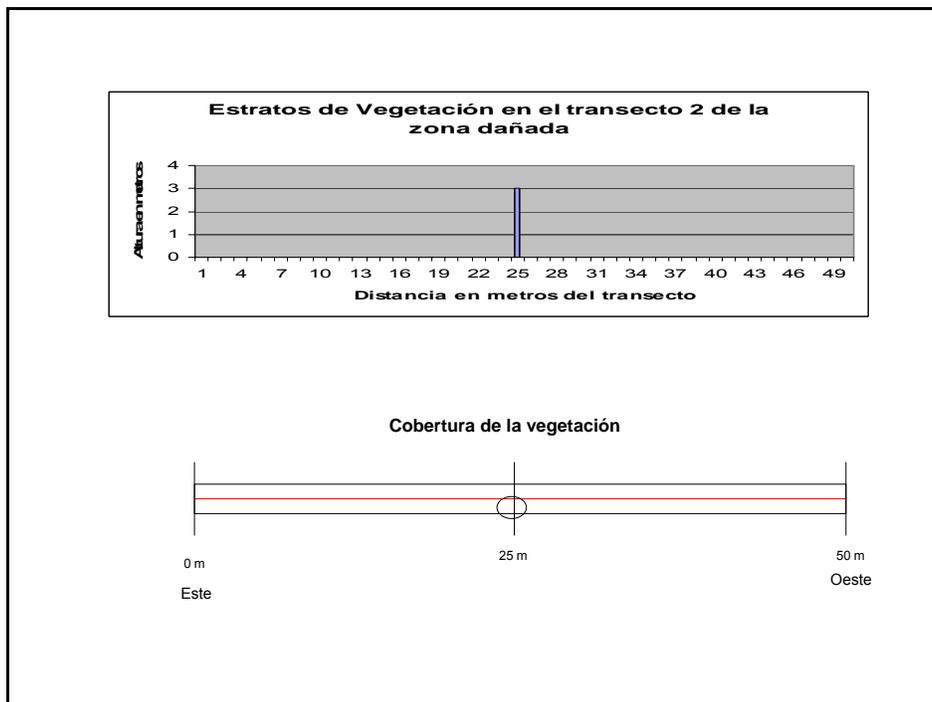
A continuación se muestran las fotografías de los sitios seleccionados para hacer las mediciones de la vegetación, (figura 30, figura 33, figura 36) y las gráficas de los diferentes estratos de la vegetación y cobertura por cada zona que se midió. (figura 31 y 32, figura 34 y 35, figura 37 y 38).



Figura 30.- Fotografía del los transectos de la zona dañada.



Figuras 31.- Gráficas de los estratos de vegetación y cobertura en el transecto 1 de la zona dañada.



Figuras 32.- Gráficas de los estratos de vegetación y cobertura en el transecto 2 de la zona dañada.

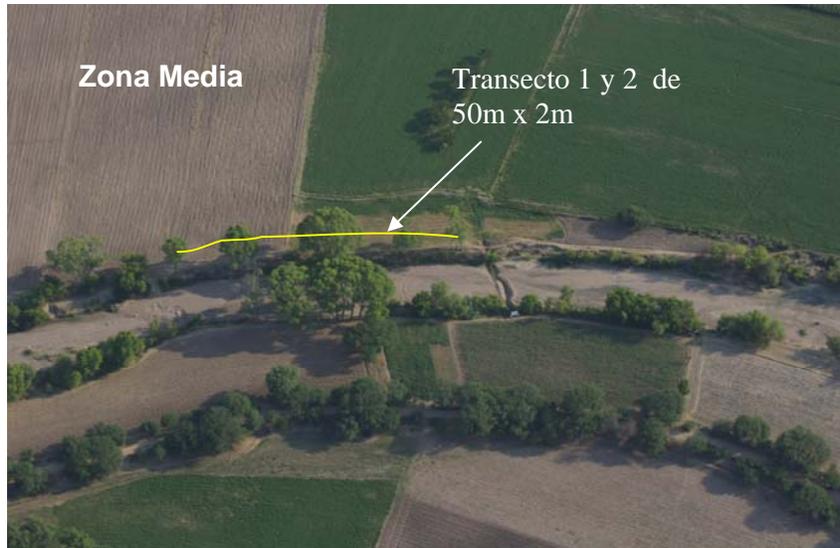
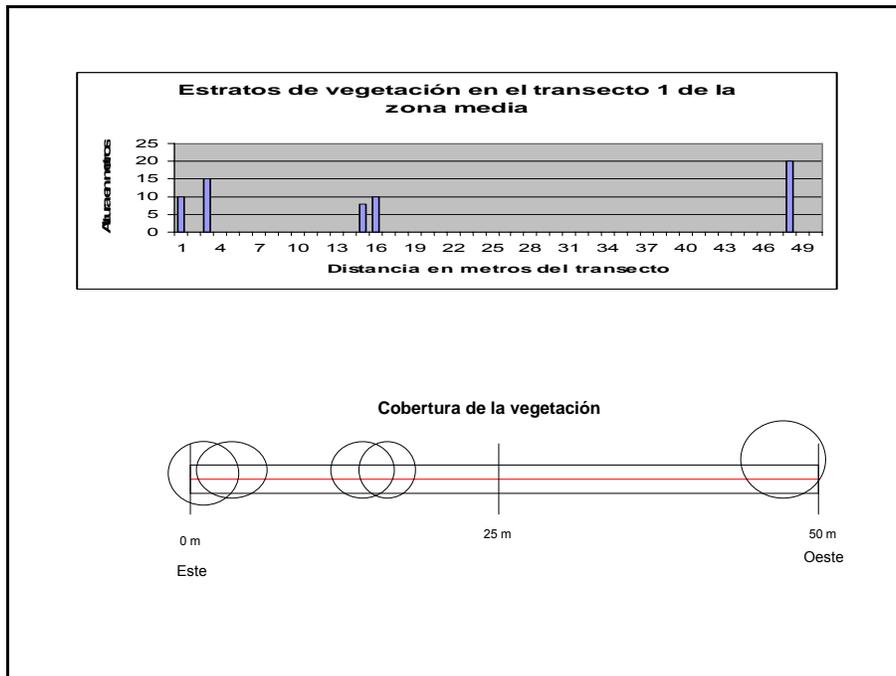
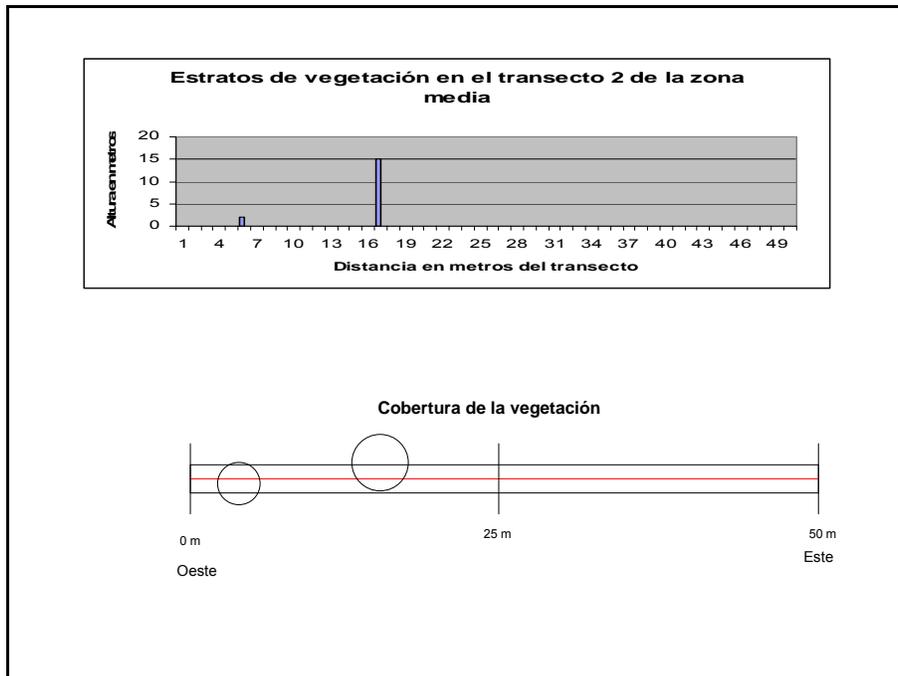


Figura 33.- Fotografía de los transectos de la zona media.



Figuras 34.-Gráficas de los estratos de vegetación y cobertura en el transecto 1 de la zona media.



Figuras 35.- Gráficas de los estratos de vegetación y cobertura en el transecto 2 de la zona media.



Figura 36.- Fotografía de los transectos de la zona conservada.

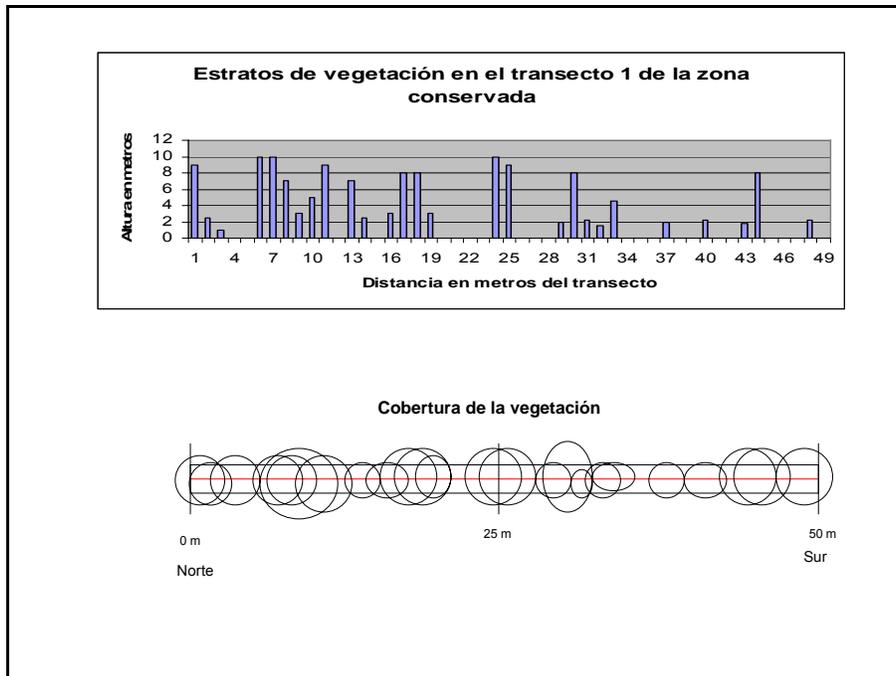


Figura 37.- Gráficas de los estratos de vegetación y cobertura en el transecto 1 de la zona conservada.

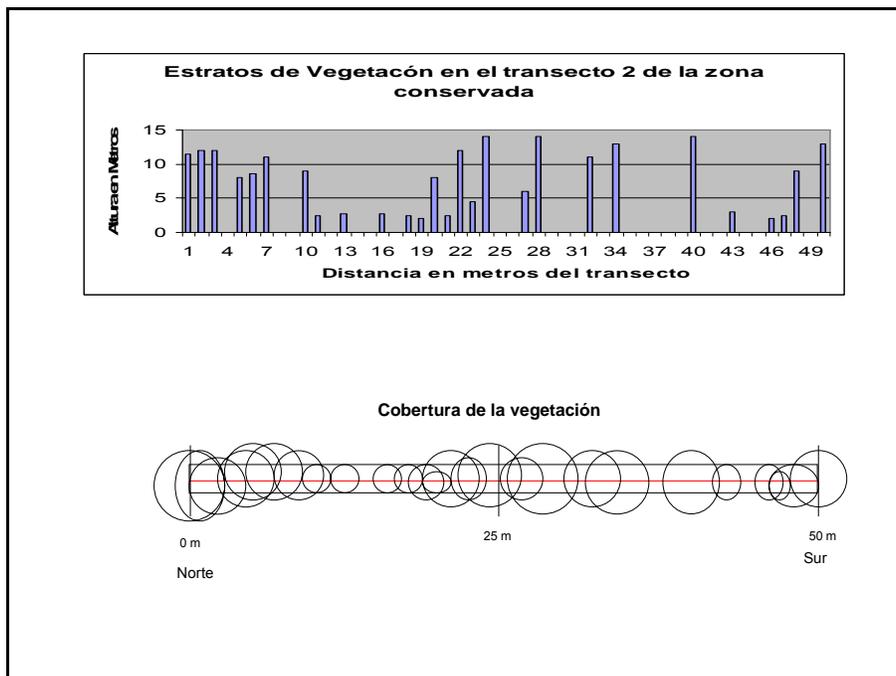


Figura 38.- Gráficas de los estratos de vegetación y cobertura en el transecto 2 de la zona conservada.

En las gráficas de de la zona dañada (figuras 31 y 32) se observa la poca vegetación existente en estos transectos, por lo mismo la cobertura para el primer transecto es de solo 12.75 m² y para el segundo transecto es de 1.88 m²

En las gráficas de la zona media (figuras 34 y 35) se observa que hay un poco más de vegetación en cada transecto, para el primero hay una cobertura de 20.75 m² y para el segundo una cobertura de 5 m²

En las gráficas de la zona conservada (figuras 37 y 38) se observa que la presencia de vegetación es mucho más abundante que en los otros transectos. Para el primero hay una cobertura de 73.31 m² y para el segundo una cobertura de 111.85 m². También algo que llama la atención en éste sitio de muestreo, es la diferencia de estratos arbóreos presentes en la zona conservada comparada con los otros sitios de muestreo. La zona conservada se usó como testigo para compararla con los otros 2 sitios.

El (cuadro 6) muestra algunas de las especies de plantas colectadas en la zona conservada (testigo). Se hizo una colecta en el área de influencia y posteriormente se identificaron en el laboratorio de botánica de la Facultad de Ciencias Naturales en la Universidad Autónoma de Querétaro.

Cuadro 6.- Especies de plantas colectadas.

Nombre Común	Nombre Científico	Nombre Común	Nombre Científico
Árboles		Herbáceas	
		Quelite	<i>Chenopodium</i>
Sauce	<i>Salix sp.</i>		<i>Solanum</i>
Álamo	<i>Populus sp.</i>		<i>Ipomoea</i>
Pirul	<i>Schinus molli</i>		<i>Plumbago scandens</i>
			<i>Bidens</i>
Arbustivas		Cactáceas	
Mezquite	<i>Prosopis laevigta</i>	Cardenche	<i>Opuntia imbricata</i>
Jara	<i>Baccharis Salisifolia</i>	Órgano	<i>Pachycereus marginatus</i>
Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	Nopal	<i>Opuntia lasiacantha</i>
Granjeno	<i>Celtis pallida</i>	Nopal	<i>Opuntia tomentosa</i>
Huizache chino	<i>Acacia schaffneri</i>	Epífitas	
Buena moza	<i>Nicotiana glauca</i>	Paixtle	<i>Tillandsia recurvata</i>
Pariente de Huevo de noche	<i>Cestrum trigonophyllum</i>		
“Sinicuiche”	<i>Heimia salicifolia</i>		
	<i>Mimosa acauleticarpa</i>		

En cuanto a la determinación de parámetros de densidad, densidad relativa, dominancia, dominancia relativa, frecuencia, frecuencia relativa, valores de importancia y los índices de diversidad, podemos verlos en la sección de (anexos) en las hojas 1, 2 y 3. En estas hojas se encuentran los datos procesados de la información obtenida cuando se hicieron los transectos.

Podemos decir que las especies de sauces (*salix* sp.), álamos (*populus* sp.), y mezquites (*prosopis* sp.) al igual que las jaras (*baccharis* sp.) y buena mosa (*nicotiana glauca*) tienen valores de importancia muy altos en los transectos que se analizaron, esto nos indica que son especies muy importantes en estos ecosistemas riparios. El caso de buena mosa (*nicotiana glauca*) con un valor de importancia de 300 se debe a que fue la única planta encontrada en éste transecto de la zona dañada. La buena mosa (*nicotiana glauca*) es considerada una planta indicadora de disturbio.

En el (cuadro 7), se muestran los resultados de los análisis de los índices de diversidad tanto de Shannon-Wiener como el de Simpson de los sitios muestreados.

Cuadro 7.- Valores de los índices de Diversidad Biológica de los transectos muestreados.

Transectos		Índice de Shannon-Wiener	Índice de Simpson
Zona Conservada	Transecto 1	-1.327511791	3.298795181
Zona Conservada	Transecto 2	-0.839230596	1.866257669
Zona Media	Transecto 1	-0.500402424	1.470588235
Zona Media	Transecto 2	-0.693147181	2
Zona Dañada	Transecto 1	0	1
Zona Dañada	Transecto 2	0	1

Estos valores de diversidad biológica lo que nos están indicando es que en los dos transectos de la zona conservada hay una mayor diversidad de especies de plantas, que en los otros transectos, pero sigue siendo baja.

En el caso de los transectos de a zona media hay una diversidad no tan significativa y hay más uniformidad.

En el caso de los transectos de la zona dañada hay muy poca diversidad y por lo tanto mucha uniformidad.

4.6.- Talleres de diagnóstico participativo con pobladores de la comunidad de cruz del palmar.

Se llevó a cabo un taller participativo con habitantes de la comunidad de Cruz del Palmar el día 23 de febrero del año 2006. Se formaron tres equipos, los grupos estuvieron conformados por: Equipo 1.- mujeres, equipo 2.- “paleros” (extractores de grava y arena), equipo 3.- dueños de parcelas agrícolas en el área de inundación del río.

Los equipos estuvieron conformados por las siguientes personas participantes en el taller, indicando su nombre, edad y ocupación como se puede observar en los (cuadros 8, 9 y 10)

Cuadro 8.- Equipo 1 (Mujeres).

Nombre	Edad	Ocupación
1.- Vicenta Rentero	56	Ama de casa, agricultora, curandera tradicional.
2.- Juana Ramírez	50	Ama de casa, comerciante, Encargada del molino de maíz, Vendedora de tortillas.
3.- Dolores Cerritos	33	Ama de casa, artesana.
4.- Marta Ramírez	26	Ama de casa, costurera, estudiante de corte y confección.
5.- Joel Ramírez	28	Comerciante, Arenero, Tabiquero, Agricultor.

Cuadro 9.- Equipo 2.- “Paleros” Extractores de grava y arena

Nombre	Edad	Ocupación
1.- Isaías Ramírez	37	Arenero, Agricultor.
2.- Isidro Torres	28	Arenero, construcción en E. U. Emigrante.
3.- Gustavo Ramírez	23	Arenero, construcción en E. U. Emigrante.
4.- Héctor Ramírez	30	Arenero, Agricultor.
5.- Felipe Martínez	29	Arenero, operador de maquinaria pesada, albañilería.

Cuadro 10.- Equipo 3. Dueños de parcelas agrícolas en el área de inundación del río

Nombre	Edad	Ocupación
1.- Marcelino Patlán	33	Arenero, Agricultor, Jardinero, emigrante.
2.- Cresenciano Ramírez	45	Arenero, velador.
3.- Emmanuel Patlán	14	Estudiante de secundaria, Arenero.
4.- Sabino Ramírez	49	Arenero, Agricultor, promotor educativo, albañil, emigrante, Integrante de la mesa ejidal.
5.- Alfonso Patlán	35	Arenero, artesano.
6.- Damián Barranca	24	Arenero, albañil

En el (cuadro 11) se enlistan los problemas detectados por los participantes del taller como parte de las dinámicas participativas utilizadas para el diagnóstico de la comunidad.

En el (cuadro 12) se enlistan las actividades que realizan los habitantes de la comunidad de Cruz del Palmar para ganarse la vida. Llama la atención que ya consideran una actividad cotidiana la migración a E. U. en busca de mejores fuentes de ingresos económicos.

Cuadro 11.- Problemas detectados por los participantes

1.- Destrucción de parcelas
2.- Extraccionistas grandes
3.- Falta de maquinaria
4.- Sobre-pastoreo
5.- Riadas
6.- Caída de árboles
7.- Tala de árboles
8.- Intereses encontrados
9.- División en la comunidad
10.- Falta de trabajos
11.- Mucha migración
12.- Sequías
13.- Falta de agua
14.- Mucha basura

Cuadro 12.- Actividades actuales

Agricultura
Ganadería
Venta de grava y arena
Albañilería
Trabajo doméstico
Elaboración de adobes
Corte de carrizo
Corte de Jara
Migrar a E.U.

En las siguientes (fotografías 16, 17,18) se puede observar a la gente trabajando en diferentes equipos, desarrollando las actividades.



Foto 13.- El Sr. Sabino explicando el mapa de la comunidad y el río.



Foto 14.- Equipo de "Paleros" trabajando.



Foto 15.- Grupo de Mujeres trabajando

Otra de las actividades realizadas fue la elaboración de un cuestionario que se les dejó a los habitantes para responder la siguiente pregunta: ***¿Que estarías dispuesto a hacer para mejorar las condiciones del río?***

Las opciones fueron:

- 1.- Dejar espacio entre las parcelas y el cauce.
- 2.- Educación y capacitación.
- 3.- Sembrar árboles.
- 4.- Evitar la extracción de grava y arena.
- 5.- No vender parcelas.
- 6.- Darle otros usos al río.

Se escogieron 4 grupos cada uno con 10 personas:

- 1.- 10 Paleros
- 2.- 10 Agricultores
- 3.- 10 Mujeres
- 4.- 10 Jóvenes

Los resultados de ésta encuesta fueron los siguientes:

En el grupo de los paleros se notó que ninguno de ellos está de acuerdo en evitar la extracción, pues actualmente ese es su medio de subsistencia y a eso se dedican.

En el caso del grupo de los agricultores los 10 encuestados están de acuerdo en evitar la extracción y sembrar árboles. Es lógico debido a que ya lo hacen para proteger sus parcelas. Ellos se quejan de los extractores de grava y arena pues consideran que son los causantes de la destrucción de sus parcelas.

En el grupo de las mujeres las 10 estuvieron de acuerdo en dejar espacio entre parcelas y el cauce, que se requiere educación y capacitación y sembrar árboles.

En el caso de los jóvenes los 10 estuvieron de acuerdo en más educación y capacitación, no vender parcelas, darle otros usos al río. Esto es

interesante pues solo los jóvenes ven la posibilidad de darle otros usos al río a diferencia de los otros grupos.

En la (figura 39), se muestra la gráfica de los resultados de las diferentes opiniones con respecto a la pregunta realizada a los diferentes actores sociales.

¿Que estarías dispuesto a hacer para mejorar las condiciones del río?

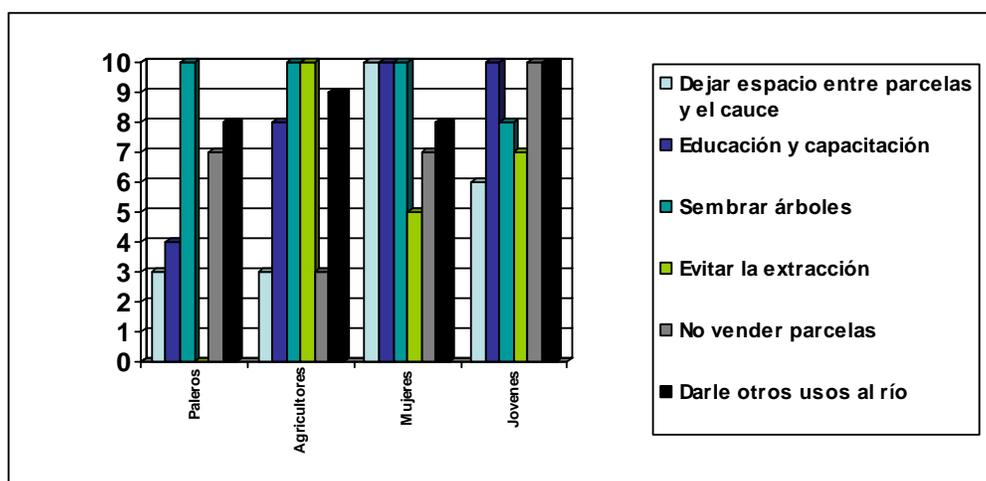


Figura 39.- Gráfica de los resultados de la encuesta

A continuación se presentan los resultados de las dinámicas participativas que se usaron en el taller de auto-diagnóstico en forma explicativa para tener más conocimiento del aspecto social en éste trabajo.

Las actividades anteriores junto con otras han marcado la historia del río como lo demuestra el análisis retrospectivo con los participantes, análisis considerado desde 1950 en donde se presentó una gran inundación grande que llego a la mitad del pueblo (éste se ubica a orillas del río, 500 m mas abajo del área de estudio) por no contar con taludes, no obstante, dejó como beneficio 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 obligo 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.

En 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 año 2,000 marca el cambio drástico en el 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.

En el mapa generado por los participantes sobre las condiciones que el río presentaba algunas décadas atrás, muestra que había 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.

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 frijol y algunos frutales para autoconsumo). Los segundos se subdividen también en dos, los paleros que se

mantienen de los recursos pétreos del río y, los que migran por trabajo a ciudades cercanas (San Miguel, Celaya, Querétaro) como albañiles de manera diaria o semanalmente, otros a EU durante periodos no menores a ocho meses y que durante su estancia en la comunidad se emplean como paleros.

La actividad económica es apoyada por algunas dependencias que les ofrecen empleo temporal, las que sienten mas cercanas son: (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 (Partidos Políticos, Desarrollo Integral de la familia, policía, Secretaría de Comunicaciones y transportes, Iglesia y la Comisión Nacional del Agua) y unas mas que están intermedias a estas (Protección Civil y Ecología municipal). Los paleros y parceleros dentro de la actividad económica representan la población de mayor importancia al modelo que estamos proponiendo, por su influencia directa en el río, junto con los empresarios foráneos.

Los ingresos económicos que genera la actividad de los paleros esta distribuida de la siguiente manera: un pago de \$ 250 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 al día, no obstante la cifra es variante dependiendo de la demanda. Éste costo incluye la recolección y selección de material, lo que les absorbe un tiempo de 2 horas 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 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 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 pesos el camión de 6m³ de arena y \$ 1, 300 el de grava y piedra de las mismas dimensiones.

En la (foto 16) se muestra la herramienta de trabajo que usan los paleros: 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 pesos. 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 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 E. U. principalmente, sin embargo en la micro-cuenca suman aproximadamente 50 paleros, a una actividad que se ha desarrollado desde por lo menos tres generaciones atrás.



Foto 16.- Herramienta de trabajo de los paleros. Se puede apreciar el 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 a los paleros 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 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 en el 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 el área 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 como Querétaro, Jalisco y San Luís Potosí. La (foto 17) ejemplifica este tipo de extracción.



Foto 17.- Maquinaria pesada seleccionando y cargando material en trailers que lo transportan a ciudades de Querétaro, San Luís Potosí y Jalisco.

4.7.- Propuesta del modelo de rehabilitación del bosque ripario.

Propuesta de rehabilitación

a) Definición del cauce en el área de estudio.

El modelo de rehabilitación del bosque ripario requiere en primer lugar, de definir un cauce total, reforzando las paredes que en este momento son impactadas severamente por el flujo. La trayectoria del cauce total que se definió con los datos de campo se aprecia en la (figura 40).

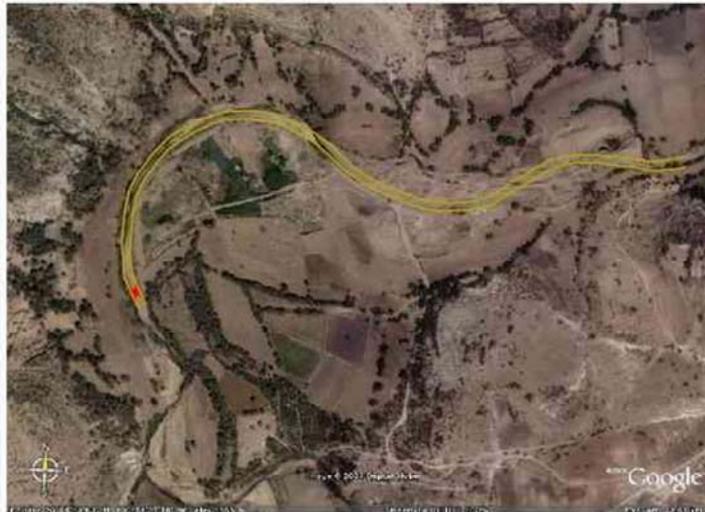


Figura 40.- Cauce total sugerido, sinuosidad delimitada con relación a la geomorfología y el valle.

Las dimensiones para la rehabilitación del tramo del río en el área de estudio se ilustran en el perfil simulado del cauce en la (figura 41) y de acuerdo a la información obtenida del sitio testigo, son: 20 m de ancho en su base entre pared y pared, con una pendiente que se extienda al menos de entre 6 a 10 m en cada talud.

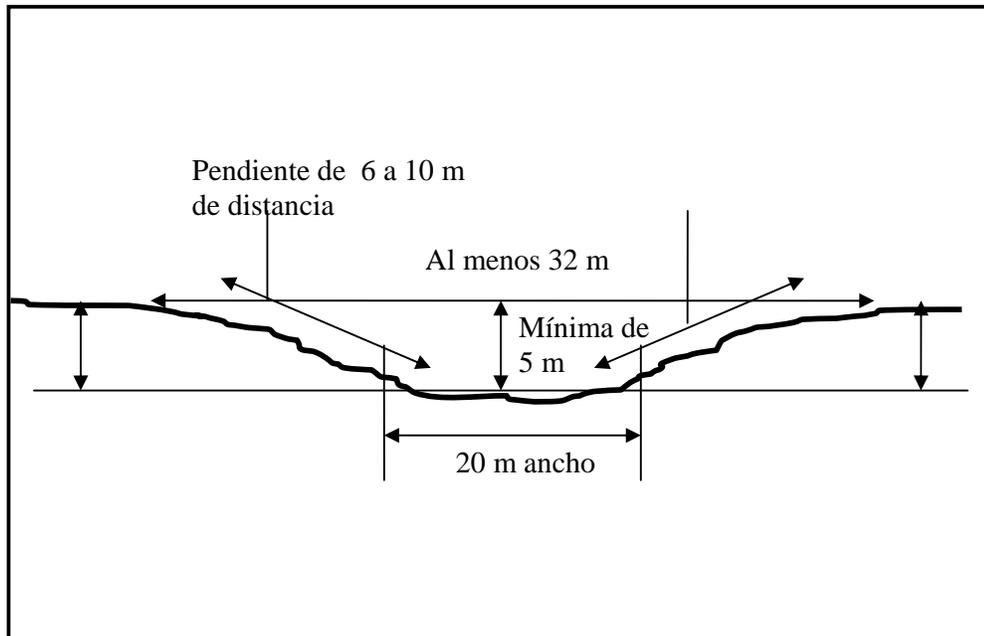


Figura 41.- Esquema del perfil propuesto para la rehabilitación del cauce

Al final debe tener una distancia entre taludes de al menos 32 m en su parte alta; una altura mínima de 5 m, considerada de manera perpendicular desde el lecho del río hasta la inferencia de la proyección de los dos puntos máximos de los taludes; un cauce para el flujo constante de 3 m de ancho dentro del ancho total del río y que presentara una sinuosidad constante de acuerdo a las medidas de los meandros que se mencionarán más adelante y en donde la energía del flujo se encargará de mantener la forma y profundidad una vez que se establezca gradualmente la relación pendiente-sedimento.

EL flujo constante debe tener meandros de al menos 67.5 m de longitud, 21.5 m de ancho total y con curvas de 33.5 m de largo y 7.5 en la cresta de la parábola, 18 m de ancho, evitando que su longitud de onda no coincida con los taludes del río, sino que por el contrario se ubique al menos un metro hacia adentro de esta, lo que finalmente generará un cauce sinuoso de sus dos cauces en toda el área de estudio. (Figura 42)



Figura 42.- Sinuosidad de cauces (total y constante). Los puntos rojos delimitan el área de estudio mediante puntos de control 1 y 2 .

EL modelo de rehabilitación del tramo del río San Marcos dentro de la microcuenca de Cruz del Palmar requiere de considerar factores críticos como las condiciones de erosión y el de su ubicación en una zona intermedia de la cuenca, en donde, ni cuenca alta ni cuenca baja presentan trabajos de apoyo para controlar las condiciones de avenidas de agua, sedimento y/o cualquier tipo de material arrastrado, lo que potencializa su fuerza. Por ello, es importante el establecimiento de puntos de control que garanticen un área con condiciones controladas bajo las dimensiones naturales del río, permitiendo disipar y concentrar la energía del agua en las zonas adecuadas, logrando así el manejo del río que permita su rehabilitación. Ello significa que la ubicación para iniciar los trabajos de rehabilitación puede ser cualquiera mientras se cuente con los puntos de control, sin embargo en otros sitios los trabajos de rehabilitación pueden ser más eficientes si se inicia en la cuenca alta.

Los puntos de control 1 y 2 se ubicaran en el inicio del límite de la zona de estudio y al final como lo ejemplifica la (figura 42), y contarán con las siguientes dimensiones: de 36 m de largo paralelos a la longitud del río y el ancho corresponde al definido para el río (20 m). Deben cimentarse al menos 5

m por debajo del nivel del lecho del río y pueden ser elaborados con piedra grande de por lo menos 0.50 m, la altura en los taludes debe ser de 1m, misma que debe mantener a lo largo de 12 m considerados en la parte central de los 36 m de largo y con una pendiente decreciente de 0.40 m a lo largo de una distancia de 13.5 m entre el metro de altura de los taludes y el de 0.40 m en ambos lados. Esto generará un canal con de 0.40 m de altura y una anchura de 3 m en el centro del río, en una posición transversal al río y una longitud de 12 m con la intención de formar el inicio del cauce constante; de 1 m de altura en los taludes que se mantendrá a lo largo de los 12 m intermedios, se creará un desnivel de manera radial hacia las partes entrantes y salientes del punto para canalizar el flujo hacia el punto de control, concentrando así la energía para lograr el inicio del manejo del flujo de agua, ello permitirá una salida de 3 m que será el flujo constante que se mantenga por el mayor periodo de tiempo en el río. La (figura 43) ejemplifica el punto de control de entrada en la parte alta del área de estudio.

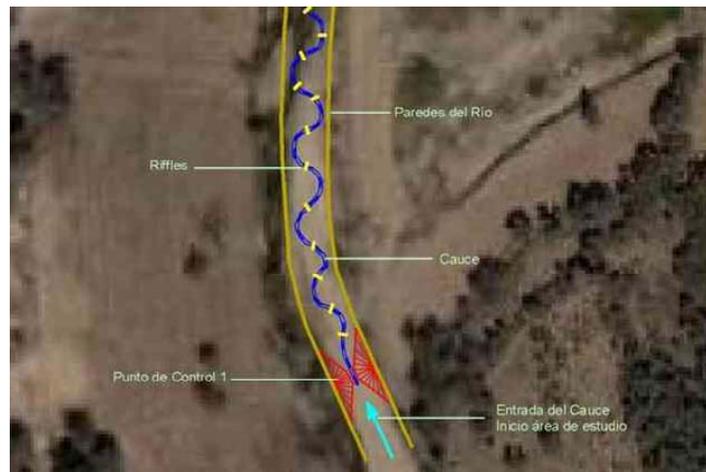


Figura 43.- Punto de control en la parte alta. Concentrar la energía que promoverá el cauce constante.

La sinuosidad del río genera los puntos de barra, uno en cada meandro, lo que generará bancos de material pétreo con menor resistencia al ubicar los puntos de acumulación por tipos de material que la energía del agua realiza de manera natural y que los “paleros” podrán explotar sustentablemente año tras año, (figura 44). Esta circunstancia requerirá de concientización de los “paleros” ya que los puntos de extracción cambiarán, y no podrán hacerlo en

cualquier lugar como lo hacen actualmente y que se interprete que reducirá su volumen de extracción, situación que se compensará al tener mas sitios de extracción en el mismo tramo del río, compensando así los volúmenes.

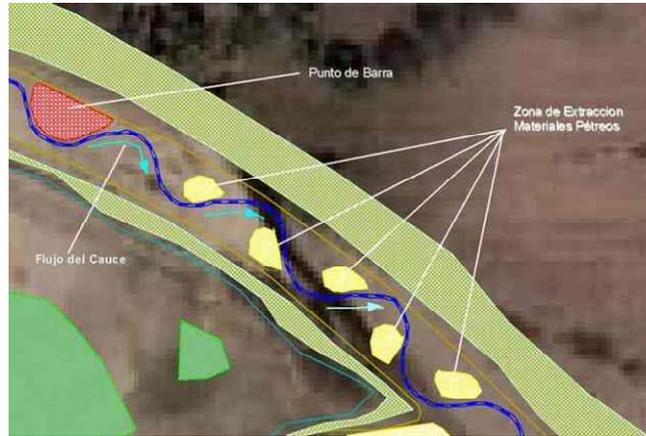


Figura 44.- Puntos de barra formados por la sinuosidad del cauce constante y puntos de extracción de material pétreo.

La réplica de un punto similar río debajo de la zona de estudio, permitirá mantener una condición física constante dentro del área. Esto permite establecer el balance de pendiente–sedimento y el flujo, lo que de manera gradual originará el sistema riffle-pozas y que deberá irse calibrando bajo el sistema propuesto por Medina (2004), y que se basa en el sonido que genera el golpeteo del agua sobre los sedimentos, una vez que las condiciones de degradación en el área de estudio como en la zona testigo no permitieron obtener los parámetros para su diseño.

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 levantar los taludes de los bancos en otros sitios y bajo las dimensiones referidas, aprovechando los recursos que aún en las condiciones de degradación, el río ofrece.

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 45).



Figura 45.- Cruce de camino en el río.

b) Estabilización de taludes en las riberas

La propuesta de rehabilitación del bosque ripario en las zonas de extracción de grava y arena se basa en técnicas de ingeniería naturalística o de técnicas naturales, para la recuperación de las riberas del río San Marcos.

En la (figura 46) se muestran diferentes técnicas de estabilización de taludes en las riberas que pueden ser empleadas en la zona de estudio, debido a la facilidad para obtener los materiales y la experiencia local de los habitantes de la zona. Estas técnicas son necesarias para reforzar las riberas que tienen mucha fragilidad y son vulnerables a las crecidas del río. Los pobladores están dispuestos a participar en la protección de las riberas especialmente los que están siendo afectados en sus parcelas de cultivo y que están perdiendo terreno cada año.

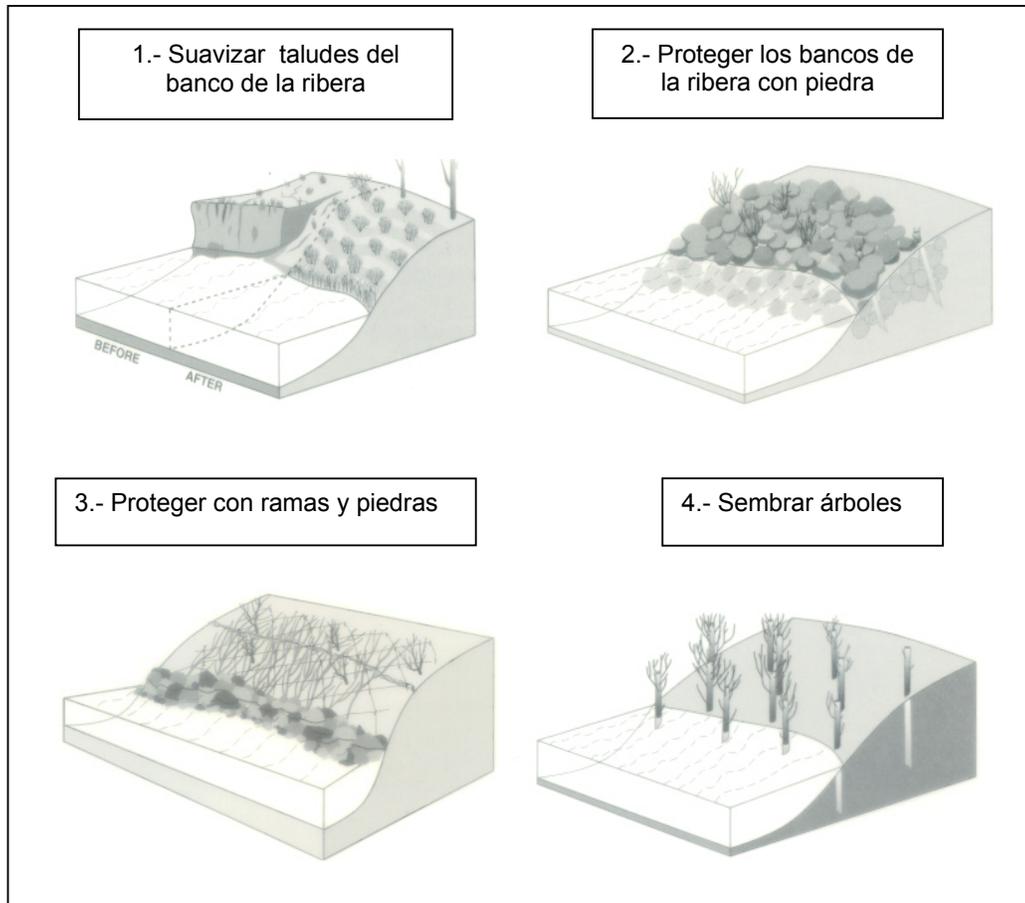


Figura 46.- Diferentes técnicas de ingeniería naturalística utilizadas para la rehabilitación de riberas

Entre las técnicas de ingeniería naturalística que se sugieren para ser aplicadas en la rehabilitación de la zona de estudio existen las siguientes:

Técnicas de estabilización con material vivo.

Se basan únicamente en el uso de material vivo como estacas, plantaciones, rizomas, siembra o ramaje, trenzados vivos de ribera, cobertura de ramas en márgenes y fajinas vivas. Estas técnicas tienen la desventaja de que durante los primeros estadios de desarrollo de la planta, ésta no posee una funcionalidad efectiva a la vez que requiere de un grado de humedad ambiental y disponibilidad de agua en el suelo elevado.

Técnicas mixtas de estabilización con material vivo.

Se combina el material inerte con el material vivo. La base de la estructura es un soporte de fibra vegetal o gravas, en el que se estructura la planta aumentando el grado de resistencia y supervivencia de ésta en los primeros estadios de adaptación. El desarrollo y estructuración de la planta es muy rápido y eficiente ya que estos soportes inertes dotan a la planta de buenas condiciones para la primera fase de adaptación al medio. Una vez se ha desarrollado la planta, ésta presenta las condiciones idóneas para la función destinada: estabilización de márgenes, de taludes fluviales, etc.

Algunas técnicas que se incluyen en este grupo son los rollos estructurados en fibra vegetal, otros elementos de fibra (geomallas, geofibras, mantas orgánicas, etc.) y los gaviones de piedra.

Estas técnicas pueden utilizarse vegetadas previamente o ser vegetadas en el emplazamiento final. El rollo estructurado en fibra suele instalarse previamente vegetado ya que su funcionalidad es entonces inmediata.

c) Franjas de vegetación (Zonas de amortiguamiento)

En la (figura 47), se muestra una foto aérea donde en color rojo se marcan como ejemplo las áreas donde se deben sembrar árboles para poder re-encausar el río. Estas líneas rojas se determinaron en base a los recorridos en campo con los habitantes de la zona que nos indicaron por donde estaban anteriormente las franjas de vegetación, el cauce y las antiguas parcelas existentes. Las zonas marcadas con amarillo son parches de vegetación que tiene mejores condiciones de estabilidad y mayor presencia de árboles riparios debido a la presencia de pastos y juncos que ayudan a detener el suelo y darle mayor fortaleza al banco de la ribera.

En la (figura 47) también podemos observar el alto grado de fragmentación evitando la conectividad entre el corredor ribereño.



Figura 47.- Foto aérea donde se muestra en color rojo las áreas donde se deben sembrar árboles para poder re-encausar el río

En la (figura 48), se muestra un esquema del funcionamiento de las franjas de vegetación como zonas de amortiguamiento en los corredores ribereños. Esto es importante entenderlo, pues es la parte medular de la propuesta de rehabilitación del bosque ripario. *Se deben dejar como mínimo 15 metros del cauce a las parcelas.* A estas zonas se les llama: zonas buffer, de amortiguamiento o franjas hidro-reguladoras.

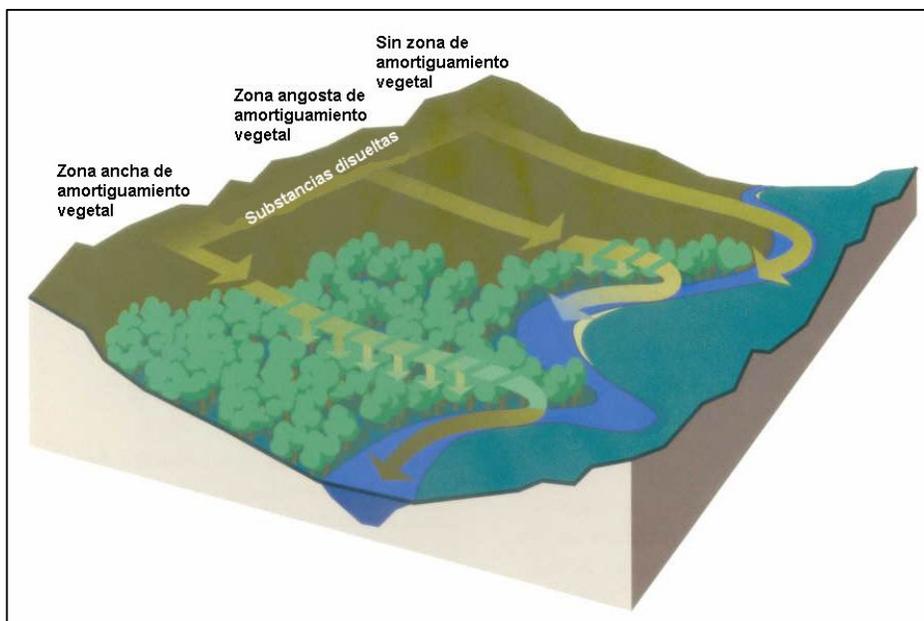


Figura 48.- Esquema de funcionamiento de las franjas de vegetación como zonas de amortiguamiento o zonas buffer en los corredores ribereños.

Las franjas de vegetación de 15 metros de cada lado del río se establecerán con la participación de los ejidatarios dueños de las parcelas aledañas al río. Los propietarios de las parcelas, junto con los encargados del ejido, definirán los límites de los terrenos. Cada propietario deberá encargarse de su pedazo de ribera, sembrando árboles y arbustos en los 15 metros establecidos con la asesoría de un técnico y aplicando el conocimiento de los habitantes locales. Para estas obras de rehabilitación, se propone que diferentes instituciones aporten los recursos necesarios para este proyecto piloto, que puede replicarse en diferentes ríos de la región con la misma problemática.

En las (fotografías 18 y 19), se muestran unos álamos (*Populus sp.*), sembrados por los habitantes de cruz del palmar en la zona de estudio. Estos árboles los siembran los dueños de las parcelas como forma de protección de las mismas. La técnica de siembra es con estacas obtenidas de otros árboles de la misma especie.



Fotografías 18 y 19.- Álamos (*Populus* sp.) sembrados por los habitantes de cruz del palmar en la zona de estudio.

En la (figura 49), se aprecia una foto de la situación actual y un fotomontaje mostrando la vegetación que debería existir en el corredor ribereño efectuada la rehabilitación. Esta herramienta nos permite visualizar el mismo sitio con un escenario futuro a nivel de paisaje de la composición del corredor ribereño. Esta herramienta es sumamente útil para poder convencer a planificadores y tomadores de decisiones para llevar a cabo trabajos de rehabilitación ambiental.



Figura 49.- Fotomontaje mostrando la vegetación que debería existir en el corredor ribereño.

d) Modelo final de rehabilitación del bosque ripario y humedales

La propuesta final integrada del “Modelo de humedales en zonas perturbadas del Río San Marcos, microcuenca Cruz del Palmar” y “Propuesta de rehabilitación del bosque ripario, en áreas de extracción de grava y arena en el río San Marcos, San Miguel de Allende Guanajuato” que se desarrollaron en colaboración entre el Ingeniero Gerardo López Mora y el Biólogo Atahualpa Caldera Sosa se representa a continuación en las (figuras 50 y 51).

La (figura 50) ejemplifica sobre imagen la zona de estudio y el modelo sugerido, la (figura 51) ofrece el mismo modelo de forma descriptiva en sus elementos sin imagen de la zona de estudio.



Figura 50.- “Modelo de humedales y bosque ripario en zonas perturbadas del Río San Marcos, microcuenca Cruz del Palmar” sobre imagen de la zona de estudio.

Las franjas verdes representan la vegetación o las zonas de amortiguamiento que deberán tener un mínimo de 15 m de ancho entre el cauce y las parcelas agrícolas, en cada lado de las riberas.

También se propone revegetar las orillas de los caminos existentes con especies de plantas identificadas en la zona de estudio.

Las plantas sugeridas para ser utilizadas en la rehabilitación son las siguientes: Sauces (*Salix* sp.), álamos (*Populus* sp.), por su fácil acceso y rápido crecimiento. También se propone la utilización de jaras (*Baccharis* sp.) y carrizo (*Phragmites australis*), por la importancia comercial y ambiental que tienen en la zona.

A continuación se presenta la (figura 51) describiendo cada componente del modelo desarrollado.

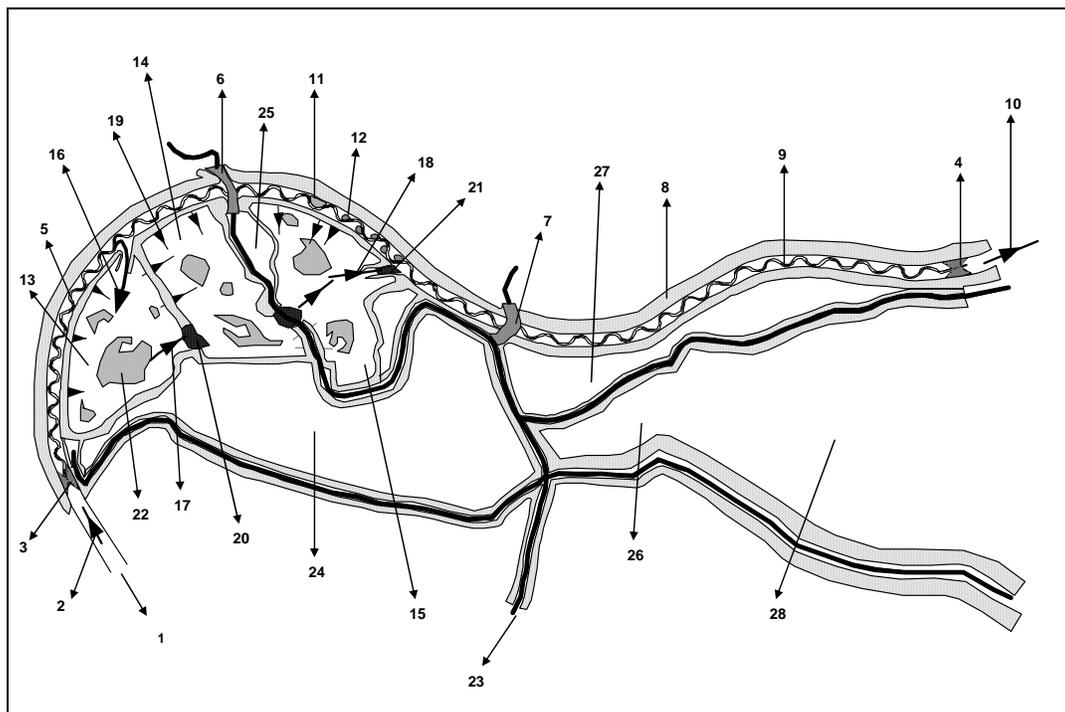


Figura 51.- “Modelo de humedales y bosque ripario en zonas perturbadas del Río San Marcos, microcuenca Cruz del Palmar”. 1. Cauce total, 2. Entrada de flujo al área de estudio, 3. Punto de control 1 (inicio del área de estudio), 4. Punto de control 2 (fin del área de estudio), 5. Cauce constante, 6 y 7. Cruces de caminos sobre el río, 8. Zonas de amortiguamiento, 9. Riffles, 10. Salida del flujo del área de estudio, 11. Meandros y puntos de barra, 12. Sitios de

extracción de materiales pétreos, 13. Humedal "1", 14. Humedal "2", 15. Humedal "3", 16. Entrada de flujo de agua superficial a los humedales, 17. Conexión de flujo superficial entre humedales, 18. Salida del Flujo de agua superficial, 19. Entradas de flujos subterráneas a los humedales. 20. Punto de conexión de flujo entre humedales, 21. Riffle de salida del flujo de agua de los humedades, 22. Islas dentro de humedales, 23. Caminos, 24 y 25. Parcelas Agrícolas riparias, 26. Ladera, 27. parcela agrícola y 28. Loma (cerro).

V. DISCUSIÓN

El presente trabajo tuvo como objetivo el proponer un modelo de rehabilitación del bosque ripario en un tramo del río San Marcos impactado por la extracción de grava y arena. Este trabajo fue elaborado en colaboración del Ing. Gerardo López Mora quien trabajó en un modelo de humedales en el mismo sitio de trabajo.

Considero que el haber trabajado a diferentes escalas del paisaje nos brindó la oportunidad de conocer a fondo la problemática local y regional.

Un problema al que nos enfrentamos fue la definición de la cuenca hidrográfica del río San Marcos, incluso en el nombre hay confusión, algunos lo llaman río San Damián. Existen diferentes versiones de la limitación de la cuenca y no hay coincidencia entre las instituciones encargadas del tema. Considero que es muy importante definir correctamente la delimitación de la cuenca y espero que este trabajo contribuya a ello.

Una herramienta que nos ayudó de manera significativa a comprender el paisaje local y regional en este trabajo fue el vuelo efectuado en un avión ultraligero que se rentó con el propósito de tomar fotografías aéreas del sitio de estudio. Fue muy útil, pues obtuvimos mucha información.

Al hacer el análisis del paisaje encontramos que existe una gran fragmentación en el corredor ribereño a lo largo de toda la cuenca y en el sitio de estudio. Se pudo constatar que una de las causas de ésta fragmentación es la actividad de extracción de grava y arena a gran escala, que ha modificado el curso del río a lo largo de su trayecto.

Cuando se hicieron los recorridos a nivel de campo para identificar los impactos, encontramos que muchas de las causas son provocadas por los pobladores locales por el uso que le dan a los recursos locales, pero también encontramos a muchas personas que de forma empírica realizan obras de rehabilitación en las riberas.

En relación a las condiciones geomorfológicas en el río, al haber hecho las mediciones tanto del cauce, como de las áreas de inundación, las zonas de amortiguamiento, los bancos de la ribera y los respectivos perfiles del río, pudimos constatar que existe un grave problema con la limitación de las áreas que pertenecen a la federación, al ejido, y a pequeños propietarios. La tenencia de la tierra, como en gran parte del país, sigue siendo un problema fundamental para el éxito de los proyectos de rehabilitación ambiental.

En cuanto a las áreas de amortiguamiento, hay algunos habitantes de la zona, especialmente los dueños de las parcelas que tratan de proteger su pedazo de tierra sembrando árboles en las orillas del cauce, pero la mayoría lo hace sin ninguna orientación técnica. La mayoría de las zonas de amortiguamiento son menores de 15 m que es el mínimo recomendable en éste trabajo.

El haber utilizado la metodología de los Índices de Calidad de la Ribera, propuesta por Munné y colaboradores, nos facilitó el análisis del sitio estudiado, pues creo que ésta metodología aunque fue desarrollada en España se puede aplicar en México. Considero que la metodología es muy sencilla y brinda información rápida que se puede aplicar a grandes ríos usando fotos aéreas o recorridos de campo.

Los datos de vegetación obtenidos con la información que se colectó cuando se hicieron los transectos, fue relevante para conocer las especies dominantes en los diferentes puntos de muestreo. Esta información nos demostró el grado de deterioro que existe en la zona donde se ha extraído materiales pétreos del río, pues la diversidad en los tres sitios muestreados, incluyendo el sitio testigo (zona más conservada) fue baja. Las especies de plantas encontradas tienen varios usos por los habitantes locales. Los sauces (*salix* sp.), álamos (*populus* sp.) son las especies de árboles que se pueden usar para la rehabilitación de la ribera, pues actualmente los habitantes de la comunidad son los que usan para sembrar y proteger sus parcelas de la erosión de los bancos.

En cuanto al aspecto social, considero que ese es el punto fundamental para poder tener éxito en la realización de esta propuesta de rehabilitación. Creo que será difícil poder llegar a un consenso con los habitantes de la comunidad, pues es una comunidad muy fragmentada y dividida por razones económicas, políticas, y religiosas. Es una lástima que en un lugar con un potencial tan grande para poder desarrollar proyectos alternativos que le brinden opciones económicas a la gente, se den este tipo de circunstancias.

Lamentablemente todo éste esfuerzo de haber trabajado en este sitio durante casi tres años, nos dejó ver el grado de pobreza, marginación, abandono, desconfianza y manipulación política que la población de ésta humilde comunidad vive. Considero que este proyecto será difícil que se lleve a cabo en el corto plazo, pues los intereses con respecto a la grava y arena sobrepasan las capacidades locales de la comunidad.

Las autoridades municipales, estatales y federales son cómplices del deterioro de éste río, pues son ellas quienes otorgan los permisos correspondientes para las concesiones de extracción de grava y arena a las grandes empresas que burlescamente hacen estudios de impacto ambiental con

despachos que se prestan para aprobar su solicitud a cambio de cuantiosas sumas de dinero, e importándoles poco el medio ambiente.

Desgraciadamente la impunidad ambiental está a la orden del día en todo tipo de proyectos y desafortunadamente los habitantes más pobres son los que siempre tienen que pagar las consecuencias.

En los últimos años se ha vivido una situación de tensión entre autoridades municipales y pobladores de las comunidades ribereñas del río San Marcos y el río Laja, pues ha habido detenciones de trabajadores manuales de la grava y la arena que han llegado incluso a ser encarcelados por supuestos delitos ambientales. Esta situación ha provocado malestar en muchos sectores que han estado presionando para que se prohíban las concesiones a grandes extractores con maquinaria pesada que otorga la SEMARNAT y CONAGUA.

Finalmente la propuesta de rehabilitación, puede ser factible siempre y cuando las autoridades municipales hagan presión con las autoridades federales para que les permitan la concesión del río, y se pueda decretar como una zona de preservación municipal o en su caso que el mismo ejido sea el promotor de éste proyecto.

En cuanto a las técnicas de ingeniería naturalística, consideramos que pueden ser aplicadas al proyecto sin ningún problema técnico, pues ya hay experiencias de este tipo en nuestro país, pero creemos que el aspecto financiero, legal y social son temas que todavía falta por estudiar y profundizar para desarrollar esta propuesta que abriría un camino importante en los esfuerzos de rehabilitación ambiental en México. .

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo de tesis nos permitió entender mejor la complejidad de la problemática en torno al río San Marcos, desde la escala de Cuenca hasta el sitio puntual en el que se trabajó casi por dos años y medio. A continuación se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente estudio:

1.- La creciente demanda de materiales pétreos para la industria de la construcción está provocando un fuerte deterioro en el río San Marcos. La extracción de grava y arena de forma manual y con maquinaria está provocando el grave deterioro del bosque ribereño a lo largo del corredor del río San Marcos. En la actualidad no existe ningún manejo adecuado para la extracción de grava y arena en el cauce y en las zonas de inundación del río San Marcos. Las empresas que han hecho extracción de materiales pétreos en el río San Marcos no han cumplido con la mitigación del impacto ambiental.

2.- La legislación mexicana en materia de ríos es todavía muy pobre y urge actualizar las leyes y normas al respecto. Urge regular la actividad de extracción de grava y arena privilegiando a los extractores manuales y condicionándolos para la rehabilitación del río. Prohibir la extracción de grava y arena con maquinaria pesada en el río San Marcos. Prohibir los asentamientos humanos en el área de inundación del río San Marcos y solo destinarlo a actividades agrícolas y recreativas.

3.- Se recomienda utilizar el sitio de estudio para la creación de un humedal artificial que regule las crecidas del río y que sirva como una zona de recreación, por medio de un decreto de área de conservación municipal, comunitaria o ejidal, para fortalecer los proyectos de turismo del municipio de San Miguel de Allende. Crear un proyecto eco-turístico comunitario aprovechando los humedales, el río, y los sitios históricos y culturales de la comunidad.

4.- Consideramos que la rehabilitación del bosque ripario en zonas de extracción de grava y arena a lo largo del río San Marcos requiere de una visión integral de cuenca hidrográfica, considerando los aspectos ambientales, económicos y sociales. Se debe de iniciar el trabajo de rehabilitación del bosque ripario en las partes altas de la cuenca y en la zona de cabecera del río San Marcos.

5.- Es urgente ampliar las zonas de amortiguamiento, zona federal, por lo menos 15 metros del cauce al inicio de las parcelas. Sembrar álamos, sauces, fresnos, nogales, jaras, carrizo, pastos, plantas acuáticas en los bancos de las riberas. Proteger los árboles existentes que están en riesgo de caer. Formar puntos de control en los extremos del área de trabajo. Aprovechar los huecos que dejó la maquinaria para hacer humedales artificiales. Sembrar árboles en la zona del humedal artificial.

6.- Asesorar a los habitantes que tienen relación con el río. Cada ejidatario y su parcela se harán cargo del cuidado y restauración de la ribera que les corresponde. El ejido debería nombrar un comité encargado del río para poder llevar a cabo obras de rehabilitación y poder solucionar conflictos entre los ejidatarios y las dependencias municipales, estatales y federales.

7.- Los ejidatarios con los títulos de sus terrenos deberían marcar los límites de sus parcelas para evitar los conflictos entre la CONAGUA y los ejidatarios que extraen arena y grava en su parcela y que se confunde con el cauce del río, que ya invadió la parcela. Marcando las parcelas se puede rediseñar el cauce original que tenía el río antes de que se destruyera la vegetación por la extracción de grava y arena.

8.- Buscar mecanismos alternativos de financiamiento para llevar a cabo la realización de los trabajos de conservación y rehabilitación del bosque ripario. Buscar formas alternativas de aprovechamiento del río para propiciar nuevas fuentes de trabajo e ingresos económicos a las comunidades ribereñas.

9.- El municipio de San Miguel de Allende, Guanajuato, debería tomar muy en serio la responsabilidad del manejo de los ríos que pasan por su territorio, pidiendo a la CONAGUA los permisos necesarios para esas funciones.

10.- Formar un equipo técnico a nivel municipal encargados específicamente de atender las problemáticas en los ríos del municipio. Este equipo técnico, sería el encargado del manejo de las cuencas hidrográficas en coordinación con instituciones federales y estatales. Tendría una relación y un papel importante con la dirección de protección civil, por todos los fenómenos de riesgos hidrológicos que se susciten en la municipalidad.

Bibliografía

- Arriaga, L., V. Aguilar, J. Alcocer. 2002. "Aguas continentales y diversidad biológica de México". Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Bennet, A.F. 2004. "Enlazando el paisaje: El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre". UICN-Unión Mundial para la Naturaleza. San José, Costa Rica. 278pp.
- Ceccon E. 2003. "Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas". *Revista Ciencias UNAM* Vol: 72 47-53
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2003. "La cuenca del río Laja"
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2001. "Ley Federal de Derechos en Materia de Agua"
- Dourojeanni, A. et al. 2002. Gestión del agua a nivel de cuencas: Teoría y práctica, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), LC/L.1777-P, Agosto de 2002, Serie Recursos Naturales e Infraestructura No 47, Santiago, Chile (disponible en Internet: <http://www.cepal.org/dnri/publicaciones/xml/5/11195/LCL1777-P-E.pdf>).
- FISRWG (10/1998). Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices. By the Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FISRWG)(15 Federal agencies of the US gov't). GPO Item No. 0120-A; SuDocs No. A 57.6/2:EN 3/PT.653. ISBN-0-934213-59-3.
- Geilfus F. 1997, 80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación . IICA, SAGAR, México.
- González del Tánago M. 1998. "Las riberas, elementos claves del paisaje y en la gestión del agua". Ponencia en el I^{er} CONGRESO IBÉRICO SOBRE GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN AGUAS, El agua a debate desde la Universidad. Por una Nueva Cultura del Agua. Zaragoza, 14-18 de septiembre de 1998.
- González del Tánago, M & D. García de Jalón (1995): *Restauración de ríos y riberas*. Edita: Fundación del Conde del Valle de Salazar. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid: 319 páginas. Madrid.
- Hernández, L. (en prep.). Manual para el análisis de la vegetación en estudios de diagnóstico e impacto ambiental. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Herrera, A. 2005. Restauración Ecológica de ríos. *Revista El Observador* Vol. 48: 47
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEGI) 2002. Carta Topográfica Escala: 1: 250,000 Querétaro F14 – 10

- Instituto Nacional de Ecología, [sitio en línea].
<<http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/conceptos.html> >. [consulta: 24-05-2007]
- Lamprecht, H. 1990. *Silvicultura en los Trópicos*. Deutsche Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Eschborn, Alemania. 335p.
- López M. Gerardo. 2005. "Situación Actual de la Cuenca del Río Laja". Salvemos al Río Laja A. C. 35p.
- López M. Gerardo. 2006. "Rehabilitación de la cuenca alta del río Laja" Memorias del Foro "Cruce de Caminos" Presidencia Municipal de San Miguel de Allende 2000 – 2003.
- Malanson, G.P. 1993. *Riparian Landscapes*. Cambridge Studies in Ecology, Cambridge University Press.
- Munné, A., Solá, C., Prat, N. 1998. QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología del Agua* Vol. 175: 20-37
- Ortega G. Adrián. 2000. Atlas del Acuífero de la Independencia, UNAM México.
- Ortiz, A., Gerritsen, P., Martínez, R., Allen, A., Snoep, M. 2004. Restauración de bosques ribereños en paisajes antropogénicos, en el occidente de México. Trabajo presentado en el Simposio Internacional sobre restauración Ecológica, realizado del 17 al 21 de noviembre del 2004, en la ciudad de Santa Clara, Villa Clara, Cuba.
- Ponce C., V. M., W. R. Zúñiga C., F. R. Venegas C., T. Gaona A., R. O. García C., J. I. Sepúlveda B., y G. Arámburo V. 2000. Valle de Ojos Negros: Resumen Interdisciplinario. San Diego State University, Universidad Autónoma de Baja California, e Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Forestales, y Pecuarias. Junio, 42 p.
- Payne, N. F., and F. Copes. 1986. *Wildlife and fisheries habitat improvement handbook*. U.S. Dept. of Agr. Forest Service I:92.
- Rood, S.B. & J.M. Mahoney. 1990. Abrupt downstream forest decline following river damming in southern Alberta. *Canadian Journal of Botany* 67: 1744-1749.
- Rzedowski, J. 1998. "Vegetación de México", Ed.Limusa. México.
- Schmidt, G. 1999. La restauración de ríos y riberas: principios básicos, alternativas y técnicas. Ponencia en "Jornadas por una nueva cultura del agua" Alcoi, del 24 de Septiembre al 3 de Octubre de 1999. [web en línea]
<http://www.xarxaneta.org/~carrasca/guido.htm> . [Consulta: 29-05-2007]
- Timoney, K.P., G. Peterson. y R. Wein. 1997. Vegetation development of boreal riparian plant communities after flooding, fire and logging, Peace River, Canada. *Forest Ecology and Management*. Vol. 93: 101-120

- Torres B., Mejía S., Cortés B., Palacios V., Exebio G. 2005. “Adaptación de un modelo de simulación hidrológica a la cuenca del río Laja, Guanajuato, México”. *Agrociencia*, Colegio de Postgraduados, Texcoco, México. Vol. 39: 481 – 490
- Ureña, J.M. y Ollero, A. (2000) “Criterios y propuestas para la ordenación de áreas fluviales”. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, XXXII: (126) 689-710.
- White, R. J. 1975. Trout population responses to stream flow and habitat management in Big Roche-a-Cri Creek, Wisconsin. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 19:2469-2477.
- Yon, D. & G. Tendron. 1981. Alluvial forests of Europe. *Nature and Environment* Series No. 22. Council of Europe, Strasbourg.

ANEXOS

Tipos de Ríos según Rosgen (1994).

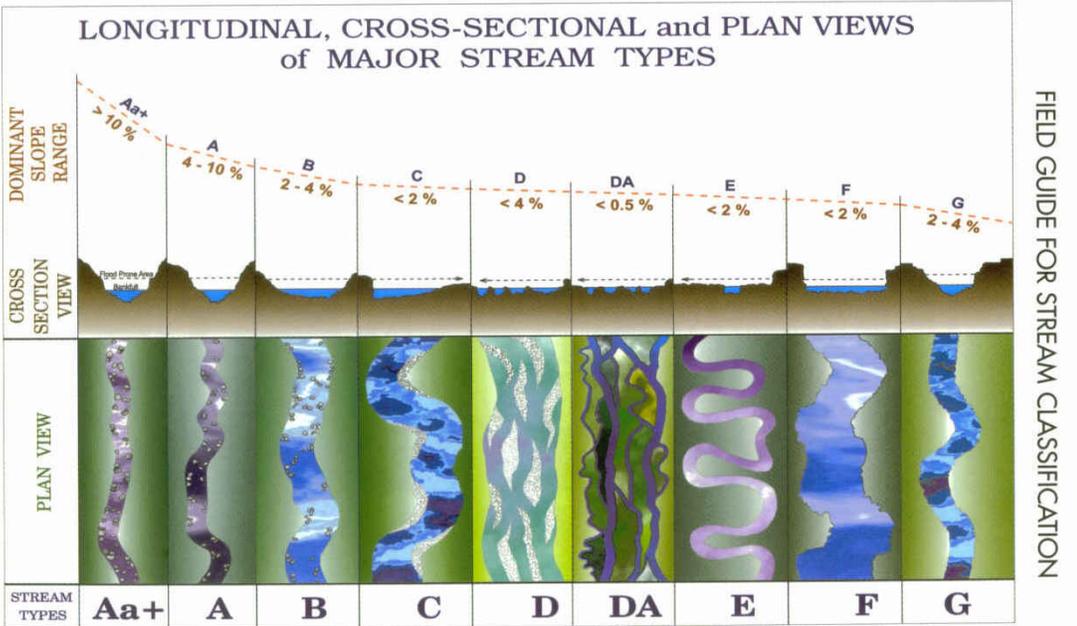


FIGURE 2. Broad level stream classification delineation showing longitudinal, cross-sectional and plan views of major stream types. (from Rosgen, 1994)

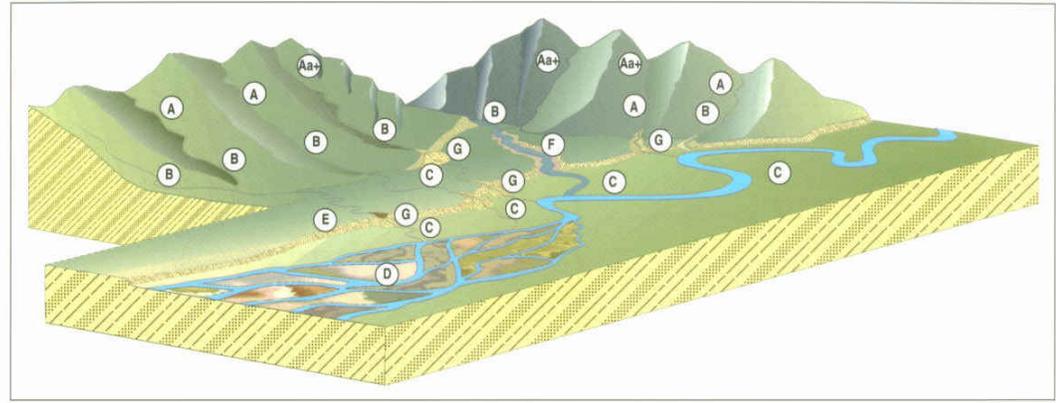


FIGURE 3. Example of broad level delineation of stream types at Level I.

Los cuatro apartados de la hoja de campo del Índice QBR

Apartado 1: Grado de cobertura de la zona de ribera

En su estado natural, la zona de ribera tiende a estar cubierta por vegetación, siempre que el sustrato, la recurrencia de las grandes avenidas y la geomorfología lo permitan. La calidad de la zona de ribera, por tanto, disminuye a medida que lo hace la cubierta vegetal. En este apartado lo que interesa es puntuar el recubrimiento del terreno por la vegetación sin tener en cuenta su estructura vertical, que se puntúa en el siguiente apartado. Interesa destacar el papel del bosque de ribera como elemento estructurador del río y su papel en la fijación del sustrato frente a avenidas. El grado de cubierta vegetal se calcula respecto a la zona de la ribera que tiene un sustrato apto para el enraizado de la vegetación. Las plantas anuales no se contabilizan, pero sí los matorrales y los arbustos. (Munné, *et al.* 1998)

Debe tenerse en cuenta también, la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente, debido a las diversas interacciones que se dan entre los dos ecosistemas. Según esta conectividad, la puntuación obtenida por el porcentaje de recubrimiento vegetal puede ser modificada. Se considera que la conectividad es total cuando entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal de los dos márgenes del río no existe ninguna alteración de origen antrópico longitudinal y paralela al río. Los caminos no asfaltados de menos de cuatro metros no se tienen en cuenta, ya que se consideran que no dificultan el intercambio entre los dos ecosistemas. Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es de un 50% , la puntuación anterior no es modificada ni en positivo ni en negativo. Obsérvese que con cubiertas entre el 50 y el 80%, si la conectividad es muy buena, el índice obtiene también una puntuación alta, cosa que ayuda a corregir la falta de vegetación debida a causas naturales como, por ejemplo, una avenida reciente. (Munné, *et al.* 1998)

Apartado 2: Estructura de la cubierta

La vegetación de la zona de ribera en su estado natural debería combinar árboles y arbustos, lo que permite una estructuración mejor de la comunidad y, por lo tanto, una mayor biodiversidad. En el apartado anterior, la cubierta total ya se ha medido, pero no su estructuración, que da una idea de la organización vertical de la ribera (estrato arbustivo y arbóreo), que es un atributo de calidad diferente y por ello se considera en un bloque diferente. (Munné, *et al.* 1998)

La puntuación inicial se realiza según el porcentaje de recubrimiento de árboles y, en su defecto, de arbustos. La presencia de helófitos o arbustos en la orilla mejora la complejidad de la zona de ribera, con lo que aumenta la biodiversidad y, por este motivo, se introduce como un elemento positivo adicional. (Munné, *et al.* 1998)

Muchas veces en las riberas con cierto grado de alteración, los árboles o arbustos de la antigua vegetación de ribera se encuentran distribuidos en manchas aisladas, sin una continuidad entre ellos. Este hecho desestructura la continuidad de la ribera, y por lo tanto, hace que disminuya su biodiversidad y su papel como corredor biológico puede quedar mermado. Pero cuando estas manchas están bien conectadas por un importante sotobosque (no se contabilizan las plantas anuales ni las herbáceas ruderales) se pueden restablecer estas funciones de la vegetación de ribera. Estas dos situaciones quedan reflejadas en este apartado, ya sea restando 5 puntos o sumándolos. (Munné, *et al.* 1998)

Otra situación frecuente en las riberas de los ríos son las plantaciones de árboles, a menudo no autóctonos. En este caso encontramos los árboles perfectamente alineados y se consideramos que esto significa un grado de calidad menor que el de un bosque silvestre. De aquí la puntuación negativa que se otorga en este caso en la hoja de campo. El sotobosque de estos ambientes de ribera puede ser más o menos abundante en función de la edad de la plantación y de las actividades que se realicen. Dado que el sotobosque

ayuda a la reestructuración del sistema de ribera, cuando este cubre más de un 50% la penalización es menor. (Munné, *et al.* 1998)

Apartado 3: Naturalidad y complejidad de la cubierta.

El diferente número de especies arbóreas que puede albergar una ribera depende de una gran cantidad de factores ligados a la disponibilidad de recursos, condiciones ambientales y heterogeneidad en el medio, pero que en su mayor parte se podrían sintetizar en las características de la geomorfología del cauce. Por esto, antes de medir este apartado se debe determinar el tipo geomorfológico de la ribera (Anexo2) En este anexo, el tipo 1 corresponde a riberas cerradas, generalmente de cabecera, y con baja potencialidad para desarrollar un extenso bosque de ribera. El tipo 2, a menudo en las partes medias del río, son riberas con una potencialidad intermedia para soportar una zona vegetada. El tipo 3 corresponde a riberas extensas de los tramos bajos de los ríos, con elevada potencialidad para poseer un bosque extenso y con distintas especies arbóreas, y donde incluso pueden existir islas fluviales. (Munné, *et al.* 1998)

Para la determinación del tipo geomorfológico de la zona de ribera se ha desarrollado un sistema de puntuación que valora el desnivel del margen derecho con el del izquierdo (Anexo2 primer apartado). Si existen islas en el medio del río con potencialidad de poseer una masa vegetal, se restarán 1 ó 2 puntos (Anexo 2 segundo apartado). Según el porcentaje de sustrato duro con incapacidad para que se enraíce una masa vegetal permanente se pueden, también sumar puntos (Anexo2, tercer apartado). Si la puntuación final es superior a 8, estamos en el tipo geomorfológico 1. Si está entre 5 y 8, el tipo 2. Y si es inferior a 5, el tipo 3. (Munné, *et al.* 1998)

Una vez determinado el tipo geomorfológico, se procede a medir la complejidad y la naturalidad de su cubierta. La naturalidad está relacionada con las especies arbóreas autóctonas que se tendrían que encontrar en una situación sin alteración de la ribera. El número de especies debería aumentar

desde el tipo 1 hasta el 3, al mismo tiempo que aumenta la anchura y la complejidad geomorfológica de la zona de ribera. (Munné, *et al.* 1998)

Para determinar la naturalidad se deben conocer cuales son las especies arbóreas y arbustivas potencialmente posibles en la zona y compararlas con las realmente presentes, tanto autóctonas como alóctonas. El número de especies de árboles autóctonos nos determina la puntuación inicial según el tipo geomorfológico. Esta puntuación puede ser modificada, sumando 5 ó 10 puntos, cuando la comunidad vegetal tenga una continuidad a lo largo del río, exista una disposición en galería de las diferentes comunidades o hayan distintas especies arbustivas (considerando también el tipo geomorfológico) , es decir, todos aquellos elementos que influyen en la complejidad del sistema. La presencia de estructuras construidas por el hombre dentro de la zona e ribera, los árboles pertenecientes a especies alóctonas sea de forma aislada o formando comunidades, y los vertidos de basuras hacen disminuir la naturalidad y la complejidad de la ribera y por esto restan 5 ó 10 puntos según la intensidad de estas perturbaciones. (Munné, *et al.* 1998)

Apartado 4: Grado de alteración del canal fluvial.

El canal fluvial está en íntima relación con el bosque de ribera y puede ser alterado por distintas actuaciones del hombre. El grado de alteración está en función de la intensidad de la modificación. Distinguimos tres situaciones básicas: la modificación de las terrazas adyacentes al lecho del río, con la consecuente reducción del cauce pero sin infraestructuras construidas por el hombre, la presencia de infraestructuras rígidas discontinuas y paralelas al lecho del río que modifican el canal y, finalmente, la canalización total del tramo modificando las orillas o toda la ribera. El canal fluvial también puede alterarse por la presencia de estructuras sólidas en el lecho del río o transversales a éste, (presas por ejemplo) a pesar que el canal no presente modificaciones de su anchura. Las pequeñas presas o las pasarelas de cemento para que pasen los automóviles se consideran como elementos que hacen disminuir la calidad. No se consideran los puentes ni los pasos para vehículos en el río sin cimentar a efectos del cálculo del QBR. (Munné, *et al.* 1998)

Una vez examinado cada uno de los cuatro apartados, se habrá indicado en el margen izquierdo de la hoja de campo cuál o cuales opciones escogidas. Ahora se puede calcular la puntuación de cada uno, que se anotará en el margen derecho, y se procederá a la suma total. Recordamos que la suma de cada apartado no puede ser negativa ni superior a 25. Esta hoja de campo puede después conservarse para prospecciones futuras e incluso compararse con fotografías desde las que, a veces, se puede inferir el QBR. (Munné, *et al.* 1998)

ANEXO

En la nueva ley de aguas nacionales y su reglamento en el capítulo único artículo 3º dice lo siguiente. Para los efectos de ésta ley se entenderá por:

XLVII. "Ribera o Zona Federal": Las fajas de diez metros de anchura contiguas al cauce de las corrientes o al vaso de los depósitos de propiedad nacional, medidas horizontalmente a partir del nivel de aguas máximas ordinarias. La amplitud de la ribera o zona federal será de cinco metros en los cauces con una anchura no mayor de cinco metros. El nivel de aguas máximas ordinarias se calculará a partir de la creciente máxima ordinaria que será determinada por "la Comisión" o por el Organismo de Cuenca que corresponda, conforme a sus respectivas competencias, de acuerdo con lo dispuesto en los reglamentos de esta Ley. En los ríos, estas fajas se delimitarán a partir de cien metros río arriba, contados desde la desembocadura de éstos en el mar. En los cauces con anchura no mayor de cinco metros, el nivel de aguas máximas ordinarias se calculará a partir de la media de los gastos máximos anuales producidos durante diez años consecutivos. Estas fajas se delimitarán en los ríos a partir de cien metros río arriba, contados desde la desembocadura de éstos en el mar. En los orígenes de cualquier corriente, se considera como cauce propiamente definido, el escurrimiento que se concentre hacia una depresión topográfica y forme una cárcava o canal, como resultado de la acción del agua fluyendo sobre el terreno. La magnitud de la cárcava o cauce incipiente deberá ser de cuando menos de 2.0 metros de ancho por 0.75 metros de profundidad;

XI. "Cauce de una corriente": El canal natural o artificial que tiene la capacidad necesaria para que las aguas de la creciente máxima ordinaria escurran sin derramarse. Cuando las corrientes estén sujetas a desbordamiento, se considera como cauce el canal natural, mientras no se construyan obras de encauzamiento; en los orígenes de cualquier corriente, se considera como cauce propiamente definido, cuando el escurrimiento se concentre hacia una depresión topográfica y éste forme una cárcava o canal, como resultado de la acción del agua fluyendo sobre el terreno. Para fines de aplicación de la presente Ley, la magnitud de dicha cárcava o cauce incipiente

deberá ser de cuando menos de 2.0 metros de ancho por 0.75 metros de profundidad;

XVI. "Cuenca Hidrológica": Es la unidad del territorio, diferenciada de otras unidades, normalmente delimitada por un parte aguas o divisoria de las aguas - aquella línea poligonal formada por los puntos de mayor elevación en dicha unidad-, en donde ocurre el agua en distintas formas, y ésta se almacena o fluye hasta un punto de salida que puede ser el mar u otro cuerpo receptor interior, a través de una red hidrográfica de cauces que convergen en uno principal, o bien el territorio en donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aun sin que desemboquen en el mar. En dicho espacio delimitado por una diversidad topográfica, coexisten los recursos agua, suelo, flora, fauna, otros recursos naturales relacionados con éstos y el medio ambiente. La cuenca hidrológica conjuntamente con los acuíferos, constituye la unidad de gestión de los recursos hídricos. La cuenca hidrológica está a su vez integrada por subcuencas y estas últimas están integradas por microcuencas.

XXX. "Humedales": Las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénagas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas en donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos por la descarga natural de acuíferos;

XXXVII. "Materiales Pétreos": Materiales tales como arena, grava, piedra y/o cualquier otro tipo de material utilizado en la construcción, que sea extraído de un vaso, cauce o de cualesquiera otros bienes señalados en Artículo 113 de esta Ley;

XLVIII. "Río": Corriente de agua natural, perenne o intermitente, que desemboca a otras corrientes, o a un embalse natural o artificial, o al mar;

XLIX. "Servicios Ambientales": Los beneficios de interés social que se generan o se derivan de las cuencas hidrológicas y sus componentes, tales como regulación climática, conservación de los ciclos hidrológicos, control de la erosión, control de inundaciones, recarga de acuíferos, mantenimiento de escurrimientos en calidad y cantidad, formación de suelo, captura de carbono, purificación de cuerpos de agua, así como conservación y protección de la biodiversidad; para la aplicación de este concepto en esta Ley se consideran primordialmente los recursos hídricos y su vínculo con los forestales;