



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

**Erosión Hídrica en la microcuenca
San Pedro Huimilpan:
Valoración Integrada para su Control**

TESIS

Que como parte de los requisitos
para obtener el grado de

**MAESTRO EN GESTIÓN
INTEGRADA DE CUENCAS**

Presenta

ROGELIO MUÑOZ GUTIÉRREZ

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERÉTARO
BIBLIOTECA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

Querétaro, Qro., Marzo de 2006.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

Facultades de Ciencias Naturales,
Ingeniería, Psicología, Filosofía, Ciencias
Políticas y Sociales y Química

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

Erosión Hídrica en la microcuenca San Pedro Huimilpan:
Valoración Integrada para su Control

TESIS

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

Presenta:

Rogelio Muñoz Gutiérrez

Dirigida por:

Dr. Eusebio Jr. Ventura Ramos

SINODALES

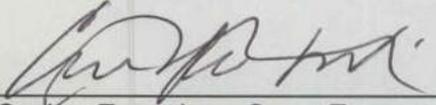
Dr. Eusebio Jr Ventura Ramos
Presidente

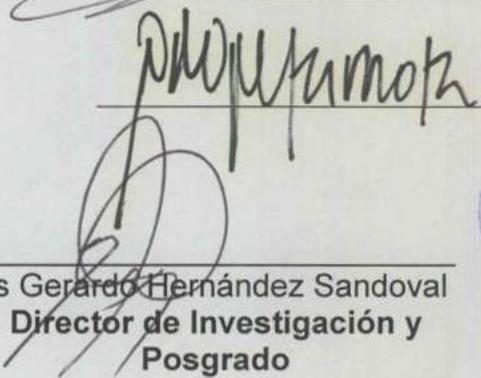
Dr. Enrique González Sosa
Secretario

Dr. Miguel Ángel Domínguez
Cortazar
Vocal

M.I. Filiberto Luna Zúñiga
Suplente

Dr. José Luis Oropeza Mota
Suplente


Dr. Carlos Francisco Sosa Ferreyra
Director de la Facultad de Ciencias
Naturales


Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval
Director de Investigación y
Posgrado



No. ADQ. 14A00010

No. TITULO 6

CLASIFI. T5

551.302

M971e

Ej. 2

Handwritten signature or mark in green ink.

RESUMEN

La erosión hídrica del suelo es un proceso que incluye el desprendimiento y transporte de las partículas que lo componen, derivado del impacto producido en su estructura por las gotas de lluvia y por el efecto posterior del escurrimiento superficial del agua. Una gran cantidad de suelo se pierde de esta forma en nuestro país y en el mundo, debido principalmente al cambio de uso de terrenos forestales a otras actividades productivas o para otras actividades relacionadas con la influencia humana. El objetivo del presente trabajo fue realizar un diagnóstico y valoración del proceso erosivo, así como evaluar la eficiencia de obras de conservación para su control, en la microcuenca de San Pedro, ubicada en el Municipio de Huimilpan, Querétaro. Metodológicamente, mediante la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), así como con recorridos de campo, fue posible cuantificar la superficie afectada por erosión hídrica en sus diferentes formas. Con base en los resultados de esta evaluación preliminar, se definió la ubicación más idónea para la construcción de dos obras de conservación de suelo (muros de contención) y de una obra accesorias (presa de llantas automotrices de desecho). La participación de los gobiernos local, estatal y federal a través de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), así como la Empresa Maccaferri de México S.A. de C.V. y la Universidad Autónoma de Querétaro, fueron claves para la realización del proyecto. La eficiencia de retención de estas prácticas se evaluó para el periodo de lluvias del año 2005, en términos del volumen de sedimentos retenidos. Adicionalmente se realizó una encuesta social encaminada a conocer el grado de interés y participación de la población local en la problemática de la erosión y su repercusión en los recursos naturales de la zona. Las obras construidas resultaron ser efectivas y de beneficio para el ambiente y la población. Se concluye que es importante la implementación de obras de conservación de suelos que tiendan a revertir el deterioro de los recursos naturales con la participación integrada tanto de la población como de los gobiernos en sus diferentes niveles, de las instituciones de enseñanza e investigación y las empresas. Esto es una garantía de que la implementación de obras cumpla con su propósito y no sea una inversión inadecuada. Asimismo, es de suma importancia conocer y evaluar la opinión y percepción local del problema erosivo de parte de la población afectada, toda vez que el éxito de la realización de las obras de control de la erosión requiere del consenso y aceptación previa de los dueños y poseedores de los terrenos en donde se presenta el fenómeno.

Palabras clave: Erosión hídrica, microcuencas, participación social, control de erosión.

SUMMARY

Soil water erosion of soils is a process which includes the detachment and transport of the soil particles, as a result of raindrops in soil's structure and the subsequent effect of the runoff. In our country and worldwide, enormous amounts of soil are lost mainly in this way, due to the land use change from forestry to other productive activities or human interventions. The present research was aimed to identify and evaluate the erosion process, as well as to analyze the efficiency of soil conservation structures at the San Pedro micro watershed, located in the Municipality of Huimilpan, Querétaro. The methods, based on Geographic Information Systems (GIS) and field recognition, allowed the quantification of area affected by water erosion in its different forms. The results of this preliminary evaluation allowed the identification of suitable locations for building two soil conservation structures (retaining walls) and one accessory structure (A dam made of wasted car tires). The collaboration of local, state and federal governments through the Minister of Environment and Natural Resources (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT), in addition to Maccaferri of México Company, and the University of Queretaro, was the key for achieving the goal of the project. Sediment retention efficiency, with the use of these structures, was evaluated as the volume of sediments retained for the 2005 rain season. Additionally, a social survey was carried out in order to evaluate the participation of the local people in relation to erosion issues and its effects on natural resources of the area. The structures were effective in improving site conditions which results in additional benefits for inhabitants. In conclusion, it is important to implement soil conservation structures which can revert the damage to the natural resources, when there is an active participation of local society, the different levels of the government, academic institutions and private companies. This is a guarantee that the implementation of soil conservation structures can fulfill their purpose and being an adequate investment. In addition, it is of special importance to know and understand the opinion and perception of affected population on the erosion problem, since the success of the soil conservation structures requires the acceptance and consensus of land owners where the phenomenon occurs.

Key words: Water erosion, micro watershed, social participation, erosion control

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

A Dios, por que sin el nada hubiera sido posible.

A mi esposa Dulce María Lara Terrazas, compañera y amiga de toda mi vida, por todo su amor, apoyo, cariño y comprensión en todo momento y circunstancia, por difícil que estos fueran.

A mis hermanos, que aunque siempre estemos alejados, siempre estaremos juntos.

A la Maestra Maria Eugenia Mejía Velásquez y a Luís Guillermo Yañez Gloria, así como a toda su familia, por todo el apoyo, cariño y confianza que me han brindado desde que empecé mis estudios en esta Hermosa Ciudad de Querétaro.

Al Dr. Eusebio Jr. Ventura Ramos, por su apoyo, confianza y dedicación, sin los cuales no hubiera sido posible el éxito del presente trabajo.

A mis maestros de las diferentes facultades y áreas de la Universidad, por compartir sus conocimientos en pro de la educación de sus alumnos.

A Carlos Chávez, Carlos Revuelta Pérez y Gerardo Núñez González, por su apoyo desinteresado en los trabajos de esta tesis y por su amistad.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo para la realización de mis estudios.

A la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) por el apoyo económico necesario para la realización de las obras de conservación, objeto de la presente, así como a la empresa Maccaferri de México S.A. de C.V. por el apoyo técnico.

A mis compañeros y amigos por brindarme su amistad

En general, les agradezco de todo corazón a todos aquellas personas que de alguna u otra forma, contribuyeron para la realización de esta tesis.

Dedico el presente trabajo a mis padres Ángel Muñoz Narváez y Maria del Carmen Gutiérrez García, por su sacrificio y tenacidad en su búsqueda de mi superación profesional y la de todos mis hermanos.*

En especial a mi madre recién fallecida, por todos los cúmulos de sabiduría y apoyo que siempre brindo a todos y cada uno de sus hijos, huella imborrable en la memoria de todos los que la amamos.

CONTENIDO

RESUMEN.....	III
SUMMARY	IV
AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE CUADROS.....	XII
1 INTRODUCCION	1
1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION	2
1.2 OBJETIVOS	6
1.2.1 <i>General</i>	6
1.2.2 <i>Específicos</i>	6
1.3 HIPOTESIS	6
2 REVISION BIBLIOGRAFICA	7
2.1 EROSION DEL SUELO	7
2.1.1 <i>Tipos de Erosión</i>	7
2.1.2 <i>Los agentes de la erosión</i>	7
2.2 FORMAS DE LA EROSIÓN HIDRICA	8
2.2.1 <i>Erosión por salpicado</i>	8
2.2.2 <i>Erosión laminar</i>	9
2.2.3 <i>Erosión en surcos</i>	10
2.2.4 <i>Erosión en cárcavas</i>	11
2.2.5 <i>Formas especiales de la erosión</i>	12
2.2.5.1 <i>Erosión en pedestales</i>	12
2.2.5.2 <i>Erosión en pináculos</i>	13
2.2.5.3 <i>Erosión tubular</i>	14
2.2.5.4 <i>Erosión por caída o remontante</i>	14
2.3 LA PROBLEMÁTICA DE LA EROSION EN CÁRCAVAS	15
2.3.1. <i>Clasificación de cárcavas</i>	17
2.3.2. <i>Métodos para el control de cárcavas</i>	17
2.4 EL USO DE GAVIONES EN EL CONTROL DE LA EROSIÓN	21
2.5 EL USO DE LLANTAS AUTOMOTRICES EN EL CONTROL DE LA EROSIÓN.	25
3 METODOLOGIA	27
3.1 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.....	27
3.1.1 <i>Localización</i>	27
3.1.2 <i>Características Físicas</i>	28
3.1.3 <i>Aspectos Socioeconómicos</i>	29

3.2	INVENTARIO DE OBRAS DE CONSERVACION	30
3.3	TIPOS Y FORMAS DE EROSION EN LA MICROCUENCA.....	31
3.4	CONTEXTO SOCIAL	32
3.5	DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS OBRAS DE CONTROL DE LA EROSION	32
3.5.1	<i>El proceso de gestión de recursos basado en el diagnóstico.</i>	32
3.5.2	<i>Los sitios de estudio</i>	33
3.5.3	<i>Calculo de los Gastos de Diseño.</i>	37
3.5.4	<i>Evaluación de la Eficiencia de la Obras.</i>	38
3.5.5	<i>Obra accesoria de control de azolves y avenidas</i>	38
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1	DELIMITACIÓN DE LA MICROCUENCA Y DEFINICION DE USOS DE SUELO.....	39
4.2	OBRAS DE CAPTACION Y CONSERVACION DE AGUA	41
4.3	OBRAS DE CONSERVACION DE SUELOS	43
4.4	DIAGNOSTICO DE LA EROSION HIDRICA EN LA MICROCUENCA.....	45
4.5	PARTICIPACIÓN SOCIAL.	47
4.6	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE OBRAS DE CONTROL.....	48
4.6.1	<i>Gasto de Diseño para los sitios seleccionados.</i>	50
4.6.2	<i>Diseño de Obras</i>	52
4.6.3	<i>Ejecución de Obras y Supervisión</i>	55
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
6	BIBLIOGRAFIA.....	75
7	ANEXOS.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Superficie afectada por erosión hídrica en el estado de Querétaro	3
2	Ubicación de la microcuenca dentro de la Región Hidrológica Lerma-Santiago.	4
3	Limites de la Microcuenca de San Pedro Huimilpan	4
4	Aspectos del fenómeno erosivo en la zona de pie de monte en la microcuenca de San Pedro Huimilpan. (Foto.- R. Muñoz)	5
5	Impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie (Fuente: http://www.monsanto.es/monsantoes/AgriculturadeConservacion.html)	8
6	Erosión laminar. (Foto.- E. Ventura)	9
7	Erosión en canalillos (Fuente: http://www.green.go.jp/gyoumu/kaigai/manual/bolivia/03text/spanish/01.pdf)	10
8	Aspecto de una cárcava (Fuente: http://www.green.go.jp/gyoumu/kaigai/manual/bolivia/03text/spanish/01.pdf)	11
9	Erosión en pedestales (Foto R. Muñoz)	12
10	Erosión en pináculos (Foto.- R. Muñoz)	13
11	Erosión por caída (Foto.- R. Muñoz)	14
12	Proceso de formación de una cárcava. (Fuente: http://www.monografias.com/trabajos17/carcavas/carcavas.shtml#peri)	16
13	Características de las cárcavas (Fuente: http://albatros.uis.edu.co/~pagina/profesores/planta/jsuarez/publicaciones/librotaludes/documento/capitulo01/CAP01.pdf)	17
14	Control de cárcavas con recubrimiento de vegetación (Fuente: http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse_s/7mo/iita/C14.htm)	19
15	Control de cárcavas con estructuras temporales (Fuente: http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse_s/7mo/iita/C14.htm)	19
16	Planos de diseño de un gavión	22
17	Diseño de una presa de gaviones	24
18	Presas de lantás (Fuente:Manual de Obras y Prácticas CONAFOR-SEMARNAT, 2004.)	26
19	Ubicación de la microcuenca San Pedro en la porción Sur del Municipio de Huimilpan	27
20	Panorámica de la microcuenca San Pedro Huimilpan. (Fuente: Google Earth)	28
21	Fotografía y levantamiento de la Sección Arturo	34

Figura		Pagina
22	Área de aporte de la Sección Arturo	35
23	Área de aporte de la Sección Mario	35
24	Levantamiento de la Sección Mario	36
25	Mapa de la microcuenca generado a partir del sistema de escurrimientos	39
26	Mapa de vegetación forestal de la microcuenca	40
27	Cuerpos de agua de la Microcuenca San Pedro, Huimilpan, Qro.	41
28	Vista panorámica de la presa "Insurgente Miguel Domínguez" (Foto R. Muñoz)	42
29	Presa de gavión enzolada (Foto R. Muñoz)	44
30	Presa de piedra acomodada estabilizadas (Foto R. Muñoz)	45
31	Terrazas aledañas a zonas de asentamientos humanos (Foto R. Muñoz)	45
32	Zonas afectadas por distintos tipos de erosión en la microcuenca San Pedro	47
33	Sistema de escurrimientos de la Microcuenca de San Pedro Huimilpan	49
34	Unidades de Escurrimiento de la Microcuenca de San Pedro Huimilpan	50
35	Vista aguas abajo de la sección de Mario	52
36	Vista aguas arriba de la sección de Mario	53
37	Vista aguas abajo de la sección de Arturo	53
38	Vista aguas arriba de la sección de Arturo	54
39	Afinamiento de la Sección Hidráulica de la Sección Mario con Maquinaria Pesada	56
40	Corrección del piso del cauce de la Sección Hidráulica de la Sección Arturo	57
41	Corrección por condiciones de sinuosidad del cauce en la Sección Mario	58
42	Sección Mario original	60
43	Sección Mario modificada al término de la construcción	60
44	Sección Arturo original	61
45	Sección Arturo modificada al término de la construcción	61
46	Gráfica de elevación áreas-capacidades de la sección Arturo	62
47	Situación de azolve de la Sección Arturo	63
48	Gráfica de elevación áreas capacidades de la sección Mario	64

Figura		Pagina
49	Situación de azolve de la Sección Mario	65
50	Sección en campo del sitio de colocación de llantas	66
51	Sección hidráulica de la cárcava para la construcción de la presa de llantas	66
52	Procedimiento de anclaje de espigones o tornillos	67
53	Procedimiento de anclaje de llantas	68
54	Refuerzo de la estructura en el plano horizontal con varilla	68
55	Obra de llantas terminada aguas arriba y aguas abajo	69
56	Captación de sedimentos en la presa de llantas	70

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Dimensiones de la presa de gaviones	24
2	Valores de C para el cálculo de escurrimientos	37
3	Uso actual del suelo en la microcuenca de San Pedro Huimilpan	40
4	Tipos de erosión en la microcuenca de San Pedro Huimilpan	46
5	Gasto de diseño para el cálculo del vertedor de la sección de Arturo	51
6	Gasto de diseño para el cálculo del vertedor de la sección de Mario	51
7	Resumen de piezas utilizadas en la construcción de la Sección de Arturo	54
8	Resumen de piezas utilizadas en la construcción de la Sección de Mario	55
9	Elevación-Áreas-Capacidades (Sección Arturo)	63
10	Elevación-Áreas-Capacidades (Sección Mario)	64

1 INTRODUCCION

Se entiende por degradación toda modificación que conduzca al deterioro del suelo. Es un proceso que disminuye su capacidad actual y potencial para producir cuantitativa y cualitativamente bienes y servicios, y es una consecuencia directa de la utilización del suelo por el hombre (FAO UNESCO, 1983).

Dentro de los procesos de degradación del suelo, la erosión es el proceso que afecta al mayor número de hectáreas y la erosión hídrica es el fenómeno más significativo. Este fenómeno se considera uno de los problemas mas serios que enfrenta y enfrentara en un futuro la humanidad, ya que se encuentra asociado con prácticas inapropiadas de agricultura, sobrepastoreo, aprovechamiento desordenado de los bosques, matorrales, pastizales y selvas, y cambios de uso de suelos de terrenos forestales para uso agropecuario principalmente. Se considera que en México ésta ultima es la principal causa de la degradación de los suelos con un 53% de la superficie total afectada (INEGI, 1992).

De conformidad con las evaluaciones realizadas por la Dirección General de Conservación del Suelo y Agua de la extinta Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (S.A.R.H.), en el año de 1982 se estimó que el 80.2% de los suelos del país se encontraban afectados por diversos grados de erosión y que el 19.2% restante no presentaba problemas de erosión. Asimismo, se reportaba que el 4.57% del territorio nacional se encontraba completamente erosionado y que más del 48 % de los terrenos del país presentaban erosión de moderada a severa. Para el caso de Querétaro, el estudio reporta un grado de erosión moderado, manifiesta en un 80 a 90% de la superficie estatal (Martínez M. y Rubio G., 2002).

Las condiciones que genera el proceso erosivo en los suelos provocan una baja productividad que se traduce en conflictos socioeconómicos graves, que terminan en el abandono de las actividades agropecuarias como fuente de ingresos, y la emigración hacia otros lugares que puedan ofrecer mejores condiciones de producción y por tanto de subsistencia. La tarea de controlar o reducir los procesos erosivos del suelo con objeto de mantener su nivel de

productividad, se basa en conocer el efecto de la precipitación pluvial sobre los diversos terrenos, determinar cuales son los suelos más resistentes o susceptibles a la erosión, a fin de definir estrategias específicas para su control.

La implementación de prácticas y medidas de conservación que permitan mantener la productividad del suelo y mejorar los ecosistemas, requiere sin embargo, el conocimiento de la magnitud del proceso erosivo, sus causas y su gravedad. Debido a lo anterior, el presente proyecto plantea la evaluación de la erosión hídrica dentro de la microcuenca San Pedro Huimilpan con el objetivo de plantear estrategias de conservación y recuperación tanto de la cubierta vegetal como del suelo, para revertir el proceso erosivo y la recuperación de los beneficios ambientales inherentes, como la recarga de acuíferos, mayor productividad y recuperación de hábitat para la fauna y flora silvestre, entre otros.

1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION

De acuerdo con Estrada (1987) citado por Rivera (2003), se estimaba que el 100 % de la superficie del Estado de Querétaro (11,978 km²) se encontraba con algún grado de afectación por erosión hídrica (Figura 1). En virtud de dicha situación, se han estado llevando a cabo obras y actividades de conservación de suelos y agua en todo el territorio queretano, cuyos resultados en muchos de los casos no han sido documentados y en la mayoría de las obras no se ha dado un seguimiento puntual que nos arroje datos acerca de su efectividad en el control del fenómeno erosivo. Para el caso específico de la microcuenca San Pedro, Ventura et. al. (2005) se considera que existe una superficie considerable con pendientes moderadas donde la erosión se asocia al mal manejo de los terrenos agrícolas y ganaderos. Así mismo, se menciona que en las partes altas, la deforestación y el pastoreo indiscriminado han traído como consecuencia la existencia de áreas completamente degradadas. El mapa de erosión hídrica reportado para la microcuenca por Ventura et al. (2005) considera que el 10.5% del área presenta una erosión apreciable, el 87.5% con erosión poco apreciable, y el 2% sin erosión. Estas categorías son muy generales y solo identifican la erosión severa, moderada

y sin erosión, respectivamente, pero no dan más información detallada respecto a formas dominantes de erosión.

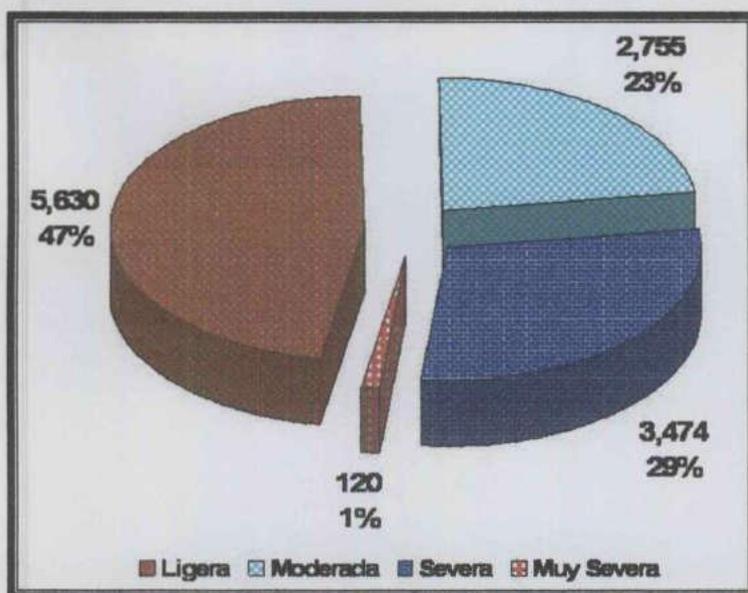


Figura 1. Superficie afectada por erosión hídrica en el estado de Querétaro.

La microcuenca de San Pedro se ubica en el límite del parteaguas continental que divide a las regiones hidrológicas RH-12 Lerma-Chapala y la RH-26 Pánuco. (Figura 2). Es una microcuenca de tipo exorreico que se localiza en el municipio de Huimilpan, aproximadamente a 42 kilómetros al sur de la Ciudad de Querétaro.

El parteaguas de la microcuenca está definido al norte por los cerros Capula, Bravo y Grande, al oeste por el Cerro Bravo y la comunidad El Saúz, al sur por la comunidad de San Ignacio y Cerro Redondo, y por último limita al este con la comunidad de San Pedro (Figura 3). Esta microcuenca de acuerdo con Pineda López R. et al. 2005, cuenta con un área tributaria del orden de los 47.83 kilómetros cuadrados, tiene un perímetro de 29.3 km y su cauce principal se desarrolla en una longitud de 7.7 km. En ésta se localizan corrientes superficiales del tipo intermitente siendo la principal el arroyo "San Pedro", el cual forma parte de la corriente del río "Pueblito", que recibe su nombre debido a que pasa por la población del mismo nombre y cabecera municipal del municipio de Corregidora (Antes Villa Corregidora).

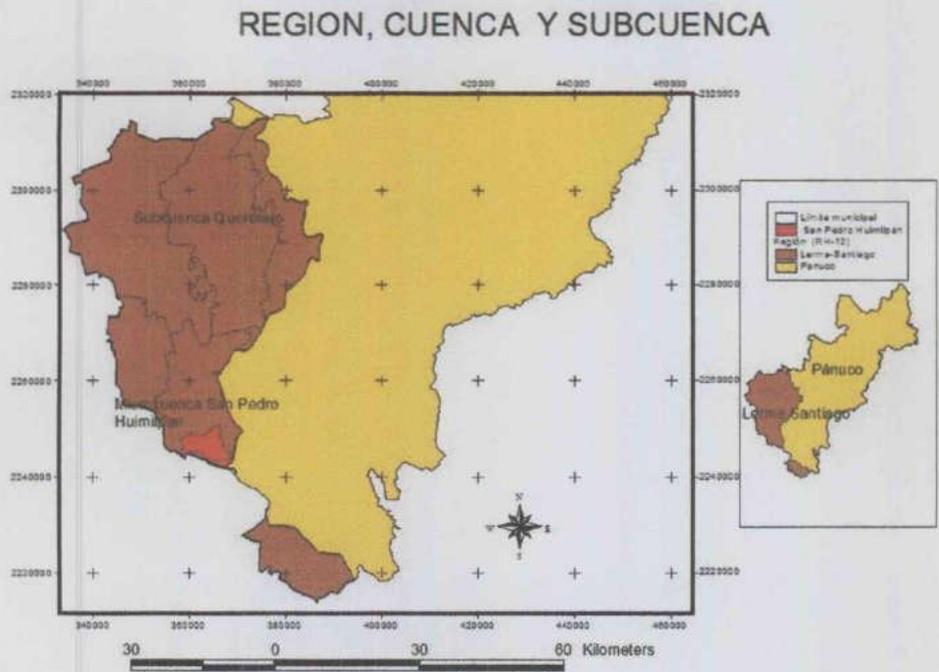


Figura 2. Ubicación de la microcuenca dentro de la Región Hidrológica Lerma-Santiago.



Figura 3. Limites de la Microcuenca de San Pedro Huimilpan

En 1971 se construyó la presa "Insurgente Miguel Domínguez" comúnmente llamada San Pedro, por parte de la extinta Secretaría de Recursos Hidráulicos (S.R.H.). Esta obra hidráulica corresponde a la salida de la microcuenca actual. Desde el inicio de su operación, esta obra ha captado grandes depósitos de sedimentos en su vaso, debido a los fuertes procesos de erosión que se presentan en la zona. A partir del año de 1991 se han estado implementando programas de conservación de suelos por parte de dependencias federales, estatales y municipales a través de la construcción de diversas obras de retención de azolves, sin embargo el proceso no se ha revertido en su totalidad y se continua con la degradación de los suelos, la cual es mas visible en las zonas de ladera, pie de monte y márgenes de arroyos y cauces que desembocan en la presa (Figura 4).

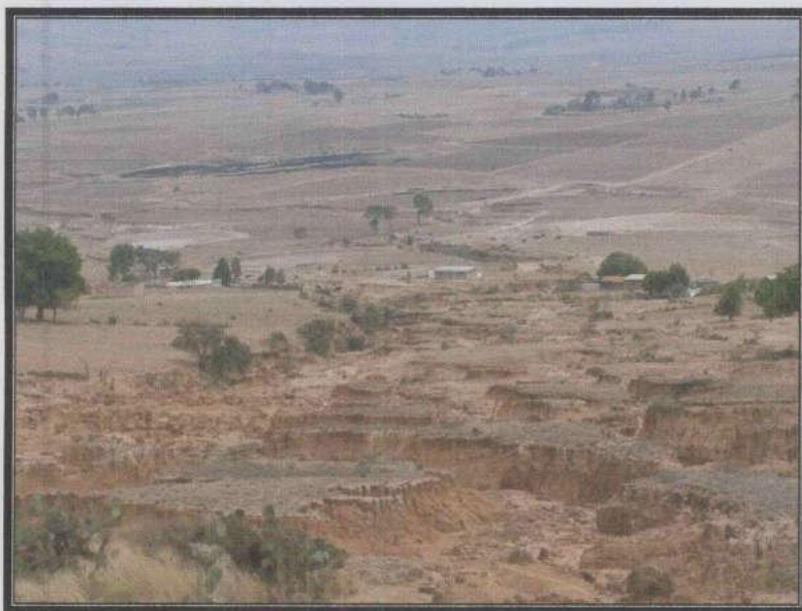


Figura 4. Aspectos del fenómeno erosivo en la zona de pie de monte en la microcuenca de San Pedro Huimilpan. (Foto.- R. Muñoz)

En este contexto, el presente estudio pretende evaluar la problemática de la erosión hídrica presente en los terrenos que comprende la microcuenca de "San Pedro", identificando las áreas erosionadas, grados y formas de erosión, con el propósito de definir áreas prioritarias y alternativas de manejo para este problema, así como considerar los factores sociales que pueden incidir en este fenómeno.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 General

El objetivo del presente estudio es realizar un diagnóstico de la situación actual del proceso erosivo en la Microcuenca San Pedro, identificando grado y forma de la erosión, así como diseñar, implementar y evaluar el funcionamiento de obras de conservación de suelo específicas, tomando en cuenta procesos de degradación y la consideración del factor socioeconómico como regulador de dichas acciones.

1.2.2 Específicos

- Realizar el inventario de las áreas erosionadas por tipo y forma.
- Inventariar las obras de conservación de suelo y agua en la microcuenca.
- Determinar a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG), las zonas erosionadas de atención prioritaria en base a su grado de deterioro, la división de la microcuenca en zonas de escurrimiento, el mapa forestal de la zona y la propuesta de ubicación de las principales obras de conservación de suelo.
- Censar a través de encuestas, la posible participación de la comunidad en la realización de actividades de fomento y construcción de obras de conservación de suelo.
- Proponer obras de conservación específicas y evaluar su respuesta en relación a las condiciones del proceso erosivo en la zona, determinando los costos unitarios para la zona del proyecto.

1.3 HIPOTESIS

La implementación de obras de conservación de suelos en la microcuenca "San Pedro" tiene un efecto positivo en la reducción de la erosión en los sitios de implementación, debido a que su diseño involucra un enfoque integral enfocado a la disminución de los mecanismos del proceso erosivo, considerando condiciones específicas de clima, suelo, vegetación, costos y al factor social como ente regulador.

2 REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 EROSION DEL SUELO

2.1.1 Tipos de Erosión

La erosión del suelo es la remoción del material superficial por la acción del viento o del agua (Kirkby, 1984) y corresponde un fenómeno que ha existido desde la formación de la tierra misma por los factores que en el intervienen. La superficie de la tierra es afectada por procesos exogénicos y endogénicos, los primeros tienden a nivelar, mientras que los segundos tratan de formar un nuevo relieve. Estos procesos operan en direcciones opuestas y, por tanto, la superficie terrestre que vemos en la actualidad es el producto de cambios muy lentos que se hacen notables solo en periodos largos de tiempo.

La erosión es uno de los aspectos de este proceso de cambios, de acuerdo a las fuerzas que actúan y tiempos de ocurrencia, se definen dos tipos:

- a) **Erosión Natural o Geológica:** Es aquella que ocurre como consecuencia solamente de las fuerzas de la Naturaleza y cuyas tasas de ocurrencia son generalmente bajas.
- b) **Erosión Acelerado o Inducida:** Es aquella que se presenta cuando a la acción de los agentes naturales se agrega la acción del hombre. Este tipo de erosión es propiciado por el mal manejo del suelo y en términos generales su ocurrencia es más frecuente que la geológica.

2.1.2 Los agentes de la erosión

Los principales agentes que intervienen en el proceso de la erosión son: el agua y el viento. Cuando el agente causal es el agua, la erosión se denomina **hídrica**, mientras que cuando el agente causal es el viento, se denomina **eólica**. Existen otros agentes causantes de la erosión que en menor escala y extensión causan el movimiento del suelo, tales como la gravedad, la maquinaria, y algunos procesos biológicos. En cualquier caso, la erosión hídrica es la de mayor importancia en nuestro país.

2.2 FORMAS DE LA EROSIÓN HIDRICA

2.2.1 Erosión por salpicado

El salpicado de suelo se origina cuando las gotas de lluvia caen directamente sobre las partículas de suelo o superficies de agua muy delgadas, salpicando cantidades enormes de suelo debido a la energía cinética de impacto. En suelos a nivel, la dispersión de suelo es más o menos uniforme en todas las direcciones, pero en un terreno con pendiente habrá un transporte neto hacia abajo. Si durante el proceso ocurre flujo superficial, las partículas removidas son incorporadas al flujo y serán transportadas aguas abajo antes de ser depositadas de nuevo en la superficie. El impacto sobre flujos someros causa turbulencias, proporcionando una mayor capacidad a la corriente para acarrear sedimento aguas abajo (Rivera Robles, 2003). La cantidad de suelo salpicado varía entre 50 y 90 veces más que las pérdidas por socavación o arrastre. Se calcula que en suelo descubierto se salpican al aire 224 Mg/ha debido a las lluvias frecuentes. Sin embargo, el salpicado normalmente no es transportado fuera de las áreas por el impacto como tal. La relación entre erosión y energía e impulso de la lluvia se determina por la masa de las gotas de lluvia, su tamaño, forma, velocidad y dirección. El impacto de la gota de lluvia también deteriora la estructura del suelo. El arrastre de materiales finos origina el "pavimento" de erosión, que es el resultado de la acumulación de partículas gruesas o fragmentos de roca en la superficie. La erosión por salpicado es responsable también de la formación de encostramiento y sellamiento de superficiales en suelos con estructura poco estable (Figura 5). La pendiente y el viento son factores que afectan la dirección y distancia de la erosión por salpicado.

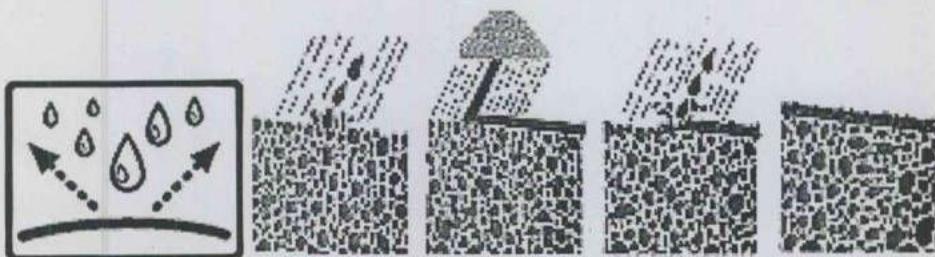


Figura 5. Impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie (Fuente: <http://www.monsanto.es/monsantoes/AgriculturadeConservacion.html>)

2.2.2 Erosión laminar

Según el concepto idealizado, la erosión laminar remueve uniformemente el suelo en estratos delgados, como consecuencia del flujo superficial laminar que escurre en capas delgadas sobre el terreno. Los estudios actuales sobre el mecanismo de la erosión, en los que se han utilizado técnicas fotométricas de exposición prolongada y de alta velocidad, indican que la forma idealizada de erosión laminar rara vez se verifica. El impacto de las gotas de lluvia, combinado con el flujo superficial, forma los riachuelos microscópicos iniciales. Desde el punto de vista de la energía, la erosión por las gotas de lluvia es muy importante, pues éstas tienen velocidades terminales de aproximadamente 6 a 9 m/s, mientras que las velocidades de flujo superficial son mucho menores (aproximadamente de 0.3 a 0.6 m/s). Las gotas de lluvia provocan el desprendimiento de las partículas de suelo y al aumentar el sedimento, se llenan los poros de la capa superficial, reduciendo así la tasa de infiltración. La fuerza abrasiva y la de arrastre de la corriente laminar están en función de la profundidad y la velocidad de escurrimiento para una partícula o agregado de suelo de tamaño, forma y densidad determinados (Young y Wiersma, 1973; citado por Rivera Robles, 2003).



Figura 6. Erosión laminar. (Foto.- E. Ventura)

2.2.3 Erosión en surcos

Cuando el flujo superficial se concentra, el agua actúa sobre el suelo desprendiéndolo y originando canales o arroyos pequeños bien definidos, conocidos como surcos o canalillos. Este tipo canales se vuelven estables y se les ve con facilidad (Figura 7). El desprendimiento y el transporte son más severos porque las velocidades de escurrimiento son más altas y el esfuerzo hidráulico cortante aumenta con el grado de la pendiente y el radio hidráulico de la sección del canal (Toy et. al., 2002).

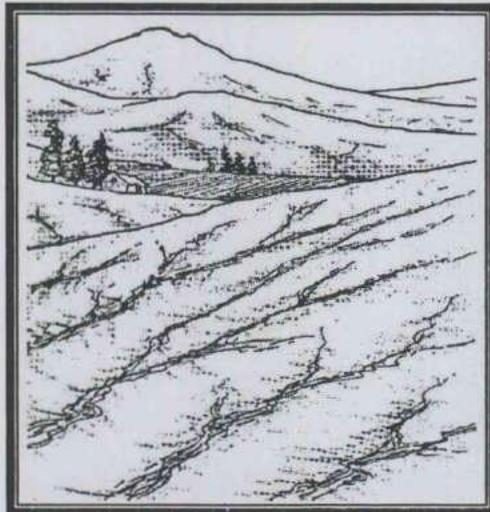


Figura 7. Erosión en canalillos

(Fuente: <http://www.green.go.jp/gyoumu/kaigai/manual/bolivia/03text/spanish/01.pdf>)

El flujo concentrado desprende el suelo en el perímetro mojado del surco y transporta el material desprendido junto con el material aportado del área entre surcos, donde normalmente ocurre erosión por salpicado y erosión laminar. La formaciones de la erosión en surcos son fácilmente eliminados de los terrenos con el paso de maquinaria. La cantidad de suelo transportado por la erosión en surcos depende de la relación entre la capacidad de desprendimiento y la capacidad de transporte, así como la carga de sedimentos (Toy et. al., 2002). Normalmente, la capacidad de desprendimiento disminuye con la carga de sedimentos, y viceversa.

2.2.4 Erosión en cárcavas

Esta forma de erosión abre canales de mayores dimensiones que los surcos, los cuales conducen agua durante o inmediatamente después de las lluvias y, a diferencia de lo que ocurre con éstos, el paso de maquinaria difícilmente borra los cauces sin dejar depresiones donde existían las cárcavas. Entonces, la erosión que origina cárcavas u hondonadas es una etapa avanzada de la que produce la erosión en surcos, del mismo modo que ésta, es una etapa posterior a la erosión laminar. El grado de erosión depende fundamentalmente de las características del área de aportación o de drenaje, de las características del suelo, del alineamiento, el tamaño, la forma de la zanja y del declive del canal. En la Figura 8 se puede apreciar el aspecto de una cárcava.

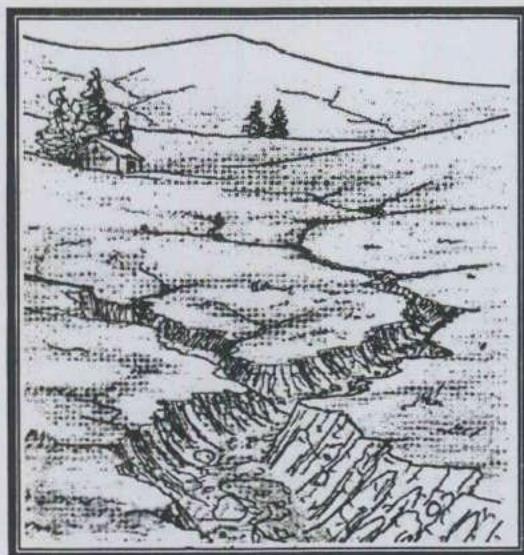


Figura 8. Aspecto de una cárcava

(Fuente: <http://www.green.go.jp/gyoumu/kaigai/manual/bolivia/03text/spanish/01.pdf>)

Una cárcava se forma por los procesos que ocurren ya sea simultáneamente o durante diferentes periodos de su crecimiento. Dichos procesos son:

- 1) Erosión por la caída del agua en el nacimiento del arroyo;
- 2) Erosión del canal causada por el agua corriente que fluye por el arroyo o por la salpicadura de las gotas de lluvia que caen en suelo descubierto; y
- 3) Deslizamiento o movimiento de volúmenes de suelo del arroyo.

2.2.5 Formas especiales de la erosión

2.2.5.1 Erosión en pedestales

Cuando se protege localmente a un suelo fácilmente erosionable del impacto de las gotas de lluvia, por medio de piedras o raíces de un árbol, quedan "pedestales" aislados, coronados y/o cubierto con el material resistente. Se ha demostrado que la erosión de terrenos adyacentes a los pedestales es debida, principalmente, a las gotas de lluvia más que al flujo superficial, ya que en la base del pedestal no existe socavación o es muy reducida. Esta forma de erosión se desarrolla lentamente a través de los años y se localiza generalmente en manchones desnudos de terrenos con vegetación aislada. Puede presentarse también en terrenos arables que hayan sufrido una erosión excesiva durante una tormenta excepcional.

Es importante diferenciar los pedestales de los montículos de pastos que frecuentemente tienen el nivel del suelo más elevado de la superficie del terreno circundante. Tales elevaciones pueden mostrar su nivel original por haber sido erosionado el suelo que los rodeaba, aunque es más común que el nivel del montículo de pasto se haya elevado por efecto de la acumulación de las partículas de suelo salpicadas de los sitios circunvecinos. En la Figura 9 se puede apreciar este tipo de erosión.



Figura 9. Erosión en pedestales (Foto R. Muñoz)

2.2.5.2 Erosión en pináculos

Esta forma de erosión se asocia siempre con canales verticales profundos a los lados de las cárcavas que profundizan rápidamente hasta que se juntan y dejan al pináculo aislado. Una capa más resistente de grava o piedra, a menudo corona el pináculo, como en la erosión en pedestales. Los pináculos son relictos de la condición natural del relieve provocado por socavaciones del agua que fluye, y a menudo asociado con erosión tubular (Figura 10).

El control de las cárcavas o cualquier intento de recuperación de los suelos en estas condiciones, es difícil cuando se presenta la erosión que manifiesta pináculos. El uso agropecuario de áreas con éste problema, es limitado por el alto costo de conformación de la superficie y la reducida cantidad de nutrientes del suelo. Por otra parte, la construcción de estructuras de tierra, concreto u otros materiales es restringida por la rápida socavación a que están sujetas.

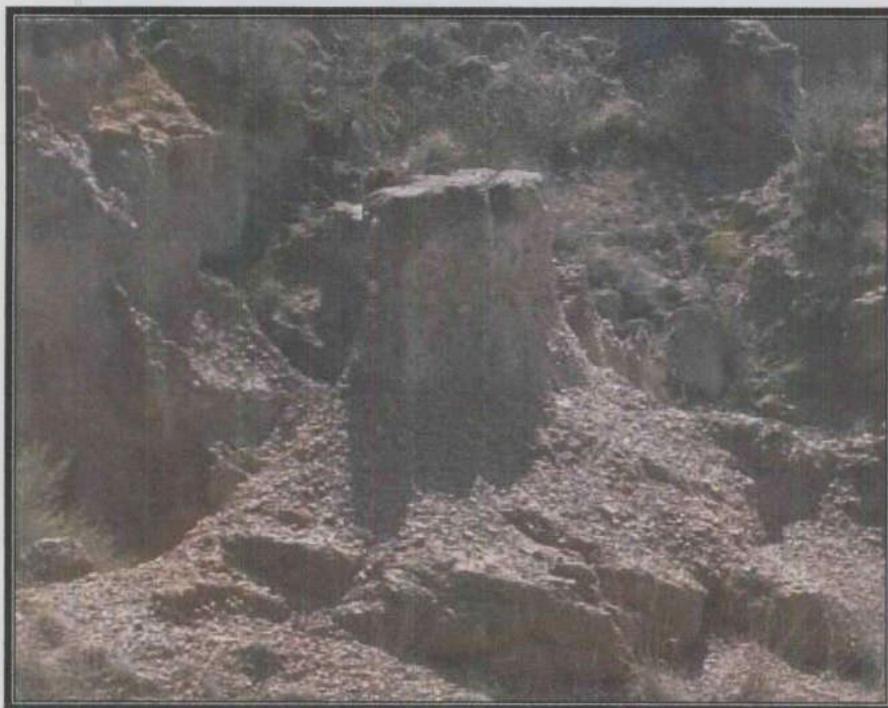


Figura 10. Erosión en pináculos (Foto.- R. Muñoz)

2.2.5.3. Erosión tubular

La formación de tubos continuos y canales subterráneos, es común en los suelos sujetos a erosión por pináculos. Esta forma de erosión ocurre cuando el agua se infiltra a través de la superficie del suelo y se mueve hacia abajo hasta encontrar una capa menos permeable. Esta agua tiende a moverse sobre las capas poco permeables hacia una salida, si es que existe; por lo tanto, es posible que el material fino del suelo sea arrastrado por el agua. Esto, a su vez, permite un flujo más rápido con un aumento en la erosión lateral y en ocasiones todo el flujo superficial penetra a un tubo vertical y continúa su recorrido bajo la tierra.

2.2.5.4. Erosión por caída o remontante

Esta forma de erosión es un proceso geológico que se presenta en las paredes de las cárcavas, sin ninguna intervención del hombre. La caída que se forma en la orilla de la cárcava, arroja el material salpicado contra la parte baja de esta cara, la cual se erosiona, dejando la parte superior sobresaliendo; cuando el peso de la parte sobresaliente es grande, ésta se desprende, dando lugar a una nueva cara vertical, comenzando de nuevo el ciclo erosivo (Figura 11). Otros casos semejantes de hundimiento se deben a la erosión en las orillas de los ríos y a la erosión costera. En muchas ocasiones este tipo de erosión se denomina erosión en bancos de corrientes.

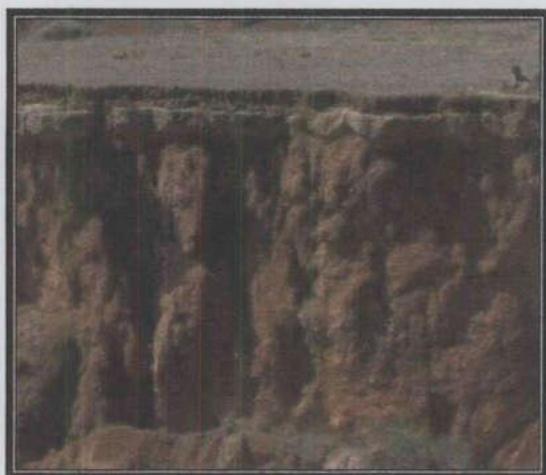


Figura 11. Erosión por caída (Foto.- R. Muñoz)

2.3 LA PROBLEMÁTICA DE LA EROSION EN CÁRCAVAS

La erosión hídrica acelerada es considerada sumamente perjudicial para los suelos, pues debido a este fenómeno, grandes superficies de suelos fértiles se pierden; ya que el material sólido que se desprende en las parte media y alta de la cuenca, provocan el asolvamiento de la infraestructura hidráulica, eléctrica, agrícola y de comunicaciones que existen en la parte baja.

El fenómeno erosivo se agrava cuando el caudal líquido provoca el abatimiento del lecho de una cárcava, presentándose una desestabilización de las márgenes, hasta que estas se desbarrancan y aportan nuevo material de arrastre.

La erosión en cárcavas representa una de las expresiones más impresionantes de la erosión de los suelos y por tal motivo merece atención primordial e inmediata, constituyen el estado más avanzado de la erosión y se caracterizan por su profundidad, que facilita el avance lateral y frontal por medio de desprendimientos de masas de material en los taludes de pendiente alta que conforman el perímetro de la cárcava.

Por lo general éstas se inician a partir de que una gran parte del suelo superficial ha sido arrastrado a causa de una fuerte erosión laminar y en surcos. Al iniciarse el proceso de la formación de cárcavas se presenta el estado de surcado incipiente, donde el agua tiende a concentrarse para formar pequeñas corrientes que poco a poco convergen entre sí, para dar origen a otros de mayor anchura y profundidad, lo cual produce en el terreno sus diversas ramificaciones. Entonces, las cárcavas se originan por la concentración de los escurrimientos superficiales en determinados puntos críticos del terreno. La erosión por cárcavas se diferencia de la erosión laminar, en que el arrastre del suelo no se manifiesta de una manera uniforme en toda la superficie del terreno, sino que la remoción se hace en fajas relativamente angostas en dirección de la pendiente.

Se pueden considerar dos causas principales en la formación de cárcavas (DGCSA-SARH, 1982): i) la derivada por el desgaste del terreno ocasionado por

una caída de agua, y ii) la producida por la erosión en el cauce debido al esfuerzo cortante del escurrimiento. En el primer caso se forma una cárcava profunda que se extiende rápidamente tanto aguas abajo en dirección el flujo de escorrentía, como hacia arriba de la propia caída, debido a la socavación continua que el agua produce sobre la parte superior de la cárcava, conocido como remontante. En el segundo caso, la cárcava se forma por el desgaste del suelo debido al poder erosivo del escurrimiento. Las cárcavas inicialmente tienen una sección en V pero al encontrar un material más resistente o interceptar el nivel freático se extienden lateralmente, tomando forma en U (Figura 12). La forma característica de la sección transversal de las cárcavas en suelos de textura gruesa es en forma de "U", debido a los derrumbes de los taludes, y cortes verticales en los mismos. Para cárcavas con erosión en el canal, éstas generalmente se producen en terrenos de texturas finas y la forma más común de la sección transversal es en forma de "V", ya que las paredes tienen un talud natural, a diferencia del tipo anterior que era vertical (Figura 13).

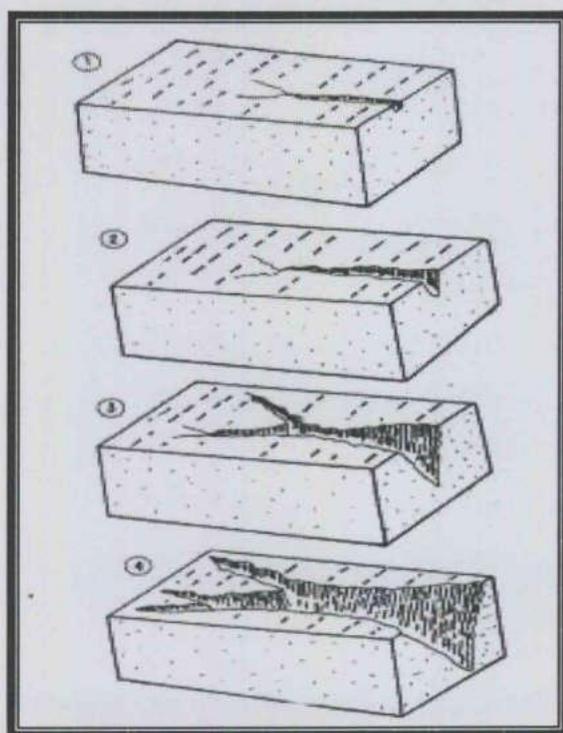


Figura 12. Proceso de formación de una cárcava.
(Fuente:<http://www.monografias.com/trabajos17/carcavas/carcavas.shtml#peri>)

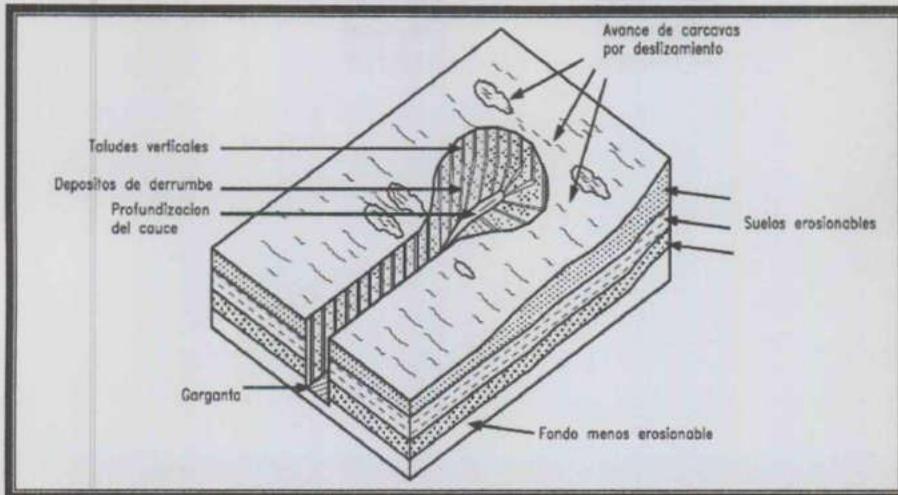


Figura 13. Características de las cárcavas

(Fuente: <http://albatros.uis.edu.co/~pagina/profesores/planta/jsuarez/publicaciones/librotaludes/documento/capitulo01/CAP01.pdf>)

2.3.1. Clasificación de las cárcavas

Se acostumbra clasificar las cárcavas según su tamaño y el área que drenan; de acuerdo a la profundidad, se clasifican de la siguiente manera:

- Cárcavas pequeñas, aquellas cuya profundidad es menor de 1 metro.
- Cárcavas medianas, aquellas cuya profundidad varía de 1 a 1.5 metros.
- Cárcavas grandes, aquellas cuya profundidad es mayor de 5 metros.

De acuerdo con el tamaño de área drenada ò cuenca de contribución::

- Cuenca pequeña, con superficie de drenaje menor de 2 hectáreas.
- Cuenca mediana, con superficie de drenaje de 2 a 5 hectáreas.
- Cuenca grande, con superficie de drenaje mayor de 5 hectáreas.

2.3.2. Métodos para el control de cárcavas.

El principal objetivo que se persigue con el control de las cárcavas, es disminuir la velocidad del agua de escorrentía para reducir al máximo su poder erosivo y evitar de esta forma su crecimiento en profundidad y anchura. Los métodos usados para efectuar este control varían de acuerdo con el número, localización, tamaño y pendiente de las cárcavas, así como de la superficie,

topografía, cubierta vegetal existente, condiciones de drenaje y tipo de suelo predominante en la microcuenca de captación. Por otra parte debe considerarse la finalidad que se persigue con el control de las cárcavas; por ejemplo si se trata de rellenarlas a fin de destinarlas al uso agrícola o si únicamente van a ser semirrellenadas para favorecer el desarrollo de pastos y posteriormente ser usadas como desagües, o simplemente darles un tratamiento adecuado para estabilizarlas y así evitar su crecimiento posterior.

El control de cárcavas es sólo una parte del manejo integral de cuencas, ya que éste problema para ser resuelto en forma completa, exige un tratamiento adecuado del área total drenada, debido a que si se atiende exclusivamente a las cárcavas existentes, se omite atacar las causas que las originan. Este aspecto es de importancia fundamental para lograr el éxito completo en el tratamiento de zonas dañadas por la presencia de cárcavas.

Durante la secuencia de los trabajos a desarrollar para el control de las cárcavas, se pueden distinguir tres etapas diferentes que son:

- i) **La prevención y detención de la erosión remontante, para evitar el crecimiento de la cárcava aguas arriba**, cuyo objetivo es evitar que la concentración de agua continúe erosionando el lecho y desestabilice los taludes del surco.
- ii) **La disminución de la erosión de los taludes y del fondo de cárcava, hasta donde sea posible**, mediante prácticas de suavización de taludes y prácticas de control de la erosión en el cauce, y
- iii) **El relleno y estabilización final**, por medio de diversas estructuras y el establecimiento de vegetación ecológicamente adaptada al lugar.

En relación al tamaño y forma de la cárcava se recomiendan implementar las siguientes acciones (FAO, 1988):

- Para cárcavas pequeñas, más anchas que profundas, con poca pendiente en su lecho o cuya cuenca de captación no sea muy grande, puede utilizarse

vegetación. Se recomienda la siembra o plantación en líneas perpendiculares a la pendiente de la cárcava, de manera que se formen pequeños escalones defensivos. (Figura 14).

- Para cárcavas mayores, será necesario utilizar estructuras temporales o permanentes usando materiales baratos y de fácil disponibilidad (Figura 15). Se recomienda la construcción de varias estructuras a lo largo del lecho de la cárcava, de altura no superior a 40 cm, distribuidas a intervalos uniformes o en posiciones estratégicas, de manera que protejan los puntos críticos y faciliten el crecimiento de vegetación en los mismos.



Figura 14. Control de cárcavas con recubrimiento de vegetación
(Fuente: http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse_s/7mo/iita/C14.htm)

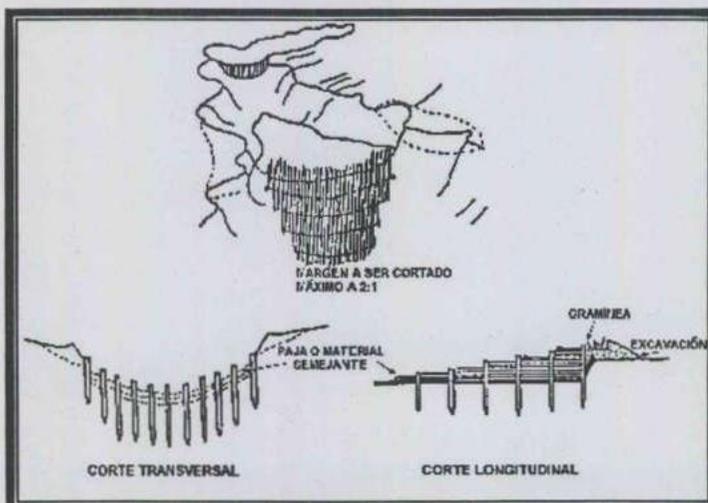


Figura 15. Control de cárcavas con estructuras temporales
(Fuente: http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse_s/7mo/iita/C14.htm)

Otra acción que se ha venido empleado para controlar la formación de cárcavas es la construcción de presas filtrantes, Las cuales tienen la función de retener sólidos, desde arcilla, limo, y arena, hasta rocas (cantos rodados) de gran tamaño. Evidentemente el sistema filtrante varía de acuerdo al tipo de sólidos que se quiere retener, estas se utilizan para fijar cárcavas.

No existe una clasificación de los tipos de presas filtrantes y tampoco una regla o condición de cuando construir una u otra, pero los tipos de presas que se han sido construidos son los siguientes:

- **Tierra;** en este caso se construye un dique relativamente impermeable, que se atraviesa por un tubo apoyado sobre el terreno natural, hasta una cierta distancia del dique, tanto aguas arriba como aguas abajo. En el extremo aguas arriba de dicho tubo se acopla un trozo de tubo vertical filtrante, (la cota del borde superior del tubo vertical es siempre inferior a la cota de coronación del dique. De esta forma, el agua se acumula aguas arriba del dique y el material sólido se depositará en capas sucesivas, hasta llegar al nivel superior del tubo vertical.
- **Piedra Acomodada;** puede o no utilizarse mortero para ligar las piedras. La filtración se produce a través de los espacios entre las piedras. En función del tipo de material que se quiere retener, puede ser necesario colocar un filtro, por ejemplo de grava y arena.
- **Madera;** La colocación de tablas o troncos sobre el cauce, ayuda a controlar la retención de los sedimentos acarreados por el agua. La filtración ocurre a través de los espacios entre las tablas o troncos.
- **Ramas de árboles;** Se acomodan transversalmente al sentido del cauce, el agua pasa por el espacio que hay entre las hojas y ramas de la misma.
- **Compuestas.** Se construyen echando mano de las anteriores.

La construcción de presas filtrantes a base de gaviones, es bastante efectiva, ya que logra controlar la erosión que se produce en la torrenteras, como consecuencia de eventos extraordinarios; pues disminuye el poder erosivo del caudal y su velocidad, a la vez que el material sólido en suspensión, queda atrapado en el paramento aguas arriba de la presa logrando con esto una estabilización del cauce.

Con la aplicación de gavión, en presas para el control de azolves, se estabiliza en forma casi total el fondo de las torrenteras, reduciendo la velocidad del agua que evita al mismo tiempo el deterioro de las márgenes; logrando frenar la erosión hídrica, dándole a la torrentera una pendiente compensada.

2.4 EL USO DE GAVIONES EN EL CONTROL DE LA EROSIÓN

Para detener el proceso erosivo, una buena solución es la construcción de presas filtrantes a base de gaviones, las cuales detienen el material de transporte, evitando el abatimiento del lecho. Para proyectar las presas es necesario que la torrentera tenga una pendiente controlada, proyectándola de tal forma que la corona de la presa de aguas abajo, más la pendiente de compensación buscada, sean la base de la siguiente presa de aguas arriba.

Los gaviones son contenedores de malla hexagonal de alambre galvanizado, de estructura flexible, permeable y monolítica que se usa para el control de drenaje, retención de azolves y control de escorrentías. Así mismo, se usan como muros de retención, espigones, o presas de control, entre otras aplicaciones. Los gaviones rellenos con piedra (se recomienda cantos rodados), son elementos con volúmenes entre 1 y 4.5 m³ por elemento (Figura 16). Las cajas de alambre propiamente ligadas, pueden formar bloques de construcción monolíticos denominados para la estabilización de pendientes en zonas pronunciadas altamente erosionables.

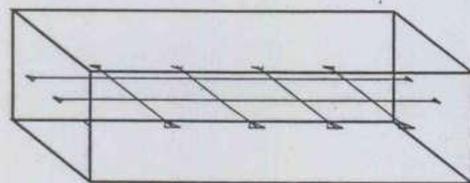
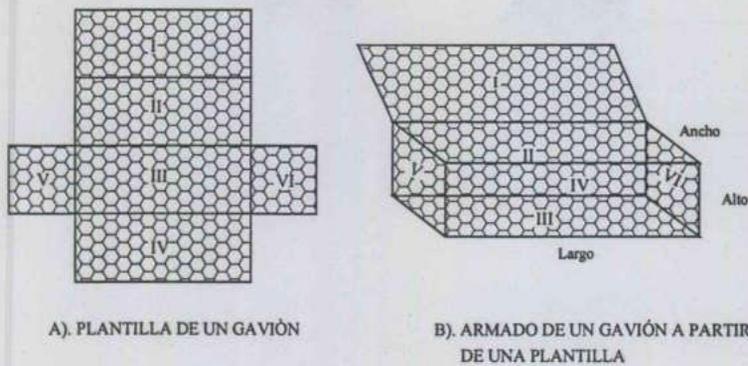


Figura 16. Planos de diseño de un gavión

Los gaviones son normalmente llenados con piedras o pedazos de piedra de 4" a 8" en forma mecánica o manual. El gavión ya relleno se convierte en un bloque grande de construcción permeable y flexible que puede ser utilizado para construir diferentes estructuras. Esto se hace colocando unidades juntas y amarrándolas con alambre y rellenándolas en el sitio.

Son características importantes de los gaviones:

Flexibilidad: Una de las ventajas importantes del gavión es su flexibilidad. Esto es importante sobre todo cuando la estructura esta en terrenos inestables o en áreas con socavamiento en el terreno.

Durabilidad: Los gaviones son muy durables y soportan el crecimiento de plantas, las cuales desarrollan un recubrimiento natural para el alambre y las piedras. Frecuentemente, la canasta de alambre se requiere solo en los primeros años de la estructura, dado que el suelo y raíces rellenan los espacios vacíos y actúan como agentes de amarre para las piedras.

Fuerza: Las canastas amarradas con alambre tienen la fuerza y flexibilidad para soportar las fuerzas generadas por el agua y los movimientos en masa. También, la condición permeable del gavión le permite absorber y disipar la mayoría de la energía donde otras estructuras rígidas normalmente fallan.

Permeabilidad: Normalmente, las cargas hidráulicas no se desarrollan atrás del gavión. La pared es filtrante al agua y estabiliza la pendiente por la acción combinada del drenaje y retención. El drenaje se logra por gravedad y evaporación debido a que la estructura porosa permite una circulación activa del aire. Más aun, conforme las plantas crecen invaden la estructura y la transpiración ayuda en forma adicional en la remoción de la humedad del relleno de suelo.

Economía: Las instalaciones de gaviones son más económicas (dependiendo de las dimensiones un metro cúbico de gavión oscila entre los \$215 a los \$295) que la mayoría de las estructuras rígidas y semi-rígidas por varias razones. Las siguientes son algunas de las más importantes:

- Requieren poco mantenimiento
- Su construcción es simple, no requiere de mano de obra calificada.
- No se necesita una preparación preliminar de cimientos, con una superficie bien nivelada y suavizada inicialmente es suficiente.
- No se requiere de un costo adicional para el drenaje.

Los planes de construcción y diseños de los gaviones deben ser preparados por profesionales familiarizados con su uso. El diseño de las obras de control de la erosión y la sedimentación debe asegurar que los cimientos soporten el peso de los gaviones y que estos queden bien anclados en los cimientos, además se debe garantizar que la piedra usada sea durable y de tamaño adecuado para que sea acomodada en las canastas o cajas. (Figura 17. y Tabla 1). Las dimensiones indicadas en el siguiente cuadro son mínimas y pueden modificarse de acuerdo a las proporciones de la cimentación y el espesor del piso de la obra, lo anterior de acuerdo con las condiciones geológicas presentes en el sitio en estudio.

Análisis de diseño:

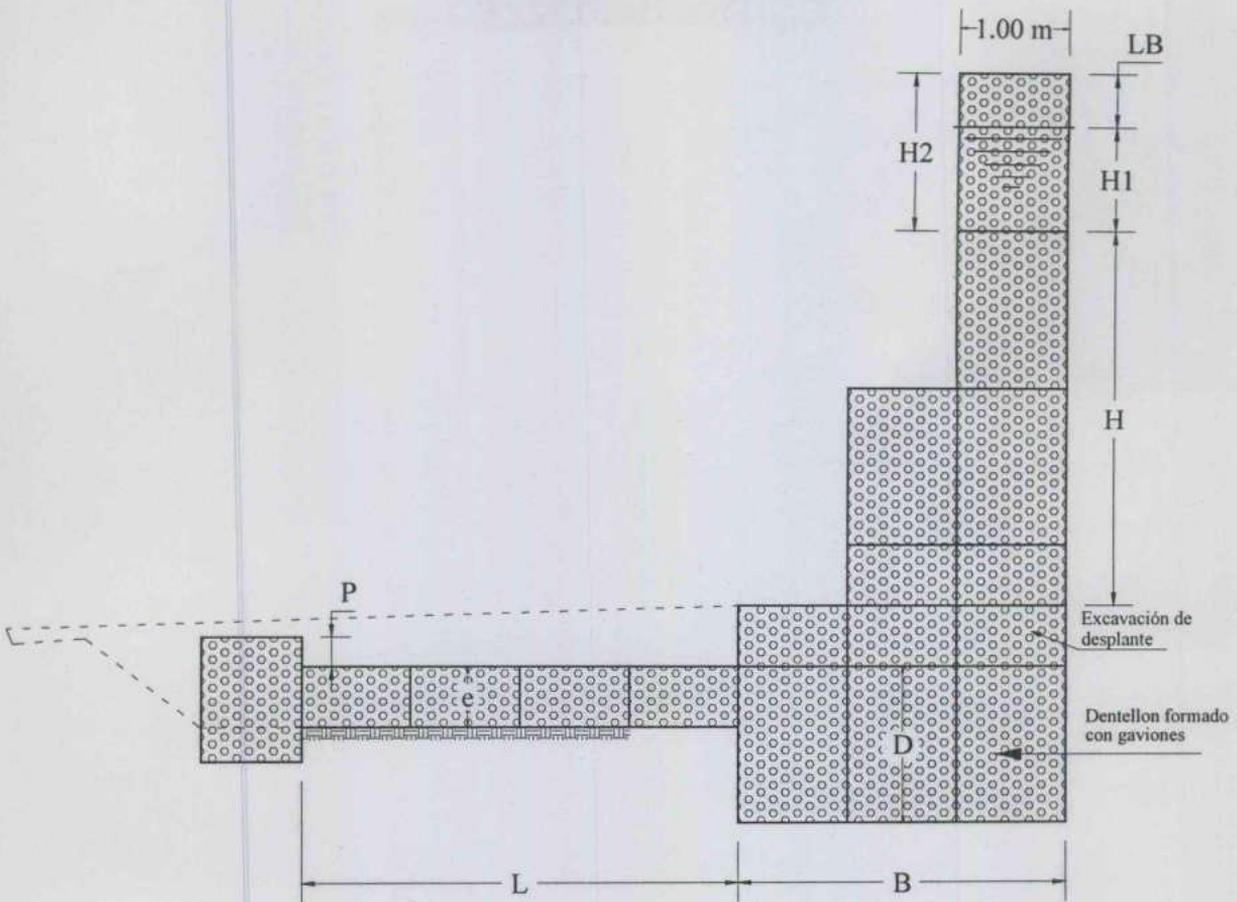


Figura 17. Diseño de una presa de gaviones

Tabla 1. Dimensiones Recomendadas para las Presas de Gaviones

CONCEPTO	CARGA SOBRE EL VERTEDOR															
	30				80				130				180			
H1	200	300	400	500	200	300	400	500	200	300	400	500	200	300	400	500
LB	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
H2	50	50	50	50	100	100	100	100	150	150	150	150	200	200	200	200
L	300	300	400	400	600	600	700	700	700	800	900	1000	1000	1100	1200	1300
P	50	50	50	50	50	50	50	50	100	100	100	100	100	100	100	100
e	50	50	50	50	50	50	50	50	100	100	100	100	100	100	100	100
D	50	100	150	150	50	100	150	150	50	100	150	150	50	100	150	150
B	150	200	300	400	150	200	300	400	150	200	300	400	150	200	300	400

Acotaciones en centímetros

La construcción de presas filtrantes a base de gaviones, es bastante efectiva, ya que logra controlar la erosión que se produce en la cárcavas, como consecuencia de eventos extraordinarios; pues disminuye el poder erosivo del caudal y su velocidad, a la vez que el material sólido en suspensión, queda atrapado en el paramento aguas arriba de la presa logrando con esto una estabilización del cauce.

Con la aplicación de gaviones en presas para el control de azolves, se estabiliza en forma casi total el fondo de las cárcavas, reduciendo la velocidad del agua que evita al mismo tiempo el deterioro de las márgenes; logrando frenar la erosión hídrica, dándole a la torrentera una pendiente compensada

2.5 EL USO DE LLANTAS AUTOMOTRICES EN EL CONTROL DE LA EROSIÓN.

Aunque la efectividad de los gaviones está plenamente demostrada, el problema con este tipo de estructuras definitivamente es el costo que implica su construcción, lo que los hace inaccesibles, en muchos casos, a los dueños y poseedores de los terrenos afectados por cárcavas. Lo anterior conlleva a la importancia de utilizar materiales más económicos y de fácil acceso, entre otros costales de tierra, piedra acomodada, morillos, ramas y últimamente llantas de desecho automotriz (Figura 18).

Debido a las reacciones químicas irreversibles a las que es sometido el caucho durante el proceso de vulcanización, no es posible reciclar llantas usadas para ser reutilizados en la fabricación de unidades nuevas, esta es la principal causa por la cual miles de toneladas de llantas son almacenadas anualmente en tiraderos municipales o depositados de forma clandestina. El deshecho de llantas se ha convertido en un problema que está impactando de forma severa al medio ambiente, ya sea por el inadecuado manejo de este residuo que se encuentra diseminado de forma desordenada por todo el país generando en muchos casos

problemas de salud pública, así como al grave riesgo por contaminación atmosférica que representa la quema de estos desechos.



Figura 18. Presas de llantas (Fuente:Manual de Obras y Prácticas CONAFOR-SEMARNAT, 2004.)

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) estima que cada año se generan en el país cerca de 40 millones de llantas de desecho, de las cuales sólo una de cada 10 es reciclada o colocada en centros de acopio autorizados. (Jiménez, B. 2004)

No obstante, la solución de la problemática de las llantas de desecho demanda la adopción de un sistema integral, que garantice la eliminación total de las llantas desechadas, de manera eficiente y continua a través del tiempo. En virtud de lo anterior, es indispensable generar alternativas de uso o reciclaje de estos residuos, entre otros, como material para obras de control de la erosión.

Aunque ya existen experiencias de presas de llantas, en las que se establecen que su construcción es 29% más económica que las presas de piedra acomodada (Bravo E., 2003), el presente documento plantea una forma de utilización de las llantas usadas, que pueda constituirse como una nueva alternativa para la construcción de obras de conservación de suelos.

3 METODOLOGIA

3.1 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

3.1.1 Localización

La "Microcuenca San Pedro" con una superficie de 4,782.88 has. (dato generado en el SIG), se ubica geográficamente en la parte sur del municipio de Huimilpan, en el Estado de Querétaro entre el polígono que forman las coordenadas geográficas $20^{\circ} 32'24''$ y $20^{\circ} 16'21''$ de latitud norte y $100^{\circ} 21'53''$ y $100^{\circ} 15'20''$ longitud oeste, (Figura 19).

La microcuenca colinda al Este con el municipio de Amealco y la microcuenca del Arroyo Nevería, al Norte se localiza la Cabecera Municipal de Huimilpan, al Sur con el Estado de Michoacán y el municipio de Amealco y al Oeste con el Estado de Guanajuato.

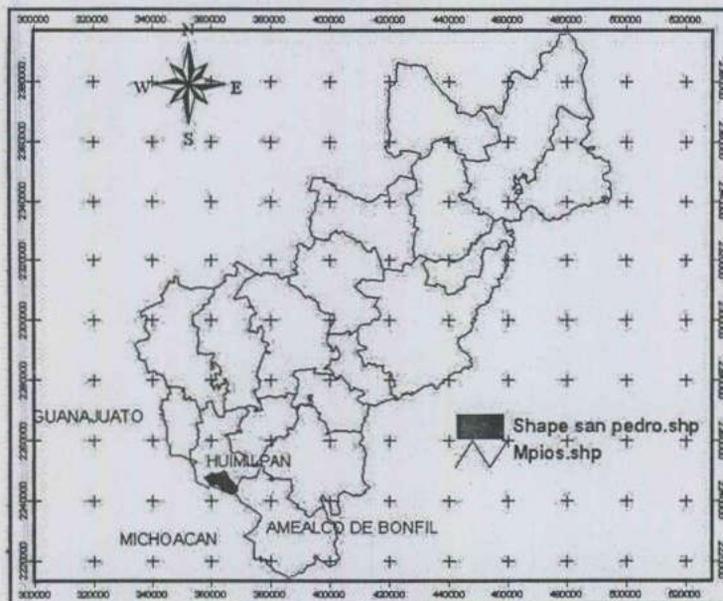


Figura 19. Ubicación de la microcuenca San Pedro en la porción Sur del Municipio de Huimilpan

La microcuenca es de tipo exorreica y dentro de ella se encuentran las localidades de San Ignacio, San Pedro y San Pedrito y un sin número de viviendas dispersas, siendo la comunidad de San Pedro la más grande y de donde toma el nombre.

3.3.2. Características Físicas

La microcuenca San Pedro se encuentra dentro de la Provincia Fisiográfica del Eje Neovolcánico y en la Subprovincia de Mil cumbres, es típica de zonas de montaña con valles intermontanos.

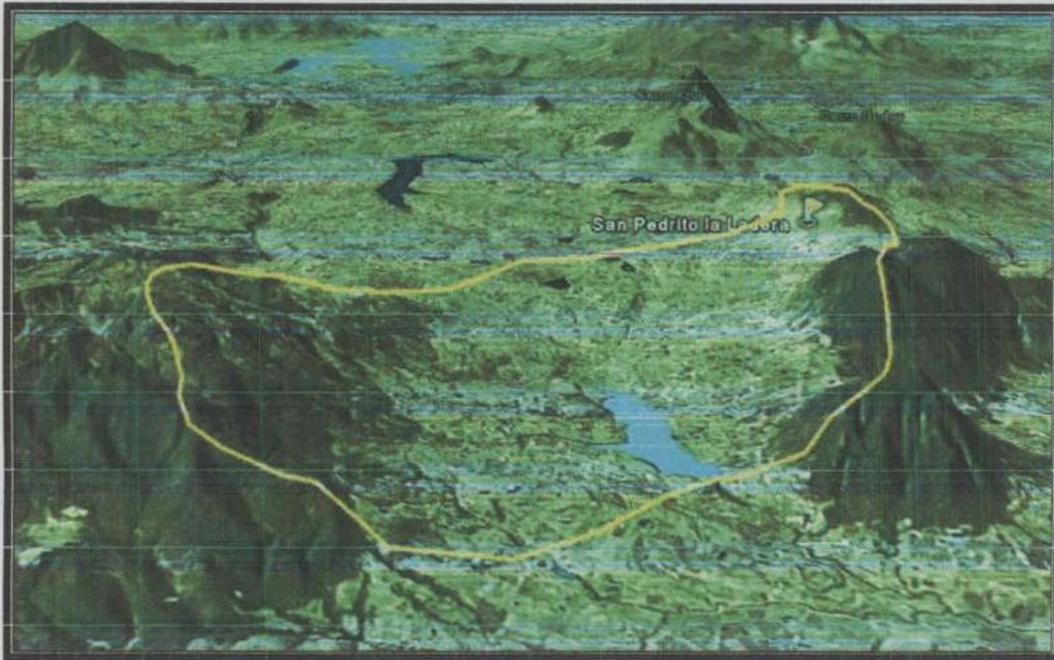


Figura 20. Panorámica de la microcuenca San Pedro Huimilpan. (Fuente: Google Earth)

El área de la microcuenca presenta en un 100% rocas de la Era Cenozoica (C) tanto del período Cuaternario (Q) como del Terciario (T). Las Unidades de Suelo de acuerdo a la clasificación FAO-UNESCO (1970) encontradas en la zona son principalmente el Feozem-Lúvico y Litosol. El clima predominante corresponde al Tipo C(w1) (clasificación de Köppen, modificado por García), Templado Subhúmedo con Lluvias en Verano y de Humedad Media. La cobertura vegetal se presenta en pequeñas zonas de bosque regularmente conservadas en la Sierra El Rincón y en las partes altas de los Cerros, mientras que en la zona central la condición de cobertura vegetal es básicamente cultivos y pastizales, en la zona de pie de monte la cobertura vegetal presenta altos grados de afectación. Para mayor información consultar a Pineda et al. (2005).

14/000010

Biblioteca Campus U.A.Q. Aeropuerto

3.1.3 Aspectos Socioeconómicos

La microcuenca de San Pedro se puede definir como una microcuenca semirural, dentro de ella se encuentran tres localidades San Ignacio con 882 habitantes, San Pedro con 1368 habitantes y San Pedrito con 650 habitantes, así como un sin número de viviendas dispersas por toda el área.

De acuerdo con los datos del INEGI, se tiene contabilizadas 522 viviendas habitadas en la microcuenca, con un total de 2746 ocupantes, lo que nos arroja un promedio de 5.4 habitantes por vivienda. De ellas el 56% cuenta con sanitario exclusivo, el 40% cuenta con agua potable entubada y solo el 30% cuenta con drenaje. Sin embargo, el 83% cuenta con electricidad.

De acuerdo con datos del Registro Agrario Nacional (RAN) el tipo de tenencia predominante es la propiedad privada, encontrándose solo en la zona norte y sur pequeñas porciones de terrenos ejidales.

En el caso de las comunidades de San Ignacio y San Pedrito el mayor porcentaje de la población económicamente activa (PEA) se dedica a las labores primarias de agricultura y ganadería, mientras que solo un porcentaje reducido se dedica al sector secundario y terciario. En el caso de San Pedro, casi el 40% se dedica a las actividades primarias, el porcentaje dedicado a actividades secundarias es de un 21% y el porcentaje es aún mayor (27% aproximadamente) para el sector terciario de servicios. Esto indica una movilidad de las personas hacia la prestación de servicios en la cabecera municipal y la capital del estado.

Dentro de las actividades productivas primarias destacan la agricultura de temporal poco tecnificada, mayoritariamente de autoconsumo y en menor proporción para venta al mercado. Así mismo, la actividad ganadera es importante y normalmente se desarrolla en forma extensiva y en menor grado con combinación de estabulado en alguna parte del año. Para mayor información consultar a Pineda et al. (2005).

3.2 INVENTARIO DE OBRAS DE CONSERVACION

Bordos de captación de agua: Por la gran cantidad de obras de captación de aguas (bordos) localizadas en el área que comprende la microcuenca, se procedió a investigar y consultar en los archivos de diversas dependencias gubernamentales, a fin de obtener información de las obras existentes. Con la información recolectada y el análisis de ortofotos digitales y recorridos de campo, se generó el mapa de cuerpos de agua. Esta evaluación permitió determinar el número y la superficie ocupada por estas y su porcentaje con respecto al total del área. El mapa se generó a partir del uso del ArcView ver. 3.2.

Presas de gaviones: Se realizaron recorridos en el área con objeto de ubicar obras existentes, así como su estado actual, la información sobre este tipo de infraestructura se obtuvo mediante la consulta a diversos documentos técnicos principalmente del FIRCO (Fideicomiso de Riesgo Compartido), toda vez que no se encontró una gran cantidad de bibliografía al respecto. No se reporta en este estudio el número de obras de este tipo, sino que se hace referencia al estado actual de algunas en específico, analizándose su condición actual y funcionamiento pasado.

Presas de piedra acomodada: Este tipo de obras es muy común en la zona de Huimilpan, sin embargo no fue posible obtener registros ni trabajos en donde se documente su existencia y distribución, se consultaron diversas fuentes de la zona y se realizaron recorridos en compañía de una persona de la comunidad con objeto de ubicar algunas obras, registrando su estado actual y verificando su funcionamiento.

Terrazas: Estas obras son comunes en el área agrícola de la microcuenca y en algunas zonas aledañas a los caseríos de la microcuenca, sin embargo no se encontró registro alguno, ya que la mayoría fueron y son realizadas por los pobladores. Al igual que para el caso de las presas de gaviones y de piedra acomodada, solo se analiza la condición actual y el funcionamiento de algunas áreas con terrazas.

3.3 TIPOS Y FORMAS DE EROSION EN LA MICROCUENCA

Los tipos y formas de erosión en la microcuenca se determinaron mediante el uso y manipulación de materiales digitales (ortofotos digitales) obtenidos en el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), se utilizó el programa ArcView GIS ver. 3.2 debido a su versatilidad y propiedades de manejo de los materiales digitales.

Inicialmente se procedió a generar la máscara o perímetro de la microcuenca mediante la delimitación de los escurrimientos que confluyen a la presa Miguel Domínguez. Una vez obtenido el perímetro o parteaguas, se procedió a delimitar las diferentes áreas de erosión en función de los diferentes usos de suelos (agrícola, pecuario y forestal) existentes en la zona y posteriormente ubicando en las ortofotos digitales la presencia de cárcavas y áreas afectadas por la erosión, comparándolas con las capas vectoriales de hidrología y topografía a fin de constatar su localización respecto de las características de pendientes y escurrimientos.

Los resultados obtenidos de la delimitación en gabinete se complementaron con información obtenida en diversos recorridos en campo realizados en casi la totalidad de la microcuenca durante los años 2004 y 2005, en estos recorridos se ubicaron diversos puntos mediante el uso del GPS (Sistema de Geo-posicionamiento Global) a fin de ubicarlos en el proyecto digital y verificar los resultados obtenidos en gabinete.

Adicionalmente, se tomaron fotografías en áreas y puntos afectados por el fenómeno erosivo, y se hizo una evaluación visual en puntos representativos. La idea fue mostrar las condiciones actuales de las diversas áreas encontradas en la microcuenca. Estos elementos permitieron conformar el mapa de erosión, indicando las principales áreas afectadas por tres tipos principales de erosión: en cárcavas, en surcos o canalillos y erosión laminar.

3.4. CONTEXTO SOCIAL

Con objeto de conocer la opinión de la población respecto de los principales problemas de la región, el manejo de sus recursos naturales, las principales actividades económicas de la región, la problemática social y la percepción de la población respecto de la importancia del control de la erosión en sus terrenos, se formuló una encuesta socioeconómica (Anexo I) y se aplicó a 30 personas de las comunidades de San Pedrito, La Ladera, San Ignacio y San Pedro. El 90% de las personas encuestadas fueron de las dos primeras comunidades en virtud de que en esta zona se localizaron los índices más severos de erosión de la microcuenca, por lo que, para este caso era importante conocer la disposición de los dueños de los terrenos a permitir la realización de trabajos de construcción de obras de conservación de suelos.

3.5 DISEÑO, IMPLEMENTACION Y EVALUACION DE LAS OBRAS DE CONTROL DE LA EROSION

3.5.1. El proceso de gestión de recursos basado en el diagnóstico.

Una vez definidas las áreas con presencia de erosión se procedió a definir los sitios con mayor afectación y que serían los de mayor prioridad para su atención. Al respecto, se procedió a clasificar a la microcuenca en unidades de escurrimiento definidas a partir de la presa Miguel Domínguez y el arroyo principal denominado San Pedro. El objetivo fue determinar la superficie de captación y por consecuencia de aporte hidrológico al vaso de la presa de cada unidad de escurrimiento, así como definir la unidad más afectada por el fenómeno erosivo y determinar su importancia, tomando entre otros parámetros, la distancia de la unidad con respecto a la presa.

Una vez definida la unidad de escurrimiento más afectada, se procedió a ubicar dentro de ésta una zona piloto, considerando los siguientes criterios: área del escurrimiento y superficie afectada por erosión, situación estratégica topográficamente para la construcción de obras de conservación; y adicionalmente, considerar la opinión de los dueños de los terrenos para ser usadas para la construcción de las obras. Una vez definida el área, se ubicaron los

puntos más idóneos para la construcción de las obras. En total se definieron tres puntos para igual número de obras, localizados en las inmediaciones de la localidad de San Pedrito, ubicada en la zona oeste de la microcuenca.

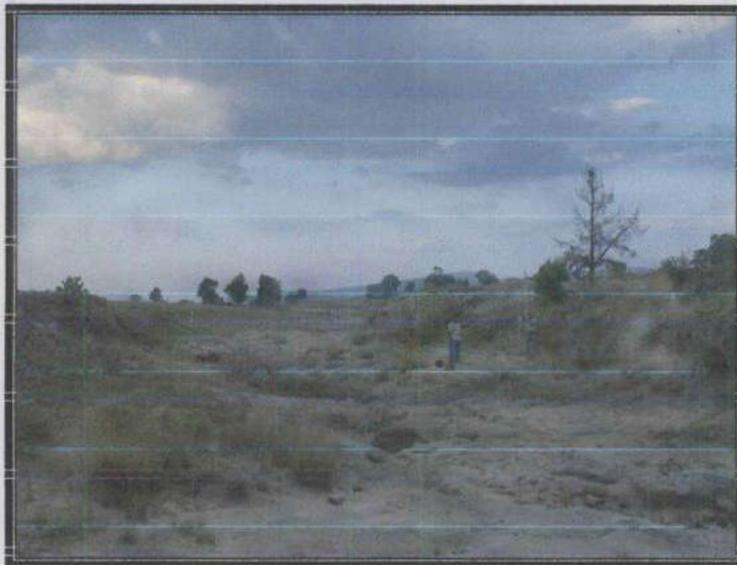
Una vez realizado el diagnóstico y ubicados los puntos de evaluación, se procedió a la búsqueda de alternativas de financiamiento económico con el gobierno municipal y el gobierno federal para la construcción de las obras de conservación de suelos. Derivado de dichas gestiones se obtuvieron apoyos económicos de parte de la Delegación Federal en el Estado de Querétaro de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) para la construcción de tres obras (2 presas de gaviones y una de llantas acomodadas).

Los apoyos obtenidos de parte de la SEMARNAT, condicionaban a que la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) realizara los levantamientos topográficos de la sección hidráulica de los sitios seleccionados para construcción de las presas, los cálculos de gasto de diseño de las obras, la supervisión y seguimiento de los trabajos de construcción y la evaluación de la eficiencia de las obras. La SEMARNAT, a su vez involucró la participación de la empresa Maccaferri de México S.A. de C.V. cuyo giro industrial es la fabricación de gaviones y estructuras a base de malla metálica, la participación de dicha empresa consistió en el diseño de las obras (muros de contención) con los datos técnicos proporcionados por la UAQ, así como el suministro de las piezas de gavión necesarias, previo pago de parte de la SEMARNAT.

3.5.2. Los sitios de estudio

Los sitios seleccionados se ubicaron en puntos estratégicos para contener la erosión y para controlar sus efectos. Para tal efecto fueron necesarios recorridos de campo y el análisis de ortofotos digitales, para determinar el área de influencia de cada uno de los sitios. Una vez seleccionados los sitios se procedió a levantar la sección hidráulica con tránsito y cinta. Los puntos seleccionados para efecto del presente estudio se identificaron como Sección Arturo y Sección Mario y se describen a continuación:

a) **Sección Arturo.** Se ubica en una zona semiplana sobre el cauce principal del Arroyo San Pedro (Figura 21), entre los $20^{\circ} 18.666$ LN y $100^{\circ} 20.642$ LW a 2456.7 metros sobre el nivel del mar (msnm). Cuenta con una superficie de aportación o captación de 211.732 hectáreas (5.3% de la superficie total de la microcuenca), presenta una superficie afectada por el fenómeno erosivo de 125.6 hectáreas, equivalentes al 59.6 % de su superficie y la función de la obra en este punto sería la de reforzar una obra existente aguas abajo (actualmente azolvada) y proteger cauces de arroyos y caminos existentes.



SITIO a

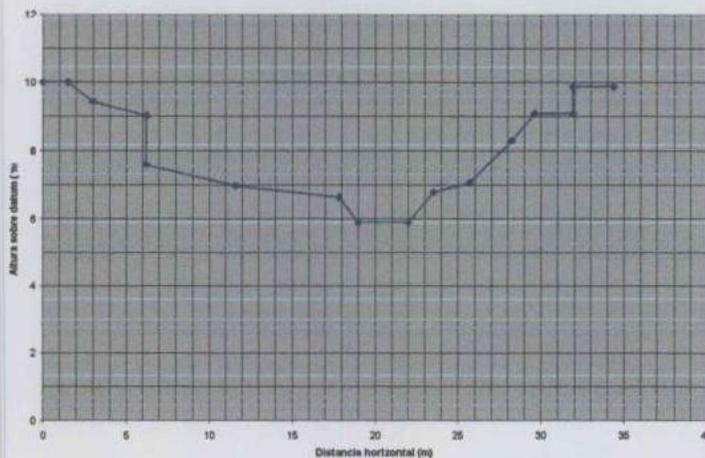


Figura 21. Fotografía y levantamiento de la Sección Arturo.

SECCION ARTURO

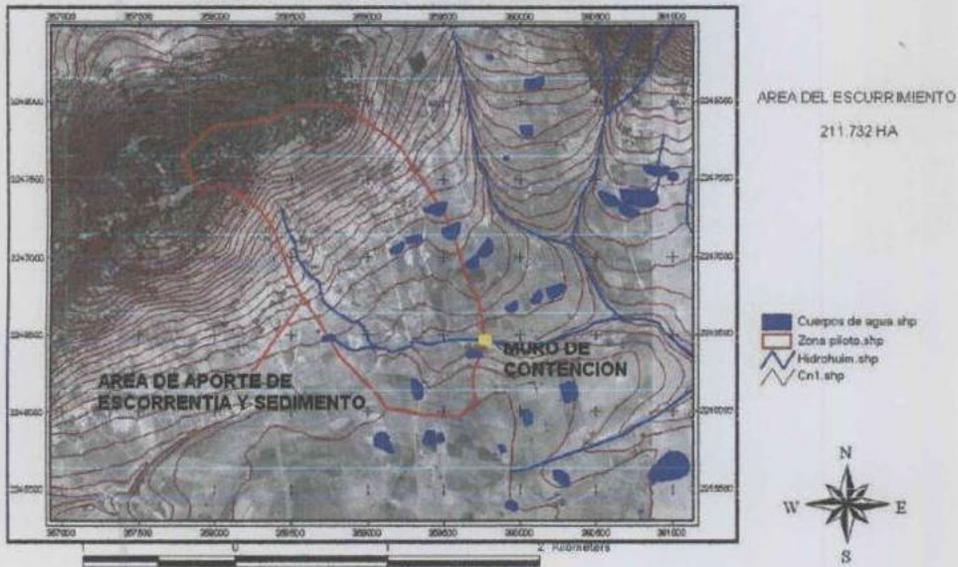


Figura 22. Área de aporte de la Sección Arturo.

- c) **Sección Mario.** Se ubica en la zona de pie de monte entre los $20^{\circ} 18.808$ LN y los $100^{\circ} 21.206$ LW, a 2503.3 msnm. Cuenta con una superficie de 48 ha. De aporte o captación (Figura 23).

SECCION MARIO

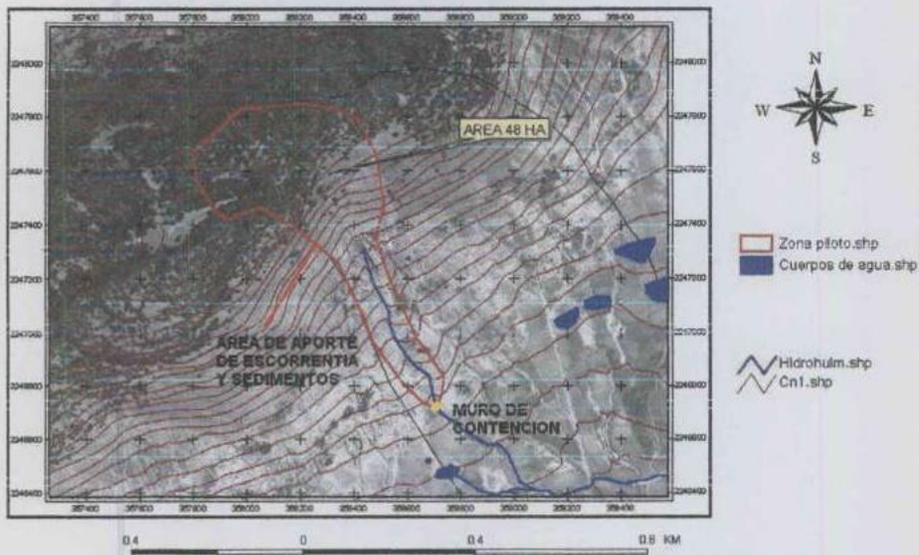
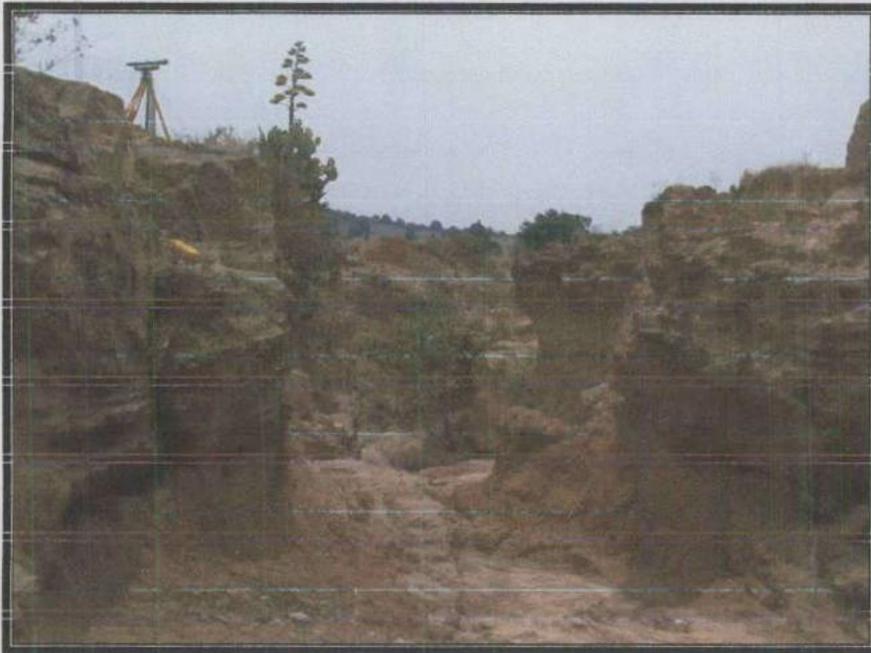


Figura 23. Área de aporte de la Sección Mario

En la Figura 24 se muestra la fotografía y el resultado del levantamiento de la Sección Mario. Se trata del escurrimiento mas alejado de la presa Miguel Domínguez, así como el punto de salida de una de las zonas más severamente afectadas por erosión en cárcavas de la microcuenca



SITIO 3

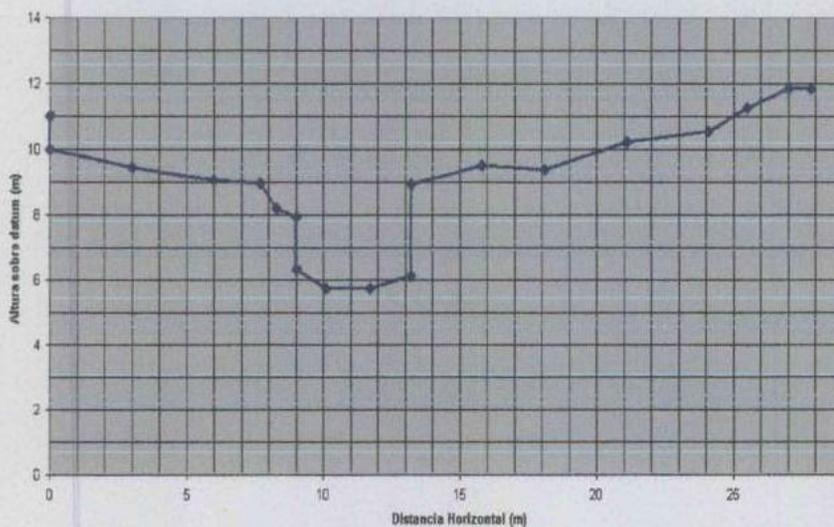


Figura 24. Levantamiento de la Sección Mario

3.5.3. Cálculo de los Gastos de Diseño.

El gasto de diseño se obtuvo con el Método Racional, el cual establece que:

$$Q_p = kCIA$$

Donde:

Q_p = Escurrimiento máximo (en m^3/s)

C = Coeficiente de escurrimiento (0-1)

I = Intensidad de la lluvia (en mm/hr)

A = Superficie de la microcuenca (en has)

k = Coeficiente de ajuste = 0.00278 para convertir ha-mm/hr a m^3/s

El valor de C se obtiene de la Tabla 2 de acuerdo a las características de la microcuenca y al uso del suelo. Cuando la microcuenca o área de drenaje presenta diferentes tipos de suelos, vegetación y pendiente media, el coeficiente de escurrimiento (C), se obtendrá para cada área parcial y posteriormente se calculará el promedio ponderado para aplicarlo en la fórmula anterior.

Tabla 2. Valores de C para el cálculo de escurrimientos.

TOPOGRAFIA	TEXTURA DEL SUELO		
Vegetación	Gruesa	Media	Fina
<i>Bosque</i>			
Plano (0-5 % pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (6-10 % pendiente)	0.25	0.35	0.50
Escarpado (11-30 % pendiente)	0.30	0.50	0.60
<i>Pastizales</i>			
Plano (0-5 % pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (6-10 % pendiente)	0.16	0.36	0.55
Escarpado (11-30 % pendiente)	0.22	0.42	0.60
<i>Terrenos cultivados</i>			
Plano (0-5 % pendiente)	0.30	0.50	0.60
Ondulado (6-10 % pendiente)	0.40	0.60	0.70
Escarpado (11-30 % pendiente)	0.52	0.72	0.82

Fuente: DGCSA-SARH (1982).

La tormenta de diseño fue de 30.0 mm/h, considerando información local, dada la falta de registros de intensidad de la lluvia la zona, mediante los niveles máximos de agua marcados a las orillas de los cauces.

3.5.4. Evaluación de la Eficiencia de la Obras.

La evaluación de las presas de gaviones se realizó mediante el cálculo de la capacidad de retención de sedimentos con base a la gráfica áreas – capacidades, la cual se construye con datos obtenidos a partir a de un levantamiento topográfico realizado en los vasos de almacenamiento de cada una de las áreas o secciones de las dos obras de gaviones. La precisión que se considero en la sección Mario fue 1.0 m debido a la magnitud de la obra y a las condiciones topográficas de la cárcava (principalmente la pendiente), mientras que en la sección Arturo, se adoptó una precisión de 0.5 metros ya que el área del vaso de almacenamiento o retención de azolves es mayor que la anterior y la altura de la presa es de menor magnitud.

3.5.5. Obra accesoria de control de azolves y avenidas

Con objeto de establecer y probar una obra accesoria innovadora se decidió construir una presa de llantas automotrices de desecho, para tal efecto se seleccionó una sección de prueba, denominada sección tenebrosa, localizada justo aguas arriba de una de las presas de gaviones construida previamente (Sección Mario). La obra se planteo con un anclaje al suelo mediante concreto y el uso de una estructura tipo panal con llantas, realizando una interconexión de éstas a través del uso de conectores metálicos estabilizado con estructuras de varilla.

Para todas las obras la SEMARNAT proporcionó y administro los recursos económicos, generando fuentes de empleo temporal para los pobladores de la microcuenca, solo en el caso específico de la obra accesoria no, ya que fue construida en su totalidad por alumnos de la UAQ.

La evaluación de la contención de azolve para esta obra fue visual y el nivel de sedimentos se registro mediante marcas en el terreno, monitoreando las llantas azolvadas con respecto a la línea vertical de la obra. El volumen captado en las presas de gaviones se relacionó con los datos de precipitación pluvial ocurrida en la zona durante los meses de julio a noviembre de 2005, colectados mediante la instalación de un pluviómetro en la zona de la Sección Mario.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DELIMITACIÓN DE LA MICROCUENCA Y DEFINICIÓN DE USOS DE SUELO

De acuerdo a la metodología planteada para la realización del presente documento, los resultados se desarrollaron en dos etapas, trabajo de gabinete para asentar los datos en un sistema de información geográfico (SIG) y trabajos de campo para constatar información y realizar las obras de ingeniería planteadas por la SEMARNAT y la empresa Maccaferri de México s.A. de C.V..

Inicialmente se generó el plano del perímetro de la microcuenca obtenido a partir de la delimitación de los parteaguas definidos por las unidades de escurrimiento mediante el uso del paquete ArcView ver. 3.2, tomando como punto de salida de la microcuenca a la presa Miguel Domínguez, situada en el cauce principal del arroyo San Pedro (Figura 25).

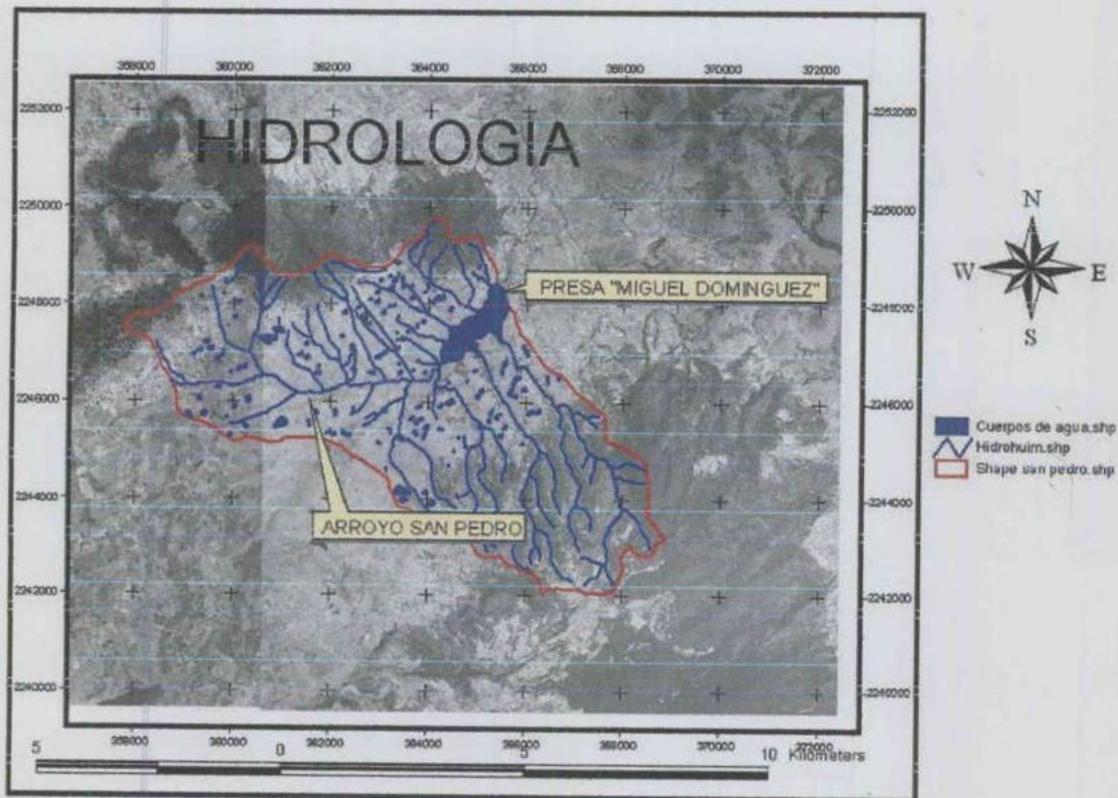


Figura 25. Mapa de la microcuenca generado a partir del sistema de escurrimientos.

Posteriormente se delimito el área con vegetación y se calculo la superficie forestal, se realizaron recorridos de campo para constatar la información y se determinaron los actuales usos de suelos en la microcuenca (Figura 26).

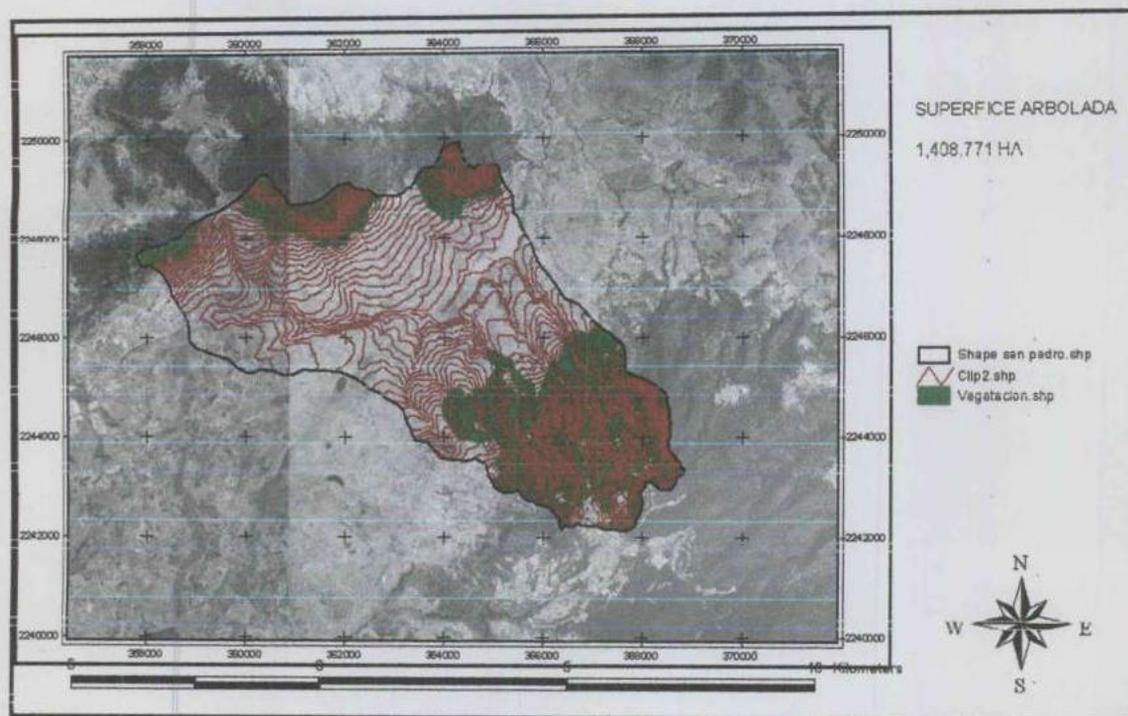


Figura 26. Mapa de vegetación forestal de la microcuenca

De conformidad a los resultados obtenidos a partir del análisis del mapa generado, se obtuvo la siguiente clasificación de usos de suelo:

Tabla 3. Uso actual del suelo en la microcuenca de San Pedro Huimilpan.

USO ACTUAL DEL SUELO	SUPERFICIE (Ha)	(%)
Área agrícola y ganadera	2, 575.938	61.76079
Cuerpos de agua (abrevaderos y presa)	155.972	3.739591
Zonas urbanas e infraestructura	30.15	0.722878
Area forestal	1, 408.771	33.77675
TOTAL	4,170.83	100.0

De lo anterior se desprende que la actividad preponderante en la zona es la agricultura y ganadería, ya que ocupa el 61.7 % de la superficie total de la microcuenca, dicho porcentaje podría aumentar si se considera que en algunas áreas arboladas también se realizan actividades de pastoreo.

4.2. OBRAS DE CAPTACION Y CONSERVACION DE AGUA

Se realizaron diversos recorridos en todo la microcuenca a fin de conocer los tipos de obras de conservación de agua, asimismo se procedió a recopilar información en las dependencias federales y estatales y municipales, en este caso se obtuvo de parte del Gobierno del Estado a través de la Secretaria de Desarrollo Agropecuario el inventario en formato digital de bordos existentes en la zona, el cual se sobrepuso al mapa de de la microcuenca, generando el mapa de cuerpos de agua (Figura 27).

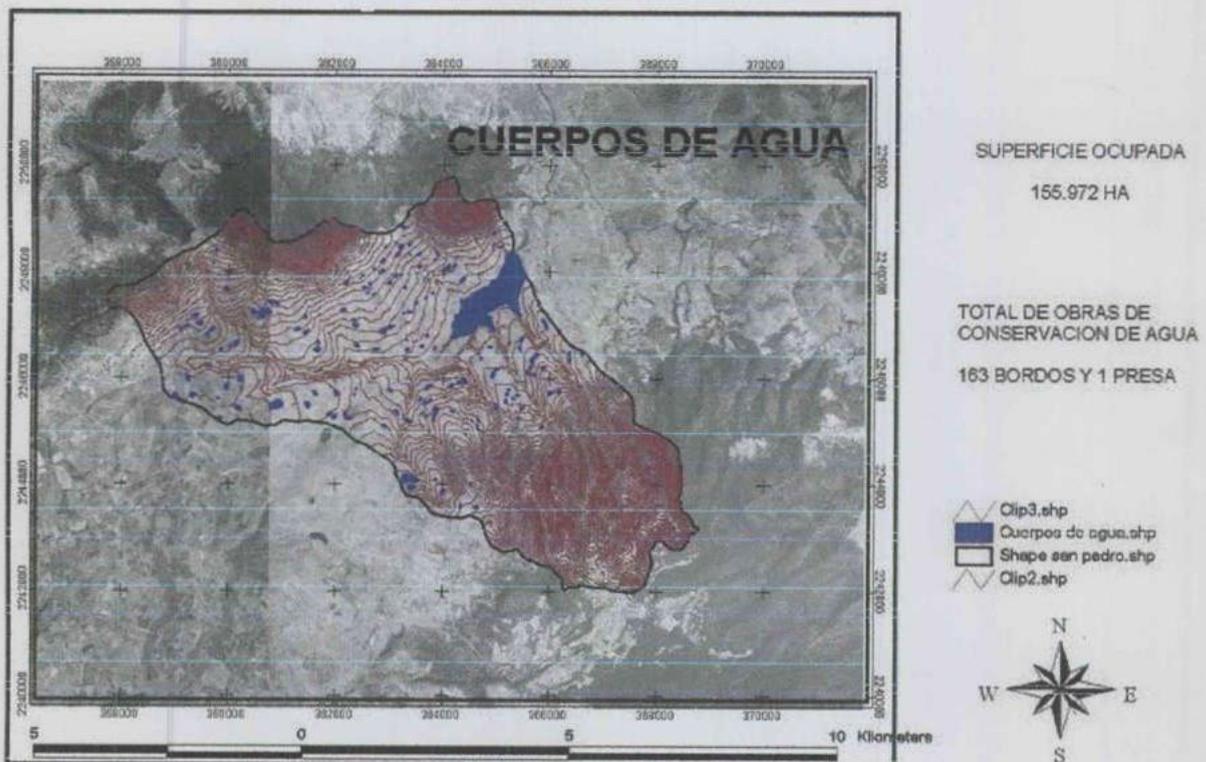


Figura 27. Cuerpos de agua de la Microcuenca San Pedro, Huimilpan, Qro.

El principal cuerpo de agua dentro de la microcuenca es la Presa "Insurgente Miguel Domínguez", la cual se ubica sobre el arroyo San Pedro y se utiliza principalmente para riego agrícola aguas debajo de la cortina (845 ha) y en las márgenes del embalse. Asimismo, se usa como zona de recreación y en ella se práctica la pesca deportiva de carpa y de tilapia. La presa se termino de construir en 1971, con una capacidad para 5,000,000 m³, según López 2002, citado por Rivas, 2004, se tiene una perdida de capacidad total de la presa pronosticada para el año 2030, de continuar la producción de sedimentos actual.

Existen en total 164 cuerpos de agua, excluyendo a la presa los demás son básicamente bordos parcelarios de capacidad variable y que son utilizados como abrevadero o para riego de auxilio de cultivos agrícolas y frutales. En conjunto ocupan una superficie de 155.972 ha., que corresponde al 3.74 % de la superficie total de la microcuenca. La panorámica de la Presa se puede observar en la Figura 28.

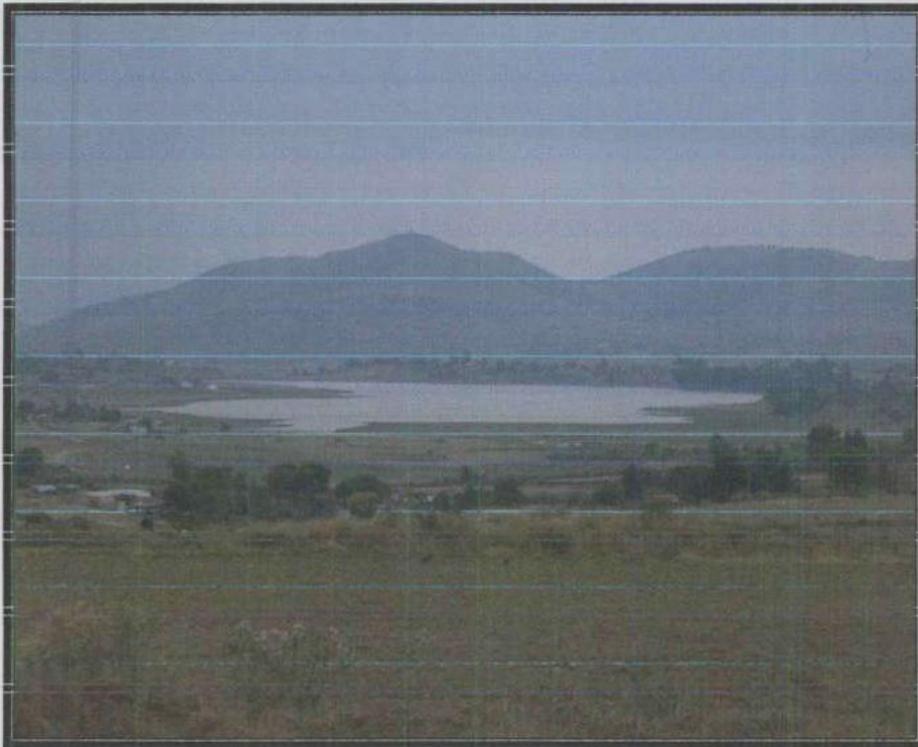


Figura 28. Vista panorámica de la presa "Insurgente Miguel Domínguez" (Foto R. Muñoz)

4.3 OBRAS DE CONSERVACION DE SUELOS

De acuerdo a la bibliografía consultada en la microcuenca se han venido realizando obras de conservación de suelo y agua desde 1978; entre otras obras se han construido terrazas de formación sucesiva, presas filtrantes y presas de gaviones. Esto nos indica la preocupación de los dueños de los terrenos y los esfuerzos que realizan para contrarrestar el avance del fenómeno erosivo. Durante los 45 recorridos realizados entre los meses de Junio de 2004 a Septiembre de 2005, se pudieron encontrar restos de obras antiguas para conservación de suelo y agua, así como obras recientes, algunas de las cuales se encuentran actualmente estabilizadas (azolvadas y reforestadas).

En el periodo reciente (2000 – 2005) se pudo apreciar la existencia de obras nuevas financiadas por la SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales), así como por parte del municipio de Huimilpan.

Algunas de las obras encontradas cumplieron su misión de contención, mientras que otras no tuvieron éxito, algunas de ellas (principalmente las de gavión) han sido destinadas al aprovechamiento de arena para construcción y solo algunas de ellas han sido revegetadas con pastos y árboles.

Presas de gaviones

Se realizaron investigaciones y recorridos en la microcuenca a fin de ubicar las obras de gavión existentes, se localizaron solo dos realizadas en el año de 1985, una sobre el arroyo San Pedro como principal afluente para la presa Miguel Domínguez y uno sobre uno de los escurrimientos laterales.

Se visitaron ambas obras y las condiciones encontradas fueron las mismas; obras completamente azolvadas y en un solo caso se presentó la estabilización total de la obra, el azolve contenido en estas obras se utiliza como arena para la construcción por parte de los dueños de los terrenos donde se ubican las obras. (Figura 29).

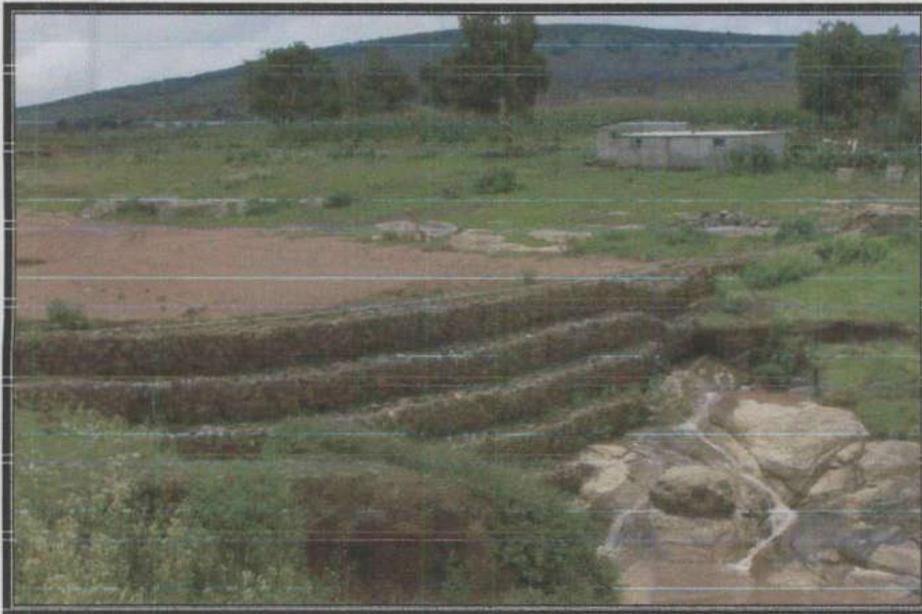


Figura 29. Presa de gavión azolvada (Foto R. Muñoz)

Presas de piedra acomodada y terrazas

Estas obras, y principalmente las presas de piedra acomodada se localizan diseminadas en casi toda la porción norte de la microcuenca, muy comúnmente asociado a los suelos Litosoles. Sin embargo no fue posible obtener registros ni consultar trabajos en donde se documente su distribución, se consultó a diversos habitantes de la zona y se realizaron recorridos en el área, encontrando en casi toda la microcuenca obras de este tipo, algunas estabilizadas y en buen estado de conservación (Figura 30), otras mas destruidas y algunas recientes.

En cuanto a las obras de terrazas, estas no son tan comunes en la zona como en el caso de las presas de piedra acomodada, sin embargo se les puede localizar principalmente en terrenos destinados a la agricultura, así como en zonas aledañas a los diversos y dispersos asentamientos humanos en toda la microcuenca (Figura 31).

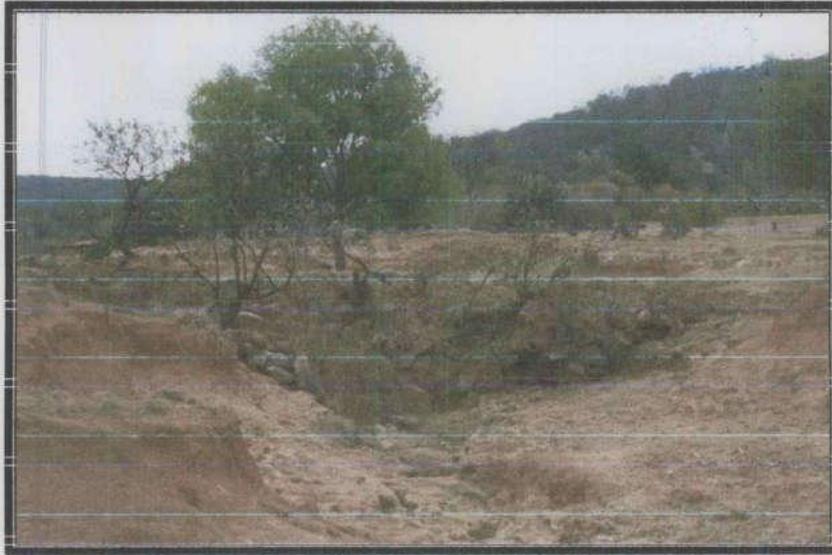


Figura 30. Presa de piedra acomodada estabilizadas (Foto R. Muñoz)



Figura 31. Terrazas aledañas a zonas de asentamientos humanos (Foto R. Muñoz)

4.4. DIAGNOSTICO DE LA EROSION HIDRICA EN LA MICROCUENCA

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante los trabajos de campo y gabinete, el 100 % de la superficie de la microcuenca de San Pedro Huimilpan presenta en mayor o menor grado problemas de erosión hídrica, siendo la forma en surcos o canalillos la que representa un mayor porcentaje al ocupar 45.8 % de la superficie total de la microcuenca (Tabla 4).

La causa principal de esta afectación lo constituyen diversos factores de daño entre los que se encuentran el cambio de uso de suelo para fines agrícolas, el aprovechamiento forestal clandestino, la siembra de cultivos en condiciones no aptas para ello, los incendios forestales y el sobrepastoreo derivado de una ganadería extensiva (Figura 32).

Se pudo observar que los niveles y forma de afectación que existen y han existido por muchos años en esta zona, preocupan a lo dueños de los terrenos encontrándose diversas formas de tratar de contrarrestar al problema erosivo, desde presas con ramas y residuos domésticos, hasta gaviones de gran tamaño y presas de piedra acomodada de diversas formas y dimensiones.

Tabla 4.- Tipos de erosión en la Microcuenca de San Pedro Huimilpan

ZONAS EROSIONADAS EN LA MICROCUENCA DE SAN PEDRO HUIMILPAN			
Forma de Erosión	Superficie Afectada (Ha)	Porcentaje (%)	Uso del Suelo
Laminar	1,408.771	33.8	Forestal y ganadero
Surcos o canalillos	2,328.76	45.8	Agrícola y Ganadero
Cárcavas	433.299	10.4	Forestal y Agrícola
TOTAL :	4,170.83	100	

En la Figura 32 se puede apreciar las formas de erosión presentes en la microcuenca de San Pedro y las zonas que están afectadas actualmente, como se puede observar el total de la microcuenca presenta algún tipo de erosión, siendo mas afectada por el fenómeno de las cárcavas la zona noroeste de la microcuenca, siendo precisamente en esta zona donde se ubican suelos luvisoles y litosoles (Figura 32), derivados de la presencia de rocas riolíticas.

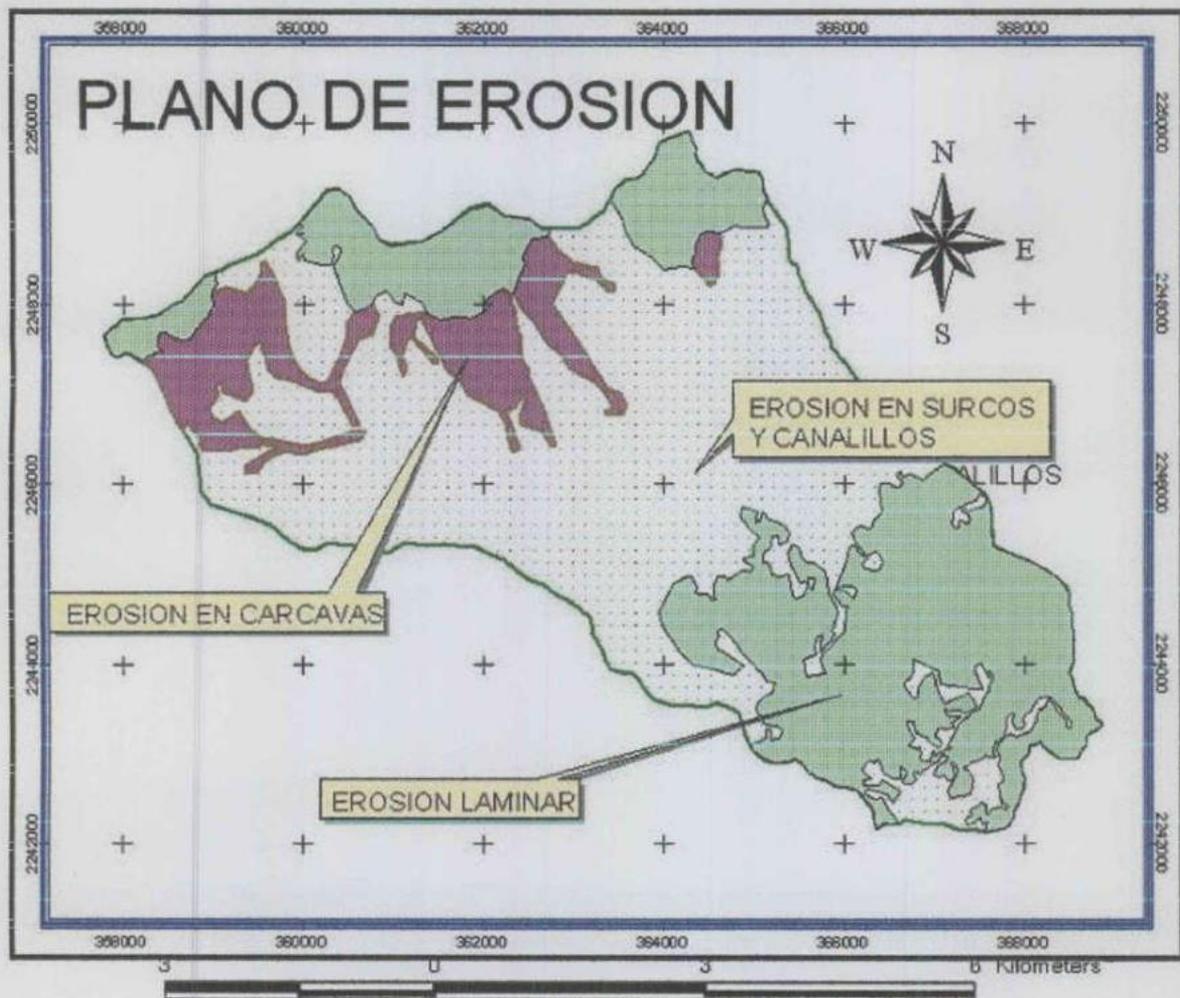


Figura 32. Zonas afectadas por distintos tipos de erosión en la microcuenca San Pedro

4.5. PARTICIPACIÓN SOCIAL.

Los principales resultados de la aplicación de las encuestas a los pobladores locales permitieron concluir los siguientes puntos:

- La mayoría de las personas entrevistadas consideran que no es el problema de la erosión, sino la falta de caminos y servicios públicos lo que más les preocupa. No obstante les interesa contrarrestar el avance de la erosión.
- El 90% de los entrevistados, manifestó que alguna vez ha trabajado en obras de conservación de suelo

- El 100 % manifestó su acuerdo con el uso de llantas para realización de presas.
- El 90% está de acuerdo en ayudar a sus vecinos en la construcción de obras de conservación.
- El 95 % coincide en que las actividades agrícolas en la zona no son rentables y que deben de complementarse con otras actividades económicas, este porcentaje se dedica al trabajo de jornalero.
- El 85% de los encuestados ha realizado viajes a los Estados Unidos con motivo de trabajo de forma temporal.

En general, podemos concluir que las actividades productivas de la zona son esencialmente de autoconsumo, lo que motiva una fuerte emigración y no se impulsa el arraigo de los pobladores en la zona, no obstante manifiestan su preocupación por la falta de productividad de los suelos y el problema erosivo, manifestando su acuerdo en la realización de obras de control innovadoras.

4.6 DISEÑO Y CONSTRUCCION DE OBRAS DE CONTROL

La microcuenca se dividió en 10 unidades de escurrimiento y en cada una de ella mediante el uso del SIG, se cuantifico el área afectada por erosión en cárcavas y su porcentaje en relación con la superficie de cada escurrimiento.

Como resultado del análisis realizado, se llego a la conclusión de que los escurrimientos E3 a E6 (Figura 33) se pueden clasificar como las áreas de más alta pérdida de suelos por cárcavas en la microcuenca de San Pedro.

Asimismo, se concluyó que las obras de conservación de suelo existentes en estos escurrimientos están azolvadas en su totalidad, por lo que requieren de nuevas obras para contención de las áreas afectadas aguas arriba de su ubicación. La Unidad de escurrimiento (E6) constituye la de mayor afectación por el proceso erosivo en forma de cárcavas (Figura 34), por lo que para efecto del presente estudio se definió como área piloto para la realización de actividades de conservación.

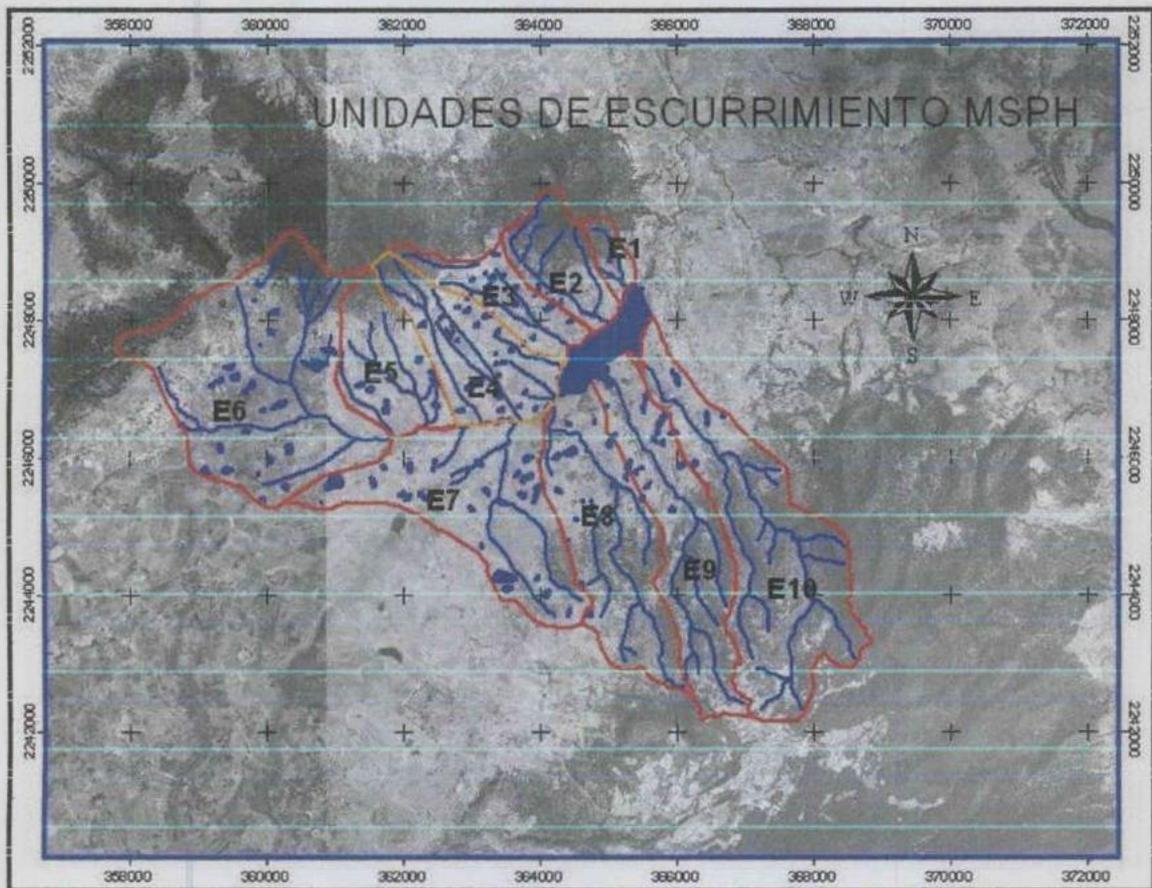


Figura 33.- Sistema de escurrimientos de la Microcuenca de San Pedro Huimilpan

Dentro del área comprendida por el escurrimiento, se definió a su vez el área más degradada y susceptible de realizar en ella obras de gaviones; se realizaron visitas de reconocimiento para determinar la ubicación de las obras a llevar a cabo, se realizaron entrevistas a los dueños de los terrenos para determinar su interés y conseguir los permisos para entrar a sus propiedades y realizar los trabajos.

Es importante citar que originalmente se plantearon tres obras, pero solo se pudieron concretar dos, toda vez que el dueño de uno de los terrenos seleccionados no estuvo de acuerdo con la propuesta. En virtud de lo anterior se realizó una reingeniería por parte de la empresa Maccaferri de México S.A. de C.V. con objeto de construir solo dos obras tipo muro de contención con gaviones, con el material y recursos considerados para las tres obras originales. Los sitios

seleccionados y para efectos del presente trabajo, se denominaron con el nombre de los dueños de los terrenos, como Sección Arturo y Sección Mario.

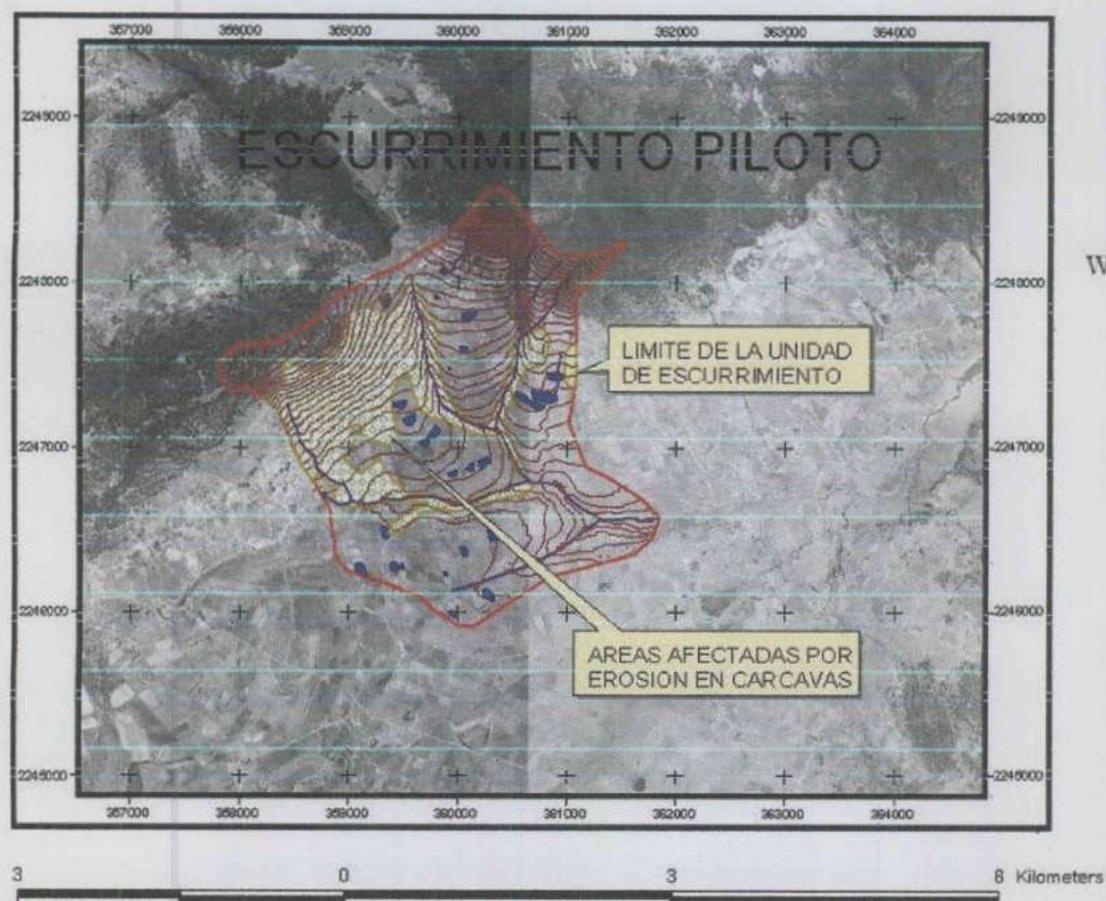


Figura 34. Unidades de Escurrimiento de la Microcuenca de San Pedro Huimilpan

El área de aporte de cada una de estas secciones se obtuvo mediante el SIG. Los resultados son los siguientes:

4.6.1. Gasto de Diseño para los sitios seleccionados.

El Área de aportación de cada escurrimiento fue calculado a partir de ortofotos digitales mediante la aplicación del SIG. Los cuadros de cálculo de gasto máximo para las dos secciones en estudio se presentan a continuación:

Tabla 5. Gasto de diseño para el cálculo del vertedor de la sección Arturo

Q= 0.00278 CIA			
Condiciones de la microcuenca	A (ha)	C	Producto
Terreno Escarpado Erosionado y Desnudo de Textura Media C1	125.624	0.52	65.32448
Bosque de Pino y Encino en Terrenos Escarpados de Textura Media C2	35.396	0.3	10.6188
Terreno de agricultura	50.712	0.72	36.51264
Total:	211.732		112.45592
Valor Ponderado de C		0.53	
Tormenta de Diseño		30	mm/h
Área de la Microcuenca		211.732	Ha
Gasto de Diseño total		9.359	m3/s

Tabla 6. Gasto de diseño para el cálculo del vertedor de la sección Mario

Q= 0.00278 CIA			
Condiciones de la microcuenca	A (ha)	C	Producto
Terreno Escarpado Erosionado y Desnudo de Textura Media C1	30	0.52	15.6
Bosque de Pino y Encino en Terrenos Escarpados de Textura Media C2	50	0.3	15
Total:	80.00		30.6
Valor Ponderado de C		0.38	
Tormenta de Diseño		30	mm/h
Área de la Microcuenca		80	Ha
Gasto de Diseño total		2.54	m3/s

4.6.2. Diseño de Obras

Los datos obtenidos para el cálculo del gasto de diseño total fueron proporcionados a personal de la empresa de MACCAFERRI DE MEXICO S.A. de C.V., a fin de que ellos se encargaran del diseño de las obras usando el programa GawacWin para muros de contención, propiedad de esa empresa.

En la práctica, los diseños originales tuvieron que modificarse para adaptarse a las condiciones finales de la sección. En las figuras siguientes se puede apreciar el diseño original y el diseño ejecutado en campo, que finalmente fue como quedaron las obras. Los gaviones marcados de color rojo corresponden a los elementos eliminados de la sección original y los azules corresponden a los añadidos durante los trabajos de campo. Obsérvese las grandes modificaciones en los cimientos en el caso de la Sección Mario (Figuras 35 y 36), mientras que en la Sección Arturo las modificaciones incidieron mas fuertemente en los niveles intermedios y en las plateas antisocavantes (Figuras 37 y 38).

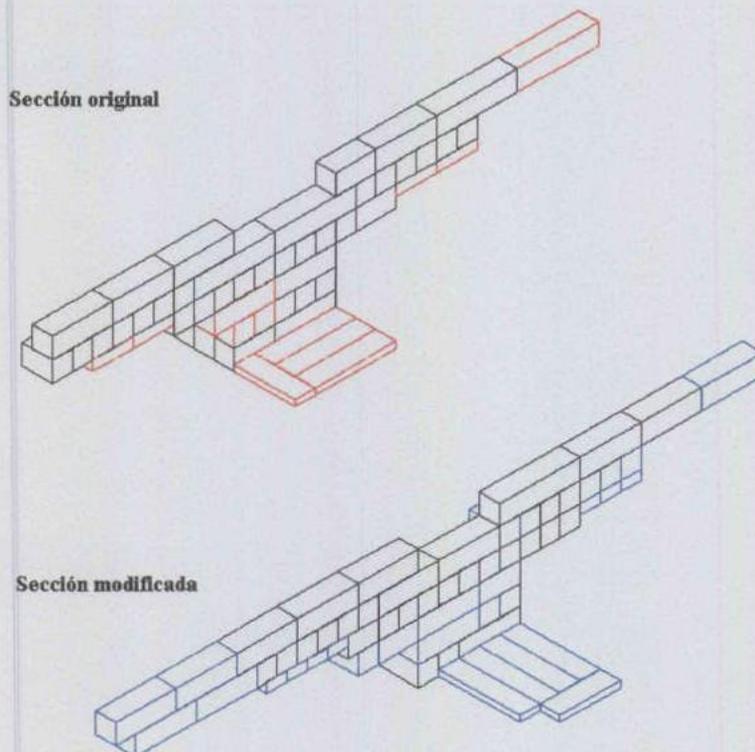


Figura 35. Vista aguas abajo de la sección de Mario

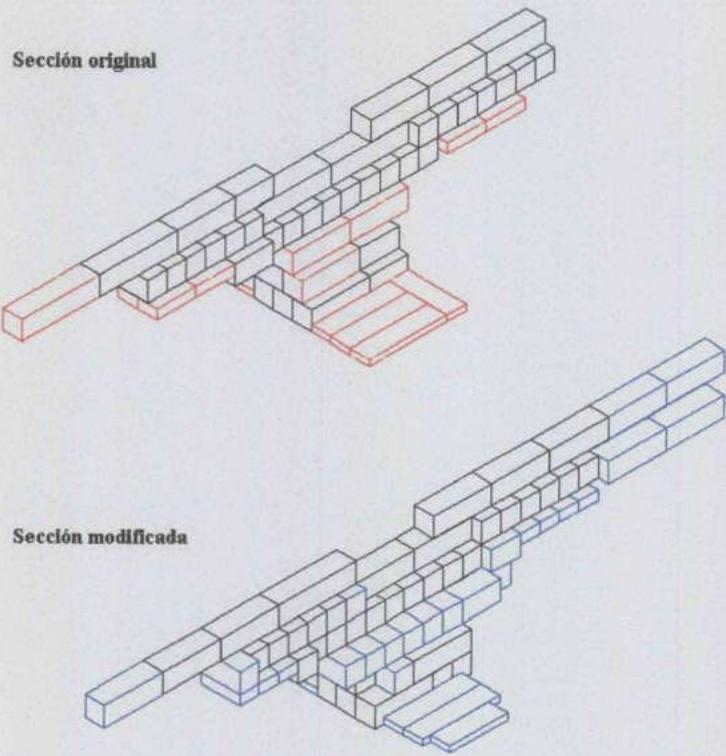


Figura 36. Vista aguas arriba de la sección de Mario

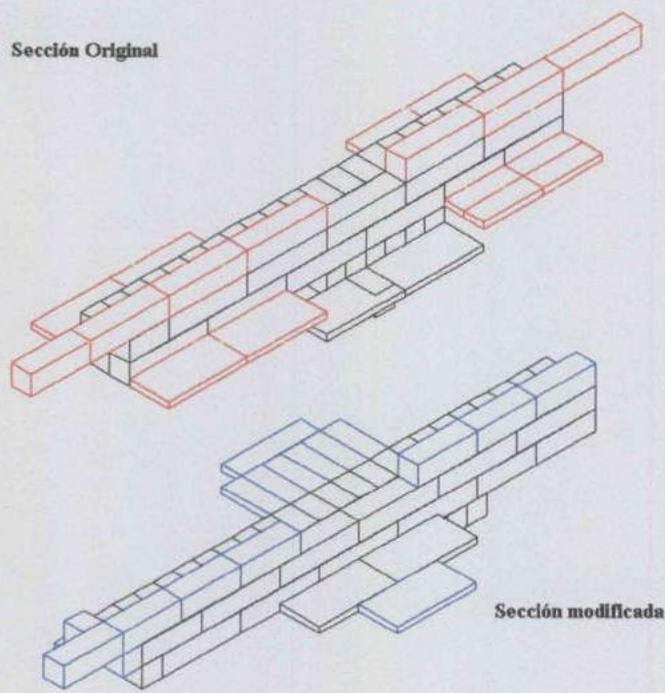


Figura 37. Vista aguas abajo de la sección de Arturo

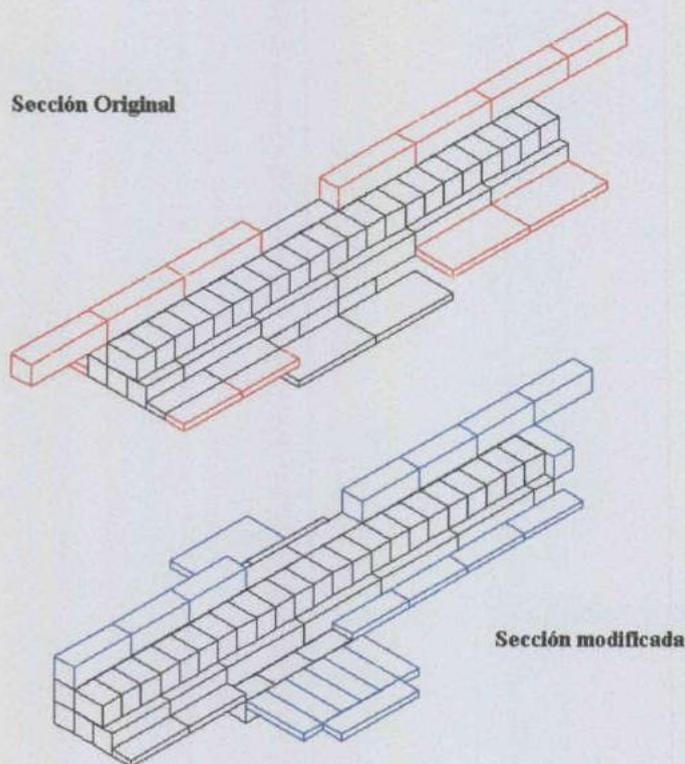


Figura 38. Vista aguas arriba de la sección de Arturo

El resumen, de las piezas utilizadas en ambas secciones, se traduce el volumen final empleado de gaviones y material pétreo (m^3), que se muestra en los siguientes cuadros.

Tabla 7. Resumen de Piezas Utilizadas en la construcción de la sección de Arturo

Diseño Original			Diseño Final		Diferencia	
Medidas (m)	Cantidad (piezas)	Volumen (m^3)	Cantidad (piezas)	Volumen (m^3)	Cantidad (piezas)	Volumen (m^3)
1.5 x 1 x 1	34	51	34	51	0	0
2 x 1 x 1	5	10	4	8	-1	-2
3 x 1 x 0.3	8	7.2	7	6.3	-1	-0.9
3 x 1 x 1	5	15	16	48	11	33
4 x 2 x 0.3	8	19.2	7	16.8	-1	-2.4
4 x 1 x 1	19	76	17	68	2	-8
TOTAL	71	178.40 m^3	85	198.1	10	19.7 m^3

Tablas 8. Resumen de Piezas Utilizadas en la construcción de la sección de Mario

Diseño Original			Diseño Final		Diferencia	
Medidas (m)	Cantidad (piezas)	Volumen (m ³)	Medidas (m)	Cantidad (piezas)	Volumen (m ³)	Medidas (m)
1.5 x 1 x 1	27	40.5	29	43.5	2	3.0
2 x 1 x 1	7	14	4	8	-3	-6
2 x 1 x 0.5	8	8	10	10	2	2
3 x 1 x 0.3	2	1.8	2	1.8	0	0
3 x 1 x 1	12	36	23	69	11	33
4 x 1 x 0.3	6	7.2	6	7.2	0	0
4 x 1 x 1	4	16	1	4	-3	-12
TOTAL	66	123.50 m³	75	143.5	9	20.0 m³

Finalmente en los dos proyectos el utilizaron 137 piezas de gavión para un volumen total de 308.5 m³. Los planos originales generados por la empresa, para la construcción de las obras se muestran en el Anexo III.

4.6.3 Ejecución de Obras y Supervisión

Los trabajos de supervisión iniciaron con la actividad de acondicionamiento, con maquinaria pesada, de los cauces para el desplante de los gaviones y el acondicionamiento de los niveles de las obras para poder desplantarlas correctamente.

La supervisión de las obras consistió en las siguientes actividades:

- ◆ Revisión y seguimiento de los trabajos y planos proporcionados por la empresa Maccaferri de México S.A. de C.V..
- ◆ Coordinación del personal operativo y eventualmente transporte de material (gavión)
- ◆ Supervisión diaria del trabajo de las obras
- ◆ Apoyo y reingeniería del proyecto de acuerdo a los factores físicos del sitio propuesto

La ejecución de las obras, una vez adquiridos los gaviones, piedra y contratación de mano de obra, se realizó en las siguientes etapas:

1. Desplante de la sección hidráulica de ambas secciones mediante el uso de maquinaria pesada.

La afinación de las secciones hidráulicas se realizó considerando los aspectos geométricos asentados en el diseño de la empresa; no obstante lo anterior, debido a las condiciones de suelo del cauce y los materiales de las paredes, los cortes fueron mucho más profundos de lo que originalmente se planeó (Figura 39).



Figura 39. Desplante de la Sección Hidráulica de la Sección Mario con Maquinaria Pesada

2. Desplante de cimientos y reingeniería de diseño debido a los cortes de la maquinaria

Al modificar la estructura de los cauces con maquinaria pesada, se excavó el suelo de ambas secciones, dicha acción ocasionó que en caso de la Sección Arturo (Figura 40) se tuviera que rellenar con piedra y tierra el área excavada, lo anterior de alguna forma sirvió para fortalecer el suelo del cauce, sin embargo, modificó el diseño propuesto. Adicionalmente a lo anterior, y toda vez que se toman como ideales las secciones de los cauces, al excavar el suelo se encontraron afloramientos rocosos que impidieron realizar las obras como originalmente se habían proyectado.

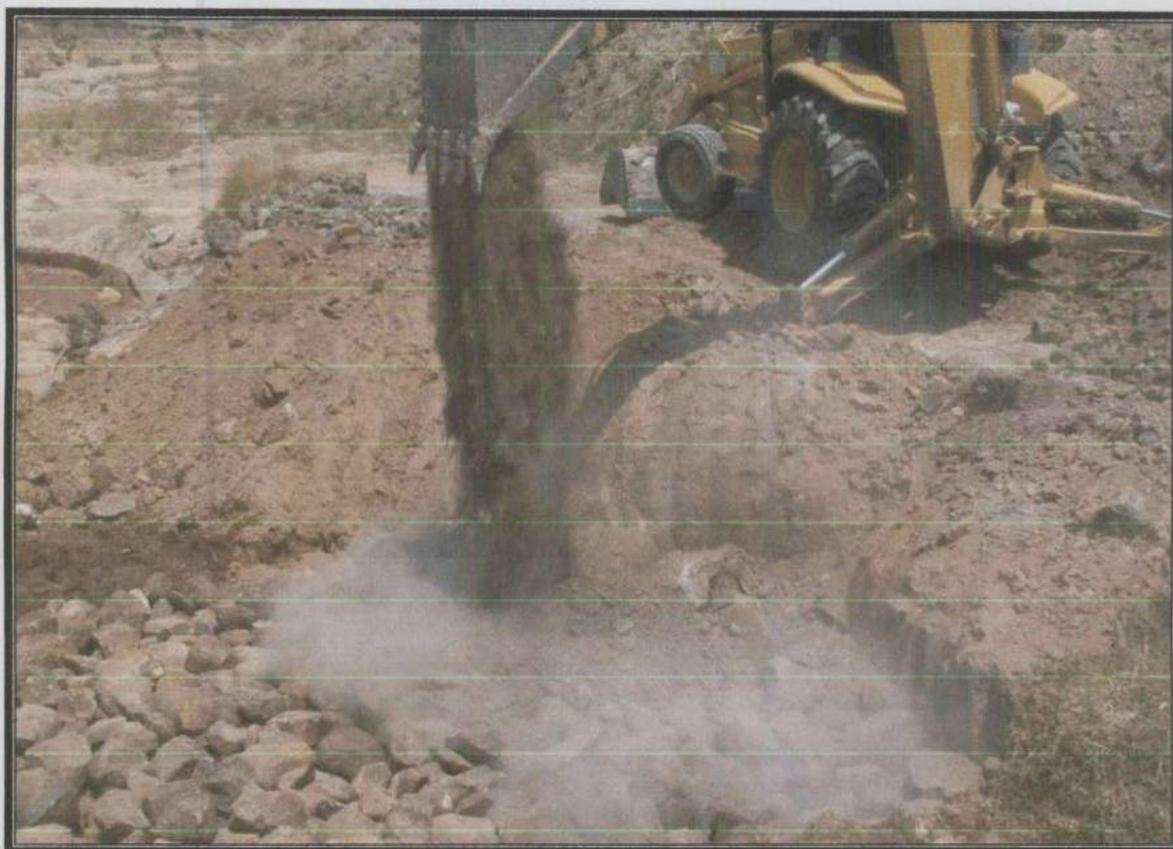


Figura 40. Corrección del piso del cauce de la Sección Hidráulica de la Sección Arturo

Asimismo, las condiciones de sinuosidad de los cauces fueron determinantes para las modificaciones a los proyectos originales, toda vez que éstos tomaban a la sección como perfecta en el plano horizontal (Figura 41).



Figura 41. Corrección por condiciones de sinuosidad del cauce en la Sección Mario

3. Construcción de los muros de contención

Como ya se citó anteriormente, las deficiencias en el desplante de las obras repercutió en la conformación de las obras tanto en los niveles de los escalones, como en la distribución y necesidades de los diferentes gaviones, el sistema de construcción con gaviones de dimensiones variables plantea un estricto control de las demás variables tales como tipo y tamaño de la piedra, desplante, sección plana del cauce, etc., con objeto de que de esta manera se puedan instalar los diferentes gaviones como lo marca el diseño.

En nuestro caso, se adecuaron las piezas de gavión a las condiciones que nos presentaba la sección hidráulica construida por la maquinaria pesada. Por esta razón, se necesitó sustituir unas piezas por otras. Lo más común fue sustituir las de 4 m³ por piezas 3 m³, así como requerir de forma adicional el suministro de piezas. La modificación del desplante influye directamente sobre todos los elementos de la obra y en el caso del vertedor únicamente influyó en la ubicación de este, no así en cuanto a su longitud la cual se vio incrementada en ambas obras, pero principalmente en la Sección Mario. Es importante mencionar que los diseños originales consideraban a las plateas antisocavantes adheridas a la base de los gaviones de desplante, sin embargo esta condición no se cumplió en ninguna de las dos obras, ya que por un lado en la Sección Arturo casi se adhirió al segundo nivel, en el caso de la Sección Mario apenas se pudo adherir a la parte superior del desplante. Adicionalmente, resaltó la importancia de la realización de un tejido adecuado de los gaviones a través de la aplicación del alambre especial que suministro la empresa, ya que este aspecto influyó de manera directa en el llenado de los gaviones, un tejido adecuado con sus respectivos tensores tanto en lo vertical como en lo horizontal nos garantizan gaviones mas estabilizados. Además de citar también durante esta etapa, la importancia de usar niveles y pizones para la correcta instalación y nivelación de los desplantes, ya que una mala colocación de los gaviones, invariablemente afectara la estabilidad final de las obras.

En las Figuras 42 a la 45 se muestra la condición antes y después de la construcción de las presas de gaviones en ambos sitios. Es muy importante mencionar que uno de los beneficios de la construcción de la sección Mario fue la comunicación de dos familiares viviendo en ambos lados de la cárcava. Previo al establecimiento del muro de gaviones, caminar de un lado a otro implicaba el riesgo de cruzar una cárcava profunda e inestable o caminar una distancia considerable aguas abajo hasta un punto de cruce mas adecuado. Esto ejemplifica el beneficio social de las obras de conservación de suelos al adaptarse adecuadamente a los paisajes.

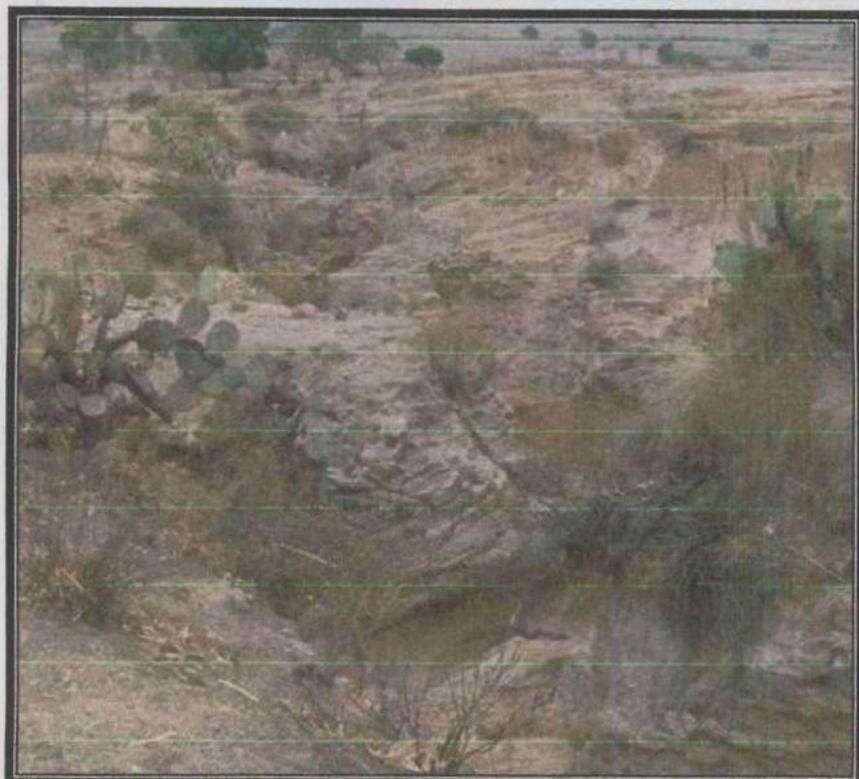


Figura 42. Sección Mario original



Figura 43. Sección Mario modificada al término de la construcción



Figura 44. Sección Arturo original

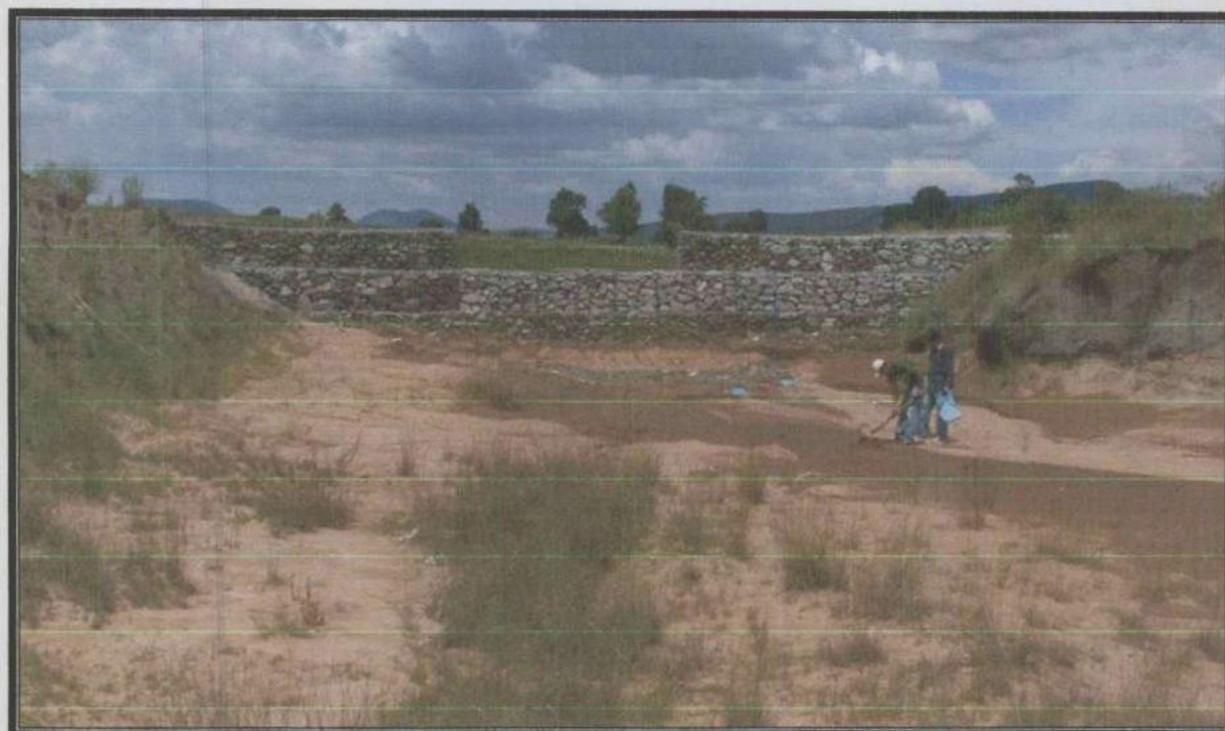


Figura 45. Sección Arturo modificada al término de la construcción

4. Cálculo de la capacidad de azolvamiento de las obras

Dado que se está planteando obras de contención de azolve, es importante predecir el volumen que se espera captar de sedimentos, ya que esto determina en cierta forma la eficiencia de la obra y su vida útil. La capacidad de retención de sedimentos se obtuvo mediante la generación de la gráfica elevación-áreas-capacidades, con datos obtenidos a partir de un levantamiento topográfico realizado en los vasos de almacenamiento de cada una de las secciones. La precisión que se tomó en la sección Arturo fue de 0.5 metros, ya que el área del vaso de almacenamiento o retención de azolves es mayor y la altura de la presa es de menor magnitud que la que se construyó en la sección Mario.

En las Figura 46 se muestra la grafica elevación-áreas-capacidades para la sección Arturo y en la Tabla 9 se muestra los valores de capacidad proyectadas de esa obra.

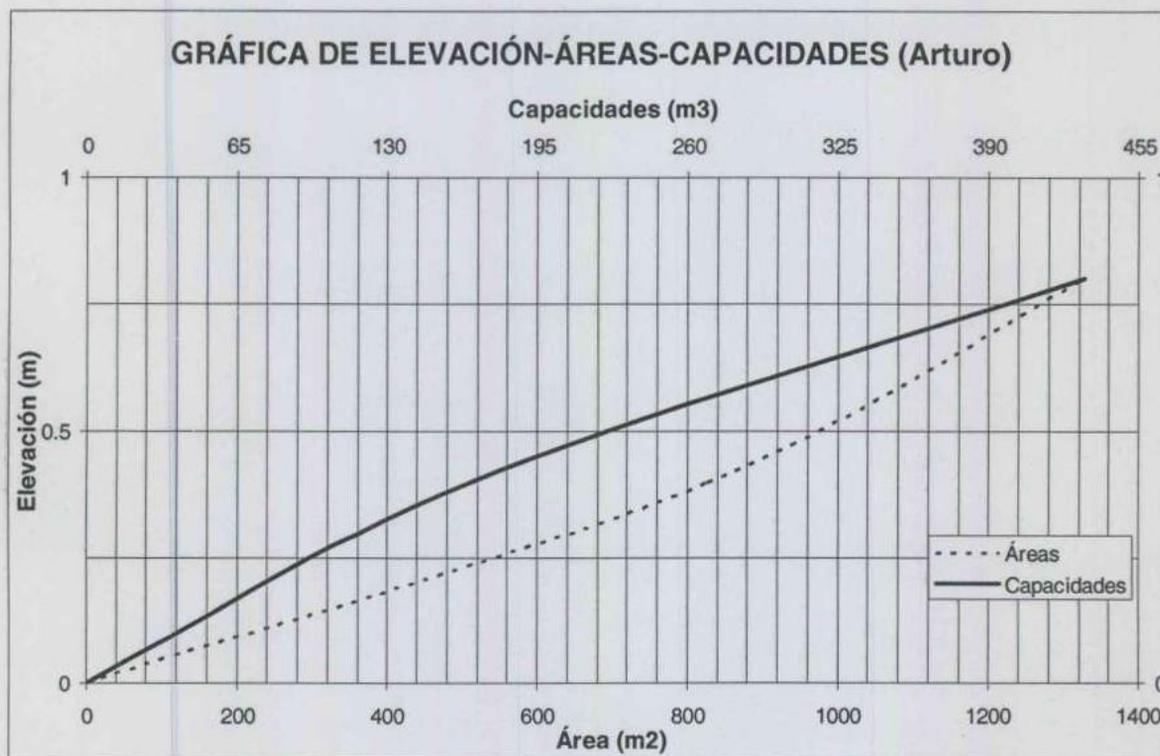
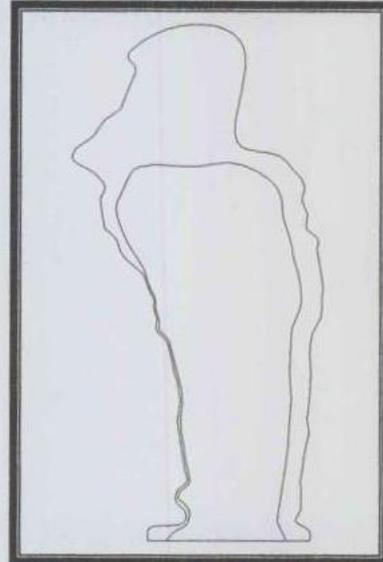


Figura 46. Gráfica de elevación-áreas-capacidades de la sección Arturo

Tabla 9. Elevación - Áreas - Capacidades (Sección Arturo)

COTA (m)	ÁREA (m²)	CAPACIDAD (m³)	CAPACIDAD ACUMULADA (m³)
0	0	0	0.0000
0.5	826.8	165.4	165.4
1.0	1329.3	265.9	431.2



La precisión que se tomó en la sección de Mario fue 1.0 m debido a la magnitud de la obra y a las condiciones topográficas de la cárcava (principalmente la pendiente), y que la altura de la presa es de mayor magnitud que la que se construyó en la sección de Arturo. Una vista de la situación actual de la obra, se puede observar en la Figura 47.



Figura 47. Situación de azolve de la Sección Arturo

En la Figura 48 se muestra la grafica áreas capacidades para la sección Mario y la Tabla 10 muestra los valores de capacidad proyectadas de esa obra.

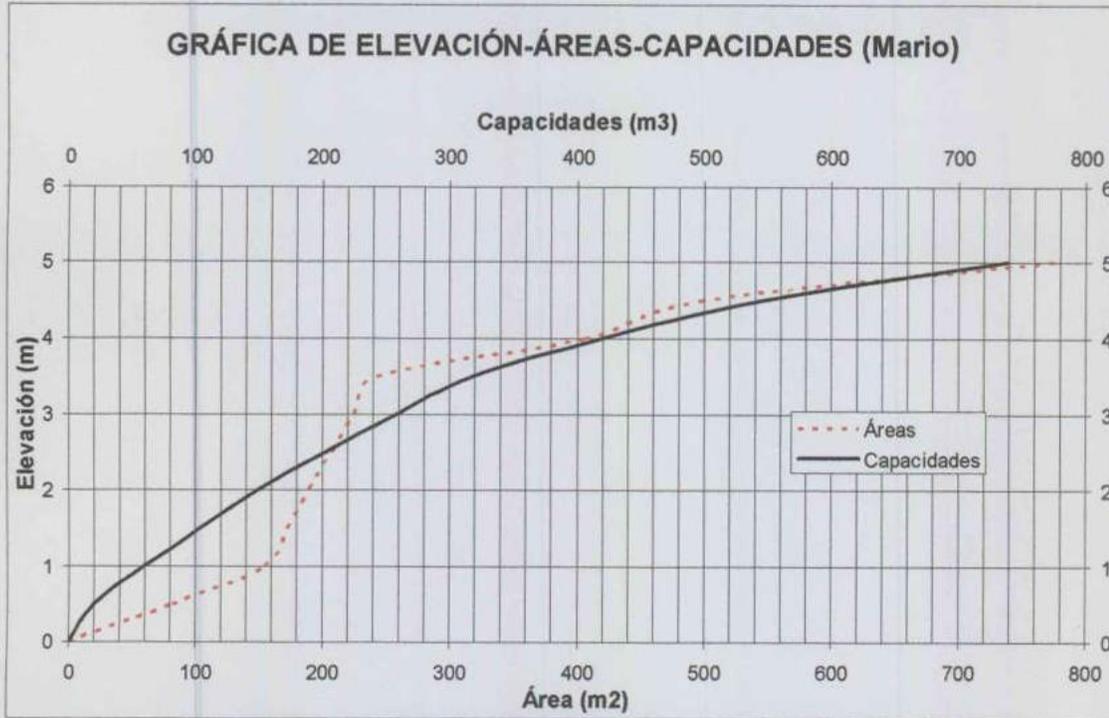
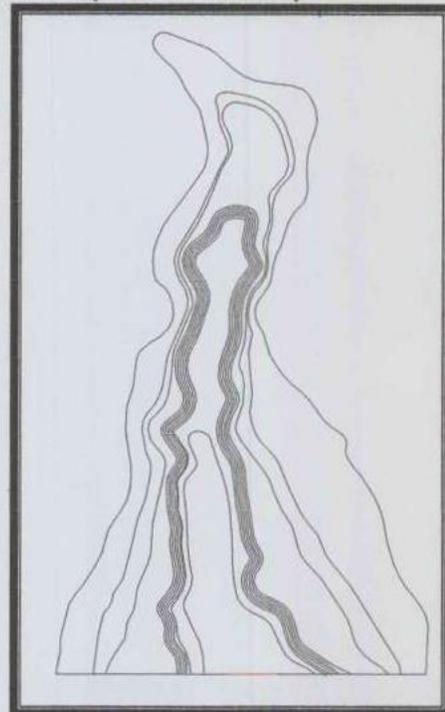


Figura 48. Gráfica elevación-áreas-capacidades de la sección Mario

Tabla 10. Elevación - Áreas - Capacidades (Sección Mario)

COTA (m)	ÁREA (m ²)	CAPACIDAD (m ³)	CAPACIDAD ACUMULADA (m ³)
0	0	0	0.0000
0.5	81.5	20.4	20.4
1	155.1	38.8	59.2
1.5	172.5	43.1	102.3
2	189.8	47.4	149.7
2.5	207.1	51.8	201.5
3	224.4	56.1	257.6
3.5	242.2	60.5	318.1
4	406.5	101.6	419.8
4.5	497.5	124.4	544.1
5	775.5	193.9	738.0



Una vista de la situación actual de la obra, se puede observar en la Figura 49, es importante resaltar que dada la topografía tipo cañón que se presenta en la Sección Mario, los resultados son mas visibles en el corto plazo.

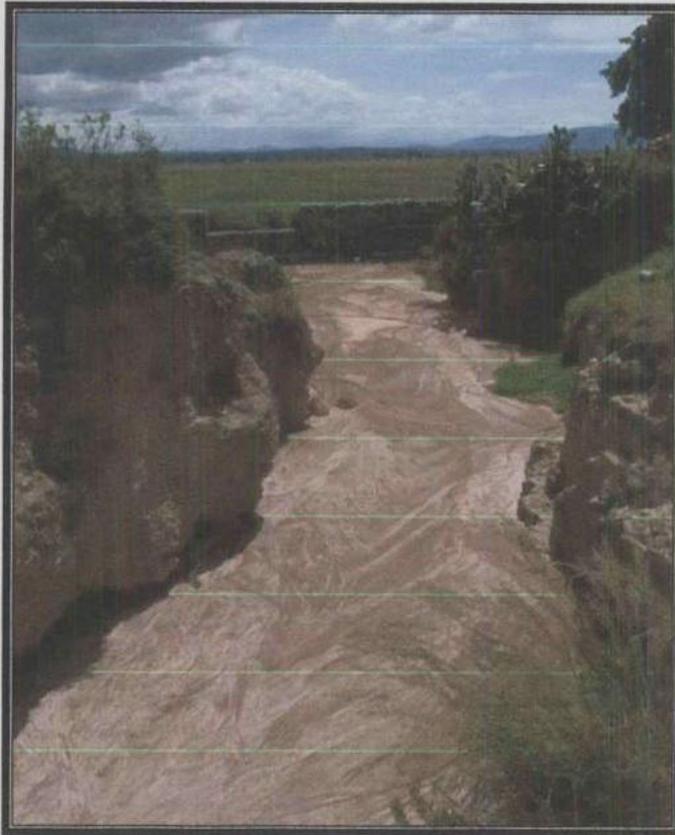


Figura 49. Situación de azolve de la Sección Mario

5. Construcción de las presas de llantas

Con objeto de establecer y probar una obra accesoria innovadora se determinó construir una presa de llantas automotrices de desecho, para tal efecto se selecciono una sección de prueba que se localiza en las coordenadas los $20^{\circ} 18.832$ LN y $100^{\circ} 21.212$ LW y 2504.2 msnm, justo arriba de la Sección Mario.

La sección seleccionada se determino basada en dos aspectos principales, pendiente suave y poca área para retención de azolve, un aspecto del sitio seleccionado de muestra en la Figura 49 y su geometría en la Figura 50.

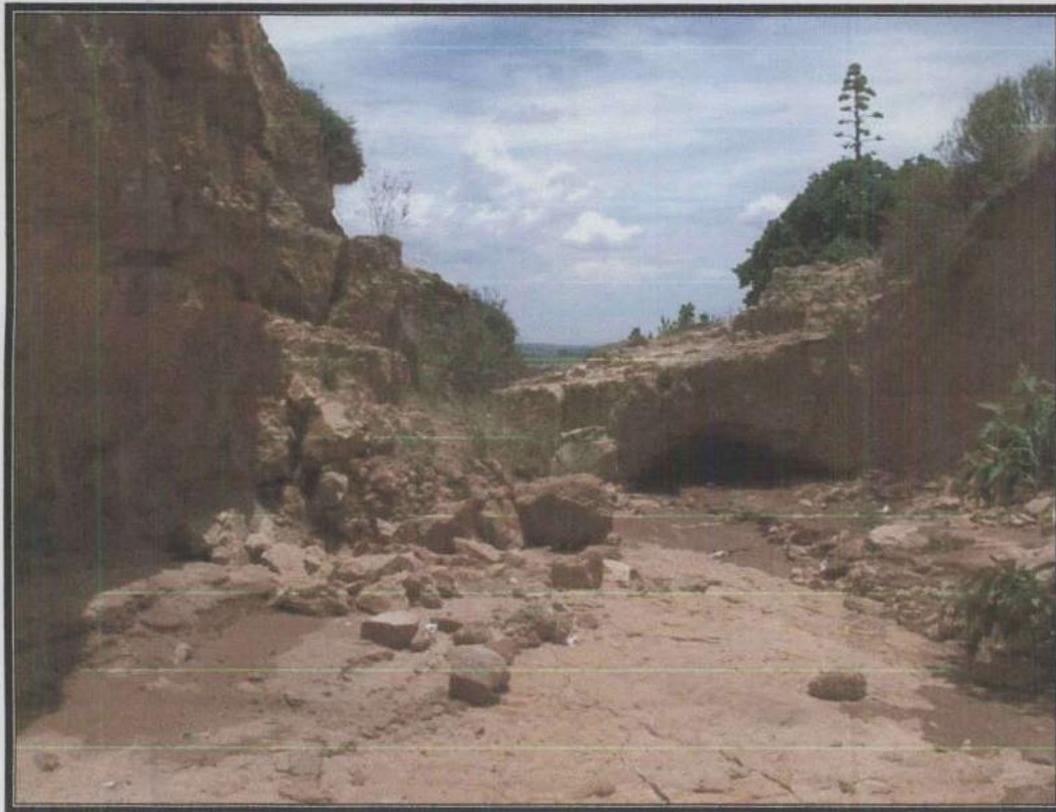


Figura 50. Sección en campo del sitio de colocación de llantas.

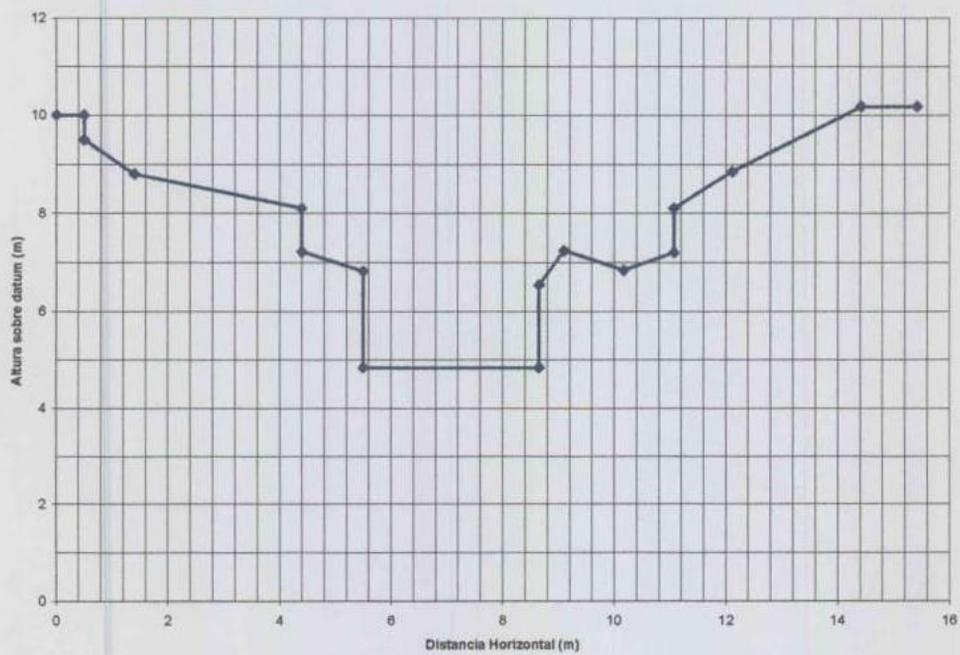


Figura 51. Sección hidráulica de la cárcava para la construcción de la presa de llantas.

La finalidad de la obra accesoria fue la de probar, bajo un nuevo concepto de construcción, la factibilidad de uso y aplicación de las presas de llantas, acomodadas por si mismas y como obras accesorias de otras de mayor envergadura y costo, con objeto de ampliar su vida útil y reforzar su funcionamiento.

Procedimiento de construcción

Se trató de que la obra se adaptara a la topografía del sitio, modificando el piso de la sección a fin de instalar las llantas ancladas al suelo mediante el uso de tornillos o espigones de longitudes variables mediante el uso de taladro y relleno con pegazulejo, una vez instalados servirían de base para la obra (Figura 52). El diseño final tuvo una altura de solo 1.5 m para evitar empujes excesivos sobre la presa, asimismo se optó por incluir anclas laterales ahogadas en concreto en dos llantas de mayor tamaño que las demás. (Figura 53)



Figura 52. Procedimiento de anclaje de espigones o tornillos

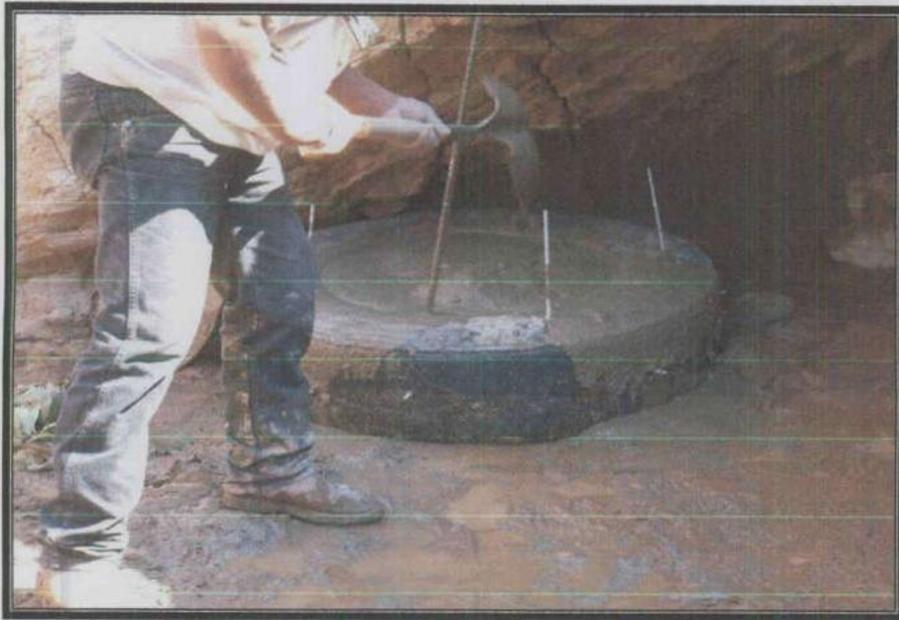


Figura 53. Procedimiento de anclaje de llantas

Asimismo, se fue reforzando la obra estructural con interconexión en planos horizontales y laterales con tornillos de acero inoxidable, con objeto de hacerla mas estable, adicionalmente se instalo un cuadro de varilla en el segundo nivel de la obra con objeto de reforzarla mas y para funcionar como estabilizador de la obra al realizar las uniones entre las llantas (Figura 54).

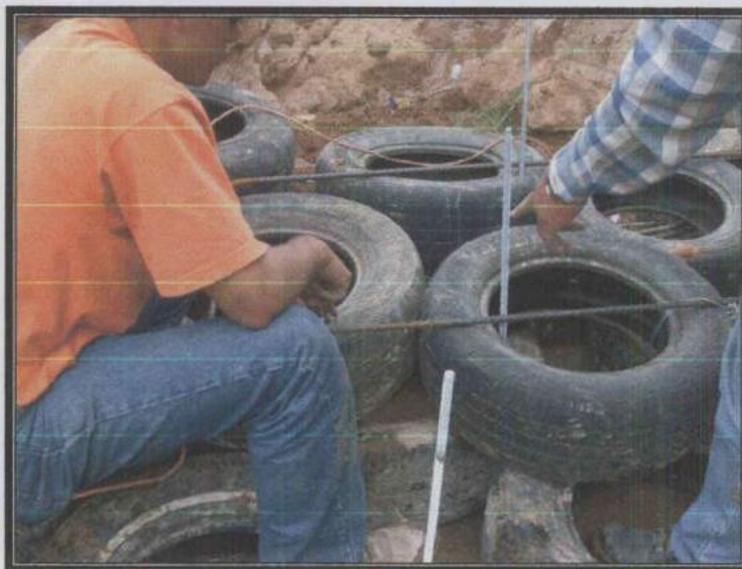


Figura 54. Refuerzo de la estructura en el plano horizontal) con varilla

En la Figura 55 se muestra la obra terminada aguas arriba y aguas abajo del sitio de construcción. Aguas arriba se observa el espigón construido con el objetivo de proteger el margen izquierdo de la cárcava por efectos socavantes y concentrar el escurrimiento en la zona más reforzada topográficamente de la presa.



Figura 55. Obra de llantas terminada aguas arriba y aguas abajo.

Después de la construcción de la presa solo se presentó una tormenta de intensidad significativa durante el año, pero con eso fue suficiente para mostrar el beneficio de captura de sedimentos, tal como se muestra en la Figura 56.



Figura 56. Captación de sedimentos en la presa de llantas.

El costo que implican las presas de llantas acomodadas bajo la presente modalidad, es solamente la mano de obra para la instalación, conectores de acero galvanizado (tornillos y alambre), 2 sacos de cemento, una varilla de 1" y el acarreo de las llantas desde las vulcanizadoras cercanas a la zona del proyecto, la obra objeto del presente estudio tuvo un costo total de \$6,380.00, mientras que las correspondientes a la Sección Arturo \$.96,313.25 y la Sección Mario \$ 79,886.5.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo tuvo como finalidad el conocer el grado de afectación de la erosión en los terrenos comprendidos por la microcuenca San Pedro Huimilpan, así como realizar pruebas con obras innovadoras y de bajo costo que permitan a los dueños de los terrenos afectados establecer obras de control por si mismos, toda vez que los costos de las obras de gavión son elevados y en la mayoría de los casos no son accesibles a la población de la zona.

Asimismo, conocer el grado de participación con el que se cuenta por parte de los habitantes de la microcuenca con respecto a las obras de conservación de suelos, pudiéndose apreciar un marcado interés por parte de la población que se localiza en las cercanías de las áreas afectadas, no obstante, su participación en la mayoría de los casos se daría siempre y cuando existieran apoyos gubernamentales para su realización.

La microcuenca de San Pedro Huimilpan presenta diversas áreas con un alto grado de erosión con la consecuente pérdida del potencial productivo de los suelos, causado principalmente por la erosión hídrica; dicha situación aunada a los graves problemas de desempleo y analfabetismo en la población local, generan una emigración constante de sus pobladores hacia centros urbanos y el extranjero en busca de nuevas alternativas de desarrollo.

En virtud de la importancia de los servicios ambientales de las zonas rurales de nuestro país y aunado a los problemas de desarrollo socioeconómico de la zona, es prioritario atender esta problemática con obras de conservación y propiciar que los habitantes de la zona participen en dichas acciones tendientes a revertir los procesos erosivos y generar empleos en la zona, exponiéndoles de forma previa los trabajos a realizar y la importancia de la ubicación de estas.

De conformidad con los resultados obtenidos tanto en los recorridos de campo como en los trabajos de gabinete, la ubicación aguas arriba del arroyo San Pedro es técnicamente el área de mayor prioridad para la realización de trabajos

de conservación de suelos, por ser el área donde se presentan los mas altos índices de erosión en la microcuenca.

Se deben realizar trabajos de conservación de corto, mediano y largo plazo, así como de recuperación del suelo para reconstituir el medio ecológico de la microcuenca. Específicamente para el caso de las presas a base de gaviones, se recomienda definir la sección hidráulica de manera previa al diseño de la obra, ya sea con maquinaria o de forma manual y diseñar la obra considerando la sinuosidad del cauce y el material pétreo presente en el lecho de este, ya que estos constituyen los factores que mas influyen en el diseño final de las obras y que comúnmente no son tomados en cuenta, por lo que se realizan ajustes sobre el proceso constructivo en campo, lo que invariablemente redundará en un mal diseño de la obra.

Las obras de conservación deben ser difundidas entre la comunidad de esta microcuenca, y en las comunidades aguas debajo de ésta, exponiendo los costos de su construcción y los beneficios de contar con ellas para la protección de sus terrenos y en el caso de los habitantes aguas abajo de la importancia de su realización para el mantenimiento de los gastos de agua para riego y de la vida útil de la presa.

La mayor parte de los pobladores de la microcuenca ya conocen los beneficios de las obras de conservación, ya que han venido haciendo acciones aisladas como terrazas de formación sucesiva, presas filtrantes, presas de gaviones y reforestación de terrazas con planta de maguey; por tal motivo ellos están en la mejor disposición para participar en el desarrollo de este tipo de obras.

Derivado de los resultados de la encuesta realizada, la mayoría de ellos están de acuerdo en la utilización de materiales de fácil acceso para la construcción de obras de conservación (llantas de desecho automotriz), que pueden constituirse como una alternativa viable para su difusión masiva en la zona, ya que conlleva por un lado la disminución de estos residuos y por el otro el bajo costo que implica la construcción de obras con estos materiales, estimándose

para el presente trabajo un costo de \$25.00 de costo por metro cúbico de azolve captado, mientras que para el caso de los gaviones fue de \$108.00.

Derivado de los resultados obtenidos con el presente trabajo, se recomienda construir y monitorear mas presas de llantas bajo este esquema constructivo, ya que puede redundar en el diseño futuro de obras de mayor envergadura y mayor eficiencia en la captación de sedimentos.

Se pudo constatar la eficacia de las obras de control basadas en la utilización de gaviones, sin embargo se considera que su construcción solo debe de realizarse en áreas en las que se garantice una alta captura de sedimentos, principalmente en cauces profundos o en sitios que permitan tener una gran superficie de captación de sedimentos; lo anterior debido a sus altos costos y a la problemática de su adquisición y manejo.

El uso de maquinaria pesada para el acondicionamiento de las secciones no se considera indispensable en lugares donde el material de los costados es suave, ya que al modificar de más los taludes y la profundidad del corte invariablemente modifican el diseño original de la obra, situación que ocurrió con las dos obras motivo del presente trabajo. Adicionalmente, aunado al hecho de que los diseños originales de las obras se realicen bajo un marco de condición plana ideal, también constituye un obstáculo ya que la superficie del lecho difícilmente se encuentra en tal situación, adicionalmente la sinuosidad de los cauces también limita la aplicación del concepto ideal.

Las presas de llantas deben ser fomentadas en zonas en donde los cauces tienen lechos de roca maciza, así como en aquellos en los que la sección hidráulica permite contribuir a su instalación y consolidación. El diseño a base de conectores (Tornillos y alambre galvanizado) presento una buena estabilidad al lograr una buena "consolidación" y mostró una buena eficiencia para la retención de sedimentos.

Se recomienda monitorear este tipo de obra, ya que bajo el método propuesto en el presente trabajo, se considera que estas obras pueden rebasar los dos metros de altura bajo condiciones favorables para su anclaje y fijación; además de contener los sedimentos, estas obras tipo panal pueden disminuir la velocidad de las escorrentías aguas abajo de otras obras, con lo que los daños se verían disminuidos.

Es importante destacar que la realización de obras de conservación no garantiza por si sola la contención del proceso erosivo, por tanto es necesario realizar obras complementarias de reforestación e introducción de pastos y plantas que presentan en su mayoría raíces fibrosas y que han demostrado una gran adaptabilidad a terrenos degradados (de preferencia las encontradas en la zona de trabajo), suavización de taludes y compensación de pendientes, obras para derivación de escorrentías (principalmente en las cabezas de las cárcavas) y obras de estabilización de las cabezas de cárcavas.

No obstante lo anterior, el factor que mas significancia representa para la realización de obras y actividades de conservación de los recursos naturales, es sin duda el factor humano, tanto interno como externo. Lo anterior derivado de la conveniencia y convencimiento de los dueños y/o poseedores de los recursos naturales en su restauración y conservación futura, y por otro lado la sociedad usuaria de los beneficios ambientales que generan estos recursos.

6. BIBLIOGRAFIA

- Alves, C.S. 1978. Controle e estabilização de voçorocas. Trigo e Soja - *Boletim Técnico FECOTRIGO*, 37, Porto Alegre. pp. 6-9.
- Aviles, R. 2002. Desechan 25 millones de neumáticos., Periódico Reforma, 26 de octubre de 2002.
- Bravo E., L. Medina O. 2003. Presas construidas con llantas de desecho para la retención de azolves y control de cárcavas Folleto Técnico No. 8, INIFAP-CENAPROS, Morelia, Michoacán, México.
- Comisión Nacional Forestal - SEMARNAT, 2004. Manual de Obras y Prácticas de Protección, Restauración y Conservación de Suelos Forestales. México,
- Colegio de Postgraduados, 1991. Manual de conservación del suelo y del agua. Colegio de Postgraduados, Chapingo-SARH-SPP, México.
- DGCSA-SARH. 1982. Manual de Conservación del Suelo y del Agua. Colegio de Postgraduados. México. 2da Edición.
- FAO. 1988. Manual de Prácticas Integradas de manejo y conservación de Suelos. Boletín de Tierras y Aguas No. 8.
- Gamac Win™.- Programa de diseño de muros de contención con gaviones: Maccaferri de México S.A. de C.V.
- Hudson, N.W. 1971. Soil Conservation . Cornell University Press, pp. 234-237
- INEGI. 1999. Cartas Topográficas 1: 50,000, Nos. F-14-C-75 Y F-14-C-76, Apaseo El Alto y La Estancia.
- INEGI. 2000. Cuaderno Estadístico Municipal edición 2000. Huimilpan, Querétaro de Arteaga. Gobierno del Estado y H. Ayuntamiento de Huimilpan.
- INEGI. 1986. Síntesis Geográfica Nomenclator y Anexo Cartográfico del estado de Querétaro. INEGI, México.
- INEGI. 2000. Ortofotos Digitales Esc. 1: 20,000.
- Jiménez, B. 2004. Buscan quitar llantas basura de frontera. Periódico Reforma, 25 de junio de 2004.
- Kirby M.J. University of Leeds. R.P.C. Morgan. 1984. Erosión de Suelos. School Of Geography. Nacional Collage Of Agricultural, Engineering Bedford. Editorial Limusa.

- Martínez R., Rubio E., 2002, Tecnología para la Conservación de Suelos en los Programas de Manejo de Cuencas. Apuntes del Curso-Taller de Manejo de Microcuencas, Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí.
- Pineda López R. y Hernández Sandoval L. 2000. La Microcuenca Santa Catarina "Estudio para su Conservación y Manejo". Serie Químico-Biológicas. UAQ.
- Pineda López R. et al. 2005. Microcuencas y Desarrollo Sustentable: Tres Casos en Querétaro. Universidad Autónoma de Querétaro – Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Rivas García M. R., 2004. Determinación de la tasa efectiva de aportación de sedimentos en cuencas hidrográficas. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. Pp. 101.
- Rivera, Robles O. 2003. Efecto de la Interacción Lluvia-escurrimiento en el Proceso de Erosión en Surcos. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. Pp. 139.
- Ventura Ramos, E. Jr. et. al. 2005. Microcuenca San Pedro. En: Pineda López, R; M.A.Domínguez Cortazar, L. Hernández Sandoval, E. Ventura Ramos. (Eds). 2005. Microcuencas y Desarrollo Sustentable: Tres Casos en Querétaro. Universidad Autónoma de Querétaro-SEMARNAT Delegación Querétaro. Pags. 17-60.
- Wischmeier, W. H. y Smith, D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. Agriculture Handbook 537. United States Department Of Agriculture. Science And Education Administration. 58 pp.
- Young, R. A. y Weirsmá, J.L. (1973). The role of rainfall impact in soil detachment and transport. Water resources Res. 9(6). 1629-1636.
- Zamudio, S., J. Rzedowski, E. Carranza, G. Calderón. 1992. La Vegetación de Querétaro. Consejo para la Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro – Instituto de Ecología, Centro regional del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán.

7. ANEXOS

¿Qué problemas de plagas ha tenido? ¿Cómo los controla?				
¿Tiene animales? ¿Cuáles? ¿Cuántos? ¿Los pastorea o solo los tiene en el corral?	Vacuno	Caprino	Caballar	Otro.
¿Quien los cuida? ¿Cómo? ¿Los vacuna? ¿Qué problemas tiene con el ganado?				
¿Para qué los tiene?	Venta comercial	Autoconsumo	Por gusto	
	Explicar:			
¿Cuánto terreno tiene? ¿Aún tienen terrenos de uso común? ¿Cuánto terreno tiene la comunidad?	Terreno propio (Ha):			
	Terreno de uso común (Ha):			
	Superficie total de la comunidad (Ha):			
¿Cortan postes? ¿De qué tipo? ¿De dónde los obtienen? ¿Tiene monte la comunidad? ¿Qué hacen con la madera?	Postes	Leña	Carbón	Venta Comercial
				No maderables
	Especies mas utilizadas:			
¿Utilizan otro tipo de plantas para algo? (por ejemplo medicina, forraje, material para construir) ¿Cuáles?				

	Hijos	Hijas	Total	Nivel educativo promedio
¿Cuántos hijos tiene? ¿Fueron a la escuela? ¿Hasta qué año? ¿Siguen estudiando? ¿Su esposa fue a la escuela? ¿Hasta qué año? ¿Actualmente trabajan sus hijos? ¿En qué?				
¿Considera que con lo que gana vive bien en la comunidad? Por qué?				
¿Cuáles problemas considera mas importantes ó que más impactan en la comunidad y porque?	Agua:			
	Salarios:			
	Migración:			
	Alcoholismo:			
	Escuelas:			
	Drogadicción:			
	Política:			

<p>¿ Estaría dispuesto a participar en la construcción de obras de conservación de suelos ?</p>	
<p>¿ Que opina de utilizar llantas de desecho de automóvil para la construcción de presas para contención del enzolve ?</p>	
<p>¿ Donde considera que es de mayor utilidad ubicar las presas de contención de enzolve?</p>	
<p>¿ Ha trabajado anteriormente en trabajos de conservación de suelo?</p>	
<p>¿ Estaría dispuesto a proporcionar parte de su terreno para realizar obras de conservación de suelo?</p>	
<p>¿ Estaría dispuesto a realizar trabajos de conservación en apoyo a los vecinos del lugar ?</p>	

ANEXO II

Análisis de precios unitarios por concepto de obra.

DESCRIPCION DEL PROYECTO:

CONSTRUCCION DE MURO DE CONTENCIÓN PARA CONTROL DE AZOLVES EN LA LOCALIDAD DE SAN PEDRITO, MUNICIPIO DE HUIMILPAN, QRO.

Obra No. 1 (Sección Arturo)

MATERIALES:

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Gavión galv. de 1.5x1x1	34	Pieza	362.25	12316.5
Gavión galv. de 2x1x1	4	Pieza	477.25	1909
Gavión galv. de 3x1x1	16	Pieza	661.25	10580
Gavión galv. de 4x1x1	17	Pieza	828.00	14076
Gavión galv. de 4x1x0.3	7	Pieza	500.25	3501.75
Gavión de 3x1x0.3	7	Pieza	402.50	2817.5
Piedra bola ò laja (incluye flete)	200	M ³	141.7	30800
Subtotal 1: \$				76,000.75

MANO DE OBRA:

CATEGORIA	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Obrero general	200	jornal	80	16000.00
Subtotal 2: \$				16,000.00

MAQUINARIA Y EQUIPO:

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Retroexcavadora	15	hr	287.5	4,312.5
Subtotal 3: \$				4,312.5

TOTAL= S1+S2+S3= 70,000.75+16,000+4312.5= \$ 96,313.25

DESCRIPCION DEL PROYECTO:

CONSTRUCCION DE MURO DE CONTENCIÓN PARA CONTROL DE AZOLVES
EN LA LOCALIDAD DE SAN PEDRITO LA LADERA, MUNICIPIO DE HUIMILPAN,
QRO.

Obra No. 2 (Sección Mario)

MATERIALES:

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Gavión galv. de 1.5x1x1	29	Pieza	362.25	10505.25
Gavión galv. de 2x1x1	4	Pieza	477.25	1909
Gavión galv. de 3x1x1	23	Pieza	661.25	15208.75
Gavión galv. de 4x1x1	4	Pieza	828.00	3312
Gavión galv. de 2x1x0.5	10	Pieza	339.25	3392.5
Gavión galv. de 4x1x0.3	6	Pieza	500.25	3001.5
Gavión de 3x1x0.3	2	Pieza	402.50	805
Piedra bola ò laja (incluye flete)	160	M ³	141.7	24640
Subtotal 1: \$				62,774

MANO DE OBRA:

CATEGORIA	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Obrero general	160	jornal	80	12800.00
Subtotal 2: \$				12,800.00

MAQUINARIA Y EQUIPO:

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Retroexcavadora	15	hr	287.5	4,312.5
Subtotal 3: \$				4,312.5

TOTAL= S1+S2+S3= 62,774+12,800+4312.5= \$ 79,886.5

DESCRIPCION DEL PROYECTO:

CONSTRUCCION DE UNA OBRA ACCESORIO DE CONTENCIÓN (PRESA DE LLANTAS) PARA CONTROL DE AZOLVES EN LA LOCALIDAD DE SAN PEDRITO, MUNICIPIO DE HUIMILPAN, QRO.

Obra No. 3 (Sección tenebrosa)

MATERIALES:

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Cemento gris	4	sacos	260.00	1,040.00
Pegazulejo	1	Bulto	120.00	120.00
Varilla de 1/2"	1	Pieza	220.00	220.00
Alambre galvanizado	10	kg	25.00	250.00
Tornillos galvanizados	700	Pieza	10	700.00
Llantas	180	Pieza	10	1,800.00
Subtotal 1: \$				4,130.00

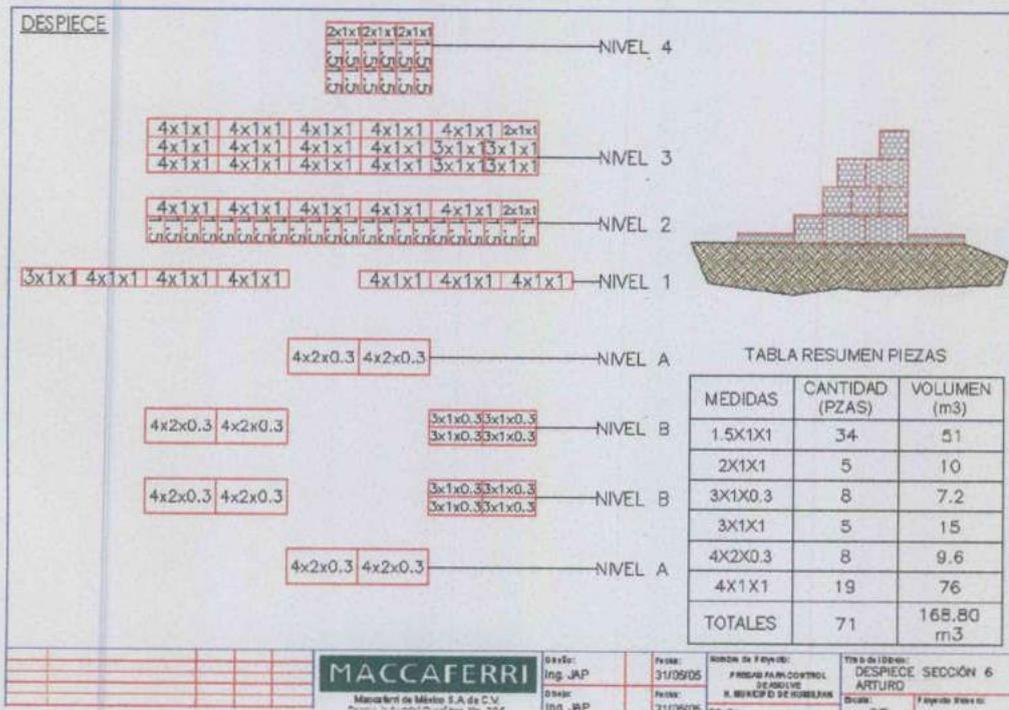
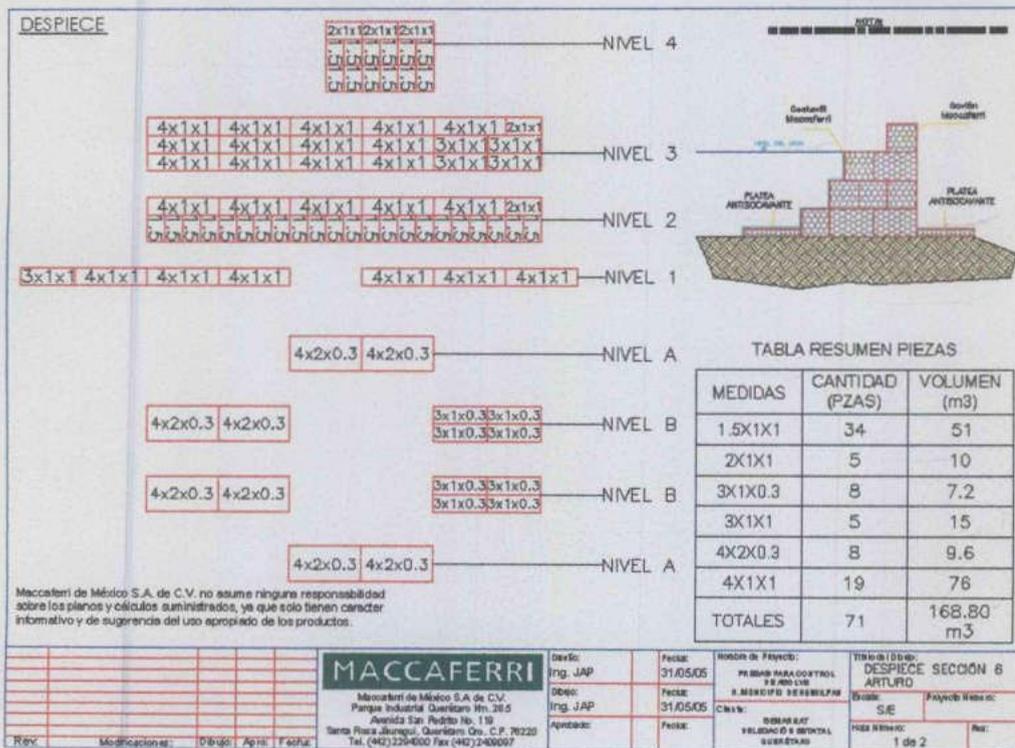
MANO DE OBRA:

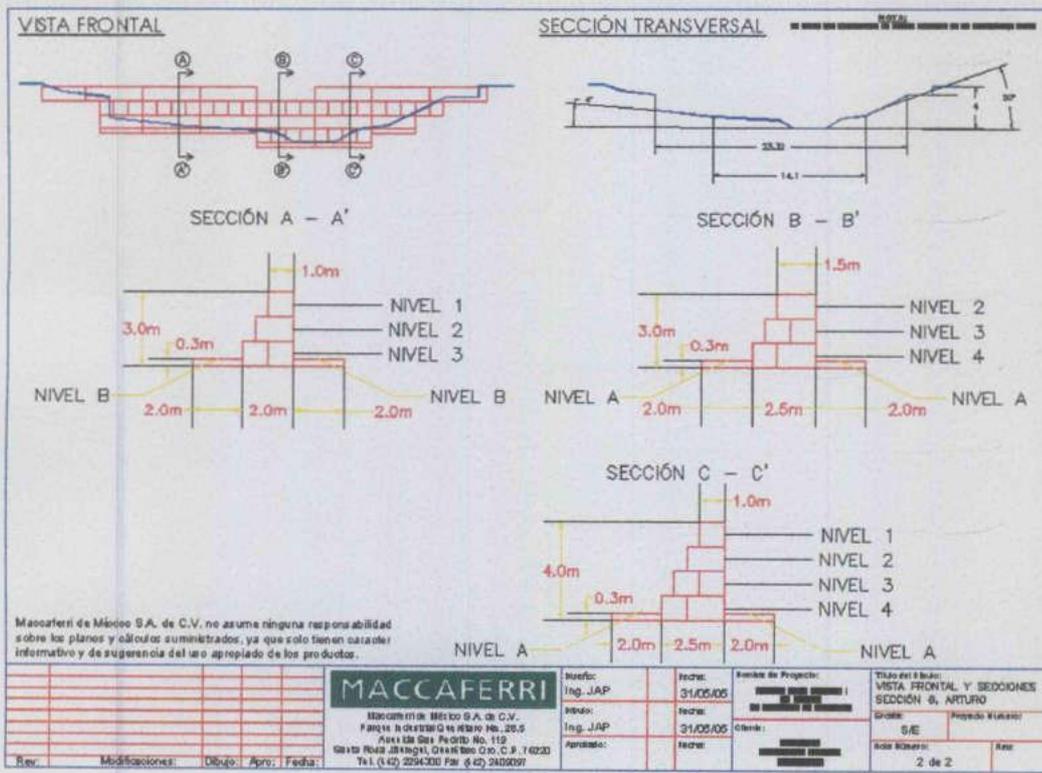
CATEGORIA	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Obrero general	45	jornal	50	2,250.00
Subtotal 2: \$				2,250.00

TOTAL= S1+S2= 4,130.00+2,250= \$ 6,380.00

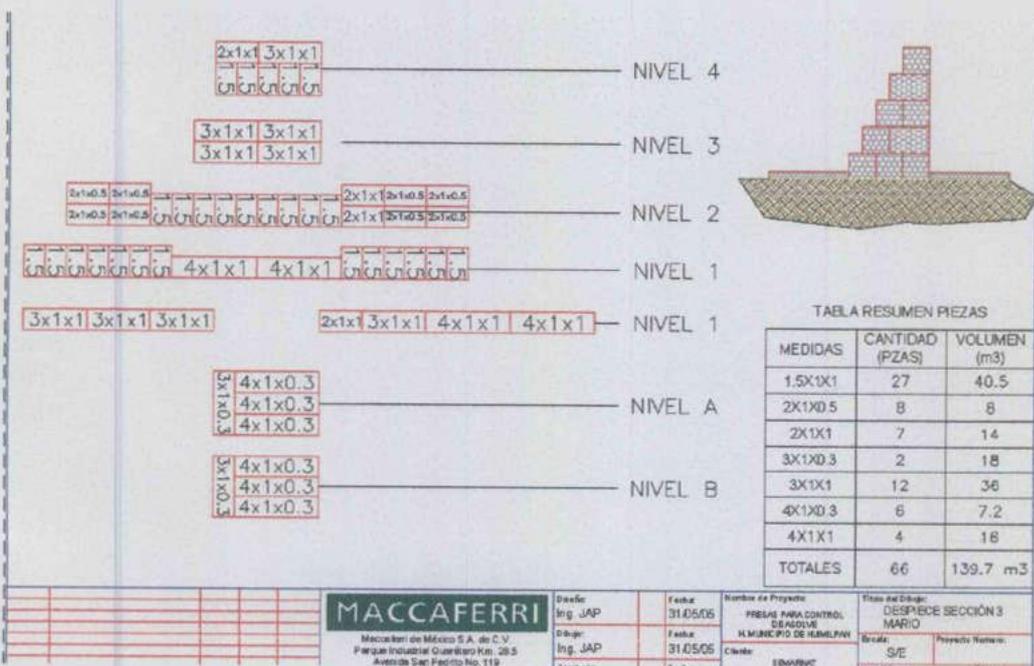
ANEXO III.

Planos de diseño original de las obras de contención de suelos. Sección Arturo

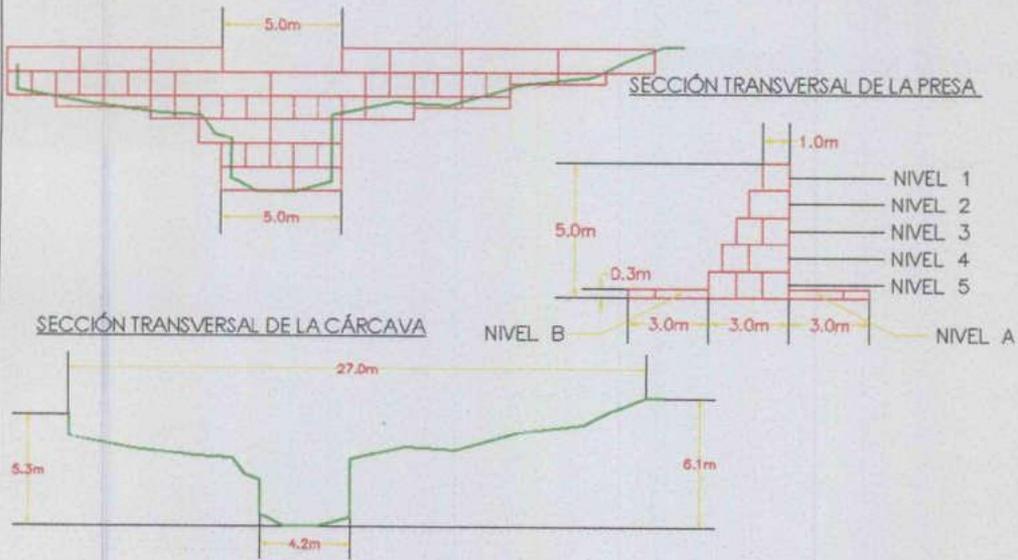




Sección Mario



VISTA FRONTAL



<p>MACCAFERRI</p> <p>Maccaferri de México S.A. de C.V. Parque Industrial Querétaro Km. 38.5 Avenida San Martín No. 112 Santo Rosa Juárez, Querétaro Qro. C.P. 76220 Tel. (441) 268.4300 - Fax (441) 268.4303</p>		Diseño:	Ing. JAP	Fecha:	31/05/05	Nombre de Proyecto:	PRESA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN EL MUNICIPIO DE RINCON DE SAN JUAN	Título del Dibujo:	
		Dibujo:	Ing. JAP	Fecha:	31/05/05	Cliente:	SIEMPRE DELEGACIÓN LOCAL	VISTA FRONTAL Y SECCIONES SECCIÓN 3 MARZO	
		Aprobado:		Fecha:		Escala:		Proyecto Número:	
						Hoja Número:		Rev:	

ANEXO IV.

Esquema de colocación de llantas en corte vertical y vista horizontal y detalle del amarre entre llantas,

