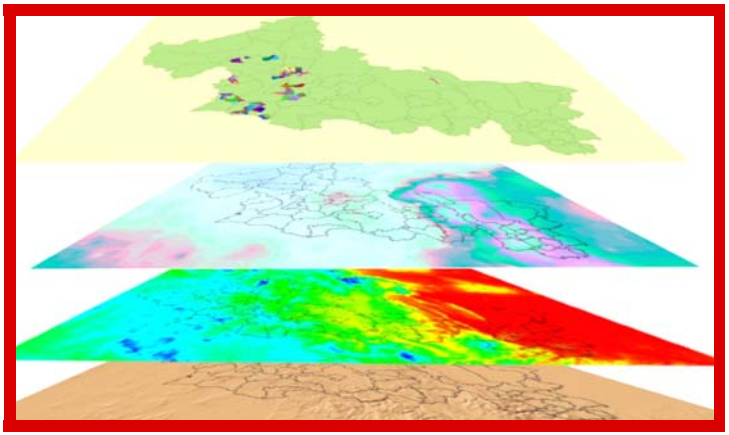
SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

CONAFOR
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

RIESGO A LA EROSIÓN HÍDRICA Y PROYECCIÓN DE ACCIONES DE MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL SUELO EN 32 MICROCUENCAS DE SAN LUIS POTOSÍ



Catarina Loredo Osti
Sergio Beltrán López
Francisco Moreno Sánchez
Marcos Casiano Domínguez

Libro Técnico No. 3 **2007** **ISBN: 978-970-43-0343-3**

SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN

C. ALBERTO CÁRDENAS JIMÉNEZ
Secretario

ING. FRANCISCO LÓPEZ TOSTADO
Subsecretario de Agricultura y Ganadería

ING. ANTONIO RUIZ GARCÍA
Subsecretario de Desarrollo Rural

LIC. JEFREY MAX JONES JONES
Subsecretario de Fomento a los Agronegocios

C. RAMÓN CORRAL ÁVILA
Comisionado Nacional de Acuacultura y Pesca

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRICOLAS Y PECUARIAS

DR. PEDRO BRAJCICH GALLEGOS
Director General

DR. SALVADOR FERNÁNDEZ RIVERA
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

DR. ENRIQUE ASTENGO LÓPEZ
Coordinador de Planeación y Desarrollo

LIC. MARCIAL A. GARCÍA MORTEO
Coordinador de Administración y Sistemas

CENTRO DE INVESTIGACION REGIONAL DEL NORESTE

Dr. SEBASTIÁN ACOSTA NÚÑEZ
Director Regional

Dr. JORGE ELIZONDO BARRÓN
Director de Investigación

M.C. NICOLÁS MALDONADO MORENO
Director de Planeación

M.A. JOSÉ LUIS CORNEJO ENCISO
Director de Administración

M. C. JOSÉ LUIS BARRÓN CONTRERAS
Director de Coordinación y Vinculación en San Luis Potosí

RIESGO A LA EROSIÓN HÍDRICA Y PROYECCIÓN DE ACCIONES DE MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL SUELO EN 32 MICROCUENCAS DE SAN LUIS POTOSÍ

Dra. Catarina Loredo Osti
Investigadora en Recursos Naturales
Campo Experimental San Luis

Dr. Sergio Beltrán López
Investigador en Forrajes y Pastizales
Campo Experimental San Luis

M.C. Francisco Moreno Sánchez
Investigador del CENID-COMEF

Ing. Marcos Casiano Domínguez
Técnico del Proyecto 6320 Conacyt-Conafor

Esta publicación forma parte de los productos comprometidos en el proyecto 6320: ***"Evaluación de tierras para el manejo integrado de 32 microcuencas hidrológicas en San Luis Potosí"*** *que desarrolló el* ***INIFAP*** *con financiamiento del CONACyT-CONAFOR, en cual se evaluó el riesgo a la erosión hídrica en 32 microcuencas del Altiplano Potosino.*

Libro Técnico No. 3 **2007** **ISBN: 978-970-43-0343-3**

RIESGO A LA EROSIÓN HÍDRICA Y PROYECCIÓN DE ACCIONES DE MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL SUELO EN 32 MICROCUENCAS DE SAN LUIS POTOSÍ

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros medios, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

ISBN: 978-970-43-0343-3

Derechos Reservados © 2007, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
Av. Progreso No. 5; Barrio de Santa Catarina; Delegación Coyoacán; 04010 México, D. F.

Primera Edición
Tiraje: 500 ejemplares
Impreso en México
Clave INIFAP/CIRNE/F-74

Esta obra se terminó de imprimir en Noviembre de 2007.

Campo Experimental San Luis CIRNE-INIFAP
Km. 14.5 Carr. San Luis Potosí, Matehuala
Tel y Fax (444) 8524303
Correo electrónico: loredo.catarina@inifap.gob.mx
Oficinas: Av. Santos Degollado 1015-C
Col. Cuauhtémoc, CP 78270; San Luis Potosí, SLP
Tel: (444) 8139151 y Fax (444) 8137923

Cita correcta:

Loredo-Osti C., S. Beltrán López, F. Moreno Sánchez, M. Casiano Domínguez. 2007. Riesgo a la erosión hídrica y proyección de acciones de manejo y conservación del suelo en 32 microcuencas de San Luis Potosí. Libro Técnico No. 3. INIFAP-CIRNE-Campo Experimental San Luis. San Luis Potosí, S. L. P. México. 209 p.

CONTENIDO

página

INDICE DE CONTENIDO 1
INDICE DE CUADROS 3
INDICE DE FIGURAS 5
Capítulo 1
INTRODUCCIÓN 11
Capítulo 2
LA MICROCUENCA: EJE EN LA PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE ACCIONES DE MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL SUELO 15
2.1. INTRODUCCIÓN 15
2.2. ANTECEDENTES 16
2.3. PROGRAMACIÓN DE ACCIONES A NIVEL MICROCUENCA 17
2.4. ACTORES EN EL MANEJO DE LAS MICROCUENCAS 19
2.5. PROCESOS DE CAPACITACIÓN-PARTICIPACIÓN 22
Capítulo 3
PREDICCIÓN DE RIESGO A LA EROSIÓN HÍDRICA 29
3.1. INTRODUCCIÓN 29
3.2. ANTECEDENTES 29
3.3. LÍMITES PERMISIBLES DE EROSIÓN 31
3.4. EVALUACIÓN LOCAL DE LA EROSIÓN HÍDRICA 33
3.4.1. Erosividad de la lluvia (R) 35
3.4.2. Erosionabilidad del suelo (K) 38
3.4.3. Longitud (L) y Grado (S) de la pendiente 54
3.4.4. Factor por cubierta vegetal (C) 56
3.4.5. Factor por prácticas mecánicas (P) 59
Capítulo 4
EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA: MICROCUENCA PORTEZUELO 61
4.1. INTRODUCCIÓN 61
4.2. ANTECEDENTES 61
4.3. APLICACIÓN DE LOS SIG EN ESTUDIOS DE EROSIÓN

EN SAN LUIS POTOSÍ 63
4.4. CASO MICROCUENCA PORTEZUELO, CERRO DE SAN PEDRO, S.L.P. 66
4.4.1. Caracterización de la microcuenca 66
4.4.2. Riesgo a la erosión 85

Capítulo 5
CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO A LA EROSIÓN EN 32 MICROCUENCAS DE SAN LUIS POTOSÍ 93
5.1. INTRODUCCIÓN 93
5.2. ANTECEDENTES 93
5.3. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PROYECTO 95
5.3.1. Generación de bases de datos sobre los recursos de 32 microcuencas en SLP. 95
5.3.2. Predicción de riesgo a la erosión en 32 microcuencas hidrológicas en el estado de San Luis Potosí. 104
5.3.3. Evaluación de la rentabilidad de prácticas de manejo para la conservación del suelo en el Altiplano Potosino. 172
5.3.4. Indicadores sociales para la recomendación de prácticas de manejo de suelos en el Altiplano Potosino. 172

Capítulo 6
PROYECCIÓN DE ACCIONES Y RECOMENDACIONES DE MANEJO 175
6.1. PRÁCTICAS PARA TIERRAS AGRÍCOLAS 179
6.2. PRÁCTICAS PARA TIERRAS DE PASTIZAL O AGOSTADEROS 180
6.3. PRÁCTICAS PARA TIERRAS FORESTALES 184

Capítulo 7
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 188

LITERATURA CITADA 191
ANEXO 1 201
ANEXO 2 203
AGRADECIMIENTOS 209

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Texto	página
1	Relación de microcuencas donde se impartió el Curso-Taller: Manejo Integrado de Recursos con Enfoque Microcuenca" dirigido a productores como parte del proyecto "Evaluación de tierras para el manejo de 32 microcuencas hidrológicas en San Luis Potosí.	27
2	Pérdida de suelo permisible en función de la profundidad del suelo y del material parental.	33
3	Ecuaciones de erosividad de la lluvia para las diferentes regiones de México.	37
4	Clasificación del tamaño de las partículas de acuerdo a su tamaño.	39
5	Determinación de la textura del suelo en campo.	41
6	Valores asignados a la estructura para su uso en el nomograma de erosionabilidad.	48
7	Códigos de permeabilidad para su uso en el nomograma de erosionabilidad.	48
8	Valores del Factor de Erosionabilidad (K) en función de la unidad de suelo y su textura superficial.	52
9	Valores que toma m en función del grado de pendiente.	55
10	Valores de C que se pueden utilizar para estimar pérdidas de suelo en la EUPS.	58
11	Valores de P que se pueden utilizar para estimar pérdidas de suelo en la EUPS.	59
12	Orden en el cual se evaluó el riesgo a la erosión hídrica.	64
13	Localidades de la microcuenca Portezuelo y características principales de su población.	67
14	Unidades de suelo encontradas en la microcuenca Portezuelo, Mpio de Cerro de San Pedro, S.L.P. y superficie que ocupan.	72

Cuadro	Texto	página
15	Uso actual del suelo de la microcuenca Portezuelo.	74
16	Uso potencial del suelo en la microcuenca Portezuelo.	81
17	Descripción de las clases de tierra y los principales factores limitantes en la microcuenca Portezuelo (adaptado de INEGI; 2005).	82
18	Microcuencas incluidas en el proyecto “Evaluación de tierras para el manejo de 32 microcuencas hidrológicas en el estado de San Luis Potosí”.	97
19	Tipos de suelo encontrados en 32 microcuencas ubicadas en la zona semiárida de San Luis Potosí.	99
20	Tipo de vegetación y uso actual del suelo en 32 microcuencas de San Luis Potosí.	100
21	Principales características de las clases de tierra en función de su uso potencial en 32 microcuencas ubicadas en la zona semiárida de San Luis Potosí.	102
22	Riesgo a la erosión potencial en cada una de las microcuencas.	106
23	Características socioeconómicas en 32 microcuencas ubicadas en la zona semiárida de San Luis Potosí.	173
24	Principales acciones a desarrollar (manejo, conservación o restauración) en función del tipo de tierra y riesgo a la erosión en 32 microcuencas ubicadas en la zona semi-árida de San Luis Potosí.	176

INDICE DE FIGURAS

Figura	Texto	página
1	Acciones tendientes al manejo integral de microcuencas.	20
2	Modelo para la capacitación en el manejo de los recursos naturales (CIAT, 1999).	25
3	Diagrama de actividades para las acciones de capacitación a técnicos y productores incluidos en el proyecto.	25
4	Regiones de México donde aplican las ecuaciones de erosividad. Fuente: www.sagarpa.gob.mx/sdr/apoyos/publicaciones/dctos _excell/ 01estim-erosion.xls	37
5	Triángulo de textura del suelo (Fuente: Aguilera y Martínez, 1986).	40
6	Formas que puede tomar una muestra de suelo al ser manipulada húmeda, para identificar su textura en campo (Fuente: Trejo, et al., 1999).	41
7	Tipos de estructura del suelo (adaptado de Brady y Weil, 1999).	43
8	Nomograma para determinar la erosionabilidad del suelo (Fuente: Kirkby y Morgan, 1984).	51
9	Diagrama de flujo para la obtención de mapas de riesgo a la erosión actual.	63
10	Distribución de la precipitación y temperatura de la estación Armadillo de los Infante, Mpio. Armadillo de los Infante (Fuente: Medina *et al.,* 2005).	68
11	Mapa de edafología de la microcuenca Portezuelo, Cerro de San Pedro, S.L.P.	71
12	Uso del suelo de la microcuenca Portezuelo, Cerro de San Pedro, S.L.P.	75
13	Uso potencial del suelo de acuerdo a su clasificación (Fuente: INEGI, 2005).	80
14	Uso potencial del suelo de la microcuenca Portezuelo, Cerro de San Pedro, S.L.P.	87

Figura	Texto	página
15	Erosión potencial en la microcuenca Portezuelo, Cerro de San Pedro, S.L.P.	88
16	Erosión actual en la microcuenca Portezuelo, Cerro de San Pedro, S.L.P.	89
17	Erosión estimada con prácticas de manejo de cobertura vegetal en la microcuenca Portezuelo, Cerro de San Pedro, S.L.P.	90
18	Erosión que se presenta cuando se establecen prácticas mecánicas en la microcuenca Portezuelo, Cerro de San Pedro, S.L.P.	91
19	Ubicación de las 32 microcuencas de San Luis Potosí, consideradas en el proyecto “Evaluación de tierras para el manejo de 32 microcuencas hidrológicas en el estado de San Luis Potosí”.	96
20	Uso potencial de las tierras evaluadas en 32 microcuencas de San Luis Potosí.	101
21	Superficie afectada por diferentes grados de erosión en 32 microcuencas de San Luis Potosí.	105
22	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Aguaje de los Castillo Armadillo de los Infante.	108
23	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Aguaje de los Castillo.	109
24	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Aguazarca-Papagayos.	110
25	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Aguazarca-Papagayos.	111
26	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Carranco.	112
27	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Carranco.	113
28	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Charquito.	114
29	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Charquito.	115
30	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Corazones.	116

Figura	Texto	página
31	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Corazones.	117
32	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Coronado.	118
33	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Coronado.	119
34	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca El Rosario.	120
35	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca El Rosario.	121
36	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Emiliano Zapata.	122
37	Erosión esperada con manejo adecuado de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Emiliano Zapata.	123
38	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Enramadas.	124
39	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Enramadas.	125
40	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Francisco I. Madero.	126
41	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Francisco I. Madero.	127
42	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Garrochitas Panalillo I.	128
43	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Garrochitas Panalillo I.	129
44	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Garrochitas Panalillo II.	130
45	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Garrochitas Panalillo II.	131
46	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca San Luis Gonzaga.	132
47	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y	133

Figura	Texto	página
	prácticas mecánicas en la microcuenca San Luis Gonzaga.	
48	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Guanamé.	134
49	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Guanamé.	135
50	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Ipiña.	136
51	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Ipiña.	137
52	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca La Ventilla.	138
53	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca La Ventilla.	139
54	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Las Tapias.	140
55	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Las Tapias.	141
56	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Mexquitic I.	142
57	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Mexquitic I.	143
58	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Mezquitalillo.	144
59	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Mezquitalillo.	145
60	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Palomas (Contrahierba).	146
61	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Palomas (Contrayerba).	147
62	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Polocote.	148
63	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Polocote.	149
64	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la de la microcuenca Portezuelo.	150
65	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Portezuelo.	151

Figura	Texto	página
66	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Puerto Espino.	152
67	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Puerto Espino.	153
68	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Ranchería de Guadalupe.	154
69	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Ranchería de Guadalupe.	155
70	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Rodrigo.	156
71	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Rodrigo.	157
72	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca San Antonio.	158
73	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca San Antonio.	159
74	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca San Lorenzo.	160
75	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca San Lorenzo.	161
76	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca San Miguel.	162
77	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca San Miguel.	163
78	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Santa Rita.	164
79	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Santa Rita.	165
80	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Tepetate.	166
81	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Tepetate.	167
82	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Villa de Arista I.	168
83	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y	169

Figura	Texto	página
	prácticas mecánicas en la microcuenca Villa de Arista I.	
84	Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Villa de Arista II.	170
85	Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Villa de Arista II.	171
86	El multiarado es un implemento para preparar el terreno que a diferencia del barbecho tradicional no “voltea” el terreno.	178
87	Una de las principales acciones a desarrollar en las microcuencas es el manejo adecuado de agostaderos con el apotreramiento de ganado, el respecto a la capacidad de carga y la realización y ejecución de planes de manejo.	178
88	Cabeceo con piedra acomodada de una cárcava y presas filtrantes para el control de azolves construidas a lo largo de la cárcava pendiente abajo (Fuente: CONAFOR, 2004).	186
89	Tinas ciegas. La tierra extraída se ubica aguas abajo, para que no impida la entrada del agua proveniente del escurrimiento (CONAFOR, 2004).	186

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

El Gobierno del Estado de San Luis Potosí, a través de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos (SEDARH), impulsa el “Programa Estatal de Microcuencas” en coordinación con la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) a través del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) y la Comisión Nacional de las Zonas Áridas (CONAZA). En este programa participan instituciones del Gobierno Federal, Estatal y Municipal, integradas en el Comité Estatal de Microcuencas. El Programa de Microcuencas, lleva a cabo acciones concertadas bajo un esquema integral, tomando a la microcuenca como eje de desarrollo, con la participación activa de los productores, asesorados por un técnico. La capacitación de técnicos y productores se considera un factor detonante para promover el manejo integrado de las microcuencas y una aplicación eficiente de los recursos financieros, materiales y humanos disponibles.

El concepto de microcuenca como unidad de manejo, puede ser estratégico, si además de las condiciones físico-biológicas, se consideran las condiciones sociales y económicas de sus habitantes. Lo ideal es alcanzar un balance entre la conservación del suelo y el manejo de los recursos que dependen de él, lo cual implica una planeación de acciones con un enfoque más amplio del que se puede tener a nivel local, integrando los siguientes aspectos:

- Las condiciones, inquietudes y oportunidades de los productores de las microcuencas y su participación en la programación de las acciones.

- Los programas y mecanismos institucionales promovidos por los tres órdenes de gobierno (federal, estatal y municipal) para las microcuencas.
- El conocimiento científico y tecnológico generado por las instituciones de investigación, para implementar dichas acciones.

En apoyo al Programa Estatal de Microcuencas, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), desarrolló el proyecto ***"Evaluación de tierras para el manejo integrado de 32 microcuencas hidrológicas en San Luis Potosí"*****,** con financiamiento del **Fondo sectorial CONACyT-CONAFOR**. En este proyecto se elaboraron mapas de riesgo a la erosión en microcuencas del Altiplano Potosino, utilizando como herramienta, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el modelo de predicción de pérdidas de suelo conocido como "Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo" (EUPS).

La metodología que se utilizó para estimar la erosión permite identificar las áreas de la microcuenca donde se presentan los diferentes grados de riesgo a la erosión y en función de ello, proyectar acciones de manejo de los recursos de la microcuenca, constituyendo así una herramienta importante de planeación de acciones tendientes al uso sostenible de los recursos. Para ello se generó una base de datos y mapas temáticos sobre edafología, modelo de elevación digital, uso actual y uso potencial; se consideraron aspectos socioeconómicos de las microcuencas y se analizó la tecnología disponible para el manejo de los recursos. Con esta información, se identificaron las prácticas de manejo, conservación y restauración más adecuadas para ser propuestas en los planes de manejo de las microcuencas.

El proyecto también incluyó acciones de capacitación y difusión dirigidas a los técnicos y productores que operan el programa de microcuencas en San Luis Potosí y al público interesado en el manejo

integrado de los recursos. Una de las acciones de difusión programadas es la publicación de este libro, el cual podrá ser utilizado por los técnicos del programa de microcuencas del estado de San Luis Potosí, como apoyo en la elaboración de los planes de manejo integral en lo que se refiere a la conservación del suelo y agua, al manejo de la cubierta vegetal, así como a la recuperación de zonas degradadas. Los objetivos de esta publicación son:

- Resaltar la importancia de la microcuenca como la unidad de planeación y programación de acciones y las ventajas de la participación integral de las instituciones involucradas en el desarrollo rural del estado.
- Presentar en forma general los factores involucrados en el proceso de erosión y como pueden ser evaluados en campo, a fin de ser más eficientes en la planeación, diseño y proyección de acciones de manejo, conservación o restauración del suelo para el control de la erosión hídrica.
- Mostrar el ejemplo de una de las 32 microcuencas donde se utilizaron los Sistemas de Información Geográfica para estimar el riesgo a la erosión hídrica y su aplicación para proyectar acciones de manejo y conservación del suelo.
- Presentar los resultados obtenidos en la caracterización de riesgo a la erosión en las 32 microcuencas del Altiplano Potosino en el proyecto *“Evaluación de tierras para el manejo integrado de 32 microcuencas hidrológicas en San Luis Potosí”*,

Capítulo 2

LA MICROCUENCA:
EJE EN LA PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE ACCIONES DE MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL SUELO

2.1. INTRODUCCIÓN

Una cuenca hidrográfica es una unidad natural (Stallings, 1982). Es toda área limitada por un parteaguas[♣] y drenada por una corriente o por un sistema de corrientes, cuyas aguas concurren en un punto de salida (CPCH, 1977). Es un concepto utilizado para designar un territorio, región o zona, cuya característica principal es que el agua de lluvia que cae en esa superficie escurre hacia un cauce común que desemboca en un afluente más grande, en una laguna o en el mar (Sánchez *et al.*, 2003). En la cuenca existen factores ecológicos, climatológicos, hidrológicos, sociales, económicos, culturales, etc. que se interrelacionan entre sí, dando a cada cuenca su propia dinámica.

La microcuenca es una parte de la cuenca y es considerada la unidad de planeación y programación de acciones, donde se pueden desarrollar y coordinar los servicios integrados de las instituciones (CIAT, 1999). Actualmente, cuando el deterioro de los recursos naturales es acelerado y la sociedad tiene mayor interés en este problema, el concepto de microcuenca como unidad de manejo, puede ser estratégico, si además de las condiciones físico-biológicas, se consideran las condiciones sociales y económicas de sus habitantes.

[♣] Son las líneas divisorias naturales del terreno de donde descienden los escurrimientos para formar una red hidrográfica. Son las zonas más elevadas de la montaña. El parteaguas separa una cuenca de otra contigua.

El Programa Nacional de Microcuencas que ha instrumentado la SAGARPA, describe a la microcuenca como la unidad básica de atención de proyectos económicos de conservación de suelo y agua y de desarrollo comunitario. Establece como principios: atender, entender y respetar la problemática, necesidades, demandas objetivos y decisiones comunitarias, además de corresponsabilizar y transferir medios y funciones a organizaciones comunitarias (Candia, 2004). Uno de sus objetivos fundamentales es el de impulsar procesos de planeación y acción participativa, además de rehabilitar, conservar, proteger y aprovechar los recursos naturales. Para esto establece como estrategia principal, la elaboración del *Plan Rector de Producción y Conservación* (FIRCO, 2005). (El contenido de la guía técnica oficial de este Plan se presenta en el Anexo 1).

En este capítulo se busca centrar la atención en la forma de alcanzar un balance entre conservación del suelo y manejo integral de los recursos, desde el punto de vista de la microcuenca, lo cual implica la planeación del uso del suelo y prácticas de conservación, con un enfoque más amplio del que se puede tener a nivel local.

Se resalta la importancia de considerar las condiciones, inquietudes y oportunidades de los productores de las microcuencas en la programación de las acciones de manejo, integrando los programas y mecanismos institucionales promovidos por los tres órdenes de gobierno, así como el conocimiento científico y tecnológico generado por las instituciones de investigación, para implementar dichas acciones.

2.2. ANTECEDENTES

En México, la capacidad productiva de los ecosistemas se está perdiendo en forma considerable debido a la sobreutilización de los recursos; de acuerdo a Ortiz *et al.*, (1994), los agostaderos son los ecosistemas que más se han deteriorado, ya que el sobrepastoreo ha

dañado a más de 60 millones de hectáreas. En segundo lugar de daño se encuentran las áreas forestales y en tercer lugar la agricultura de temporal, en la cual se han identificado 21 millones de hectáreas con problemas de erosión hídrica y eólica. De acuerdo al inventario de tierras erosionadas (SARH, 1986), se estima que el 81% del territorio nacional presenta algún grado de erosión manifiesta que varía de leve a muy severa. La degradación de los recursos por erosión, origina pérdidas de suelo, disminución de la productividad e incapacidad del sistema para recuperarse en forma natural en un lapso de tiempo razonable.

En el estado de San Luis Potosí, las zonas áridas y semiáridas abarcan una superficie de 4.8 millones de 000 hectáreas (76.63% de la superficie total). La ganadería extensiva representa el principal uso del suelo y la producción de forraje en agostaderos o praderas inducidas, es muy limitada. La sobreutilización de la cubierta vegetal es generalizada y la extracción de productos forestales se realiza sin control. Lo anterior ha originado procesos de degradación de los recursos, tales como: disminución y pérdida de la vegetación más deseable, incremento en la vegetación no aprovechable, degradación de la cubierta vegetal, reducción de la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua en el suelo, compactación y erosión (Loredo *et al.,* 2006).

2.3. PROGRAMACIÓN DE ACCIONES A NIVEL MICROCUENCA

Los procesos erosivos, no son de carácter local, sino más bien regional, de acuerdo a los principios que regulan las cuencas hidrográficas (Brooks *et al.,* 1991). Desde el punto de vista del manejo y conservación del suelo, la finalidad del manejo de microcuencas es tratar los problemas del terreno y el agua en forma conjunta, a fin de controlar el escurrimiento superficial y reducir el riesgo a la erosión hídrica.

El procedimiento básico para controlar la erosión a nivel regional, consiste en llevar a cabo la clasificación y evaluación de tierras,

seleccionar un sistema de uso adecuado y cuando sea necesario diseñar medidas de conservación (Kirkby y Morgan, 1984). Este proceso que aparenta ser una operación sencilla, se vuelve una tarea imposible en el contexto de la cuenca hidrológica, porque considera solo las relaciones físico-biológicas, como causantes del problema-solución.

Un enfoque más integrado implica considerar a los siguientes aspectos (Sánchez, 2005):

- Las interacciones complejas que ocurren en las microcuencas requieren integrar objetivos institucionales y productivos para arribar a estrategias balanceadas.
- El proceso de toma de decisiones necesariamente debe involucrar a usuarios y técnicas de consenso para obtener un plan de manejo técnica y socialmente justificado, que refleje el balance negociado de intereses.
- Necesidad de usar información generada en estudios científicos para el entendimiento adecuado de los procesos que afectan a las microcuencas, con impacto en las cadenas productivas y en las condiciones económicas y salud de la población.
- El concepto de unidad básica de planeación tiene como objetivo el diseño y uso de métodos efectivos de manejo de los recursos que involucren a todos los usuarios con beneficios y costos compartidos.
- Se busca un marco de acuerdos entre las instituciones que participan con objetivos comunes en el proceso de dar sustentabilidad a los recursos naturales, que garantice la implementación de los planes desarrollados en el proceso de toma de decisiones, los cuales descansan más en el interés común que en leyes.

- Reconocer la necesidad de contar con un procedimiento de monitoreo que permita evaluar los efectos del manejo de la cuenca con mediciones y estándares bien definidos.

Por lo anterior, el manejo integrado de los recursos en las microcuencas no presupone solamente una jerarquización y planeación de acciones en función de estudios realizados con mucha frecuencia desde un escritorio. Implica además, considerar las condiciones de los habitantes de las microcuencas, especialmente su condición social y el entorno de sus actividades económicas. La participación comunitaria no es algo que se realiza automáticamente, sino que exige la búsqueda y creación de mecanismos para que se lleve a cabo. Ello implica, entre otras cosas, un proceso de aprendizaje sobre acciones que promuevan la participación.

En el “Programa Estatal de Microcuencas” en San Luis Potosí, participan instituciones como SAGARPA, FIRCO, CONAFOR, SEMARNAT, SEGAM, CP e INIFAP, a fin de desarrollar acciones concertadas bajo un esquema integral, enmarcadas en el Plan Rector, único y específico para el manejo de cada microcuenca (Anexo 1), donde ésta se considera como una unidad de planificación para los servicios integrados de las instituciones del sector, para el manejo de los recursos suelo y agua, con énfasis en el desarrollo de acciones tendientes al ordenamiento territorial (Figura 1).

2.4. ACTORES EN EL MANEJO DE LAS MICROCUENCAS

A nivel microcuenca, es necesaria la integración de esfuerzos de instituciones, investigadores y técnicos, enfocados a la solución de problemas relacionados con el manejo de los recursos naturales, tomando en consideración de manera primordial, la participación activa de los productores en la toma de decisiones.

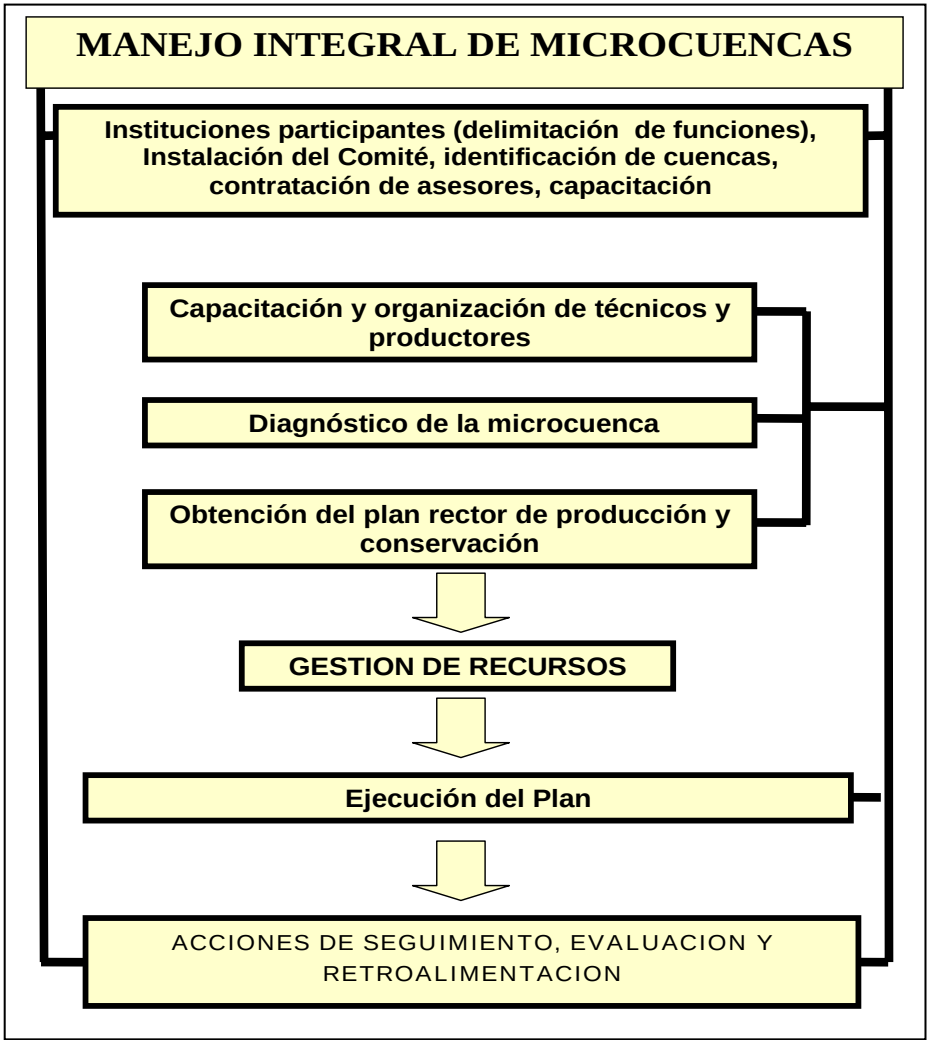


Figura 1. Acciones tendientes al manejo integral de microcuencas.

En ese sentido, los objetivos de la planeación participativa son los siguientes:

- Consolidar el grado de participación activa de los actores del medio rural y reducir con esto el protagonismo gubernamental.
- Aumentar el peso de los productores, de la sociedad rural y sus organizaciones.
- Abrir las puertas para nuevas formas de diseño y gestión de políticas: singulares, descentralizadas, solidarias, corresponsables, en donde el gobierno y la sociedad enfrenten conjuntamente los problemas colectivos de este importante sector.

Sin embargo, una de las limitaciones para el adecuado desarrollo de los programas de manejo de microcuencas, es la poca participación de las organizaciones locales en los espacios de toma de decisión, en muchos casos por la falta de información suficiente y oportuna para actuar con conocimiento de causa. En última instancia, se pueden mencionar la ausencia de una cultura en las prácticas de manejo de las cuencas, que permita pensar y aplicar políticas y estrategias de corto, mediano y largo plazo que respondan a las necesidades reales de la gente, en particular en las zonas rurales (Beltrán *et al*., 1999).

Muchos de los problemas que los productores buscan resolver (mejoramiento de las cosechas, producción animal, manejo de la fertilidad del suelo), se pueden manejar a nivel de cada productor en sus parcelas, pero las soluciones para el manejo de los recursos naturales, se pueden encontrar con acciones concertadas entre los productores, o entre éstos y los investigadores (Munk *et al.,* 1999), .

El reto de fortalecer el enfoque de microcuenca, no implica la substitución de las prácticas actuales de uso del suelo con soluciones

únicas e irrefutables. Tampoco se refiere a llevar a la microcuenca un gran número de miniproyectos aislados y mucho menos, a que algún técnico manejador de cuencas, llegue a dirigir estos proyectos tratando de controlar las actividades de los productores. En lugar de ello se propone que las actividades para el manejo de los recursos en la microcuenca, sean utilizadas como componentes integrales en proyectos de desarrollo integrales.

2.5. PROCESOS DE CAPACITACIÓN-PARTICIPACIÓN

Existen hoy, condiciones favorables para promover la participación de los productores de las comunidades en la toma de decisiones sobre el uso de los recursos. La primera es la coordinación interinstitucional que llevan a cabo los gobiernos federal, estatal y municipal, para que se desarrolle el programa estatal de microcuencas en San Luis Potosí. Otra condición es la descentralización hacia los municipios; de acuerdo a Munk *et al.,* (1999), esto permite que el municipio se convierta en un espacio de discusión y concertación para la toma de decisiones; donde la sociedad civil (en este caso los productores de las microcuencas) tiene la oportunidad de tomar responsabilidades, asumiendo parte en los acuerdos y decisiones sobre el uso y manejo de recursos, con el propósito de lograr el desarrollo integral de sus comunidades y municipios.

Sin embargo, para que la participación de los productores sea real, ellos requieren conocer o identificar la mecánica de los procesos de erosión, cuales prácticas pueden establecer para controlar este fenómeno que degrada sus tierras y como pueden integrar sus actividades a nivel microcuenca, ya que los resultados a nivel local pueden ser desalentadores. Mientras no exista una difusión-capacitación que lleve a los productores a conocer las opciones de manejo que tienen y además como pueden organizarse para el uso adecuado de los recursos, los

planes que se propongan para sus tierras, pueden carecer de un operador final realmente convencido de los beneficios que le proporcionen.

En San Luis Potosí, el INIFAP ha desarrollado técnicas para el manejo de los recursos de las zonas áridas y semiáridas, que pueden incidir en programas de manejo de microcuencas. Estas tecnologías se agrupan en los siguientes grupos: Rehabilitación y Mejoramiento de Pastizales (Beltrán y Loredo, 1999), Aprovechamiento de Especies Forestales de Zonas Áridas y Semiáridas (Arredondo, 1998), Uso Múltiple de los Recursos de Zonas Áridas y Sistemas Agrosilvopastoriles (Hernández *et al*., 1999), Reconversión de Áreas Agrícolas de Baja Productividad a Uso Pecuario (Loredo *et al*., 1998) y Labranza de Conservación (Martínez, 2003).

Lo recomendable es que los productores a través de acciones de capacitación tengan la oportunidad de decidir cuales de estas opciones técnicas son las más recomendables para sus tierras. Para la capacitación en el manejo de los recursos naturales, existen varios métodos, como el propuesto por el CIAT (1999), basado en un modelo didáctico para el aprendizaje a través de la práctica.

Este modelo propone a los usuarios inmediatos (capacitadores y participantes) un esquema en el cual los insumos de información resultantes de la investigación en campo sirven de materia prima para el desarrollo de habilidades, destrezas y actitudes requeridas por los usuarios finales para la toma de decisiones acertadas y relacionadas con el manejo de los recursos naturales.

Los esfuerzos están orientados por un conjunto de objetivos que sirven al instructor y al participante para el aprendizaje. Este se lleva a cabo a través de ejercicios en el campo en los que se practican los procesos de análisis y toma de decisiones, usando para ello caminatas, simulaciones y aplicación de diferentes instrumentos de recolección y análisis de información.

Otros componentes incluyen las sesiones de información de retorno, en las cuales los participantes en la capacitación, junto con los instructores, tienen la oportunidad de revisar las prácticas estudiadas y profundizar en los aspectos que deben ser reforzados. La información de retorno constituye la parte final de cada una de las secciones y es el espacio preferencial para que el instructor y los participantes lleven a cabo la síntesis conceptual y metodológica de cada aspecto estudiado. En resumen, el modelo consta de tres elementos (Figura 2):

- La información técnica y estratégica, que es producto de la investigación y constituye el contenido tecnológico necesario para la toma de decisiones.
- La práctica, que toma la forma de ejercicios en el sitio de entrenamiento y de actividades de campo y que está dirigida al desarrollo de habilidades, destrezas y actitudes para la toma de decisiones.
- La información de retorno que es un tipo de evaluación formativa que asegura el aprendizaje y la aplicación adecuada de los principios subyacentes en la teoría que se ofrece.

En ese sentido en el marco del proyecto *"Evaluación de Tierras para el manejo integrado de 32 microcuencas en San Luis Potosí",* se realizaron acciones de capacitación y difusión (Figura 3) entre las cuales se encuentran la impartición de tres cursos a los técnicos que atienden las microcuencas: (predicción de riesgo a la erosión; prácticas de conservación del suelo, y, manejo integrado de microcuencas). Además, se impartió el curso-taller "manejo integrado de recursos con enfoque microcuenca" en 19 localidades (Cuadro 1). El método de extensión utilizado pata tal fin fue el de consultas grupales (Ramakrishna, 1997), el cual se basa en reuniones entre el personal técnico (en este caso dos investigadores del INIFAP) con grupos de dos o más personas, en donde se da un intercambio de preguntas, respuestas y opiniones sobre un

problema común (en este caso la degradación del suelo y la oportunidad de manejar los recursos con enfoque microcuenca.

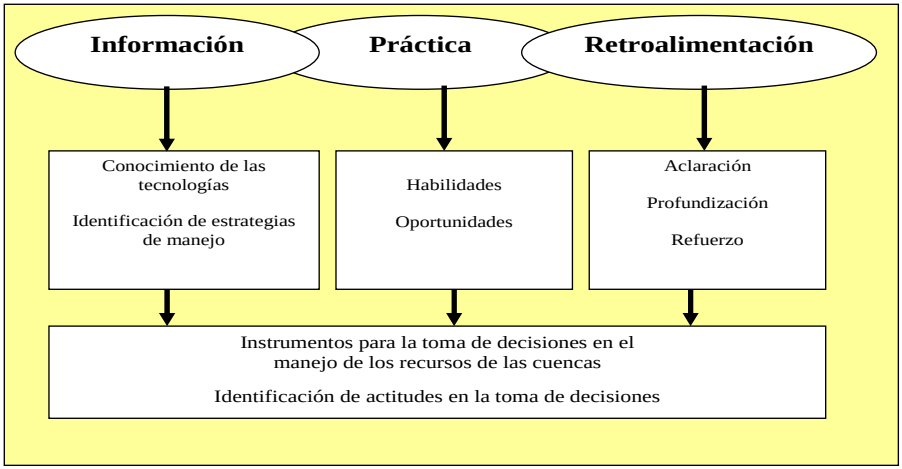


Figura 2. Modelo para la capacitación en el manejo de los recursos naturales (CIAT, 1999).

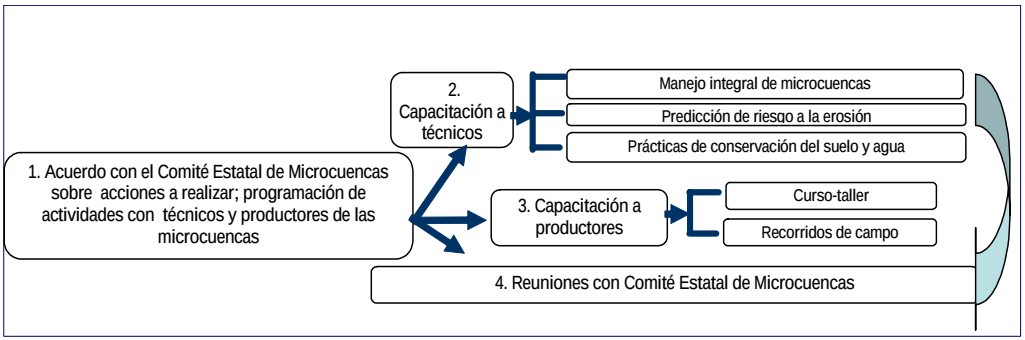


Figura 3. Diagrama de actividades para las acciones de capacitación a técnicos y productores incluidos en el proyecto.

Con respecto a la coordinación institucional, los resultados del proyecto fueron presentados en tres Reuniones del Comité Estatal de Microcuencas, así como en tres reuniones en las presidencias municipales de Cerro de San Pedro, Armadillo de los Infante y Villa de Arista, S. L. P. En estos talleres se observó que en algunas microcuencas la población predominante son niños, mujeres y ancianos, debido a la fuerte migración que existe hacia los Estados Unidos.

También fue posible identificar falta de organización para el uso de los recursos, desconocimiento de mercados para la canalización de sus productos, falta de acceso al crédito y en términos generales pobreza de los habitantes. Sin embargo en la mayoría de las microcuencas se sensibilizó a la población sobre la degradación que están sufriendo los recursos y sobre la oportunidad que tienen de organizarse para iniciar planes de manejo a través de su propio esfuerzo y en coordinación con las acciones del Programa de Microcuencas.

Por lo anterior, además de la capacitación, los procesos de organización y planeación a nivel microcuenca para el uso adecuado de los recursos, implican otras tareas no menos importantes, entre las cuales resalta la regulación del uso de la tierra, especialmente de los agostaderos y la identificación, valoración y/o creación de la infraestructura mínima para llevar a cabo los proyectos específicos en la microcuenca.

Para concluir este capítulo se puede señalar lo siguiente:

- Existen hoy en San Luis Potosí, condiciones favorables para promover la participación de los productores en la toma de decisiones sobre el uso de los recursos de las microcuencas. La primera es la coordinación interinstitucional que llevan a cabo los gobiernos federal, estatal y municipal, para que se desarrolle el Programa Estatal de microcuencas en el estado; la segunda es la disposición de los productores a participar activamente en la elaboración de sus planes rectores.

Cuadro 1. Relación de microcuencas donde se impartió el Curso-Taller: Manejo Integrado de Recursos con Enfoque Microcuenca" dirigido a productores como parte del proyecto "Evaluación de tierras para el manejo de 32 microcuencas hidrológicas en San Luis Potosí.

MICROCUENCA/MUNICIPIO	ASISTENTES
Aguazarca-Papagayos, Cd. del Maíz	36 productores y 3 técnicos
Carranco, Mpio de Villa de Reyes	36 productores y 1 técnico
El Charquito, Mpio. de Villa de Arista	25 productores y 1 técnico
El Rosario, Mpio de Villa de Reyes	21 productores
El Tepetate, Mpio de Villa de Arriaga	21 productores y 1 técnico
Enramadas, Mpio. de Ahualulco	21 productores; 1 técnico
Francisco I. Madero, Mpio. de Villa de Arriaga	20 productores y 1 técnico
Guanamé, Mpio de Venado	28 productores y 3 técnicos
Ipiña, Mpio. de Ahualulco	21 productores y 1 técnico
Mexquitic, Mpio. de Mexquitic	22 productores y 4 técnicos
Palomas, Mpio. de Villa de Reyes	20 productores y 1 técnico
Puerto Espino Mpio. de Villa de Arriaga	21 productores y 1 técnico
Rodrigo, Mpio. de Villa de Reyes	40 productores y 3 técnicos
San Francisco, Mpio. de Villa de Arriaga	32 productores y 1 técnico
San Lorenzo, Mpio de Villa Hidalgo	26 productores y 1 técnico
San Miguel, Mpio de Villa de Reyes	19 productores y 2 técnicos
Santa Rita, Mpio de Venado	28 productores y 3 técnicos
Santa Teresa, Mpio. de Ahualulco	35 productores y 1 técnico
Villa de Arista, Mpio de Villa de Arista	18 productores y 3 técnicos

- Es indispensable que las instituciones, investigadores y técnicos, integren esfuerzos y se comprometan a elaborar las propuestas de solución de la problemática del manejo de los recursos naturales que se ha detectado en las áreas rurales del estado, tomando como base el concepto de manejo integral de microcuencas para la predicción de riesgo a la erosión, diagnóstico del estado actual de los recursos, identificación de tecnologías apropiadas que promuevan la sostenibilidad, así como el fortalecimiento a los procesos de capacitación hacia los productores para que tengan oportunidad de gestionar ellos mismos, las acciones de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales que satisfagan sus necesidades.
- Se debe tomar como base la participación activa y comprometida de los productores en la toma de decisiones sobre el manejo de los recursos; la actividad propia del gestor o técnico estará orientada hacia el logro de un servicio integrado de las instituciones.
- Los peligros para el desarrollo de estas acciones son la falta de políticas claras para el manejo de las microcuencas, la no generación y aplicación de reglamentos locales para el uso de las áreas comunes como lo son los agostaderos, la falta de organización, la selección y aplicación de tecnología deficiente, la falta de diagnósticos de riesgo a la erosión, la apatía de algunas autoridades municipales y el no reconocer que en la microcuenca los recursos naturales deben basar su manejo en principios no sólo productivos, sino también ecológicos y sociales.

Capítulo 3

PREDICCIÓN DE RIESGO A LA EROSIÓN HÍDRICA

3.1. INTRODUCCIÓN

Uno de los factores importantes en el proceso para controlar la erosión en la microcuenca es la evaluación del riesgo a la erosión el cual tiene como objeto identificar aquellas áreas, donde la productividad sostenible de un uso específico de la tierra es amenazada por una pérdida excesiva de suelo (Zárate y Anaya, 1992). El conocimiento del riesgo a la erosión, permite realizar el pronóstico del estado del recurso en determinado lapso de tiempo y establecer las bases para la proyección de opciones futuras en la planeación del uso y manejo del suelo.

En este capítulo se presentan en forma general los factores involucrados en el proceso de erosión y como pueden ser evaluados en campo utilizando el modelo conocido como “Ecuación Universal de Pérdida de Suelos” (Wischmeier y Smith, 1978), a fin de ser más eficientes en la planeación, diseño y proyección de acciones de manejo, conservación o restauración del suelo para el control de la erosión hídrica.

3.2. ANTECEDENTES

El suelo es un recurso natural básico que sirve de enlace entre los factores bióticos y abióticos de los ecosistemas terrestres. Actualmente es considerado un recurso no renovable; su pérdida constituye un problema para las generaciones actuales y futuras. En México la erosión hídrica y eólica se presenta en 158.8 millones de hectáreas, con pérdidas promedio de 2.75 toneladas de suelo por hectárea por año (CONAZA, 1993).

La erosión se define como el proceso físico que consiste en el desprendimiento, transporte y deposición de las partículas del suelo (Kirkby, 1984). Si este proceso se lleva a cabo en condiciones naturales se denomina erosión geológica, pudiendo ser considerada en tal caso como una forma más de conformación del relieve. Al respecto Figueroa (1975) reporta tasas de erosión de 0.001 kg/m^2/año para un bosque templado denso y 0.002 kg/m^2/año en un pastizal amacollado.

Si la tasa de erosión se incrementa por las actividades humanas, se manifiesta la erosión acelerada o inducida, la cual se presenta cuando el hombre modifica la superficie terrestre, manipulando la capa arable y cobertura vegetal en los terrenos agrícolas, promoviendo la sobreutilización de los agostaderos o al deforestar áreas arboladas o de arbustos.

De acuerdo al agente erosionante (agua o viento) se diferencian dos tipos de erosión: hídrica y eólica. La erosión hídrica ocurre cuando el agua de lluvia desprende las partículas de los agregados en la superficie del suelo y estos son arrastrados por el escurrimiento superficial. Cuando la cantidad del agua de lluvia que entra al suelo, es menor al agua precipitada, se produce un flujo superficial sobre el terreno; este flujo puede acarrear materiales del suelo, en función de su fuerza hidráulica. Conforme aumenta la carga hidráulica que fluye sobre la superficie, se ejercen fuerzas mayores y la erosión del suelo puede ocurrir aún en pendientes suaves; estas condiciones son comúnmente encontradas en las zonas semiáridas.

La erosión severa que se asocia con la formación de cárcavas, puede iniciar movimientos de masas en las pendientes abruptas de las paredes de los canales, que son importantes en la remoción total de sedimentos (Figueroa *et al.,* 1991). Las formas más comunes de erosión hídrica son: erosión por salpicamiento, erosión laminar y en canalillos; erosión en surcos y erosión en cárcavas.

Las pérdidas de suelo involucran también pérdidas de nutrimentos, mismos que deben adicionarse al suelo para mantenerlo productivo; también la materia orgánica y la fracción húmica se pierden continuamente; lo anterior disminuye la productividad del suelo, considerando que si se pierden 50.8 mm de lámina, la productividad se reduce en un 15% y cuando se pierde una lámina de 304 mm la productividad se reduce hasta en un 75% (Martínez, 1983). Al evaluar pérdidas de suelo es común referirlas a las siguientes expresiones:

Pérdida de suelo. Cantidad de suelo removido por la erosión en un período de tiempo específico.

Producción de sedimentos: Es el flujo total de sedimentos de una cuenca hidrológica o de un área sujeta a evaluación durante un tiempo determinado (Kirkby y Morgan, 1984); no toda la pérdida de suelo se deposita en el sistema de corrientes (una parte se deposita en depresiones de la misma cuenca). Por lo anterior, el material que se transporta hacia un punto de interés es la producción de sedimentos.

Tasa de erosión: Es la pérdida de suelo de una área dada en un tiempo determinado. Se expresa usualmente en unidades de volumen o peso (kg/m^2/año, ton/ha/año, cm/ha/año o ton/ha/cm de lámina de escurrimiento).

Cuando las áreas estudiadas son pequeñas, la tasa de erosión, la pérdida de suelo y la producción de sedimentos son equiparables, es decir, la tasa de entrega de sedimentos es unitaria (Figueroa *et al.*, 1991) y refleja la erosión del suelo.

3.3. LÍMITES PERMISIBLES DE EROSIÓN

Se ha observado que siempre existen pérdidas de suelo, aunque éstas sean mínimas para algunos ecosistemas como el bosque y el pastizal en buenas condiciones. Para que el sistema se mantenga

productivo sin sufrir degradación, es decir, con riesgo mínimo a la erosión, estas pérdidas deben ser menores o iguales que las tasas de erosión permisibles.

Los límites permisibles de erosión (LPE) se basan en los siguientes aspectos: que las pérdidas de suelo sean iguales o menores a la velocidad de formación del suelo; que las pérdidas del suelo se mantengan a un nivel que evite la formación de cárcavas y, que las pérdidas de suelo permitan mantener una profundidad de suelo adecuada para sostener una productividad en el tiempo. Los LPE son variables en diferentes sitios, ya que son una función de la profundidad, tipo y procesos formadores de suelo, así como del clima (Ríos, 1987; Figueroa, *et al.,* 1991).

Mientras más profundo sea el suelo superficial (horizontes A y B) y mayor el espesor del material disponible para las raíces de las plantas, la erosión puede ocurrir sin pérdidas irreparables en la capacidad productiva. Generalmente, el material parental no consolidado, es convertido en suelo más rápidamente que el material rocoso duro. Cuando la capa arable es mucho más fértil y productiva que el subsuelo y el material parental, la pérdida de pequeñas cantidades de suelo superficial podría reducir la productividad significativamente (Frederick *et al*, 1999).

En 1977 el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos propuso algunos LPE considerando la pérdida de suelo que un terreno puede tolerar en función a la profundidad del suelo y al material parental (Cuadro 2). Sin embargo, estos límites deben considerarse con reserva, ya que aún no han sido validados para las condiciones de México, donde posiblemente los procesos de formación del suelo varíen con respecto a los Estados Unidos de Norteamérica, debido a diferentes condiciones ambientales. Con esta información y de acuerdo a cada condición podemos aceptar pérdidas de suelo de 2.2 a 11.2 ton/ha/año; en caso de que las pérdidas rebasen los LPE, será necesario analizar que tipo de manejo de suelo y vegetación se requiere para disminuir la erosión por

debajo del nivel permisible. De aquí surge la necesidad de saber cuanto suelo se está perdiendo y cuanto se puede perder con el manejo de los recursos, es decir cual es el riesgo a la degradación por erosión.

Un control satisfactorio de la erosión supone obtener un nivel sostenido de producción a partir de un área dada de tierra, al tiempo que se mantiene la pérdida de suelo por debajo de los LPE, lo que en teoría permite el equilibrio entre las tasas de erosión y la formación del suelo. Sin embargo, en la práctica es difícil predecir o lograr este estado de equilibrio, por lo cual la conservación del suelo persigue mantener las tasas de erosión por debajo del nivel necesario para mantener la capacidad productiva del suelo.

Cuadro 2. Pérdida de suelo permisible en función de la profundidad del suelo y del material parental.

Profundidad del suelo (cm)	Material parental	LPE (ton/ha/año)
> 100	Rocoso	11.2
> 100	Arena o grava	11.2
50 - 100	Rocoso	9.0
50 - 100	Arena o grava	9.0
25 - 50	Rocoso	4.5
25 - 50	Arena o grava	6.7
10 - 50	Lecho arcilloso	6.7
< 25	Lecho rocoso	2.2
< 25	Arena o grava	4.5
< 10	Lecho arcilloso	4.5

Fuente: SCS, 1977

3.4. EVALUACIÓN LOCAL DE LA EROSIÓN HÍDRICA

La erosión hídrica potencial se puede estimar con modelos empíricos de predicción, como la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) la cual fue desarrollada para predecir pérdidas de suelo promedio anual por hectárea, debidas a erosión laminar y en canalillos, en áreas

agrícolas (Wischmeier y Smith, 1958), utilizando observaciones realizadas en más de 10,000 lotes de escurrimiento que aportaron datos de pérdida de suelo, los cuales fueron analizados estadísticamente.

Los factores de la EUPS se desarrollaron usando una unidad de evaluación denominada lote estándar; un lote estándar tiene 22.13 m de longitud con una pendiente uniforme de 9% de inclinación. El lote se mantiene laboreado en el sentido de la pendiente y en barbecho continuo, por lo menos durante dos años. Este lote estándar se utilizó como base para definir la variación de los factores de la ecuación (Becerra, 1999). El objetivo que se persigue con la aplicación de la EUPS para evaluar riesgo a la erosión es que el personal profesional pueda estimar los tres niveles de erosión que caracterizan a su área de trabajo (erosión potencial, erosión actual y erosión permisible o de sostenibilidad) (Wischmeier y Smith, 1978):

- Primer nivel o erosión potencial.- Es aquella que se genera en un suelo totalmente desprotegido de cubierta vegetal y alterado al máximo con implementos mecánicos. Es el nivel máximo que podemos esperar.
- Segundo nivel o erosión actual.- Es el que se está generando en estos momentos por efectos del sistema de producción aplicado o bien con la cobertura vegetal actual para el caso de sitios no cultivados.
- Tercer nivel de sostenibilidad o de erosión permisible.

La EUPS puede servir también como guía en la selección de sistemas de uso y manejo del suelo y vegetación, así como para predecir cambios esperados en las pérdidas de suelo, en función de cambios en el manejo de los recursos. Se han realizado algunas modificaciones a la EUPS para adaptar su aplicación a áreas de pastizal o áreas forestales (Dissmeyer y Foster, 1981; Trieste y Gifford, 1981).

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo involucra los siguientes factores (Wischmeier y Smith, 1978):

$$A = R\,K\,L\,S\,C\,P$$

En donde:

A = Pérdida de suelo (ton/ha/año)
R = Erosividad de la lluvia (MegaJoules mm/ha hr año)
K = Erosionabilidad del suelo (ton/hr/MJ mm)
L = Factor por longitud de pendiente (adimensional)
S = Factor por grado de pendiente (adimensional)
C = Factor por cubierta vegetal (adimensional)
P = Factor por prácticas de manejo (adimensional)

A continuación se describe brevemente cada uno de ellos, para su uso en forma local, es decir a nivel predio o parcela. Posteriormente, se describe la forma en la que estos factores pueden ser estimados a nivel microcuenca; para ello se toma un ejemplo desarrollado para una microcuenca en San Luis Potosí.

3.4.1. Erosividad de la lluvia (R)

Representa la habilidad o agresividad de la lluvia para producir erosión; es decir, la energía cinética de la lluvia necesaria para remover y transportar las partículas de suelo. Las gotas de lluvia primero mojan el suelo y después remueven las partículas. Cuando la precipitación excede la capacidad de infiltración, se presenta el escurrimiento superficial, el cual también tiene la habilidad de remover y transportar las partículas de suelo.

Las gotas de lluvia al impacto con la superficie del suelo, rompen los agregados y remueven las partículas de suelo, produciendo una ligera compactación. La capa compactada disminuye la capacidad de infiltración, originando el escurrimiento superficial. Wischmeier y Smith (1965) señalan que el mejor estimador de la erosividad de la lluvia es el EI_{30}, el cual se obtiene con la siguiente ecuación:

$$EI_{30} = (E)\,(I_{30})$$

En donde:

EI_{30} = Índice de erosividad para un evento (MJmm/ha hr)

E = Energía cinética de la lluvia (MJ/ha)

I_{30} = Intensidad máxima en 30 minutos continuos de lluvia (mm/hr)

Con la suma de todos los EI_{30} de cada uno de los eventos del año, se obtiene el índice de erosividad anual (R). Entonces:

$$R = \sum_{j=1}^{n} (EI_{30\,j}):$$

En donde:

R = Erosividad de la lluvia

n = Número de eventos durante el año

EI_{30} = Indice de erosividad de la lluvia por evento

En México, se evaluó el factor R de la EUPS en la cuenca del Río Texcoco (Arias, 1980) y se encontró que el EI_{30} fue el índice de erosividad que mostró el mayor coeficiente de correlación con las pérdidas de suelo anuales. Sin embargo, la utilización del EI_{30} ha sido discutida y cuestionada para diversas condiciones y se han propuesto otros índices para estimar erosividad. Cortés (1991), estimó el EI_{30} para las diferentes regiones de la República Mexicana y reporta valores de erosividad que varían de 500 a 29 mil Mega Joules mm/ha hr año. El propone catorce modelos de regresión (ecuaciones) a partir de datos de precipitación media anual (x) para estimar el valor de R de la EUPS (Cuadro 3 y Figura 4).

Cuadro 3: Ecuaciones de erosividad de la lluvia para las diferentes regiones de México.

REGIÓN	ECUACIONES $Y = EI_{30}$; x = lluvia anual	R^2
1	$Y = 1.20785x + 0.002276x^2$	0.92
2	$Y = 3.45552x + 0.006470x^2$	0.93
3	$Y = 3.67516x - 0.001720x^2$	0.94
4	$Y = 2.89594x + 0.002983x^2$	0.92
5	$Y = 3.48801x - 0.000188x^2$	0.94
6	$Y = 6.68471x + 0.001680x^2$	0.90
7	$Y = 0.03338x + 0.006661x^2$	0.98
8	$Y = 1.99671x + 0.003270x^2$	0.98
9	$Y = 7.04579x - 0.002096x^2$	0.97
10	$Y = 6.89375x + 0.000442x^2$	0.95
11	$Y = 3.77448x + 0.004540x^2$	0.98
12	$Y = 2.46190x + 0.006067x^2$	0.96
13	$Y = 10.74273x - 0.001008x^2$	0.97
14	$Y = 1.50046x + 0.002640x^2$	0.95

Fuente: Cortés, 1991

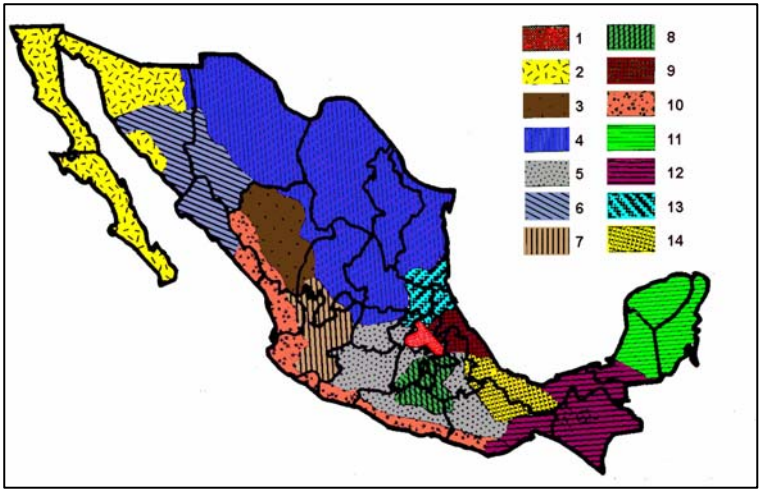


Figura 4. Regiones de México donde aplican las ecuaciones de erosividad
Fuente: www.sagarpa.gob.mx/sdr/apoyos/publicaciones/dctos_excell/01estim-erosion.xls

3.4.2. Erosionabilidad del suelo (K)

Es la susceptibilidad del suelo a erosionarse; a mayor erosionabilidad, menor resistencia a la acción de los agentes erosivos. Las propiedades del suelo que afectan la erosionabilidad pueden agruparse en dos categorías (Wischmeier y Smith, 1965; Beasley, 1972): las que afectan la capacidad de infiltración y almacenamiento, así como las que influyen en la resistencia a la dispersión y al transporte durante la lluvia y el escurrimiento.

Figueroa *et al.,* (1991) señalan que la erosionabilidad varía en función de la textura del suelo, el contenido de materia orgánica, la estructura del suelo, presencia de óxidos de fierro y aluminio, uniones electroquímicas, contenido inicial de humedad y procesos de humedecimiento y secado. Estas propiedades se relacionan entre sí, observando que el contenido de materia orgánica afecta directamente la estabilidad estructural (Loredo, 1986) y ésta, a su vez, influye en la porosidad, así como en la retención de humedad y conductividad hidráulica del suelo.

Antes de proceder a indicar como se estima la erosionabilidad es conveniente definir las principales propiedades físicas del suelo que influyen en este factor.

Textura del suelo. Es la característica física del suelo determinada por la proporción relativa en la que se encuentran cada uno de sus componentes minerales o partículas primarias: arena, limo y arcilla. La textura influye sobre otras propiedades del suelo tales como la capacidad de almacenamiento de agua y su movimiento en el suelo (infiltración, percolación, escurrimiento, humedad disponible); influye también en la capacidad de abastecimiento de nutrimentos y aire para las plantas y demás organismos vivos. Es uno de los factores más importantes al evaluar la erosionabilidad del suelo.

Para definir los límites de tamaño entre las diversas fracciones del suelo se cuenta con dos clasificaciones: la escala Internacional usada por la Sociedad Internacional de las Ciencia del Suelo y la escala Americana usada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) (Cuadro 4). La arena es la fracción más gruesa; se pueden encontrar arenas desde muy gruesas hasta muy finas; el limo es la fracción intermedia; y, la arcilla es la fracción más fina de los componentes minerales del suelo, con un diámetro menor de 0.002 mm; es la fracción con mayor responsabilidad en la respuesta del suelo a los procesos físicos, químicos y biológicos.

Cuadro 4. Clasificación del tamaño de las partículas de acuerdo a su tamaño

FRACCIÓN MINERAL DEL SUELO	**CLASIFICACIÓN**	
	AMERICANA (mm)	**INTERNACIONAL (mm)**
Arena muy gruesa	2.0 – 1.0	
Arena gruesa	1.0 – 0.5	2.0 – 0.2
Arena media	0.5 – 0.25	
Arena fina	0.25 – 0.10	0.2 – 0.02
Arena muy fina	0.10 – 0.05	
Limo	0.05 – 0.002	0.02 – 0.002
Arcilla	menor de 0.002	menor de 0.002

Fuente: Brady y Weill, 1999.
En ambas clasificaciones, partículas mayores de 2.0 mm son consideradas como grava.

Por su clase textural se reconocen tres grandes grupos de suelos: arenosos, francos y arcillosos, con textura gruesa, media y fina respectivamente. Cuando se conoce el contenido porcentual de arena, limo y arcilla a través de determinaciones de laboratorio, se puede identificar el grupo textural al que corresponde el suelo de acuerdo a la clasificación representada en el triángulo de texturas (Figura 5) utilizado por el USDA (Aguilera y Martínez, 1986).

También existen métodos de campo; el más conocido es la estimación de la textura al tacto. Este procedimiento consiste en humedecer una pequeña cantidad de suelo y amasarlo con los dedos, estimando al tacto y en forma cualitativa la textura. En el Cuadro 5 y Figura 6, se presenta una forma sencilla para identificar el tipo de textura en condiciones de campo.

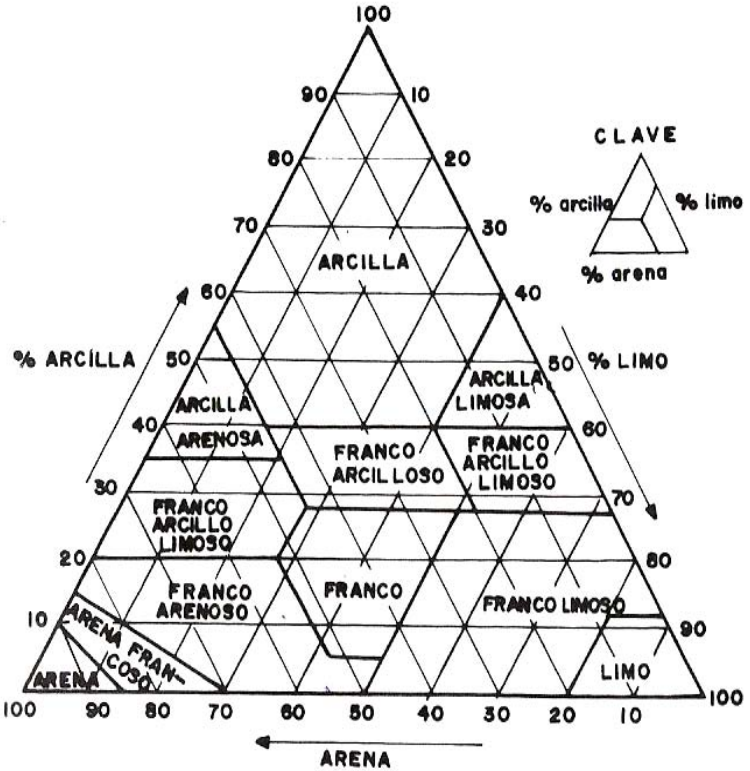


Figura 5. Triángulo de textura del suelo
(Fuente: Aguilera y Martínez, 1986)

Cuadro 5. Determinación de la textura del suelo en campo.

TEXTURA	DESCRIPCIÓN Y CORRESPONDENCIA CON LA FIG. 3	
Arenoso	El suelo permanece suelto y separado y puede ser acumulado solo en forma de pirámide	A
Arena Franca	El suelo contiene suficiente limo y arcilla para volverse pegajoso y se le puede dar forma de bola que fácilmente se deshace	B
Franco Limoso	Parecido a arena franca, pero al suelo se le puede dar forma enrollándolo como un pequeño y corto cilindro	C
Franco	Contiene casi la misma cantidad de arena, limo y arcilla. Puede ser enrollado como cilindro de alrededor de 15 cm de largo, que se quiebra cuando se dobla	D
Franco Arcilloso	Parecido al franco, aunque puede ser doblado en forma de U sin excederse y no se quiebra	E
Arcilla Fina	El suelo puede tomar forma de círculo, pero mostrando grietas	F
Arcilla Pesada	El suelo puede tomar forma de círculo sin mostrar ninguna grieta	G

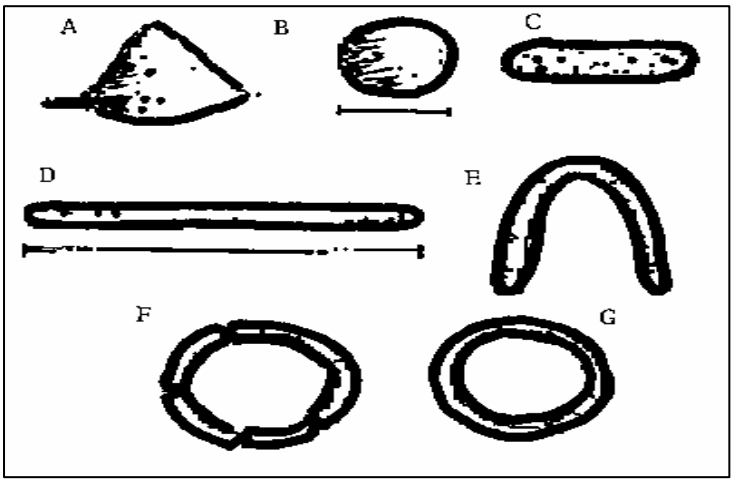


Figura 6. Formas que puede tomar una muestra de suelo al ser manipulada húmeda, para identificar su textura en campo (Fuente: Trejo, *et al.,*1999).

Profundidad del suelo. Este indicador se refiere a la profundidad que pueden alcanzar las raíces sin encontrar impedimentos físicos o químicos para su desarrollo. Constituye uno de los factores más importantes para determinar el potencial del suelo para la producción de cultivos. Mientras más profundo sea el suelo superficial y mayor el espesor del material disponible para las raíces de las plantas, la erosión puede ocurrir sin pérdidas irreparables en la capacidad productiva.

Estructura. Este término se refiere a la forma en que se agrupan los diferentes componentes del suelo (arena, limo, arcilla y materia orgánica) en agregados o peds; el patrón de acomodo de los agregados y los poros del suelo definidos por la estructura, influyen sobre el movimiento del agua y la aireación del suelo. El agregado es la mínima fracción que determina la estructura del suelo. Los principales tipos de estructura son granular, laminar, prismática y blocosa. Estos tipos y algunos subtipos se describen en la Figura 7 y generalmente su ubicación varía en función de los horizontes del perfil del suelo.

Estabilidad de agregados. La estabilidad estructural se refiere a la capacidad que tienen los agregados de conservar su forma cuando se humedecen o son sometidos a una acción física. Aun cuando el contenido de arcilla influye fuertemente sobre la estabilidad, la presencia de partículas de arcilla no asegura que los agregados sean estables; por ejemplo, si hay presencia de sodio en el complejo de intercambio, la arcilla puede ser inestable (Bak y Cayssials, 1974). Los suelos con agregados estables, mantienen un espacio poroso mayor que suelos con agregados inestables. Cuando se disminuye el espacio poroso total, la capacidad de infiltración tiende a bajar. De acuerdo al tipo de estructura, las partículas primarias se agregan y pueden formar racimos o peds en forma de terrón, miga, bloque, columna o prisma; cuando los agregados no son estables el suelo forma una sola masa (estructura masiva).

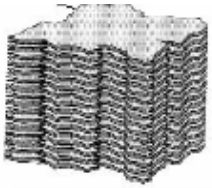
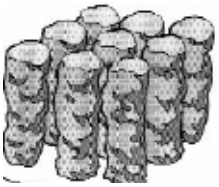
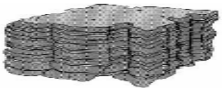
	Granular. Los agregados o peds tienen forma de gránulos (esferoidal) y pueden medir de 1 a 10 mm de diámetro. Cuando los agregados son especialmente porososos, es común utilizar el término "*migajón*". Esta estructura es característica del horizonte A, o de horizontes con alto contenido de materia orgánica (suelos de praderas y pastizales) o en tierras de cultivo bien trabajadas. Son los menos erosionables.
	**Laminar.** Estructura donde los agregados tienen un arreglo en placas o láminas delgadas. Se puede encontrar en horizontes superficiales y en horizontes subsuperficiales. La mayor parte de las veces la formación de esta estructura depende del material parental del suelo, sin embargo, en algunos casos se puede originar por la compactación de las arcillas del suelo por maquinaria pesada. Son suelos erosionables.
	Bloques. Los agregados en bloques son parecidos a cubos; miden de 5 a 50 mm; cuando los bordes de los bloques son afilados y las caras son rectangulares el subtipo se designa como bloques-angulares. Cuando se observa redondeo en los bordes de los agregados se denominan bloques subangulares. Ls estructura en bloques se encuentra en el horizonte B especialmente en zonas húmedas. También se puede encontrar en el horizonte A. Son suelos erosionables.
	**Columnar y prismática.** Los peds están orientados verticalmente en prismas (peds con bordes angulares) o columnas (peds con bordes redondeados) que pueden llegar a medir hasta 15 cm o más de diámetro. Estos tipos de estructura son generalmente encontrados en el horizonte B y son más comunes en suelos de zonas áridas y semiáridas. Son suelos erosionables.
	**Suelo sin estructura.** No hay agregación visible o no hay un ordenamiento en las líneas naturales de fisura. Si el material es coherente se forma aglomerado y si no es coherente se forma como grano suelto. Son suelos erosionables.

Figura 7. Tipos de estructura del suelo (adaptado de Brady y Weil, 1999).

La estabilidad de agregados influye fuertemente en la capacidad de infiltración del suelo (Singh, 1970).

Porosidad. Se considera que el 50% del volumen del suelo se encuentra ocupado por la fracción porosa, la cual dependiendo del tamaño de los poros, está utilizada por aire, agua disponible y micro-organismos.

Compactación. La compactación es el resultado de la alteración del espacio poroso de los suelos, provocada por el uso inadecuado de prácticas agropecuarias en los sistemas de producción.

Consistencia. La consistencia se define como la resistencia que ofrece a la deformación una masa de suelo bajo condiciones específicas de humedad. Es un indicador de la calidad de los suelos muy relacionado con la textura, contenido de materia orgánica, naturaleza de la arcilla, y contenido de humedad. Además, tiene una incidencia notoria sobre el laboreo del suelo y la profundidad de enraizamiento. La consistencia varía según el estado de humedad por lo que se determina con el suelo seco, húmedo y mojado.

La consistencia en seco puede ser:

- **Suelto.** No existen agregados en el suelo y las partículas del mismo no están unidas entre sí. Los horizontes que la presentan están muy bien aireados y son muy penetrables, pero las raíces tienen poco contacto y la retención de agua es muy débil.
- **Blando.** Los agregados se rompen entre los dedos. Este tipo de consistencia suele estar asociado a estructuras migajosas o granulares. El suelo está bien aireado, es fácil de penetrar y ofrece buen contacto a las raíces. La retención de agua es, en general, buena y se labra bien aunque es conveniente que presente un cierto nivel de humedad para que no se destruyan los agregados.

- **Duro.** Los agregados son difíciles de romper con la mano, y en algunos casos es necesario recurrir al martillo. La aireación es escasa y las raíces penetran con mucha dificultad en los agregados

Infiltración y permeabilidad. La infiltración es el movimiento del agua de la superficie hacia el interior del suelo. La capacidad de infiltración es la cantidad máxima de agua que un suelo puede absorber por unidad de superficie horizontal y por unidad de tiempo. Se mide por la altura de agua que se infiltra, expresada en mm/hora. La capacidad de infiltración disminuye hasta alcanzar un valor casi constante a medida que la precipitación se prolonga y es entonces cuando empieza el escurrimiento.

La capacidad de infiltración depende: 1) del estado de porosidad en la superficie del suelo; 2) del contenido de humedad del suelo al tiempo de la lluvia o del riego, y 3) de la permeabilidad del perfil. Los dos primeros factores son importantes para la rapidez de filtración del suelo. La permeabilidad del perfil expresa la intensidad de transmisión del agua a través del suelo y esta relacionada con el espacio poroso (Baver *et al.*, 1980). Los principales factores que influyen en la capacidad de infiltración son: el tipo de suelo, la presencia de substancias coloidales, el grado de compactación superficial, la cubierta vegetal y la acción del hombre y los animales. Por ejemplo, el tamaño de las partículas (textura) y el arreglo de las mismas (estructura) determinan la densidad aparente y el tamaño de los poros, los cuales influyen en la rapidez de absorción del agua en el suelo.

Con relación a la erosión del suelo, los suelos arenosos poseen alta capacidad de infiltración y permeabilidad y sólo pueden esperarse escurrimientos cuando se presenten intensidades de lluvia altas. En estos casos, cuando se llegan a presentar los escurrimientos superficiales, estos deben tener altas velocidades para mover las partículas. Un suelo arcilloso presenta baja capacidad de infiltración y permeabilidad, lo cual origina mayores escurrimientos superficiales, sin embargo, dada la alta cohesión

entre partículas, se dificulta la acción desintegradora del flujo superficial (Suárez, 1979).

Materia orgánica. La materia orgánica del suelo (MO) es esencial para la estabilidad de la estructura y su fertilidad. Los suelos sin MO son suelos pobres, susceptibles a la erosión y poco favorables para el crecimiento de las plantas. Cualquier residuo vegetal o animal es MO, la cual es transformada por los microorganismos del suelo a humus (fracción más estable de la materia orgánica).

La MO tiene las siguientes características:

- Mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos; los suaviza; permite una aireación adecuada; aumenta la porosidad y la infiltración de agua.
- Evita el lavado de los suelos y la pérdida de nutrientes.
- Tiene una alta capacidad de absorción y retención de agua. Absorbe varias veces su propio peso en agua y la retiene, evitando la desecación del suelo.
- Es una fuente importante de nutrientes, a través de los procesos de descomposición con la participación de bacterias y hongos incrementa la disponibilidad de minerales para las plantas.
- Mantiene la vida de los organismos del suelo, esenciales para los procesos de renovación del recurso.
- Aumenta la productividad del suelo. Si a los suelos pobres se les aplica MO, los compuestos orgánicos depositados sobre la superficie y en el interior de los suelos se descomponen de forma más o menos rápida por acción biológica con la consiguiente liberación de elementos minerales y gaseosos. Esta reacción produce nuevas sustancias que se asocian con los componentes minerales para formar parte de las fracciones finamente divididas del suelo. Esta propiedad afecta de

manera marcada la retención del agua, la estructura, el color y la temperatura de los suelos.

Los incrementos en el contenido de MO incrementan la estabilidad de agregados en el suelo, la conductividad hidráulica y mejoran otras propiedades físicas del suelo que influyen en la capacidad de infiltración, lo cual disminuye el volumen del escurrimiento.

Estimación de la erosionabilidad

Cuando ya se conocen las principales propiedades físicas del suelo que influyen en la erosión, es posible determinar la susceptibilidad del suelo a ser erosionado es decir, la erosionabilidad (factor K de la EUPS).

Este factor es un valor cuantitativo determinado experimentalmente como el cambio en las pérdidas de suelo por unidad de índice de erosión (R), medido en un lote de 22.13 m de largo, una pendiente uniforme de 9%, sin vegetación y en barbecho continuo, es decir, un suelo que ha sido labrado y mantenido limpio de vegetación por un período mayor a dos años (Wischmeier y Smith, 1978).

Existen varios métodos para estimar la erosionabilidad del suelo; Wischmeier *et al.,* (1971) propusieron una ecuación para determinar su valor, donde se incluyen los siguientes factores: porcentaje de limo + arena fina (partículas de 0.002 a 0.1 mm de diámetro); porcentaje de arena (partículas de 0.1 a 2.0 mm); contenido de materia orgánica (%); estructura; y permeabilidad. Los valores de los primeros cuatro parámetros son valores promedio para los primeros 20 cm y se estiman en laboratorio, a partir de análisis de muestras de suelo. La estructura y permeabilidad se determinan en campo considerando la valoración que se da en un nomograma a estructura en los primeros 20 cm y la permeabilidad en todo el perfil.

Los mismos autores proporcionan la solución gráfica a la ecuación, la cual fue modificada por Foster *et al.,* (1981) para su uso con Unidades

del Sistema Métrico Internacional (Figura 8). Ahí podemos observar que la variación de la estructura se expresa con un código que varía de 1 a 4 y de 1 a 6 para expresar la clasificación de permeabilidad. Los valores asignados a estas dos propiedades físicas del suelo se presentan en los Cuadros 6 y 7. Este método para estimar erosionabilidad presenta limitaciones para su uso y es necesario considerar las siguientes recomendaciones:

Cuadro 6: Valores asignados a la estructura para su uso en el nomograma de erosionabilidad.

CÓDIGO	CLASE DE ESTRUCTURA	TAMAÑO (mm)
1	Granular muy fina y grumosa muy fina	< 1
2	Granular fina y grumosa fina	1 – 2
3	Granular media, grumosa media y granular gruesa	2 – 10
4	Laminar, prismática, columnar, masiva, bloques y granular muy gruesa	>10

FUENTE: Wischmeier y Smith, 1978.

Cuadro 7: Códigos de permeabilidad para su uso en el nomograma de erosionabilidad.

CÓDIGO	CLASIFICACIÓN	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (cm/hr)
1	Muy rápida	> 12.5
2	Moderadamente rápida	6.0 - 12.5
3	Moderada	2.0 - 6.0
4	Moderadamente lenta	0.5 - 2.0
5	Lenta	0.125 - 0.5
6	Muy lenta	< 0.125

FUENTE: Wischmeier y Smith, 1978.

- El nomograma es útil cuando el contenido de limos más arenas muy finas es menor de 70%, lo cual incluye a la mayoría de los suelos, pero excluye a algunos suelos clasificados como “franco-limosos“ en el triángulo de texturas, especialmente cuando tienen bajo contenido de arcilla; de igual forma, dejan fuera a los clasificados como “limos” ya que su contenido de limo es mayor a 85%.
- Cuando los suelos presentan contenidos de materia orgánica superiores a 4%, en el nomograma debe usarse la curva de 4%, es decir no se debe extrapolar.
- Los valores de K obtenidos en el nomograma varían de 0.003 a 0.10. Es conveniente usar clases de valores de K; esto es: 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09 y 0.10.
- El valor de K se debe ajustar si existen fragmentos gruesos en la superficie del terreno. El valor de K para suelos con alto contenido de fragmentos gruesos se reduce en una o dos clases. Si el contenido de fragmentos gruesos es muy alto se reducen dos o tres clases (Figueroa *et al.,* 1991).

Con el uso de este nomograma se determinan valores promedio anuales del factor K, sin embargo, es necesario indicar que este factor presenta variaciones de una estación a otra o durante el ciclo de desarrollo del cultivo.

Se han propuesto otros índices para erosionabilidad, tales como el índice australiano (Lindsay y Gumbs, 1982) que relacionan la textura, estructura y estabilidad de agregados con un factor de transmisión de agua, que es a su vez una función de la raíz cuadrada de la infiltración, permeabilidad horizontal y capacidad de retención de humedad.

Cuando no se cuente con los datos necesarios de suelos para utilizar el nomograma, la FAO propuso un método sencillo para estimar el Factor K (FAO, 1980), donde se utiliza la unidad de clasificación del suelo

FAO/UNESCO y la textura como parámetros para determinar K (Cuadro 8), debiendo realizar un ajuste para las fases gravosa o pedregosa. La ventaja de este método radica en su sencillez y en la disponibilidad de la información, considerando que los mapas de edafología escala 1:50,000 publicados por la Dirección de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL) (INEGI), contienen esta información (unidad de suelo, grupo textural y fase gravosa o pedregosa). El procedimiento que se sigue es el siguiente:

- Determinar la unidad de suelo o grupo de unidades de suelos asociados entre sí, tal y como se presenta en los mapas de suelos de DETENAL (INEGI).
- Determinar la clase textural que presenta la unidad o grupo de suelos asociados entre sí, tal como se presentan en esos mapas.
- Una vez determinada la unidad de suelo y la clase de textura obtener el valor correspondiente de erosionabilidad de acuerdo al Cuadro 8.
- En aquellos suelos que están formados con dos o más unidades de suelo, se obtiene el valor de K, de cada unidad de suelo que forma la asociación y se procede a realizar una ponderación.

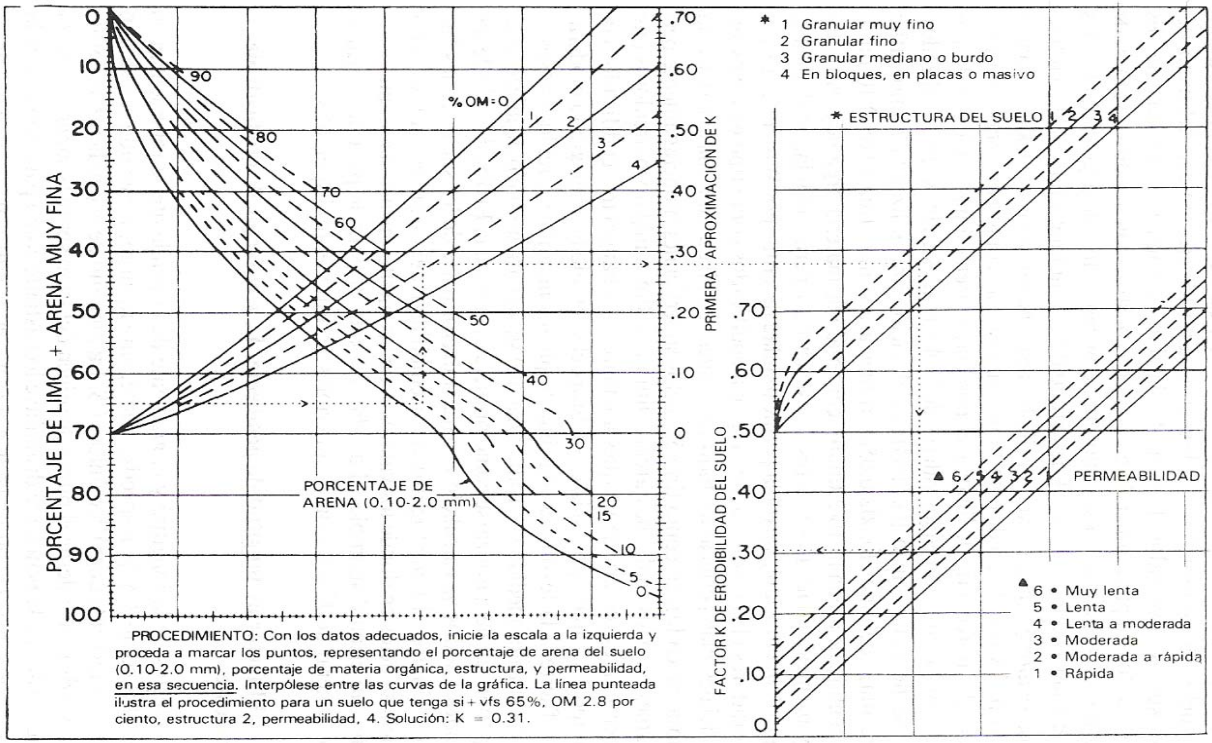


Figura 8. Nomograma para determinar la erosionabilidad del suelo (Fuente: Kirkby y Morgan, 1984)

Cuadro 8. Valores del Factor de Erosionabilidad (K) en función de la unidad de suelo y su textura superficial.

Unidades y subunidades de suelo de acuerdo a la clasificación de la FAO		**Textura**		
Símbolo	**Nombre**	**Gruesa**	**Media**	**Fina**
A	Acrisol	0.026	0.040	0.013
Af	Acrisol férrico	0.013	0.020	0.007
Ag	Acrisol gléyico	0.026	0.030	0.013
Ah	Acrisol húmico	0.013	0.020	0.007
Ao	Acrisol órtico	0.026	0.040	0.013
Ap	Acrisol plíntico	0.053	0.079	0.026
B	Cambisol	0.026	0.040	0.013
B (c,d,e,k)	Cambisol crómico, dístrico, éutrico, cálcico	0.026	0.040	0.013
Bf	Cambisol férrico	0.013	0.020	0.007
Bg	Cambisol gléyico	0.026	0.040	0.013
Bh	Cambisol húmico	0.013	0.020	0.007
Bk	Cambisol cálcico	0.026	0.040	0.013
B (v,x)	Cambisol vértico, xérico)	0.053	0.079	0.026
C (h,k,l)	Chernozem (háplico, cálcico y lúvico)	0.013	0.020	0.007
D (d,g,e)	Podzoluvisol (dístrico,gléyico, éutrico)	0.053	0.079	0.026
E	Rendzina	0.013	0.020	0.007
F(a,h,p,o)	Ferrasol (ácrico, húmico, plíntico, ócrico)	0.013	0.020	0.007
G	Gleysol	0.026	0.040	0.013
Gc	Gleysol calcárico	0.013	0.020	0.007
G (d,e)	Gleysol dístrico éutrico	0.026	0.040	0.013
G(h,m)	Gleysol húmico, mólico	0.013	0.020	0.007
G(p,x)	Gleysol plíntico, gélico)	0.053	0.079	0.026
Gv	Gleysol vértico	0.053	0.079	0.026
H(c,g,h,l)	Feozem calcárico, gléyico, háplico, lúvico)	0.013	0.020	0.007
I	Litosol	0.013	0.020	0.007
J	Fluvisol	0.026	0.040	0.013
Jc	Fluvisol calcárico	0.013	0.020	0.007

Unidades y subunidades de suelo de acuerdo a la clasificación de la FAO		Textura		
Símbolo	**Nombre**	**Gruesa**	**Media**	**Fina**
Jd	Fluvisol dístrico	0.026	0.040	0.013
Je	Fluvisol eútrico	0.026	0.040	0.013
Jt	Fluvisol tiónico	0.053	0.079	0.026
Jp	Fluvisol plíntico	0.053	0.079	0.026
K (h,k,l)	Kastañosem (húmico, cálcico y lúvico)	0.026	0.040	0.013
L	Luvisol	0.026	0.040	0.013
La	Luvisol álbico	0.053	0.079	0.026
Lc	Luvisol crómico	0.026	0.040	0.013
Lf	Luvisol férrico	0.013	0.020	0.007
Lg	Luvisol gléyico	0.026	0.040	0.013
Lk	Luvisol cálcico	0.026	0.040	0.013
Lo	Luvisol órtico	0.026	0.040	0.013
Lp	Luvisol plíntico	0.053	0.079	0.026
Lv	Luvisol vértico	0.053	0.079	0.026
M (a,g)	Greysem (ácrico, gléyico)	0.026	0.040	0.013
N (d,e,h)	Nitosol (dístrico, éutrico, húmico)	0.013	0.020	0.007
O (d,e,x)	Histosol (dístrico, éutrico, gélico)	0.013	0.020	0.007
P	Podzol	0.053	0.079	0.026
Pf	Podzol férrico	0.053	0.079	0.026
Pg	Podzol gléyico	0.053	0.079	0.026
Ph	Podzol húmico	0.026	0.040	0.013
Po	Podzol órtico	0.053	0.079	0.026
Pp	Podzol plácico	0.053	0.079	0.026
Q (a,c,f,l)	Arenosol (álbico, cámbico, ferrálico, lúvico)	0.013	0.020	0.007
R	Regosol	0.026	0.040	0.013
Re	Regosol éutrico	0.026	0.040	0.013
Rc	Regosol calcárico	0.013	0.020	0.007
Rd	Regosol dístrico	0.026	0.040	0.013
Rx	Regosol gélico	0.053	0.079	0.026
S	Solonetz	0.053	0.079	0.026

Unidades y subunidades de suelo de acuerdo a la clasificación de la FAO		Textura		
Símbolo	**Nombre**	**Gruesa**	**Media**	**Fina**
Sg	Solonetz gléyico	0.053	0.079	0.026
Sm	Solonetz mólico	0.026	0.040	0.013
So	Solonetz órtico	0.053	0.079	0.026
T	Andosol	0.026	0.040	0.013
Th	Andosol húmico	0.013	0.020	0.007
Tm	Andosol mólico	0.013	0.020	0.007
To	Andosol ócrico	0.026	0.040	0.013
Tv	Andosol vítrico	0.026	0.040	0.013
U	Ranker	0.013	0.020	0.007
V(c,p)	Vertisol (crómico, pélico)	0.053	0.079	0.026
W	Planosol	0.053	0.079	0.026
Wd	Planosol dístrico	0.053	0.079	0.026
We	Planosol éutrico	0.053	0.079	0.026
Wh	Planosol húmico	0.026	0.040	0.013
Wm	Planosol mólico	0.026	0.040	0.013
Wx	Planosol gélico	0.053	0.079	0.026
X(k,h,l,g)	Xerosol (cálcico, háplico, lúvico, gypsico)	0.053	0.079	0.026
Y(h,k,l,g,t)	Yermosol (háplico, cálcico, lúvico, gípsico,takírico)	0.053	0.079	0.026
Z	Solonchak	0.053	0.040	0.013
Zg	Solonchak gléyico	0.026	0.040	0.013
Zm	Solonchak mólico	0.013	0.020	0.007
Zo	Solonchak órtico	0.026	0.040	0.013
Zt	Solonchak takírico	0.053	0.079	0.026

3.4.3. Longitud (L) y Grado (S) de la pendiente

La pendiente del terreno afecta los escurrimientos superficiales imprimiéndoles velocidad. El tamaño de las partículas así como la cantidad de material que el escurrimiento puede desprender o llevar en suspensión, son una función de la velocidad con la que el agua fluye sobre la superficie. A su vez, la velocidad depende del grado y longitud de la

pendiente (Ríos, 1987). En igualdad de condiciones, conforme se incrementa el grado de la pendiente, el agua fluye más rápido y en consecuencia el tiempo para la infiltración del agua al suelo es menor.

La longitud de la pendiente está definida por la distancia del punto de origen del escurrimiento superficial al punto donde cambia el grado de pendiente. La acumulación del volumen escurrido a lo largo de la pendiente, incrementa la capacidad de desprendimiento y transporte del escurrimiento (Wischmeier y Smith, 1978). Estos autores propusieron en 1965 una ecuación para estimar L:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^{m}$$

En donde:

L = Factor longitud de la pendiente (adimensional)

λ = Longitud de la pendiente (metros)

m = Coeficiente que depende del grado de la pendiente (varía de 0.2 a 0.5, tal como se aprecia en el Cuadro 9).

Cuadro 9. Valores que toma m en función del grado de pendiente.

Grado de pendiente (%)	Valor de m
< 1	0.2
1 - 3	0.3
3 - 5	0.4
> 5	0.5

Fuente: Fuente: Wischmeier y Smith, 1978.

El grado de pendiente es importante porque a medida que el grado de inclinación se incrementa, las pérdidas de suelo también aumentan (McCool et. al., 1987).

La relación para obtener el factor S (grado de pendiente) es la siguiente:

$$S = 0.065 + 0.45\,s + 0.0065\,s^2$$

En donde:

S = Factor por grado de pendiente (adimensional)

s = Grado de pendiente (%)

Los factores L y S de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, pueden ser calculados en forma combinada (LS) a partir de la siguiente ecuación:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^{m} \quad (0.065+0.045s+0.0065s^2)$$

El producto de los cuatro factores descritos hasta ahora (R, K, L, y S), le dan magnitud al nivel potencial de erosión laminar y en arroyuelos de un suelo, es decir, estiman la erosión media anual para una área en barbecho continuo y sin vegetación.

3.4.4. Factor por cubierta vegetal (C)

La cobertura del suelo es el factor más importante en el control de la erosión hídrica. La cubierta vegetal, comprende a la vegetación (natural o cultivada) y los residuos de cosecha. Tiene efectos benéficos en la reducción de las pérdidas de suelo ya que le brinda protección contra la acción de los agentes erosivos.

Una cubierta vegetal abundante reduce la erosión a límites aceptables. La eficiencia de la vegetación para reducir la erosión depende de la altura y continuidad de la cubierta vegetal aérea, de la densidad de la cobertura en el suelo y de la densidad de raíces (Figueroa *et al.*, 1991); los bosques son los más efectivos, aunque un pastizal en buenas condiciones puede tener la misma eficiencia (Loredo, 1994). Los efectos de la vegetación varían de acuerdo al suelo y el clima, así como a la estación de crecimiento de las plantas, clase de raíces, características del follaje, tipo de residuos que originan y grado de maduración.

En las zonas áridas y semiáridas, cuando la cobertura basal es mayor al 70% la erosión hídrica es insignificante (Loredo *et al*., 2000). Sin embargo, estas zonas son las que presentan una mayor vulnerabilidad a la erosión, debido a la remoción de la cubierta vegetal natural por pastoreo o apertura de tierras al cultivo (Martínez y Fernández, 1983).

La cobertura vegetal que incluye la vegetación en pie y los residuos sobre la superficie, reduce la erosión en tres formas: 1) proporciona protección al suelo contra el impacto directo de las gotas de lluvia, las cuales producen el salpicado; 2) reduce la velocidad del escurrimiento por el incremento en la rugosidad superficial; y 3) afecta la estructura y porosidad del suelo en la superficie y perfil del suelo (Wischmeier y Smith, 1965; Figueroa, 1975; Ríos, 1987), ya que incrementa el contenido de materia orgánica, la estabilidad de agregados, la capacidad de infiltración, y reduce la densidad aparente, entre otros efectos (Loredo *et al.*, 1996).

Los efectos sobre la estructura del suelo se aprecian en el efecto sujetador del sistema radical sobre las partículas en el perfil del suelo, lo cual es favorecido con la descomposición de las raíces, incrementando el contenido de materia orgánica y dejando cavidades tubulares que mejoran el movimiento del aire y agua en el suelo. Con relación al efecto de los residuos de cosecha sobre el control de la erosión, éste varía de acuerdo a la cantidad, distribución y durabilidad de los mismos, así como al grado, eficiencia y rapidez de la protección al suelo, dependen del manejo que se de a dichos residuos (Mannering y Meyer, 1963).

En la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), este factor se ha definido como la relación entre las pérdidas de suelo que se producen bajo un determinado uso (cultivo o vegetación perenne) bajo determinadas condiciones de manejo y las pérdidas correspondientes en ese mismo suelo bajo barbecho contínuo. El factor C es considerado factor atenuante y toma valores de 0 a 1, correspondiendo el valor de la unidad al suelo que está desnudo, sin cobertura vegetal y en barbecho. El valor de C en la Ecuación es multiplicativo y a medida que aumenta la cobertura vegetal en densidad y frecuencia, el valor de C tiende a disminuir. Algunos valores de C se presentan en el Cuadro 9.

Cuadro 10. Valores de C que se pueden utilizar para estimar pérdidas de suelo en la EUPS.

Cultivo	**Nivel de Productividad.**		
	Alto	**Moderado**	**Bajo**
Maíz	0.54	0.62	0.80
Maíz labranza cero	0.05	0.10	0.15
Maíz rastrojo	0.10	0.15	0.20
Algodón	0.30	0.42	0.49
Pastizal	0.004	0.01	0.10
Alfalfa	0.020	0.050	0.10
Trébol	0.025	0.050	0.10
Sorgo grano	0.43	0.55	0.70
Sorgo grano rastrojo	0.11	0.18	0.25
Soya	0.48		
Soya después de maíz con rastrojo	0.18		
Trigo	0.15	0.38	0.53
Trigo rastrojo	0.10	0.18	0.25
Pastizal en buenas condiciones	0.01	0.054	
Pastizal sobrepastoreado	0.1	0.22	
Maíz- sorgo, mijo	0.4 a 0.9		
Arroz	0.1 a 0.2		
Algodón, tabaco	0.5 a 0.7		
Cacahuate	0.4 a 0.8		
Palma, cacao, café	0.1 a 0.3		
Piña	0.1 a 0.3		

Fuente: www.sagarpa.gob.mx/sdr/apoyos/publicaciones/dctos_excell/1estim-erosion.xls

En el caso de zonas semiáridas Osuna *et al*., (2006), señalan que en un sistema de producción integral, los valores de C son los siguientes: 0.542 para maíz; 0.522 para frijol; 0.377 para avena; 0.260 para pastizales; 0.400 para nopal; y, 0.285 para la rotación maíz-frijol-avena-maíz.

3.4.5. Factor por prácticas mecánicas (P)

Las prácticas mecánicas o manejo del terreno son un factor atenuante del proceso erosivo. Su principal objetivo es controlar los escurrimientos superficiales para disminuir la erosión hídrica en terrenos con pendiente. En la EUPS el valor de P varía de 0 a 1 e indica el valor de la práctica de conservación al compararse con un terreno continuamente barbechado en el sentido de la pendiente (adimensional). Algunos valores de P para las condiciones de México fueron obtenidos por Trueba (1981) y adaptados por la SAGARPA (2005) (Cuadro 11).

Cuadro 11. Valores de P que se pueden utilizar para estimar pérdidas de suelo en la EUPS.

Práctica mecánica	Valor de P
Surcado al contorno*	0.75
Surcos rectos	0.8
Fajas en contorno*	0.6
Terrazas (2-7% de pendiente)*	0.5
Terrazas (7-13 % de pendiente)	0.6
Terrazas (mayor de 13 %)	0.8
Terrazas de banco*	0.1
Surcado lister*	0.5
Ripper	0.6
Terrazas de Zing	0.1

Fuente: www.sagarpa.gob.mx/sdr/apoyos/publicaciones/dctos_excell/1estim-erosion.xls

*** Una descripción de estas prácticas se presenta en el Anexo 2.**

Es importante notar que la eficiencia que se logra con el uso de las prácticas mecánicas es menor que la que se alcanza con el uso de la vegetación y el manejo del cultivo, sin embargo cuando se combinan el uso de la vegetación y la práctica mecánica existe un doble efecto. Para determinar el efecto de las prácticas de manejo y de las obras de conservación del suelo, es necesario seleccionar las prácticas de manejo

de la vegetación y como última instancia se realizarían las prácticas mecánicas (Morgan, 1986).

El procedimiento descrito hasta ahora es útil para estimar la erosión a nivel local o parcelario. Cuando se requiere determinar el riesgo a la erosión de una superficie mayor a 10000 ha, es conveniente apoyarse en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Capítulo 4

EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA: MICROCUENCA PORTEZUELO

4.1. INTRODUCCIÓN

La optimización de las investigaciones para el uso de los recursos a nivel microcuenca requiere una evaluación de tierras, identificando las áreas más vulnerables a la erosión y las tierras más marginales por precipitación escasa, en las cuales la productividad puede ser mejorada realizando esfuerzos para la conservación del suelo y agua. Se requiere de extensa información y colección de datos específicos para cada sitio. Los sistemas de información geográfica (SIG) ofrecen las herramientas para manejar un volumen de datos necesarios para priorizar la investigación en la predicción del riesgo a la erosión (Bell *et al.,* 1993).

En este capítulo se presenta la aplicación de los SIG para la evaluación del riesgo a la erosión hídrica aplicando el modelo Ecuación Universal de Pérdida de Suelo descrito en el capítulo anterior. Para tal fin, primero se describe la metodología utilizada en el proyecto *"Evaluación de tierras para el manejo integrado de microcuencas hidrológicas en San Luis Potosí"* y se ejemplifica con la caracterización realizada a una de las 32 microcuencas incluidas en el proyecto.

4.2. ANTECEDENTES

Los SIG se han desarrollado en los últimos años como procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente georeferenciados para resolver problemas complejos de

planificación y gestión (Bosque, 1992). El uso potencial de los SIG ha ganado un gran reconocimiento en el manejo y planeación de los recursos. Los SIG son bases de datos con algún tipo de componente espacial. Esto significa que la información que almacenan está referenciada geográficamente (así se trate de mapas, estadísticas o datos climáticos), sobre un territorio concreto, por lo que todas estas variables pueden relacionarse mutuamente de diversas formas.

La información que contienen los SIG se almacenan en formato digital, por lo cual se aprovechan las posibilidades analíticas de los ordenadores, facilitando múltiples operaciones que resultan difícilmente accesibles por medios convencionales. Dentro de estas operaciones se puede mencionar la integración de variables espaciales, análisis de vecindad, etc. (Zárate, 1998). Los SIG permiten almacenar esa información espacial en forma eficiente, facilitando su actualización y acceso directo al usuario. Amplían considerablemente las posibilidades de análisis que brindan los mapas convencionales, además de facilitar su almacenamiento y visualización.

Los SIG pueden ser una herramienta en la evaluación de la degradación del suelo (Estrada-Berg, 1995). En las las zonas áridas y semiáridas han sido utilizados para ese fin (Echavarría y Serna, 2007) y específicamente pueden ser usados para obtener mapas de riesgo a la erosión hídrica (Loredo *et al.,* 2006). Estos mapas pueden ser útiles como instrumento para la toma de decisiones sobre las políticas a seguir en una microcuenca para el manejo adecuado de los recursos suelo, agua y vegetación.

4.3. APLICACIÓN DE LOS SIG EN ESTUDIOS DE EROSIÓN EN SAN LUIS POTOSÍ

La metodología utilizada, para evaluar el riesgo a la erosión en 32 microcuencas del estado de San Luis Potosí, se basó en la aplicación de conceptos y herramientas de los SIG, utilizando el modelo conocido como Ecuación Universal de la Pérdida del Suelo (Wischmeier y Smith, 1978), adaptado por la FAO (1980), tomando a la microcuenca como unidad de planeación (Figura 9). El riesgo a la erosión se estimó en el orden que se muestra en el Cuadro 12.

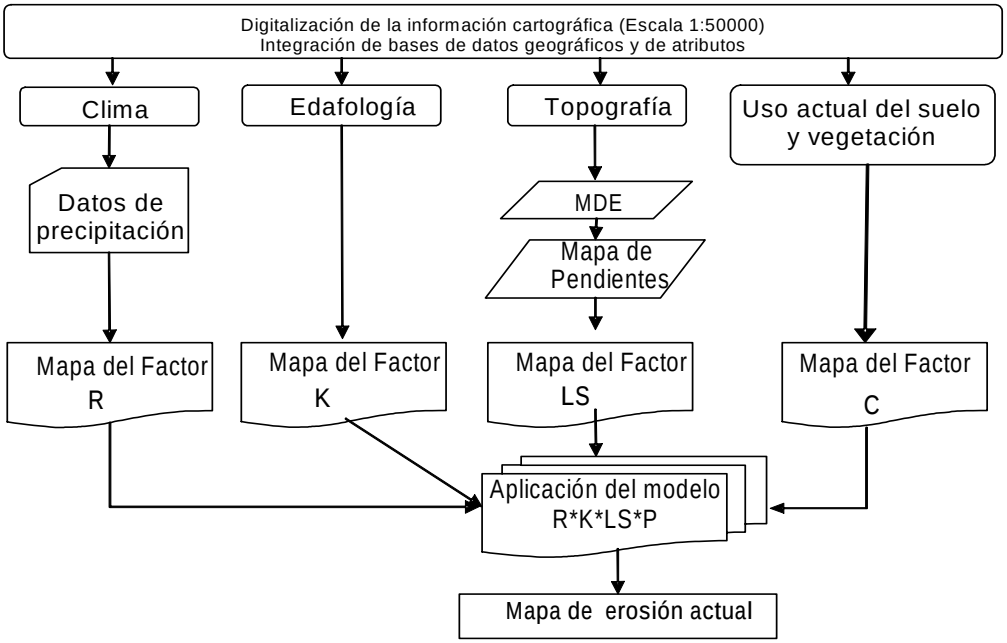


Figura 9. Diagrama de flujo para la obtención de mapas de riesgo a la erosión actual.

Cuadro 12. Orden en el cual se evaluó el riesgo a la erosión hídrica.

	Tipo de erosión	**Factores de la EUPS**
1º	Erosión Potencial.	RKLS
2º	Erosión Actual.	RKLSC
3º	Erosión con manejo de la cobertura vegetal.	$RKLSC_1$
4º	Erosión con manejo de cobertura vegetal y prácticas mecánicas.	$RKLSC_1P$

El proceso consistió en hacer un inventario edafoclimático y uso actual del suelo en cada una de las microcuencas; para tal efecto se consideró la variación espacial de los elementos tales como el clima (precipitación media anual), edafología, topografía (a través del modelo de elevación digital, editado por INEGI en 2003), uso actual (vegetación) y actividades productivas para el área donde se circunscriben las microcuencas.

Los factores RKLS le dieron magnitud a la erosión potencial; al incluir el efecto de la cobertura actual (C), se estimó la erosión actual; al incluir el factor C_1 correspondiente al valor de C con manejo adecuado, se estimó la erosión con prácticas de manejo de cobertura; finalmente al multiplicar $RKLSC_1P$, se obtuvo la erosión esperada en caso de contar con manejo de cobertura y prácticas mecánicas.

La información se recopiló de cartas temáticas impresas de INEGI (antes DETENAL) (1973, 1974, 1978), escala 1:50000, usando el software ARC/INFO™ estación de Trabajo (ESRI, 1995) y ARCVIEW™(♣); se trabajó en formatos vector y raster, este último se manejó a una resolución

♣ Arcview GIS es un Software comercial de la compañía ESRI (por sus siglas en inglés: Environmental Systems Research Institute). Permite acceder, desplegar, consultar, analizar y modificar datos geográficos (ESRI, 1998).

del píxel de 50 m x 50 m; generando bases de datos geográficos y de atributos de acuerdo a cada capa de información. Posteriormente se realizaron superposiciones de las diferentes capas mediante operaciones de álgebra de mapas, obteniendo mapas finales como resultado de la aplicación del modelo EUPS.

Obtención del valor de R. En la evaluación de riesgo a la erosión de las microcuencas de San Luis Potosí, se aplicaron dos de las 14 ecuaciones propuestas por Cortés (1991) y presentadas en párrafos anteriores: la ecuación 4: $Y = 2.89594x + 0.002983x^2$ correspondió a 51 microcuencas ubicadas en el Altiplano y la ecuación 13: $Y= 10.74273x - 0.001008x^2$ se aplicó en una microcuenca ubicada en la Huasteca Potosina.

En ambas ecuaciones, el valor de x (precipitación media anual) se obtuvo a partir del programa SICLIM que cuenta con información climática actualizada hasta el año 2000. Para ello, inicialmente se realizó una depuración de las estaciones, dejando fuera las que no contaran con al menos 15 años de información. Fueron validadas 136 estaciones (Medina *et al.,* 2005). Con su información se generaron los mapas de precipitación media anual, a partir de la interpolación de los datos en el sistema de información geográfica ARCVIEW, mediante el método de inverso de la distancia al cuadrado IDW, recurriendo a 6 estaciones vecinas para la interpolación.

Obtención del valor de K. En el caso de las microcuencas de San Luis Potosí, se digitalizaron los mapas de edafología escala 1:50000 DETENAL (1973, 1974, 1978), utilizando el programa ARC/INFO™ estación de trabajo; se generaron las bases de datos de suelo, con un formato vectorial y un sistema de bases de datos compatibles con ARCVIEW™; para su posterior procesamiento en el cálculo de la erosión potencial y actual, utilizando el Sistema de Evaluación y Diagnóstico Ecológico para el Ordenamiento del Territorio (SEDEOT), a partir de los parámetros propuestos por FAO.

Obtención de los valores L y S. Estos factores fueron estimados utilizando el Sistema de Evaluación y Diagnóstico Ecológico para el Ordenamiento del Territorio (SEDEOT) Sistema programado para el cálculo de las variables LS en ARCVIEW a partir de los parámetros propuestos por FAO, con apoyo de un modelo de elevación digital (INEGI, 2003) con una resolución de 50 metros.

El producto de los factores de riesgo (R, K, L y S) para el caso de las microcuencas, proporciona una estimación de la erosión laminar hídrica en toneladas/hectárea/año y representa el riesgo anual de las tierras evaluadas a sufrir este proceso. Una vez que se estima la pérdida potencial de suelo, ésta se compara con la pérdida permisible (LPE) y de resultar más alta, se procede a seleccionar una o más prácticas de manejo o cambio de cultivo o práctica mecánica por realizar, considerando que las decisiones de manejo del suelo y de la cobertura vegetal generalmente tienen influencia sobre la pérdida de suelo por afectar a los factores C y P de la EUPS.

4.4. CASO MICROCUENCA PORTEZUELO, CERRO DE SAN PEDRO, S.L.P.

4.4.1. Caracterización de la microcuenca

La microcuenca Portezuelo del municipio de Cerro de San Pedro, del estado de San Luis Potosí, se encuentra situada en el Altiplano Potosino entre los paralelos 22º 06’ 44’’ y 22° 16’ 8’’ de latitud Norte, y entre los meridianos 100º 42’ 12’’ y 100° 54’ 36’’ Longitud W de Greenwich y con una altura sobre el nivel del mar de 2,040 metros. Sus límites son: al norte y al oeste con el municipio de Soledad de Graciano Sánchez; al este el municipio de Armadillo de los Infante; al sur el municipio de San Luis Potosí (Noyola, 2005).

La microcuenca se encuentra integrada por 24 localidades (Cuadro 13); la mayor concentración de población se localiza en Portezuelo con 1,048 habitantes. Otros poblados que tienen más población que la

cabecera municipal de Cerro de San Pedro son: Jesús María, Ejido de Calderón, Divisadero, Monte Caldera y Joyita de la Cruz.

Cuadro 13. Localidades de la microcuenca Portezuelo y características principales de su población.

Localidad	Población total	Población masculina	Población femenina	PEA*	Total de viviendas habitadas
Calderón	117	62	55	32	23
Divisadero	136	61	75	23	29
El Tecolote	30	14	16	5	4
Garrochitas	15	6	9	2	4
Granjas de la Florida	119	64	55	47	28
Granjas de San Pedro	111	61	50	31	27
Hacienda de la Morena	10	5	5	0	2
Hull Lugo	3	2	1	0	1
Jesús María	111	50	61	33	28
Joyita de la Cruz	243	134	109	65	53
La Luz (Rodríguez Gaitán)	19	11	8	5	4
La Morena	84	41	43	19	19
La Tinaja	35	16	19	8	8
Las Granjas	3	2	1	0	2
Las Mercedes	4	2	2	0	1
Las Trojes	26	11	15	5	6
Monte de Caldera	236	115	121	53	42
Panalillo	535	264	271	164	93
Paso Colorado	55	30	25	10	11
Portezuelo	1043	503	540	342	216
Rancho Blanco	4	2	2	0	1
Rancho las Águilas	4	2	2	0	1
Real del Potosí	381	198	183	130	96
Tanque Prieto	9	3	6	3	3

Fuente: XII Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2000).

Clima. Para la descripción del clima se tomó como referencia información generada en la estación climatológica Armadillo de los Infante localizada a los 22º 14' 35" LN y 100º 39' 16"LW a 1,636 m sobre el nivel del mar (Figura 10). El clima es de tipo seco estepario templado, con temperatura media anual de 16º C, con una máxima absoluta de 35º C y una mínima absoluta de 7º C; La precipitación media anual es de 304.5 mm; el período de lluvias es de junio a septiembre, ocasionalmente llueve en octubre. Las temperaturas más bajas se presentan de octubre a abril y las más altas de mayo a septiembre.

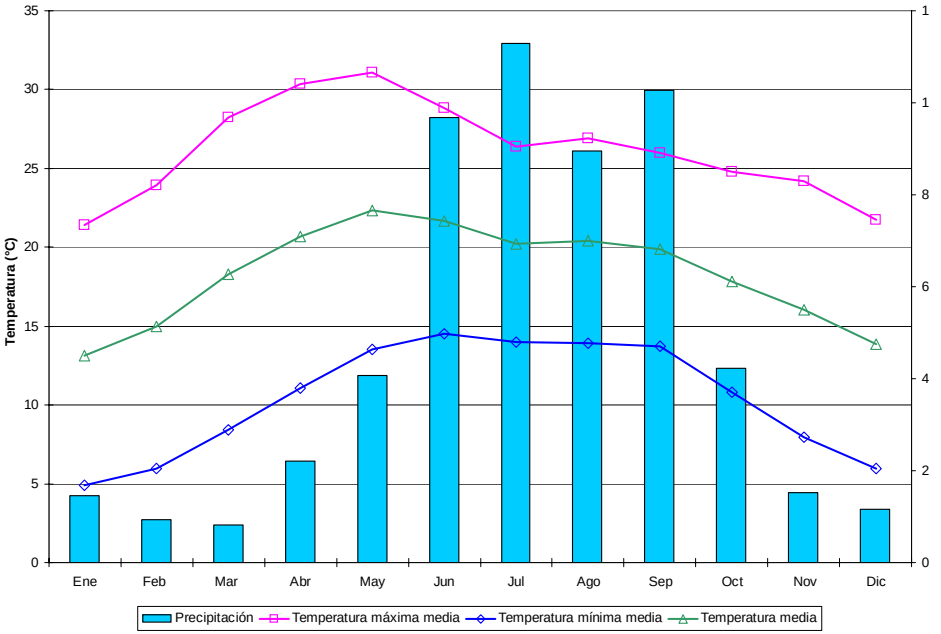


Figura 10. Distribución de la precipitación y temperatura de la estación Armadillo de los Infante, Mpio. Armadillo de los Infante (Fuente: Medina *et al.,* 2005).

En la zona existen zonas áridas y semiáridas entendiendo que las zonas áridas son consideradas como aquellas regiones cuya precipitación pluvial es menor de 300 mm al año, mal distribuidas durante el ciclo agrícola y con la presencia de no menos de 7 meses de sequía y su cubierta vegetal es menor del 70%, dominando principalmente especies suculentas características de estas regiones. Cuando la precipitación es entre 300 y 500 mm anuales con períodos de solo 3 a 6 meses de sequía y con una cubierta vegetal mayor del 70% se les cataloga como zonas semiáridas.

Hidrología. Existen muchos arroyos en la microcuenca siendo todos de carácter intermitente, los más significativos son: al norte los arroyos el Salado, El Hundido, La Escondida, el Paso del Borrego, las Jarillas y el Río Colorado; al sur los arroyos Colorado, El Encino, el Tecolote, y Río Monte Caldera; al este, los arroyos Tinajas, Jaguey Colorado, El Rincón del Becerro y al oeste: los arroyos Grande, el Rayo y el Salto.

Geología superficial. La microcuenca se encuentra asentada en terreno cerril el cual está constituido al norte por rocas sedimentarias y al sur por rocas volcánicas del tipo riolita.

Suelos. En la zona de estudio se presentan suelos enmontados localizados en las partes altas de los cerros, delgados, con poco desarrollo, asociados a pendientes pronunciadas y a continuos afloramientos rocosos; en las partes bajas de los cerros se localizan suelos de pie de monte y laderas asociadas a pequeñas terrazas de río, así como lomeríos cuyas pendientes son menores o suaves; a medida que desciende a la parte más baja los suelos son de mayor continuidad y profundidad media, encontrándose en las partes bajas suelos generalmente planos, profundos, y con escasa pedregosidad superficial.

La unidad de suelo dominante es litosol de textura media, con pendientes de 8% al 20%.; este tipo de suelo por sí solo ocupa 37% de la superficie; y, en forma asociada con otras unidades ocupa 22% por lo cual se puede señalar que los litosoles se encuentran distribuidos en 60% del área bajo

estudio (Cuadro 14). Esto está relacionado con la topografía si consideramos que los litosoles son suelos superficiales poco desarrollados sin horizontes de diagnóstico, que se encuentran sobre zonas con fuertes pendientes, las cuales abundan en la zona de estudio.

La mayor parte de los suelos son del tipo litosol Al suroeste se ubica una zona constituida por suelos del tipo xerosol háplico donde se localiza una porción de suelo medianamente salino. En la región sureste de la microcuenca, se encuentran unidades de suelo castañozem y feozem háplico asociadas al litosol (Figura 11).

Los suelos del tipo litosol ocupan 65.9% de la superficie de la microcuenca. Son muy someros (menos de 10 cm) y pedregosos, de poco desarrollo. Su formación se lleva a cabo sobre rocas consolidadas y su ubicación topográfica se asocia a las zonas montañosas; son altamente susceptibles a la erosión. Tienen potencial agrícola limitado; se usan para pastoreo extensivo limitado. Se les encuentra solos o asociados a suelos de los tipo rendzina, feozem o castañozem.

Los del tipo xerosol ocupan 17.5% de la superficie de la microcuenca. Son suelos propios de zonas áridas y semiáridas en donde la deficiencia de humedad impide el lavado de sales y carbonatos solubles; los aportes de materia orgánica son mínimos. Generalmente presentan en el perfil acumulaciones de carbonatos de calcio. Su potencial agrícola puede ser alto si se cuenta con riego; aun caundo en ese caso, se incrementa el riesgo a la salinización y encostramiento superficial, dado que el arrastre de sales se presenta hacia la superficie del suelo por los altos índices de evaporación. También se usan para pastoreo extensivo.

Los suelos feozem (16.1% de la superficie de la microcuenca), se forman sobre materiales no consolidados, relativamente profundos (hasta 125 cm), con un desarrollo medio; no presentan acumulaciones de calcio en el perfil; los aportes de materia orgánica son mayores que en los xerosoles y le imprimen un color oscuro a la capa superficial del suelo, además de hacerla suave y esponjosa.

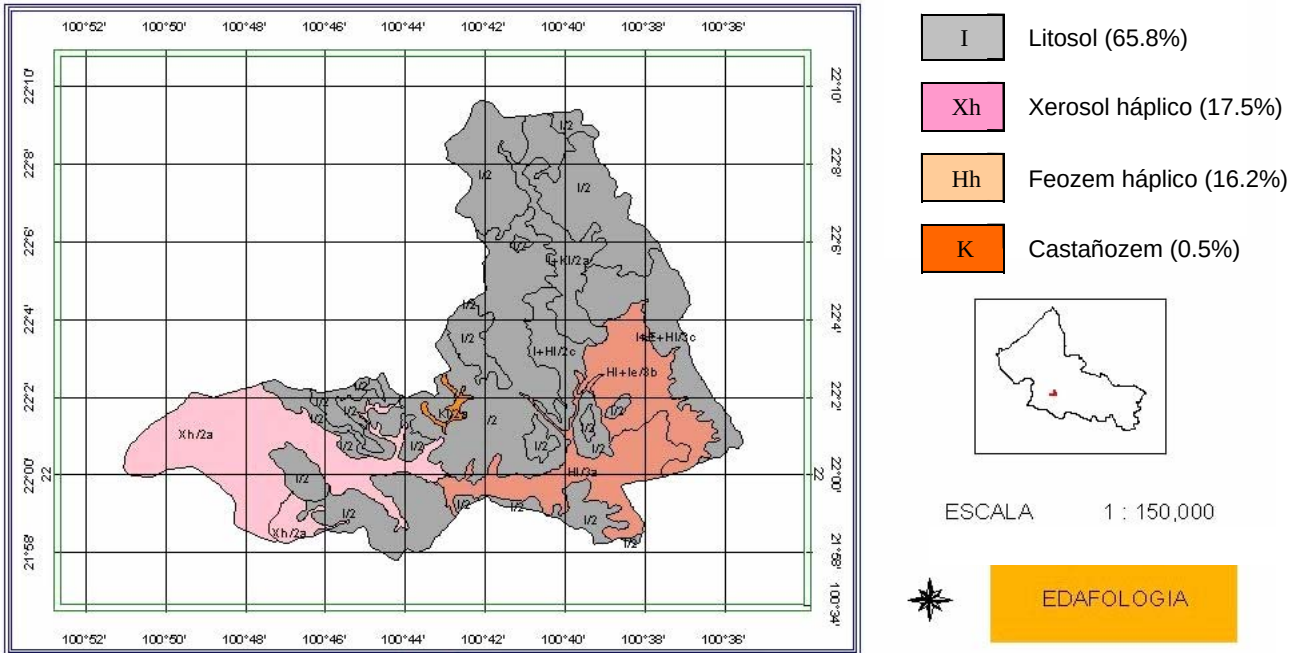


Figura 11. Mapa de edafología de la microcuenca Portezuelo, Cerro de San Pedro, S.L.P.

Cuadro 14. Unidades de suelo encontradas en la microcuenca Portezuelo, Mpio de Cerro de San Pedro, S.L.P. y superficie que ocupan.

Unidad de suelo		Descripción	Superficie	
Clave	**denominación**		**ha**	**%**
Hl/3a	Feozem lúvico	Suelos feozem; relieve plano a ligeramente ondulado; con pendientes menores al 8%, con textura fina.	1133	8.4
Hl+I/3b	Feozem lúvico+ Litosol	Suelos feozem localizados en terreno cerril con pendientes entre 8 y 20%, con textura fina.	1035	7.7
I/2a	Litosol	Suelos litosoles, planos con relieve ligeramente ondulado, poco profundos; textura media.	2837	21.1
I/2b	Litosol	Suelos litosoles con relieve ondulado, pendientes mayores a 8% y menores a 20% con textura media.	2645	19.7
I/2c	Litosol	Suelos litosoles localizados en terreno con disección severa, con pendientes mayores al 20% y textura media.	1149	8.6
I+E+ Hl/3c	Litosol+ rendzina+ Feozem	Litosoles asociados con rendzina y feozem lúvico, en terreno cerril; pendiente mayor a 20%; textura fina.	1002	7.5
I+Hl/2c	Litosol+ feozem lúvico	Litosoles asociados con feozem luvico; relieve moderado, pendientes menores al 8%, con textura media.	434	3.2
I+Kl/2a	Litosol + castañozem lúvico	Asociación de litosol con castañozem; relieve ligeramente ondulado a plano, pendientes menores a 8%, con textura media.	786	5.8
Kl/2a	Castañozem lúvico	Suelo castañozem con relieve plano a ligeramente ondulado, con pendientes menores al 8%, textura media.	67	0.5
Xh+I/2a	Xerosol háplico+ litosol	Suelo xerosol con relieve plano a ligeramente ondulado, con pendientes menores de 8% con textura media asociado con litosoles.	2348	17.5
		TOTAL	13436	100.0

Fuente: Información digitalizada de la Carta F14A84 edafológica 1:50 000 INEGI, 1978.

La humedad no llega a ser excesiva, evitando la pérdida de nutrimentos por lixiviación; su potencial agrícola es alto. Los feozems profundos localizados en las partes planas, son fértiles y adecuados para actividades agrícolas o para la producción de forraje; los menos profundos, situados en laderas o pendientes, presentan como principal limitante la roca o alguna cementación muy fuerte en el suelo; estos tienen rendimientos bajos y se erosionan con más facilidad, sin embargo, se pueden utilizar para el pastoreo con resultados aceptables. El uso óptimo depende de las características del terreno y la disponibilidad de agua.

Su susceptibilidad a la erosión varía en función de su ubicación en el paisaje. En la microcuenca los suelos de la unidad feozem tienen como subunidad el tipo lúvico, los cuales son suelos con acumulación de arcilla en el subsuelo, son generalmente de color rojizo o pardo oscuro (INEGI, 2004), aunque también pueden presentar tonos pardos que no llegan a ser oscuros. Los lúvicos son suelos altamente erosionables cuando quedan desprovistos de vegetación.

Los castañozem (0.5% de la microcuenca), son suelos parecidos a los feozems; en los primeros 15 cm. de profundidad, tienen pH ligeramente alcalino, adecuado contenido de materia orgánica, son de color pardo o castaño, fértiles y poseen un horizonte superficial suave y mullido, así como materia orgánica abundante. La diferencia con los feozems es que se desarrollan bajo climas más secos, por lo cual pueden presentar pequeñas acumulaciones de carbonatos de calcio en el perfil. Tienen una fertilidad potencial alta, pero la limitación para su aprovechamiento es la escasez de agua. Pueden usarse también para pastoreo extensivo.

Uso actual del suelo o vegetación. El 28.7% de la superficie de la microcuenca se destina a la agricultura de temporal. La ganadería representa el principal uso del suelo (40% de la superficie se encuentra ocupada por pastizal natural solo o asociado a diferentes tipos de matorral). La superficie que presenta vegetación forestal no maderable del

tipo matorral (espinoso, inerme, subinerme, crasirosulifolio), así como chaparral, nopaleras e izotal, abarca 28.4% y solo 2.5% de la superficie se encuentra desprovista de vegetación y erosionada (Cuadro 15; Figura 12).

Cuadro 15. Uso actual del suelo de la microcuenca Portezuelo

Tipo de vegetación		**Superficie (ha)**	**%**
Ar (A-Sp-P)	Agricultura de riego	104.6	0.8
AtpA	Agricultura de temporal anual	3852.1	28.7
Atn	Agricultura de temporal nómada	4.1	0.0
Ch	Chaparra	458.7	3.4
CR-Iz	Matorral crasirosulifolio -izotal	9.0	0.1
Eh	Erosión hídrica	335.3	2.5
Me-No-CR	Matorral espinoso asociado con nopaleras y matorral crasirosulifolio	1081.8	8.1
Me-Pn-Ch	Matorral espinoso asociado a pastizal natural y chaparral	316.3	2.4
Mi-No-Iz	Matorral inerme asociado a nopaleras e izotal	471.7	3.5
Ms-No	Matorral subinerme asociado a nopaleras.	536.5	4.0
No-Ca	Nopaleras asociadas a cardonal	154.1	1.1
S (Me)	Vegetación secundaria dominada por matorral espinoso.	793.0	5.9
Pn	Pastizal natural	3273.3	24.4
Pn-CR-No	Pastizal natural asociado a nopaleras y matorral crasirosulifolio	311.0	2.3
Pn-Eh (m-f-l)	Pastizal natural en suelo erosionado	546.7	4.1
Pn-Ms-CR	Pastizal natural asociado a matorral subinerme y matorral crasirosulifolio	1185.7	8.8
	TOTAL	13433.7	100.0

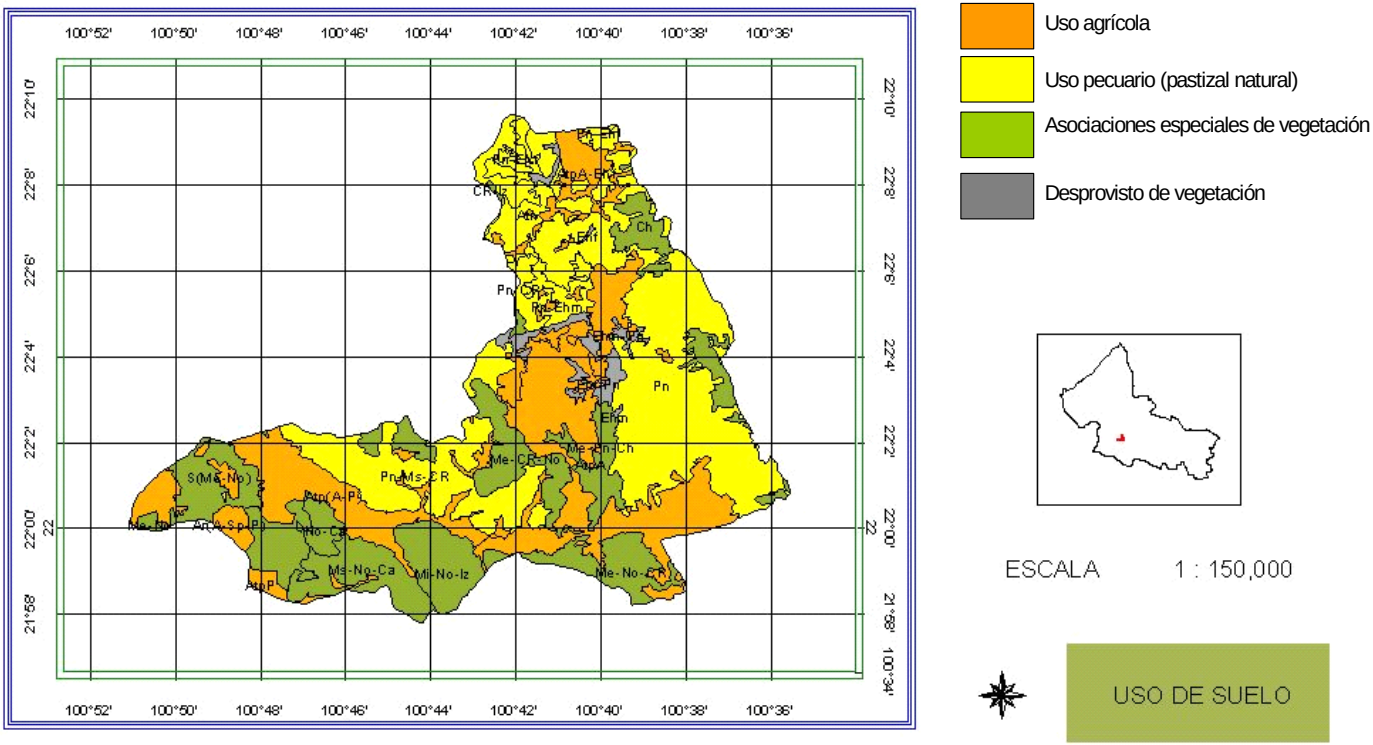


Figura 12. Uso del suelo de la microcuenca Portezuelo, Cerro de San Pedro, S.L.P.

A continuación se describen brevemente los principales tipos de vegetación y usos del suelo (Adaptado de INEGI, 2005).

Agricultura de riego. Considera los diferentes sistemas de riego (método con el que se proporciona agua suplementaria a los cultivos, durante el ciclo agrícola, en el sitio de información).

Agricultura de temporal Es aquella que se desarrolla en terrenos donde el ciclo vegetativo de los cultivos que se siembran depende del agua de lluvia, estableciéndose principalmente cultivos anuales que cuyas variedades prosperan bajo escasa precipitación tales como maíz, frijol o pastos.

Chaparral. Vegetación generalmente densa, de árboles y arbustos esclerófilos de 1 a 4 m de alto resistentes al fuego. Se desarrolla principalmente en laderas de cerros por arriba del nivel de los matorrales de zonas áridas y semiáridas, así como de pastizales naturales y en ocasiones entre mezclados con otro tipo de vegetación como matorral desértico rosetófilo, matorral submontano, mezquital y bosques de pino y encino. Se desarrolla sobre suelos poco fértiles y de textura granular, en climas semicálidos y semifríos con baja humedad, así como en los templados subhúmedos Esta formada por especies arbustivas de *Quercus* spp. (Encinillo, Charrasquillo), *Arctostaphylos* spp. (Manzanita), *Cercocarpus* spp. (Rosa de castilla), madronillo (*Amelanchier* sp.) y como acompañantes se pueden encontrar los géneros *Rhus* y *Rhamnus*, etc. El uso principal de esta comunidad es la obtención de madera para leña, sin embargo se practica también el pastoreo de ganado caprino y bovino principalmente.

Matorral crasirosulifolio. Es una asociación de plantas con hojas dispuestas en rosetas, carnosas y espinosas como: *Agave spp*. (Magueyes), *Hechtia spp.* (Guapillas), *Agave lecheguilla* (*Lechuguilla*), *Agave falcata* (Espadín), *Dasylirion spp*. (Sotol), etc.

Matorral espinoso. Asociación vegetal donde más del 70 % de plantas son espinosas; entre las especies más comunes se encuentran la *Acacia farnesiana* (Huizache), *Prosopis spp.* (Mezquite), *Mimosa spp.* (Uña de Gato), *Acacia vernicosa* (Chaparro prieto), etc. Estas especies pueden estar acompañadas de nopaleras (*Opuntia*s).

Matorral inerme. Se refiere a una comunidad vegetal formada por más del 70 % de plantas sin espinas, como los matorrales de *Larrea tridentata* (Gobernadora), *Flourensia cernua* (Hojasén), *Cordia greggii* (Nagua blanca o Trompillo), *Franseria dumosa* (Hierba del Burro); puede estar formado por asociaciones de especies sin espinas, con espinas o mezclados; además pueden estar en su composición otras formas de vida como cactáceas, izotes o gramíneas. La distribución de este matorral se extiende a las zonas más secas de México, y en áreas en que la precipitación es inferior a 100 mm.

Pastizal natural. Es una comunidad dominada por especies de gramíneas, cuenta con un estrato rasante, formado principalmente por plantas rastreras, incluyendo a veces algas; hay un solo estrato herbáceo, en el cual suelen dominar las gramíneas, aunque en la época favorable pueden aparecer especies de otras familias anuales. Los suelos propios de los pastizales son en general de reacción cercana a la neutralidad (pH 6 a 8), con textura que varía de migajón arcilloso a migajón arenoso y coloración rojiza a café, frecuentemente con un horizonte de concentración calimosa o ferruginosa más o menos continua. Comúnmente son suelos fértiles y medianamente ricos en materia orgánica. Se erosionan con facilidad.

Las plantas leñosas generalmente están ausentes; cuando existen, solo juegan un papel secundario, por el disturbio, y a veces forman uno a dos estratos. Las plantas trepadoras son escasas y las epífitas de tipo xerófilo solo se presentan en ocasiones sobre las ramas de arbustos y árboles aislados. El pastizal natural se desarrolla de preferencia en suelos medianamente profundos de mesetas, valles y laderas poco inclinadas, casi siempre de naturaleza ígnea, en altitudes

entre 1100 y 2500 m. En climas que corresponden mayormente a la categoría BS de la clasificación de Köeppen, aunque las más secas pertenecen al BW.

Los pastizales miden de 20 a 70 cm de altura, aunque a causa del intenso pastoreo se mantienen casi siempre más abajo. La cobertura varía notoriamente de un lugar a otro y mucho tiene que ver con la utilización del pastizal; rara vez supera al 80% y normalmente es menor de 50%. Las especies dominantes o codominantes en las asociaciones son del género *Bouteloua* y la más común de todas es *Bouteloua gracilis*, que prevalece en amplias extensiones del pastizal, sobre todo en sitios con suelos profundos donde no existe sobrepastoreo. En laderas con suelo somero y pedregoso, a menudo son más abundantes *Bouteloua curtipendula* y *Bouteloua hirsuta*. Son menos frecuentes en general, *Bouteloua rothrockii*, *Bouteloua radicosa*, *Bouteloua repens*, *Bouteloua eriopoda y Bouteloua chondrosioides*, pero en algunas zonas pueden también funcionar como dominantes o codominantes: *Bouteloua eriopoda* y *Bouteloua scorpioides* aparentemente resultan favorecidas por un pastoreo intenso, desplazando en ciertas áreas a *Bouteloua gracilis*.

Vegetación secundaria. Se entiende como vegetación secundaria cuando hay algún tipo de indicio de que la vegetación original fue eliminada o perturbada a un grado en el que ha sido modificada profundamente; es decir son comunidades originadas por la destrucción de la vegetación primaria; en algunos casos presenta un aspecto y composición florística diferente. Se desarrollan en zonas desmontadas para diferentes usos y en áreas agrícolas abandonadas que pueden encontrarse en recuperación tendiendo al estado original, pudiendo estar en alguna de las etapas sucesionales secundarias tales como: arbórea, arbustiva o herbácea. En la zona de estudio, la vegetación secundaria que se desarrolló es del tipo Matorral espinoso asociado con nopaleras.

Erosión hídrica. Se considera como la degradación del suelo por el efecto de la lluvia, propiciada por la remoción de la cubierta vegetal, favorecida por actividades humanas, y naturales. Se dice que la erosión hídrica es fuerte (Ehf), cuando la pérdida de suelo por efectos de la lluvia es de 100 a 200 ton/ha/año. La erosión hídrica es moderada (Ehm), cuando la pérdida de suelo por efectos de la lluvia es de 50 a 100 ton/ha/año. En la zona de estudio se encuentran pastizales altamente deteriorados con áreas desprovistas de vegetación debido al sobrepastoreo y al pisoteo excesivo que impiden muchas veces el buen desarrollo y la reproducción de las especies más nutritivas y apetecidas por el ganado, propiciando el establecimiento de plantas que los animales no comen y que a menudo son venenosas.

Muchas de las actividades dentro de la zona de estudio se remiten al uso de los recursos naturales que posee. Sin embargo en la mayoría de las ocasiones sus pobladores no mantienen un manejo adecuado de la vegetación, que les permita un aprovechamiento sustentable, ocasionando severos daños ambientales cuyos efectos negativos se ven reflejados en los ingresos económicos que dependen directamente del uso de suelo y la vegetación actual.

Las actividades que se desarrollen deberían mantener el uso y manejo adecuado del pastizal natural (Pn), el cual junto con las nopaleras, el matorral espinoso constituyen la mayor parte de la vegetación natural en la microcuenca, sin descuidar las tierras de cultivo, tratando de evitar el sobrepastoreo en algunas áreas que ya sufren los embates de la erosión en grado severo.

Uso potencial.

El disponer de información sobre el uso potencial del suelo significa conocer el tipo y las posibilidades de uso que este recurso ofrece. Cada unidad cartográfica en la zona de estudio representada para el uso potencial, describe el conjunto de condiciones a las que el hombre tiene que enfrentar (transformar o adaptarse a ellas) para aprovechar mejor el

suelo y sus recursos en el desarrollo de la agricultura, la ganadería o el aspecto forestal.

El Sistema de clasificación de tierras por capacidad de uso o uso potencial tiene como finalidad ubicar los elementos de juicio necesarios para dedicar los diferentes terrenos al uso adecuado, según su aptitud en particular y de este modo, programar el aprovechamiento óptimo de este recurso. Para lograr este objetivo, es necesario considerar los factores que restringen o limitan el uso que pueda dársele a un terreno, al agruparlos en ocho diferentes clases (Figura 13), de acuerdo a la magnitud de las restricciones que los caracterizan (SARH, 1977; INEGI, 2005).

Aumento de la intensidad del uso de la tierra →

Aumento de las limitaciones ↓

Capacidad de uso de la tierra Clases	Vida silvestre	Bosque	Pastoreo			Cultivo			
			Limitado	Moderado	Intenso	Limitado	Moderado	Intenso	Muy intenso
I	x	x	x	x	x	x	x	x	x
II	x	x	x	x	x	x	x	x	
III	x	x	x	x	x	x	x		
IV	x	x	x	x	x	x			
V	x	x	x	x	x				
VI	x	x	x	x					
VII	x	x	x						
VIII	x								

Figura 13. Uso potencial del suelo de acuerdo a su clasificación (Fuente: INEGI, 2005)

De las 13,425 ha de la microcuenca, menos de 1% presenta condiciones favorables para la agricultura sin limitaciones; estas áreas corresponden a las tierras de riego. 15% tiene potencial agrícola con restricciones por clima, topografía o erosión (clase IV); las tierras apropiadas para uso pecuario corresponden a las clases V, VI y VII y ocupan 56% de la superficie de la microcuenca; y finalmente, 27% de la superficie de la microcuenca solo puede ser utilizadas para vida silvestre y actividades de recreación (Cuadros 16 y 17, Figura 14).

Cuadro 16. Uso potencial del suelo en la microcuenca Portezuelo.

Clase	Superficie		Descripción y área
	has	%	
II/s	110	0.8	Capacidad para uso agrícola intenso con limitantes de suelo.
IV/c	1156	8.6	Capacidad para soportar agricultura limitada por factor clima.
IV/ce	284	2.1	Suelos con capacidad de uso agrícola limitado por factores de clima y erosión.
IV/sc	368	2.7	Capacidad de uso agrícola limitado por factores de suelo y clima.
IV/sce	191	1.4	Suelos con capacidad de uso agrícola limitado por factores de suelo, clima y erosión.
V/c	1793	13.3	Suelos con capacidad de uso pecuario intenso limitado por factor clima.
VI/c	171	1.3	Suelos con capacidad de uso pecuario moderado con limitantes de clima.
VI/s	975	7.3	Suelos con capacidad de uso pecuario moderado con limitantes de suelo.
VI/se	144	1.1	Suelos con capacidad de uso pecuario moderado con limitantes de suelo y erosión.
VII/s	4,541	33.8	Capacidad de uso pecuario limitado por factores de suelo.
VIII	3,689	27.5	Aptitud para vida silvestre.

Fuente: Elaboración propia con información digitalizada de la Carta F14A84 uso potencial escala1:50 000 INEGI, 1978

Cuadro 17. Descripción de las clases de tierra y factores limitantes en la microcuenca Portezuelo (adaptado de INEGI; 2005).

CLAVE	CARACTERÍSTICAS
II/s	Esta unidad es de Clase II. Área que dispone de agua (buena precipitación o sistemas de riego) pero tiene algunas limitaciones moderadas en el suelo; puede presentan salinidad, sodicidad o ambas en bajo grado (de 2-4 mmhos y/o 10-15 PSI, respectivamente), su profundidad oscila entre 50 a 100 cm y la pendiente del terreno puede variar de 2 a 4%; tierras propias para agricultura intensa con algunas prácticas de labranza especiales pero sencillas, como nivelación del terreno, ligeros despiedres y técnicas de control de la erosión. Esta clase puede presentar erosión laminar. Las prácticas que estos terrenos requieren son: agricultura de conservación, cultivos al contorno, cultivos en fajas o fajas amortiguadoras, barreras vivas y desvíos o manejo del agua de escurrimiento. Restricciones: Limitado por suelo (s). De este factor se considera la profundidad efectiva y la pedregosidad que presenta.
IV/c	La clase IV son suelos con limitaciones muy severas para cultivos anuales; sin embargo son adecuados para la siembra de pastos o cultivos perennes. La pendiente es moderada y fuerte; cuando es uniforme se ubica entre 12 y 20%, cuando es irregular varía de 8 a 20%. Son muy susceptibles a la erosión hídrica y eólica. Son suelos delgados poco profundos (de 25 a 35 cm), con baja retención de humedad, muy porosos, con drenaje interno deficiente. Esta clase es de transición entre las tierras adecuadas para cultivos y las apropiadas para vegetación permanente. Restricciones: Limitado por clima (c). En el se atiende la cantidad de agua disponible, ya sea que provenga de la lluvia, de sistemas de riego, de la humedad debida a la retención de agua proveniente de la precipitación o de la combinación de las condiciones seña ladas.

CLAVE	CARACTERÍSTICAS
IV/ce	Ubicado en la clase IV. Restricciones: Limitado por clima (c). Limitado también por presentar **erosión** (e). Este factor toma encuentra el tipo de erosión y el grado de la pérdida de suelo, ya sea causada por efectos de la lluvia o el viento o de ambos. Son tierras que pierden más de 50 ton/ha/año.
IV/sc	Ubicado en la clase IV Restricciones: Limitado por clima (c); limitado por suelo (s): de este factor se considera la profundidad efectiva y la pedregosidad que presenta.
IV/sce	Ubicado en la clase IV. Restricciones: limitado por suelo (s) profundidad mínima y alta pedregosidad; limitado por clima (c), limitado por erosión hídrica.
V/c	Suelos apropiados para la praticultura o silvicultura sin limitaciones, no aptos para uso agrícola. Son terrenos con pendiente entre suaves y moderadas (10-20%), poco profundos (de 15 a 25cm) y con gran cantidad de piedras. Por las características de esta clase, en general se considera como un clase no apropiada para los cultivos anuales, pero si para cultivos perennes o de vegetación natural. Restricciones: Limitado por clima (c).
VI/c	En lo que corresponde a esta unidad; los suelos son apropiados para pastizales con limitaciones moderadas. Son terrenos con pendientes que van de moderadas a fuertes (20-35%) y que ofrecen muy escasa resistencia la erosión causada por el agua; son suelos poco profundos (15-25 cm), con excesiva pedregosidad. Por las características mencionadas esta unidad se considera apropiada para cultivos perennes como nopal o vegetación natural. Restricciones: Limitado por clima (c).

CLAVE	CARACTERÍSTICAS
VI/s	En lo que corresponde a esta unidad; los suelos son apropiados para agostaderos con limitaciones moderadas. Son terrenos con pendientes que van de moderadas a fuertes (20-35%) y que ofrecen muy escasa resistencia la erosión causada por el agua; son suelos poco profundos (15-25 cm), con excesiva pedregosidad. Restricciones: Limitado por suelo (s). De este factor se considera la profundidad efectiva y la pedregosidad que presenta.
VII/s	La clase VII, de esta unidad presenta suelos no aptos para uso agrícola, aptos como agostaderos con limitaciones y aptos para silvicultura. Son terrenos con pendiente muy fuerte (35 a 100%) y muy escarpado, con suelos escasos (de 8 a 15cm de profundidad) que presentan poca resistencia a la acción erosiva del agua y el viento. Por estas características, la clase VII se considera como tierras no adecuadas para cultivos anuales pero si para cultivos perennes de protección o vegetación natural. Restricciones: limitado por suelo (s). De este factor se considera la profundidad efectiva y la pedregosidad que presenta.
VIII	La clase VIII, a la que corresponde esta unidad, desde el punto de vista agrológico no presenta algún uso ya que por lo general son tierras muy escabrosas (pendiente >100%), arenosas, demasiado áridas, como para dedicarlas a cultivos, pastizales (praticultura) o silvicultura, pero que pueden ser útiles para el sostenimiento de animales silvestres; algunos de estos terrenos son útiles para la extracción de materiales de construcción. En esta clase quedan incluidas las áreas atravesadas por numerosas cárcavas profundas y las áreas muy escarpadas y rocosas. Por estas características, la clase VIII se considera como tierras no adecuadas para uso agropecuario y forestal.

La mayor parte del terreno se dedica al pastoreo extensivo sin control de la carga animal, lo cual ha generado una degradación alta de la cubierta vegetal, propiciando el incremento en el riesgo a la erosión hídrica. En realidad a esta actividad solo deberían destinarse aquellas tierras de las clases VI, V, VI y VII, sin embargo las tierras de la clase VIII también son utilizadas. El agostadero es la fuente de alimentación más barata que existe para el ganado que se maneja en condición extensiva, bajo un esquema de pastoreo continuo. Después de las primeras heladas, los productores se apoyan en otras fuentes de alimentación como son los esquilmos de cultivos agrícolas (rastrojo de maíz, sorgo y tazol de frijol) y algunos productos y subproductos de especies maderables y no maderables como el maguey picado, nopal chamuscado, flor de yuca y vaina de mezquite (Loredo *et al.,* 1998).

4.4.2. Riesgo a la erosión

Para estimar el riesgo a la erosión en la microcuenca Portezuelo, el factor R: erosividad de la lluvia de la EUPS se obtuvo mediante la ecuación correspondiente a la Región IV: $Y=2.89594x+0.002983x^2$, propuesta por Cortés (1991), considerando que **Y** se refiere al índice de erosividad y **x** a la precipitación media anual la cual es de 304.5 mm.

El valor estimado para este factor fue:

R = 1158.39824 megajoules/ha/mm/hr.

Para los factores K, L, S, C y P de la EUPS se siguió el procedimiento descrito en la parte inicial de este capítulo. La **erosión potencial** obtenida con los factores RKLyS sin considerar los factores atenuantes, es decir, la erosión que se presentaría en caso de que no se contara ningún tipo de cubierta vegetal se presenta en la Figura 15.

Para estimar la **erosión actual** fue necesario determinar la protección del suelo que ofrece la cubierta vegetal actual; de tal forma que a los índices de los factores (RKLS) se agrega el índice del factor

correspondiente al tipo y porcentaje de la cubierta vegetal (C) en la microcuenca (Figura 16).

Sobre ese mapa de erosión actual se sobrepusieron los valores de C_1 estimados para las principales prácticas de manejo de la erosión con coberturas vegetales y se obtuvo el mapa que se presenta en la Figura 17, es decir, la erosión que se presentaría si a la vegetación actual se le diera un manejo adecuado, para permitir la recuperación de la cubierta vegetal. Finalmente se consideró la resistencia que opondrían las prácticas mecánicas para reducir la erosión; para ello se sobrepusieron los valores para el factor P (surcado al contorno y terrazas de formación paulatina) y se obtuvo el mapa que se presenta en la Figura 18.

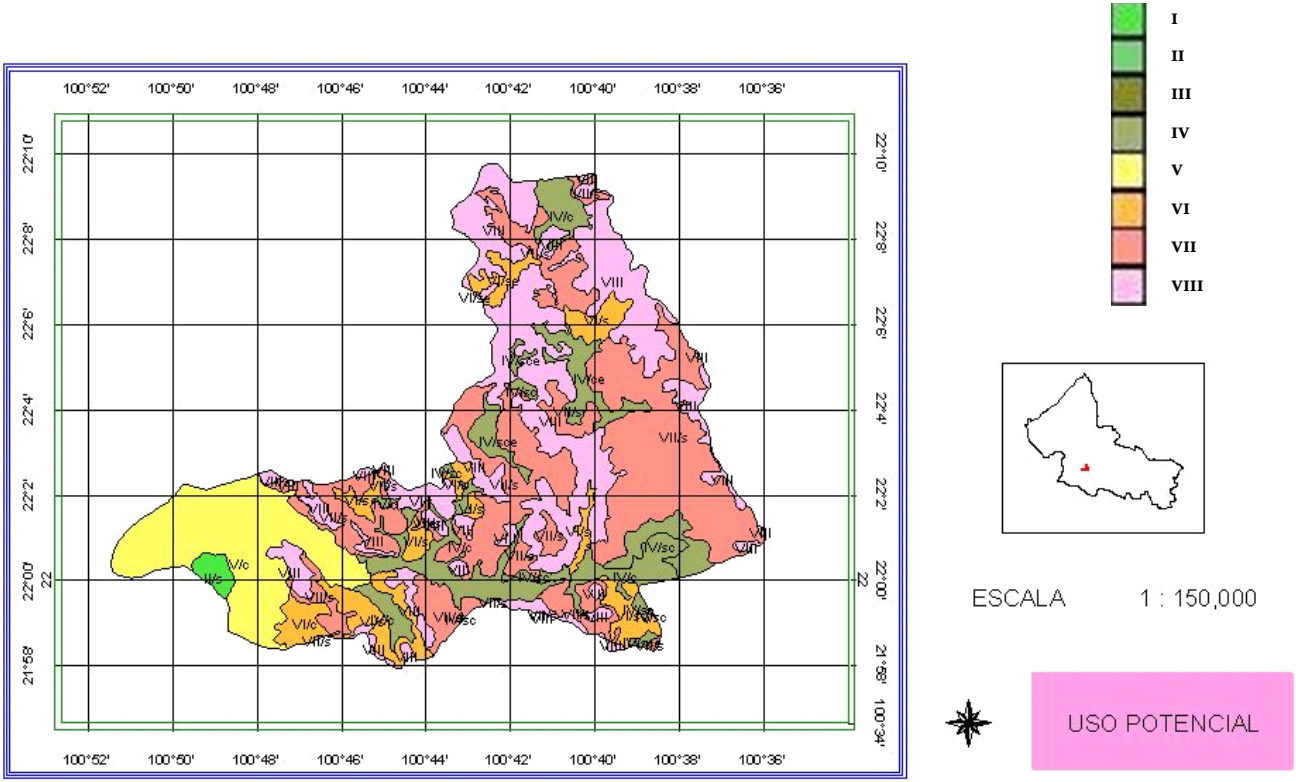


Figura 14. Uso potencial del suelo de la microcuenca Portezuelo, Cerro de San Pedro, S.L.P.

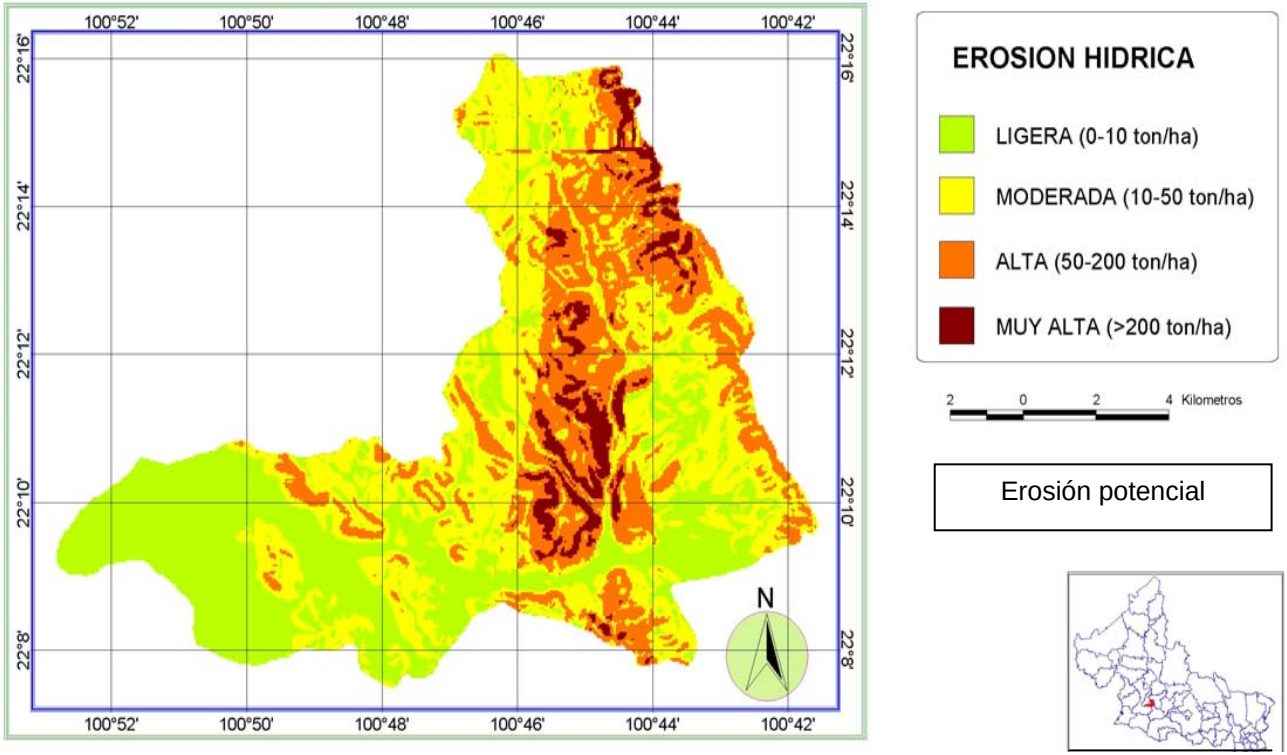


Figura 15. Erosión potencial en la microcuenca Portezuelo, Cerro de San Pedro, S.L.P.

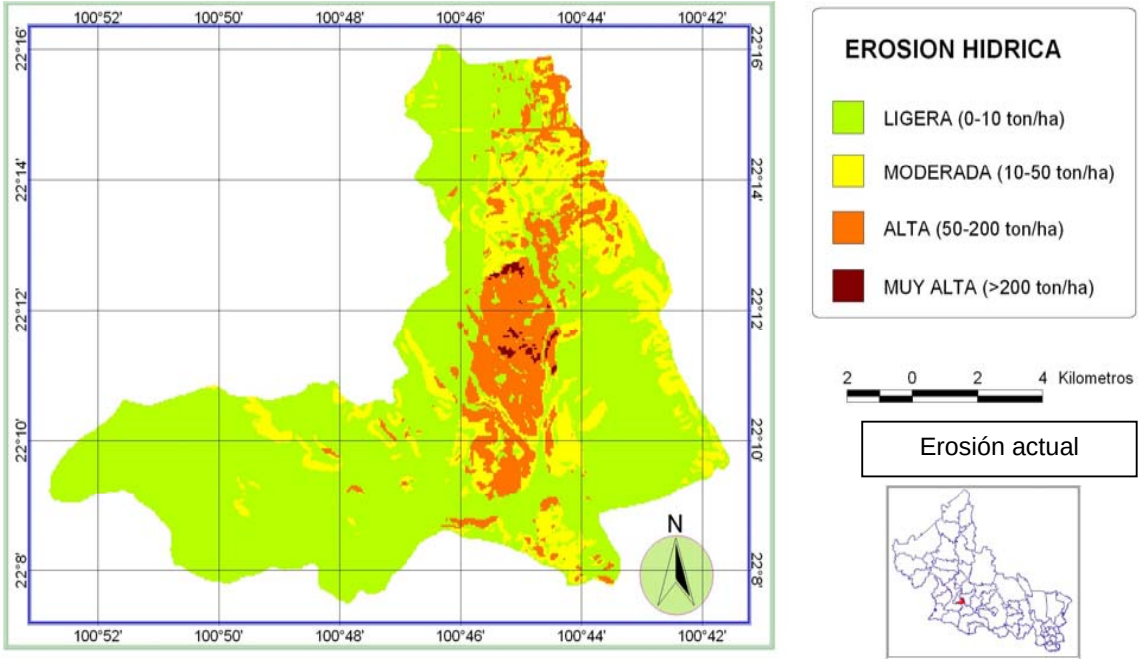


Figura 16. Erosión actual en la microcuenca Portezuelo, Cerro de San Pedro, S.L.P.

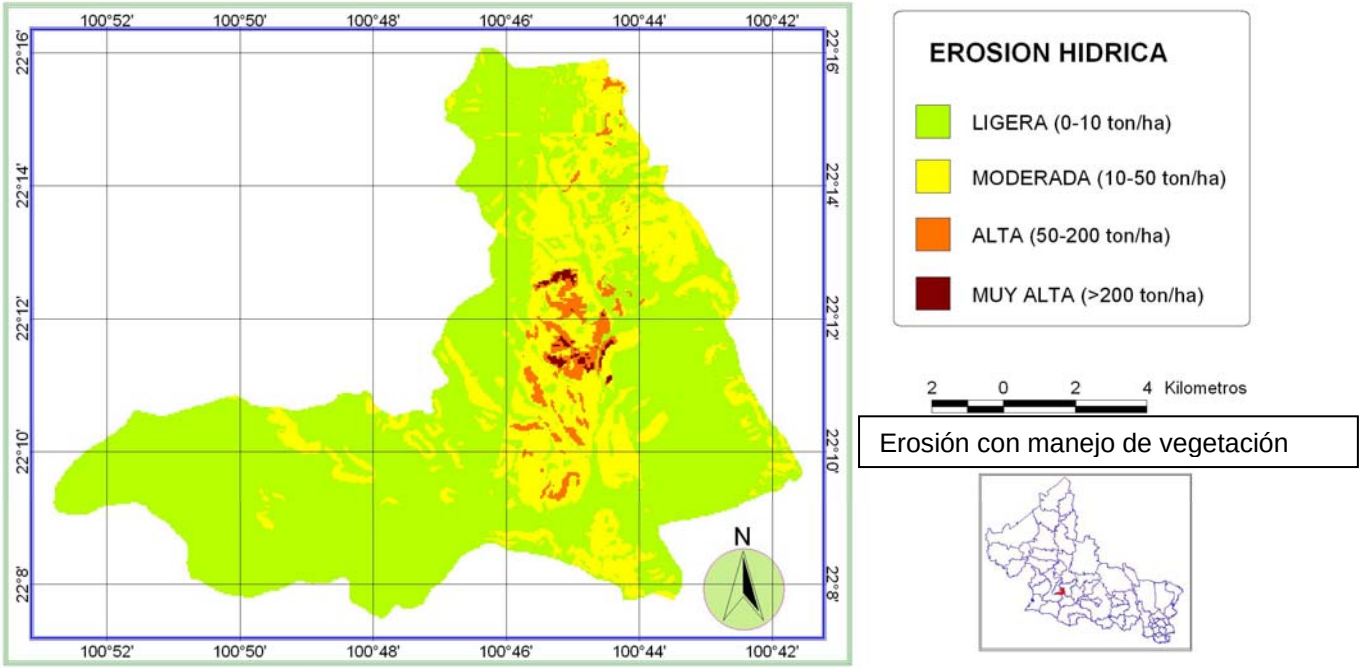


Figura 17. Erosión estimada con prácticas de manejo de cobertura vegetal en la microcuenca Portezuelo, Cerro de San Pedro, S.L.P.

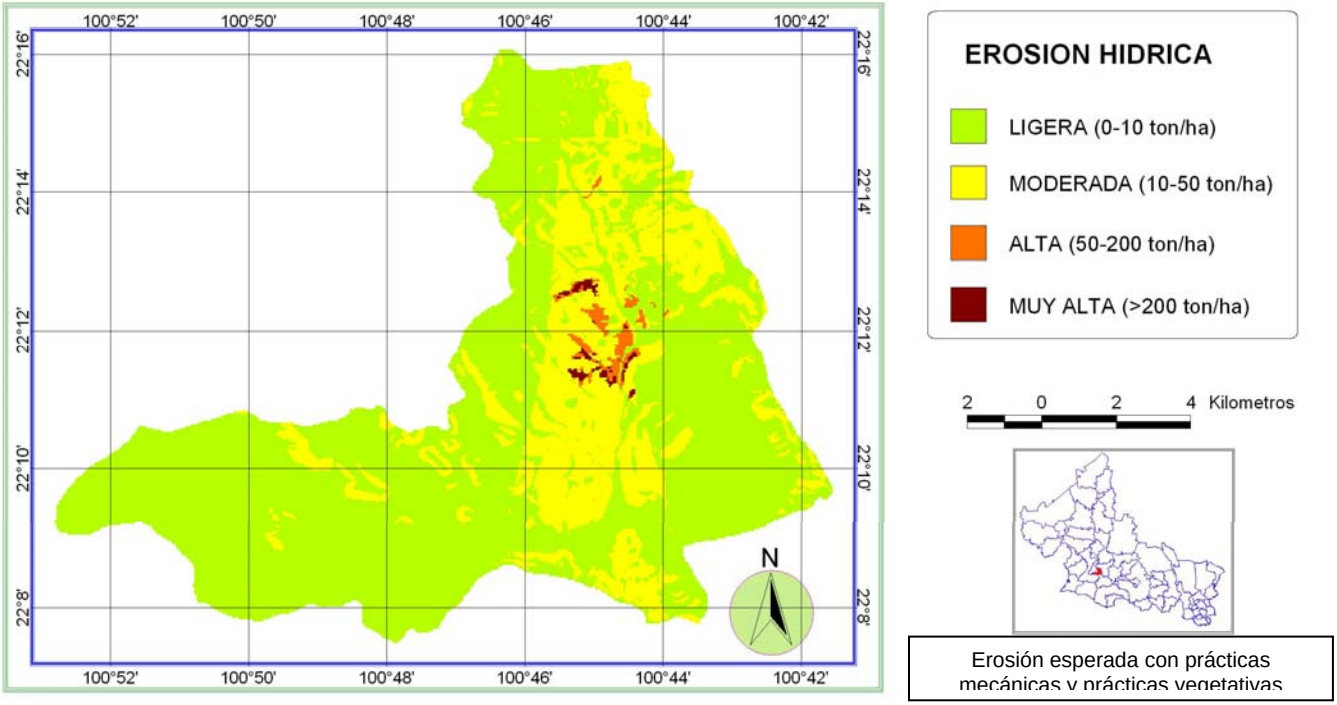


Figura 18. Erosión que se presenta cuando se establecen prácticas mecánicas en la microcuenca Portezuelo, Cerro de San Pedro, S.L.P.

Capítulo 5

CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO A LA EROSIÓN EN 32 MICROCUENCAS DE SAN LUIS POTOSÍ

5.1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) desarrolló el proyecto "Evaluación de tierras para el manejo de 32 microcuencas hidrológicas en el estado de San Luis Potosí", con financiamiento del Fondo Sectorial CONACYT-CONAFOR. Se elaboraron mapas de riesgo a la erosión en 32 microcuencas, utilizando como herramienta, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el modelo de predicción de pérdidas de suelo EUPS. Se obtuvieron propuestas para el plan de acciones de 32 microcuencas hidrológicas del estado de San Luis Potosí, identificadas dentro del Programa Estatal de Microcuencas.

En este capítulo se expondrán en forma resumida los resultados obtenidos en ese proyecto dando especial atención a la caracterización del riesgo a la erosión hídrica.

5.2. ANTECEDENTES

El proyecto inició en Junio del 2003 y concluyó con la publicación de este libro; concluye en la parte operativa correspondiente al financiamiento del Fondo Sectorial CONACyT-CONAFOR; sin embargo, el proyecto como tal ha dado origen a otros proyectos y actividades relacionadas con el manejo de las microcuencas en San Luis Potosí.

Los objetivos del proyecto fueron los siguientes:

- Obtener y generar una base de datos sobre suelos, topografía, uso del suelo y uso potencial de 32 microcuencas del estado de San Luis Potosí para estimar el riesgo potencial de erosión.

- Generar una base de datos sobre aspectos económicos y sociales en el uso actual y potencial del suelo en 32 microcuencas.

- Identificar tecnologías y prácticas de manejo que promuevan el uso adecuado de las microcuencas.

- Generar estrategias para integrar el Plan Rector de Manejo de 32 microcuencas.

Para lograr los objetivos planteados se realizaron las siguientes actividades:

Actividad 1: Generación de bases de datos sobre los recursos de 32 microcuencas en San Luis Potosí. En esta actividad se delimitaron las 32 microcuencas incluidas en este proyecto y se obtuvieron mapas temáticos sobre suelos, uso actual o vegetación, uso potencial, así como el mapa fisiográfico a través del modelo de elevación digital escala 1:50,000; también se generaron las bases de datos de cada tema.

Actividad 2: Predicción de riesgo a la erosión en 32 microcuencas hidrológicas en el estado de San Luis Potosí. La metodología utilizada, se basó en la aplicación de conceptos y herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) orientados a estimar la erosión mediante la aplicación de la EUPS, adaptada por la FAO (1980). El proceso consistió en delimitar las 32 microcuencas, y en cada una de éllas, se obtuvieron mapas temáticos sobre edafología, uso actual, uso potencial, así como mapa fisiográfico, a través del modelo de elevación digital escala 1:50,000 (INEGI, 1974 y 2003) usando el software ARC/INFO™ estación de Trabajo y ARCVIEW™ (Moreno *et al.,* 2005).

Para la predicción de riesgo a la erosión, se realizaron superposiciones de las diferentes capas, obteniendo un mapa final de riesgo potencial a la erosión hídrica, como resultado de la aplicación de la

EUPS. La erosividad de la lluvia se obtuvo, mediante la ecuación correspondiente a la Región IV: $Y=2.89594x+0.002983x^2$, propuesta por Cortés (1991), considerando que **Y** se refiere al índice de erosividad y **x** a la precipitación media anual. Solo en una microcuenca ubicada en la zona media de San Luis Potosí, donde llueven más de 800 mm, se aplicó la ecuación correspondiente a la Región XIII: $Y = 10.74273x - 0.001008x^2$ (Figueroa *et al.,* 1991).

Actividad 3: Evaluación de la rentabilidad de prácticas de manejo para la conservación del suelo en el Altiplano Potosino. Se realizaron análisis de costos para las prácticas que CONAFOR y otras instituciones como la Comisión nacional de las Zonas Áridas, están financiado. Bajo las condiciones de los productores, se estimó el impacto de las prácticas propuestas.

Actividad 4. Indicadores sociales para la recomendación de prácticas de manejo de suelos en el Altiplano Potosino. Se generó una base de datos sobre aspectos socioeconómicos en las microcuencas considerando información como población total, población económicamente activa, grado de escolaridad, migración, actividad del sector productivo, etc. Para ello se consultó información del Censo General de Población y Vivienda (INEGI, 2000).

Actividad 5. Diseño del programa de conservación y manejo del suelo en microcuencas de San Luis Potosí. En función de la clasificación de tierras, del riesgo a la erosión y de las condiciones socioeconómicas de los productores de las microcuencas, se realizaron propuestas de manejo. En forma complementaria se desarrollaron actividades de apoyo a la transferencia de tecnología, señaladas en el Capítulo 2 de este libro.

5.3. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PROYECTO

5.3.1. Generación de bases de datos sobre los recursos de 32 microcuencas en San Luis Potosí. La mayor parte de las microcuencas (31 de 32) consideradas en el proyecto se localizan en el Altiplano y pertenecen a los municipios de Ahualulco, Armadillo de los Infante, Cerro

de San Pedro; Mexquitic de Carmona, Villa de Arista, Venado, Villa Hidalgo, Villa de Arriaga, Villa de Reyes y Villa de Zaragoza. Una microcuenca se ubica en la Zona Media y pertenece al municipio de Cd. del Maíz, S.L.P. (Cuadro 18; Figura 19); la superficie de las microcuencas estudiadas varió de 2,156 a 15,037 ha con una media de 7,283 ha.

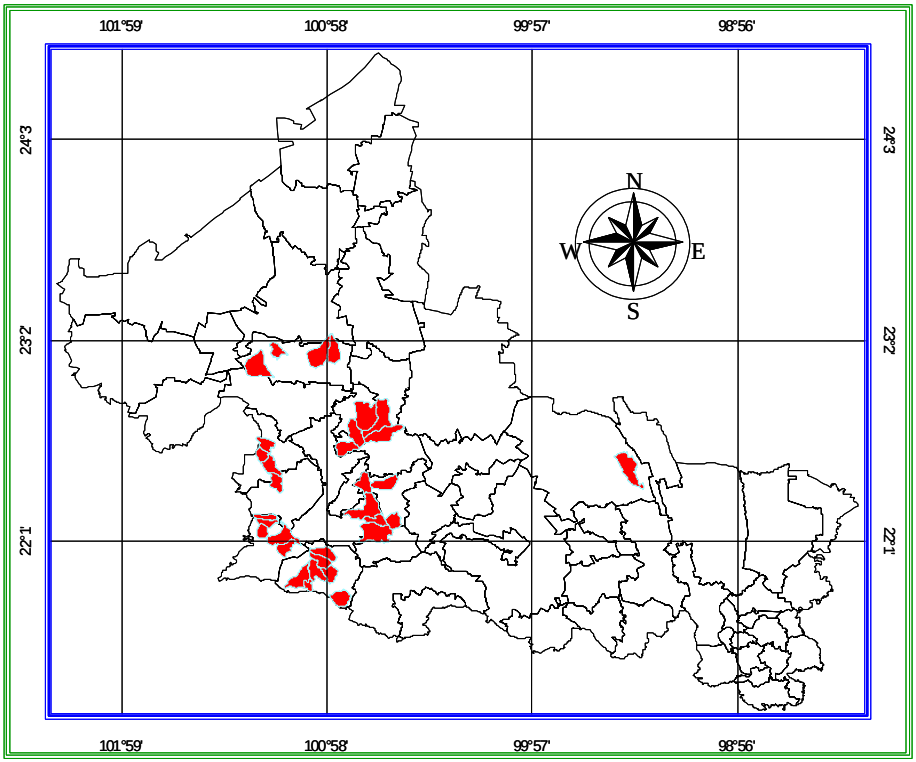


Figura 19. Ubicación de las 32 microcuencas de San Luis Potosí, consideradas en el proyecto “Evaluación de tierras para el manejo de 32 microcuencas hidrológicas en el estado de San Luis Potosí”.

Cuadro 18: Microcuencas incluidas en el proyecto “Evaluación de tierras para el manejo de 32 microcuencas hidrológicas en el estado de San Luis Potosí”.

MICROCUENCA	MUNICIPIO	SUPERFICIE Ha
Aguaje de los Castillo	Armadillo de los Infante	6,206.1
Aguazarca-Papagayos	Ciudad del Maíz	12,375.6
Carranco	Villa de Reyes	8,749.2
Charquito	Villa de Arista	13,014.4
Corazones	Villa Hidalgo	6,683.9
Coronado	Venado	7,171.6
El Rosario	Villa de Reyes	6,838.3
Emiliano Zapata	Villa de Reyes	5,965.9
Enramadas	Ahualulco	3,639.4
Francisco I. Madero	Villa de Arriaga	3,135.5
Garrochitas Panalillo I	Zaragoza	14,054.6
Garrochitas Panalillo II	Zaragoza	4,664.3
San Luis Gonzaga	Villa de Arriaga	3,596.4
Guanamé	Venado	12,624.1
Ipiña	Ahualulco	5,079.7
La Ventilla	Villa de Reyes	5,178.7
Las Tapias	Villa de Reyes	2,156.5
Mexquitic I	Ahualulco	5,864.0
Mezquitalillo	Armadillo de los Infante	5,352.2
Palomas (Contrayerba)	Armadillo de los Infante	7,301.5
Polocote	Venado	4,119.9
Portezuelo	Cerro de San Pedro	13,425.0
Puerto Espino	Villa de Arriaga	3,205.0
Ranchería de Guadalupe	Mexquitic de Carmona	5,083.5
Rodrigo	Villa de Reyes	5,400.8

MICROCUENCA	MUNICIPIO	SUPERFICIE Ha
San Antonio	Villa de Arriaga	4,939.2
San Lorenzo	Villa Hidalgo	10,755.3
San Miguel	Villa de Reyes	6,701.8
Santa Rita	Venado	11,687.7
Tepetate	Villa de Arriaga	9,669.0
Villa de Arista I	Villa de Arista	15,037.6
Villa de Arista II	Villa de Arista	8,043.5
	Superficie Total de las 32 microcuencas	237,770.4

Suelos

La superficie estudiada fueron 237,770 hectáreas, en las cuales el tipo de suelo dominante fue el de los litosoles, seguidos de suelos del tipo xerosol y feozem (Cuadro 19). Esto está estrechamente relacionado con la topografía si consideramos que los litosoles (lliteralmente, suelo de piedra) son suelos superficiales poco desarrollados sin horizontes de diagnóstico, que se encuentran sobre zonas con fuertes pendientes, las cuales abundan en la zona de estudio.

El siguiente tipo de suelo predominante por la superficie ocupada son los xerosoles, los cuales son suelos secos, propios de zonas semiáridas y áridas donde la deficiencia de humedad impide el lavado de sustancias solubles (como sales y carbonatos). Esta limitante impide que se desarrollen suelos profundos y hace que los aportes de materiales orgánicos sean mínimos. Su vegetación es de matorral y pastizal. Presentan acumulaciones, en mayor o menor grado, de carbonatos, especialmente de calcio en su perfil. Tienen por lo general una capa superficial de color blancuzco por el bajo contenido de materia orgánica.

En tercer lugar se ubican los suelos del tipo feozem: éste tipo de suelo se caracteriza por tener un capa superficial oscura, suave, rica en

materia orgánica y en nutrientes, semejante a las capas superficiales de los chernozem y los castañozem, pero sin presentar las capas ricas en cal. Los feozems, son de profundidad muy variable. Los feozems profundos localizados en las partes planas, son fértiles y adecuados para actividades agrícolas o para la producción de forraje; los menos profundos, situados en laderas presentan como principal limitante la roca o alguna cementación muy fuerte en el suelo; estos tienen rendimientos bajos y se erosionan con más facilidad, sin embargo, se pueden utilizar para el pastoreo con resultados aceptables. El uso óptimo depende de las características del terreno y la disponibilidad de agua.

Cuadro 19. Tipos de suelo encontrados en 32 microcuencas ubicadas en la zona semiárida de San Luis Potosí.

TIPO DE SUELO	SUPERFICIE (Ha)	PORCENTAJE (%) DEL AREA DE ESTUDIO
Chernozem	185.2	0.08%
Rendzina	114.6	0.05%
Gleysol	261.8	0.11%
Litosol	104,112.1	43.79%
Litosol+otras unidades	50,982.9	21.44%
Feozem	25,049.5	10.54%
Fluvisol	17,900.5	7.53%
Castañozem	6,611.2	2.78%
Luvisol	1,838.0	0.77%
Regosol	989.9	0.42%
Vertisol	1,496.5	0.63%
Xerosol	27,702.8	11.65%
Solonchak	525.3	0.22%
TOTAL	237,770.4	100.00%

Vegetación

Los tipos de vegetación dominantes son el pastizal (natural e inducido), el cual ocupa 17% del terreno; matorral subinerme (14%), matorral espinoso (10%) y matorral crasirosulifolio (10.2%), las nopaleras (10.3) y el matorral inerme (7.3%). La agricultura se desarrolla en 33,800 ha ocupando 14% de la superficie (Cuadro 20).

Cuadro 20. Tipo de vegetación y uso actual del suelo en 32 microcuencas de San Luis Potosí.

TIPO DE VEGETACIÓN O USO ACTUAL DEL SUELO	SUPERFICIE (Ha)	PORCENTAJE DEL AREA DE ESTUDIO
Agricultura de Temporal	33,056	13.9
Agricultura de Riego	765	0.3
Cardonal	4,990	2.1
Matorral Crasirosulifolio	24,363	10.3
Chaparral	8,612	3.6
Bosque Artificial (Pirul)	27	0.0
Bosque de Pino	7,663	3.2
Bosque de Encino	12,144	5.1
Izotal	1,321	0.6
Matorral espinoso	23,822	10.0
Matorral Inerme	17,464	7.4
Matorral Subinerme	33,244	14.0
Mezquital	3,196	1.3
Nopalera	24,615	10.4
Pastizal Inducido	767	0.3
Pastizal Natural	39,459	16.6
Vegetación Secundaria de Matorral	1,003	0.4
Erosión Actual Leve	73	0.01
Erosión Actual Moderada	445	0.2
Erosión Actual Fuerte	684	0.3

Uso potencial

Con relación al uso potencial de la tierra, la actividad agrícola se desarrolla con muchas limitaciones y solo 1.86% de la superficie presenta potencial para esta actividad, aún cuando en realidad se siembra 14% de la superficie. La clase VIII predomina, ocupando 38% del área de las microcuencas (90,203 ha); la mayor parte del terreno se dedica al pastoreo extensivo sin control de la carga animal y con una población alta de equinos, especialmente en Monte Caldera, lo cual ha provocado una degradación alta de la cubierta vegetal, incrementando el riesgo a la erosión hídrica. El uso de la tierra como agostadero solo debería abarcar las tierras de las clases V, VI, VI y VII, que en total suman 143 mil ha (Figura 21). En general, el principal factor limitante en la zona es el clima con una precipitación inferior a los 400 mm anuales.

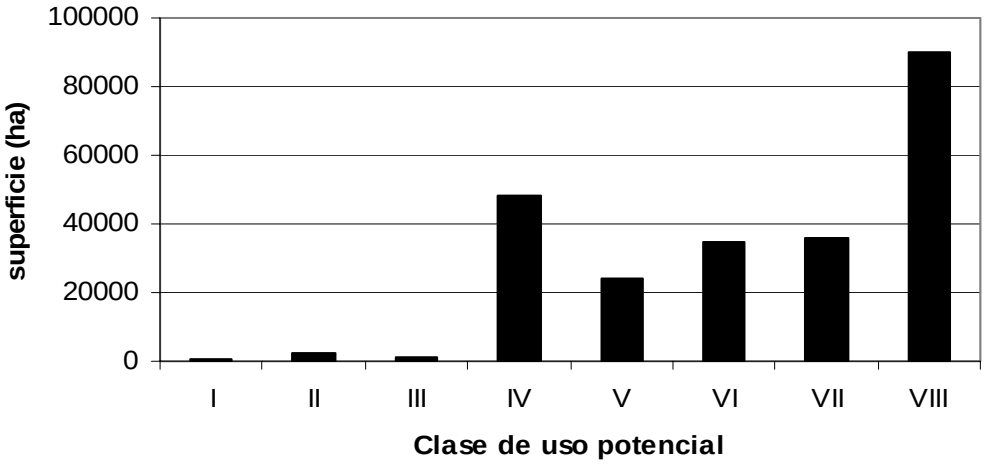


Figura 20. Uso potencial de las tierras evaluadas en 32 microcuencas de San Luis Potosí.

En el Cuadro 21 se presenta una breve descripción de cada una de las Unidades en las cuales se encuentran clasificados los suelos de las microcuencas bajo estudio.

Cuadro 21. Principales características de las clases de tierra en función de su uso potencial en 32 microcuencas ubicadas en la zona semiárida de San Luis Potosí.

CLASE	DESCRIPCIÓN*
I	Tierras donde es posible efectuar agricultura intensiva, ya que disponen de suficiente agua. En el caso de las microcuencas el agua proviene de riego, ya que se ubican en zonas donde llueve menos de 400 mm. Son terrenos de pendiente suave o planos (0-2%), profundidad mayor a 100 cm, con buena retención de la humedad, sin problemas de drenaje. No tienen pedregosidad. Están situados de tal manera dentro del microcuencas que no corren el riesgo de sufrir inundaciones.
II	Terrenos que disponen de agua ya sea por precipitación o por sistemas de riego, pero que presentan algunas limitaciones moderadas en el suelo; pueden presentar salinidad, sodicidad o ambas en bajo grado (de 2-4 mmhos y/o 10-15% de PSI, respectivamente); su profundidad oscila entre 50 y 100 cm y su pendiente puede variar de 0 a 4%. Por las características anteriores es un área apropiada para cultivos, pero requieren de prácticas especiales de manejo.
III	Son tierras que solo disponen de agua por precipitación y esta es limitada. Cuando el factor limitante es la pendiente varía de 4 a 8% (si es irregular) y de 6 a12% (si es uniforme). Son tierras susceptibles a la erosión; el factor limitante también puede ser la profundidad del suelo (35-50cm). La pedregosidad puede ser fuerte, ya sea que se presenten piedras de gran tamaño o cantidades considerables de fragmentos en su superficie; estos suelos pueden presentar salinidad, sodicidad o ambas, en grado moderado (4-8 mmhos; 15-20% de PSI respectivamente).
IV	Son suelos con limitaciones muy severas para cultivos anuales, aptos para

CLASE	DESCRIPCIÓN*
	pastizales. La pendiente es moderada y fuerte; cuando es uniforme se ubica entre el 12 y 20%, cuando es irregular va de 8 a 20%. Son muy susceptibles a la erosión del viento y el agua; pueden ser suelos delgados poco profundos (de 25 a 35 cm), con problemas de retención de humedad, muy porosos, con drenaje interno deficiente; pueden presentar un alto grado de salinidad (8-16mmhos), sodicidad (20-30% PSI) o ambas. Esta clase es de transición entre las tierras adecuadas para cultivos y las apropiadas para vegetación permanente por lo que se consideran como tierras limitadas para cultivos agrícolas.
V	Esta clase corresponde a suelos apropiados para el pastoreo o silvicultura sin limitaciones. Son terrenos con pendiente entre moderada y fuerte (0-20%), poco profundos (de 15 a 25cm) y pueden presentar pedregosidad. En general se considera como un clase no apta para cultivos anuales, pero si para cultivos perennes (nopal o maguey) o de vegetación natural como pastizales.
VI	Los suelos de esta clase son apropiados para la praticultura (pastizales), con limitaciones moderadas. Son terrenos con pendientes que van de moderadas a fuertes (20-35%) y que ofrecen muy escasa resistencia la erosión causada por el agua; son suelos poco profundos (15-25 cm), pueden presentar excesiva pedregosidad y altas concentraciones de sales (más de 16 mmhos) y sodio(> 30 PSI). Por las características mencionadas esta unidad no es apta para cultivos anuales, pero si para cultivos perennes o vegetación natural.
VII	Esta clase presenta suelos con limitaciones severas para la praticultura (pastizales) o silvicultura. Son terrenos con pendiente fuerte (35 a 100%) y muy escarpados, con suelos someros (de 8 a 15 cm de profundidad) que presentan poca resistencia a la acción erosiva del agua y el viento. Son tierras no adecuadas para la agricultura. Aptas vegetación natural con limitaciones.

CLASE	DESCRIPCIÓN*
VIII	La clase VIII son tierras sin aptitud para actividades agrícolas o pecuarias. Son muy escabrosas (pendiente >100%), arenosas ó demasiado áridas. Pueden ser útiles para vida silvestre; algunos de estos terrenos son útiles para la extracción de materiales de construcción. En esta clase quedan incluidas las áreas atravesadas por cárcavas profundas y las áreas muy escarpadas y rocosas. Por estas características, la clase VIII se considera como tierras no adecuadas para uso agropecuario y forestal.

* Descripción adaptada de INEGI, 2005.

5.3.2. Predicción de riesgo a la erosión en 32 microcuencas hidrológicas en el estado de San Luis Potosí. El riesgo a la erosión se estimó en 235,517 hectáreas, de las cuales 46% presentan riesgo de erosión potencial leve (de 0 a 10 ton $ha^{-1}año^{-1}$ de pérdida de suelo); 25% presenta erosión moderada (de 10 a 50 ton $ha^{-1}año^{-1}$); 20% tiene un riesgo de erosión potencial alto (de 50 a 200 ton $ha^{-1}año^{-1}$); y, una erosión potencial mayor a 200 ton $ha^{-1}año^{-1}$ se puede presentar en 8% de la superficie de las microcuencas (Figura 21).

En el Cuadro 22 se presenta el riesgo a la erosión hídrica que se estimó para cada una de las microcuencas; de la Figura 22 a la Figura 85 se presentan mapas (♣) con información sobre la erosión potencial, erosión actual y erosión con prácticas vegetativas y mecánicas de cada una de las 32 microcuencas incluidas en el proyecto “Evaluación de tierras para el manejo de 32 microcuencas hidrológicas en el estado de San Luis Potosí”.

♣ La información cartográfica aquí presentada se encuentra en formato digital en un SIG. Los interesados en obtener mayor precisión de la información con respecto a cierta área en particular, pueden acudir al Campo Experimental del INIFAP en San Luis Potosí.

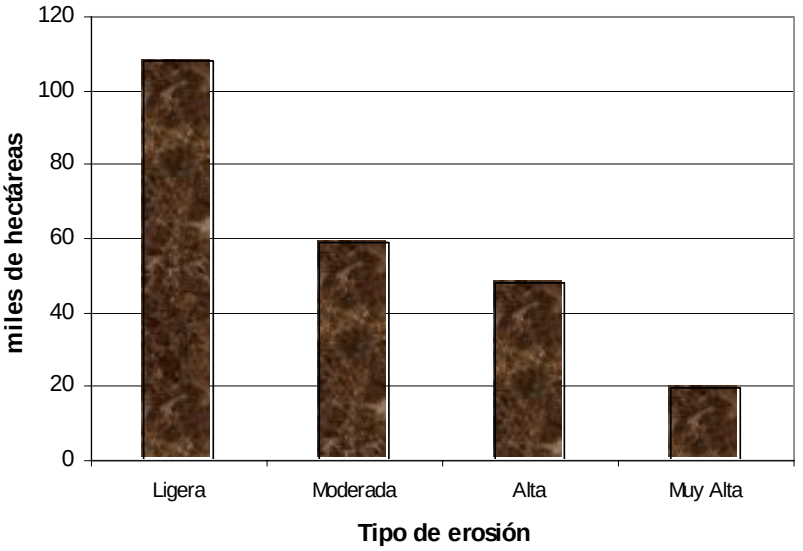


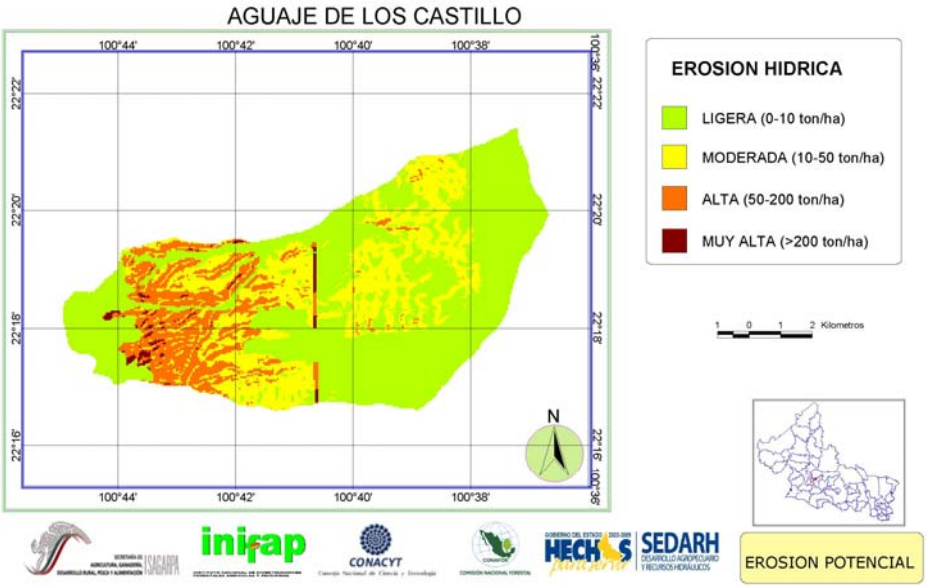
Figura 21. Superficie afectada por diferentes grados de erosión en 32 microcuencas de San Luis Potosí.

La erosión potencial se estimó con el modelo empírico de predicción conocido como la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) desarrollado por Wischmeier y Smith (1965), el cual estima las pérdidas de suelo promedio anual, debidas a erosión laminar y en canalillos, en áreas agrícolas (Wischmeier y Smith, 1978), utilizando observaciones realizadas en más de 10,000 lotes de escurrimiento, que aportaron datos de pérdida de suelo, los cuales fueron analizados estadísticamente.

Cuadro 22. Riesgo a la erosión potencial en cada una de las microcuencas

MICROCUENCA	Tipo De erosión				
	Ligera	Moderada	Alta	Muy Alta	Total
Aguaje de los Castillos	5,225	657	278	22	6,182
Aguazarca-Papagayos	1,044	1,230	2,387	7,611	12,272
Carranco	3,552	3,540	1,600	2	8,695
Charquito	6,308	2,577	2,137	1,960	12,982
Corazones	3,548	2,114	874	118	6,656
Coronado	5,752	853	547	1	7,153
El Rosario	3,125	2,125	1,149	1	6,400
Emiliano Zapata	1,452	1,260	2,894	320	5,927
Enramadas	1,145	1,963	483	24	3,615
Francisco I. Madero	1,663	696	647	106	3,113
Garrochitas Panalillo I	3,274	3,526	3,389	3,811	14,001
Garrochitas Panalillo II	916	1,840	1,772	62	4,590
San Luis Gonzaga	1,806	823	855	92	3,576
Guanamé	8,554	2,252	1,411	368	12,586
Ipiña	1,404	1,519	1,276	245	4,444
La Ventilla	4,835	231	80	0	5,145
Las Tapias	781	1,046	286	0	2,114
Mexquitic I	2,508	2,410	887	29	5,833
Mezquitalillo	223	993	2,871	1,226	5,313
Palomas(Contrayerba)	4,187	1,956	1,055	77	7,274
Polocote	1,158	892	1,412	618	4,080
Portezuelo	4,548	4,869	3,231	725	13,373
Puerto Espino	1,382	670	870	248	3,170
Rancheria de Guadalupe	2,904	1,104	934	115	5,057
Rodrigo	1,085	1,590	2,537	171	5,383
San Antonio	3,162	1,166	491	92	4,911
San Lorenzo	5,339	3,353	1,530	496	10,717

MICROCUENCA	Tipo De erosión				
	Ligera	Moderada	Alta	Muy Alta	Total
San Miguel	1,771	1,645	3,175	88	6,679
Santa Rita	9,919	932	799	2	11,651
Tepetate	4,274	3,627	1,604	96	9,602
Villa de Arista I	8,514	4,077	2,318	96	15,005
Villa de Arista II	2,867	1,639	2,503	1,011	8,020
TOTAL	108,228	59,173	48,282	19,835	235,517



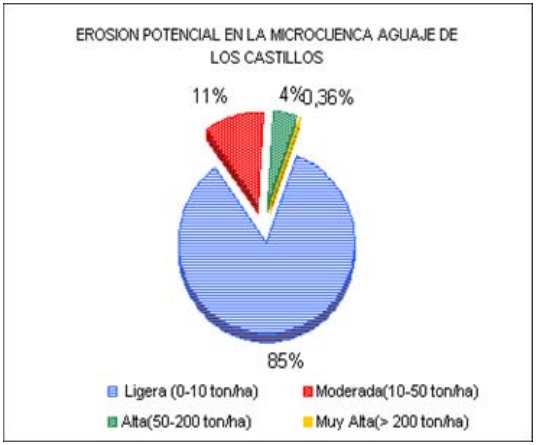


Figura 22. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Aguaje de los Castillo.

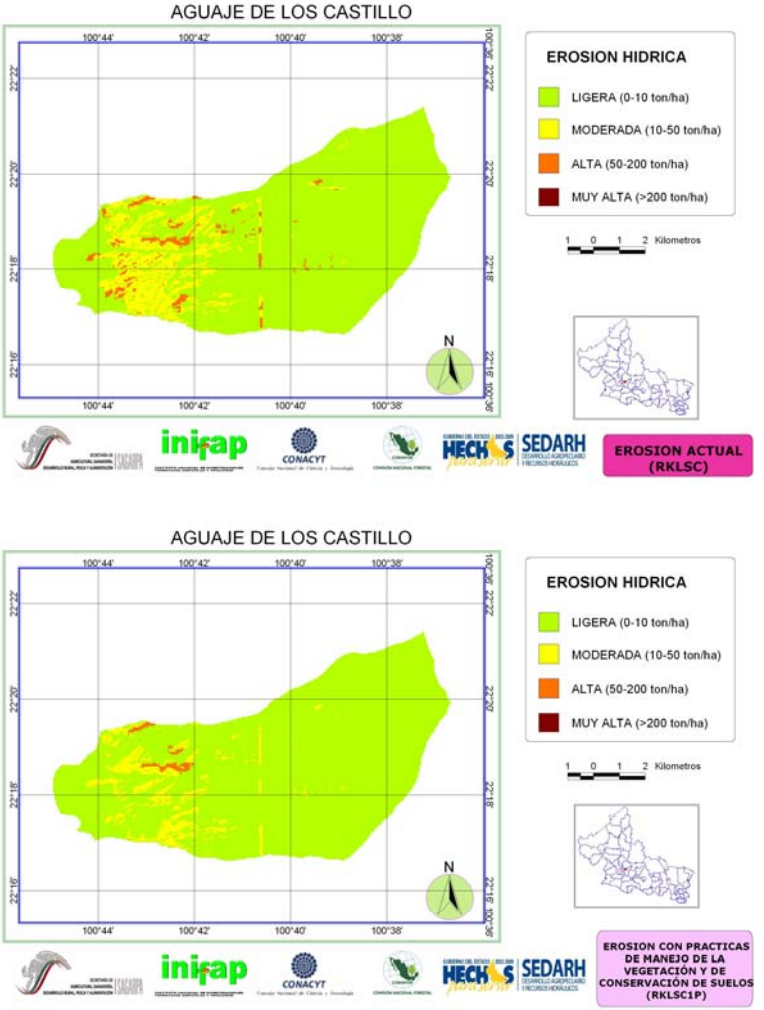
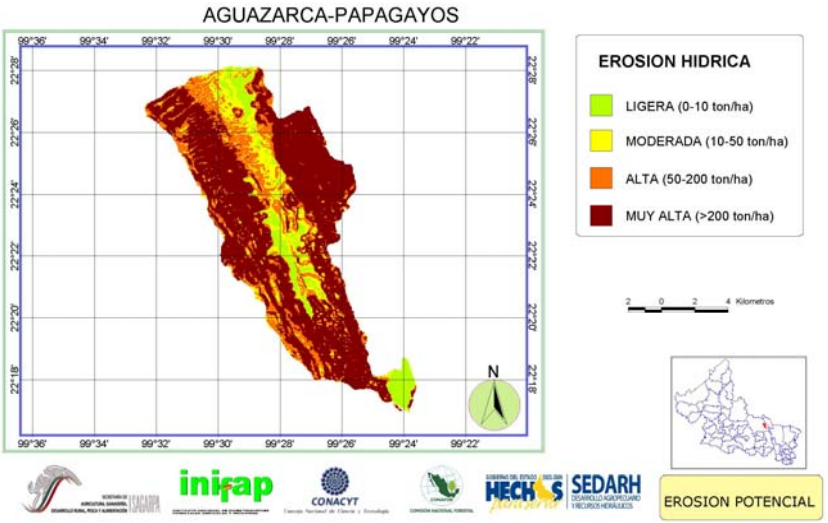


Figura 23. Erosión actual y esperada con manejo adecuado de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Aguaje de los Castillo.



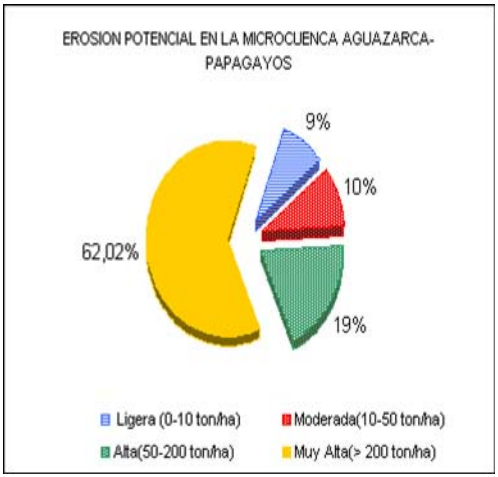
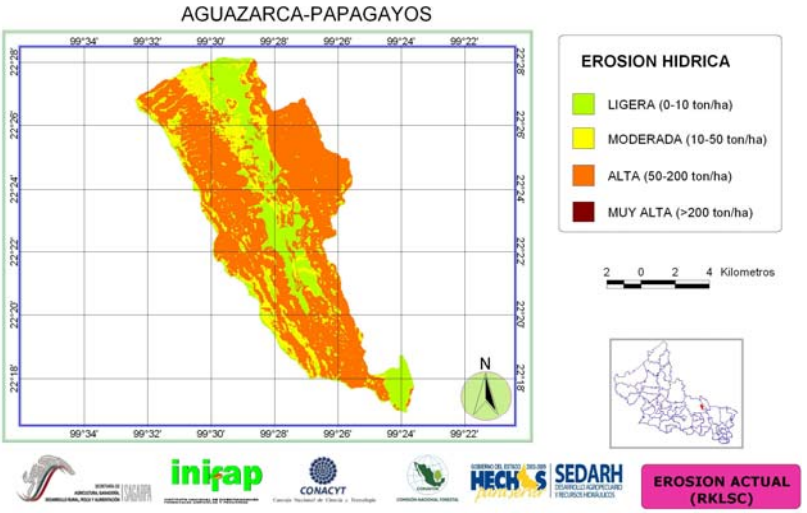


Figura 24. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Aguazarca-Papagayos.



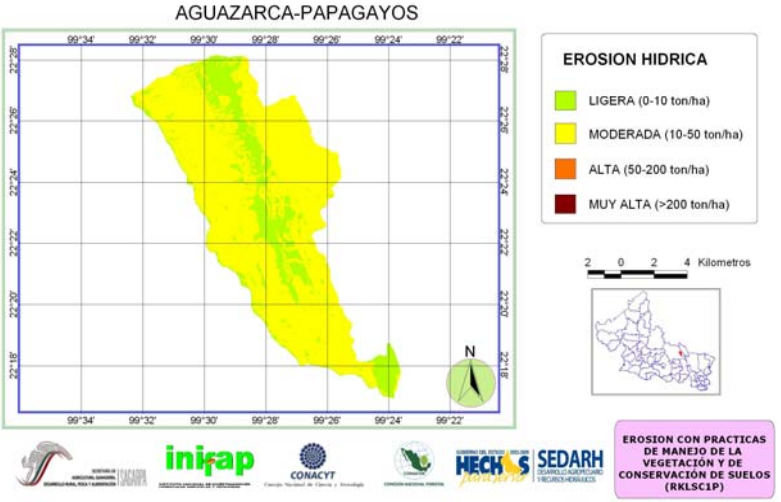
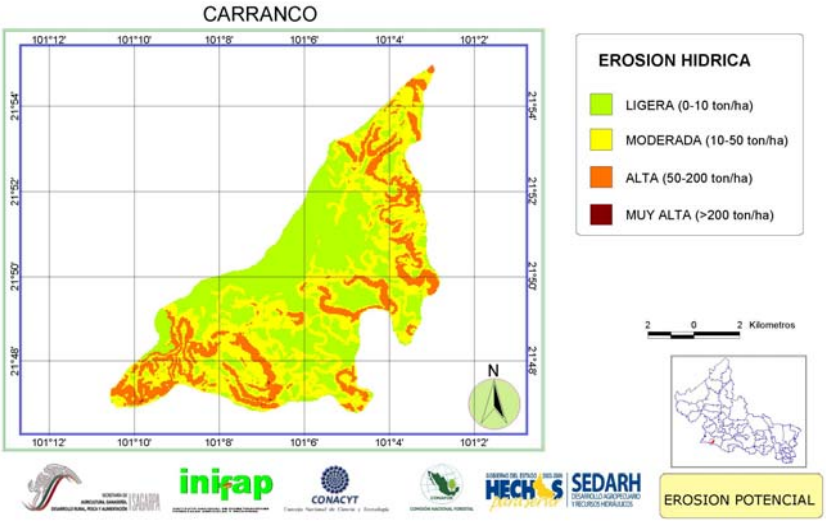


Figura 25. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Aguazarca-Papagayos.



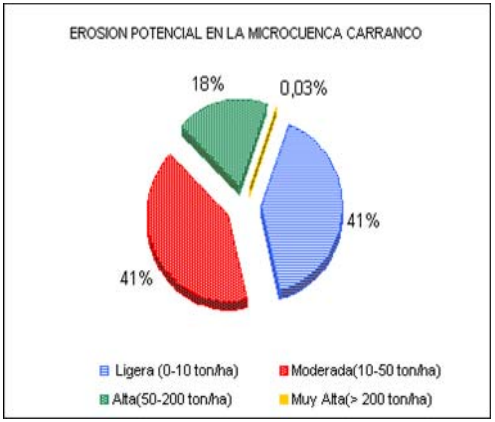
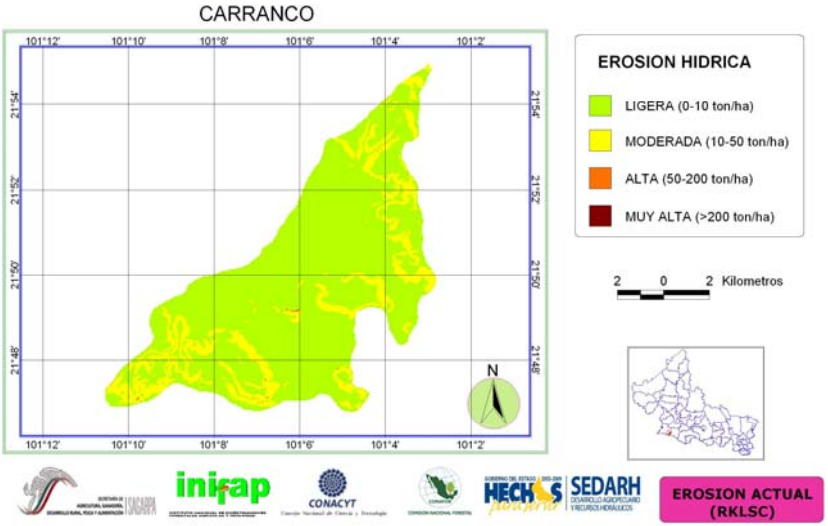


Figura 26. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Carranco.



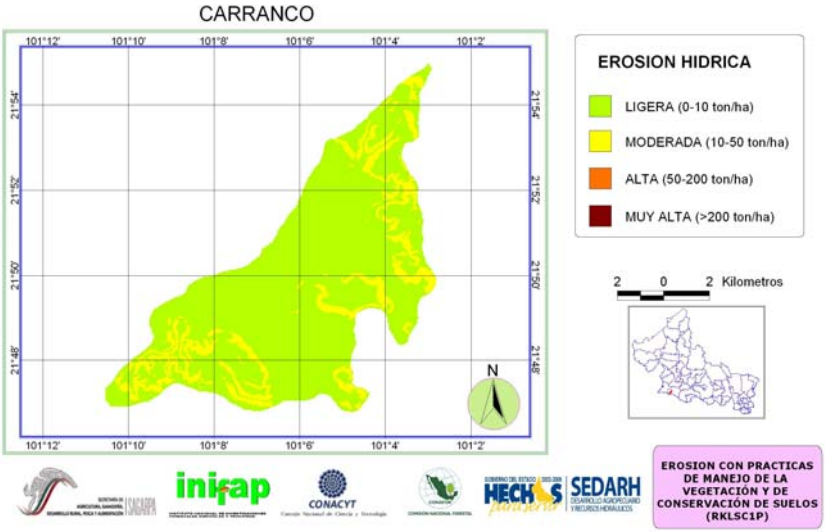
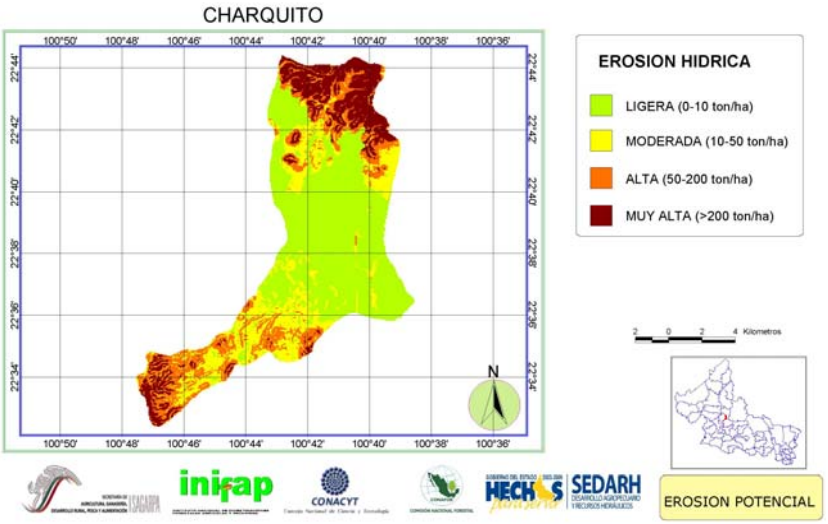


Figura 27. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Carranco.



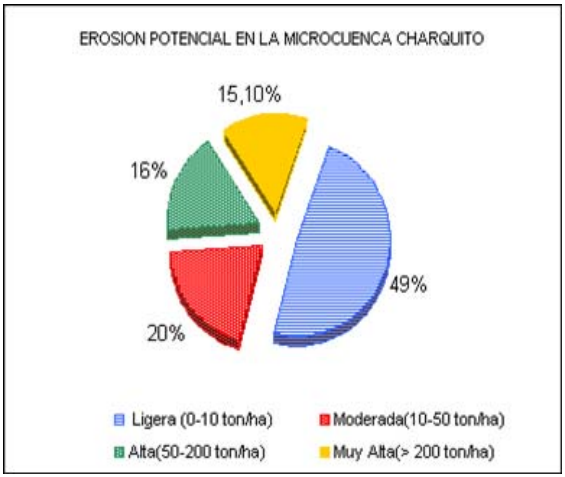
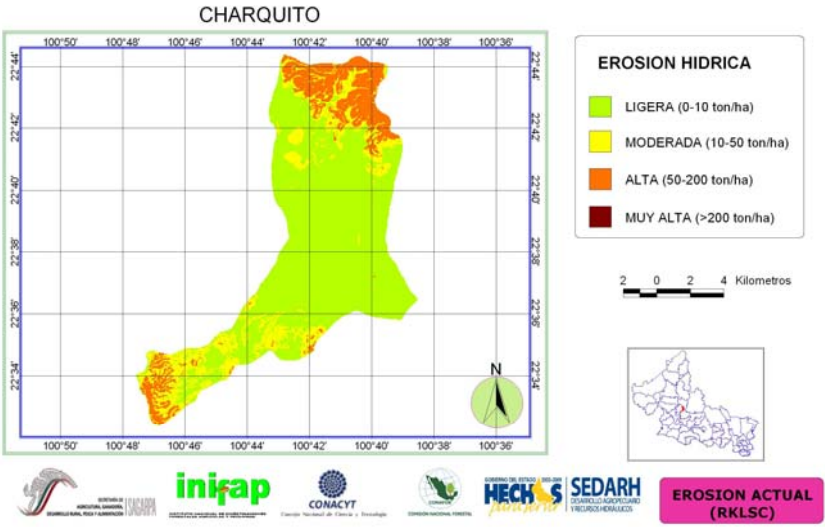


Figura 28. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Charquito.



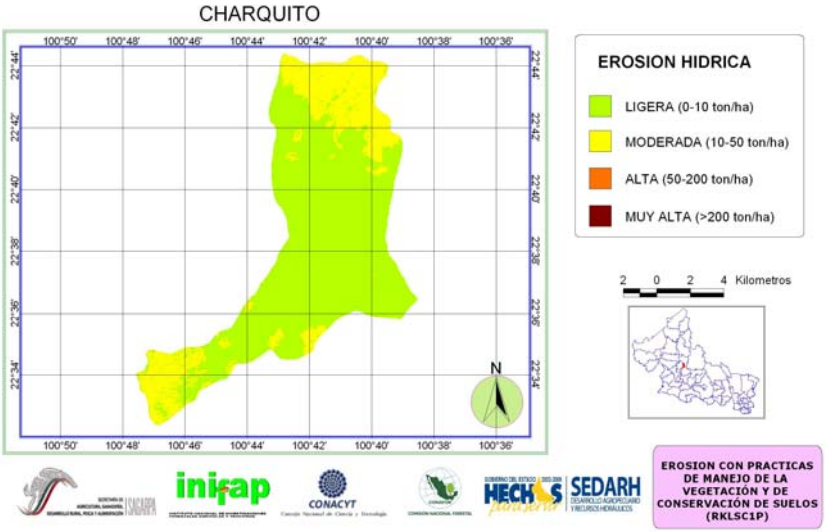
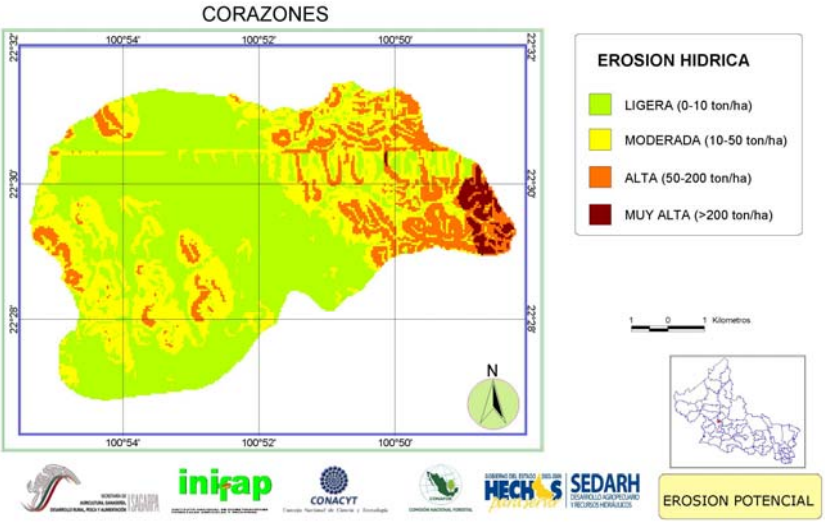


Figura 29. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Charquito.



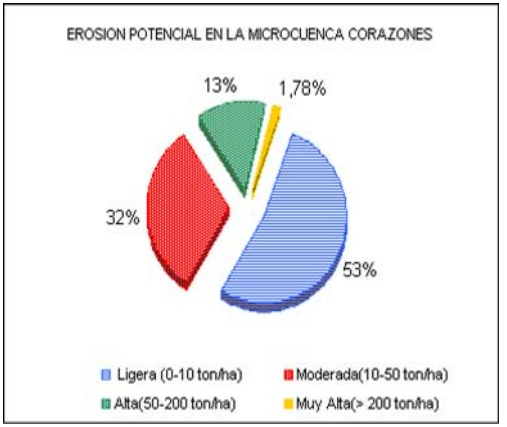
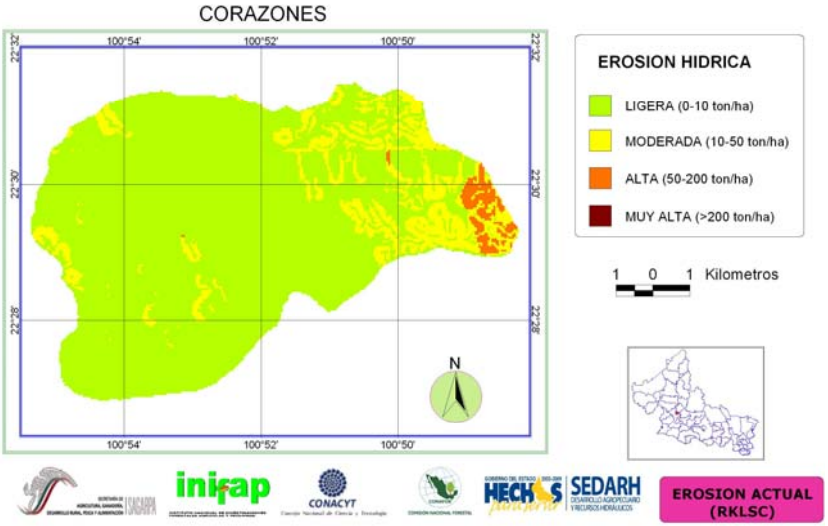


Figura 30. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Corazones.



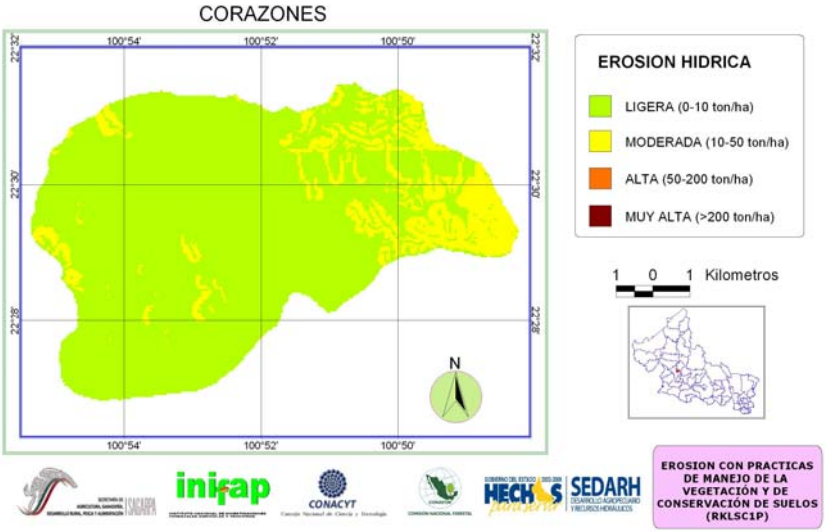


Figura 31. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Corazones.

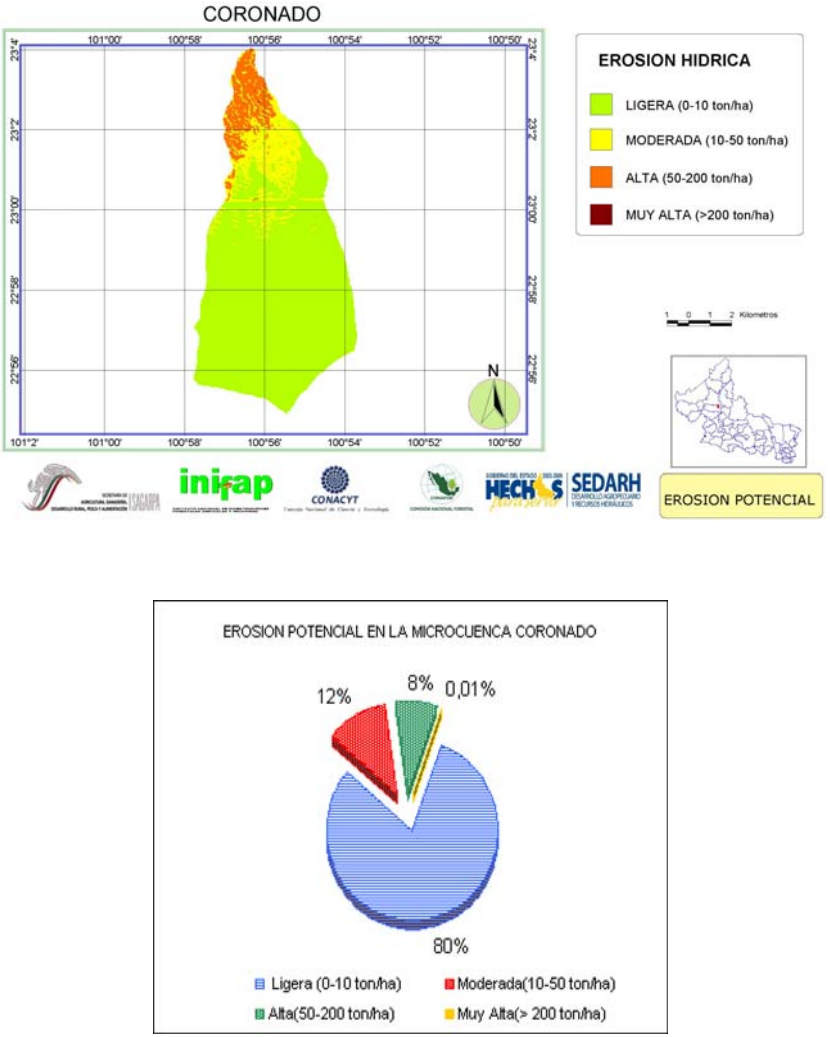
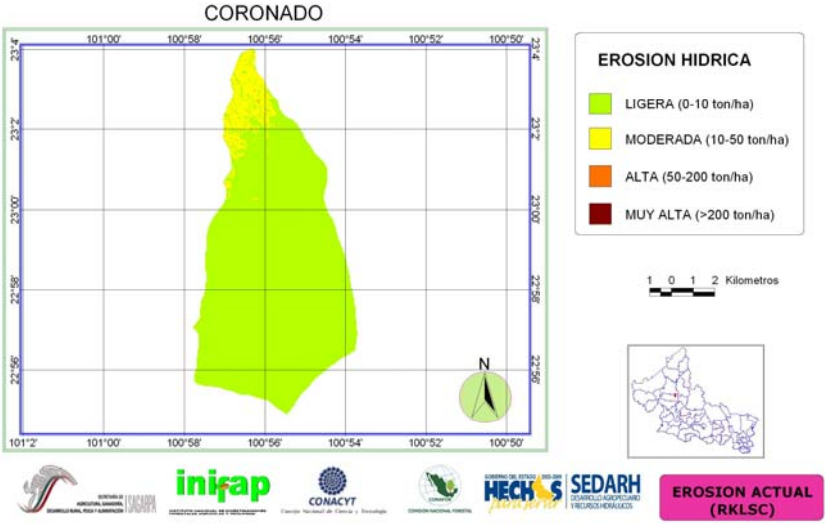


Figura 32. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Coronado.



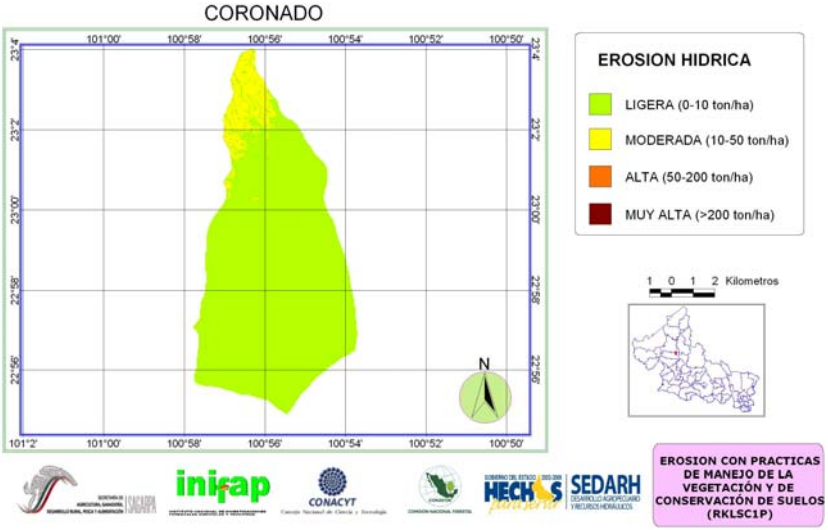
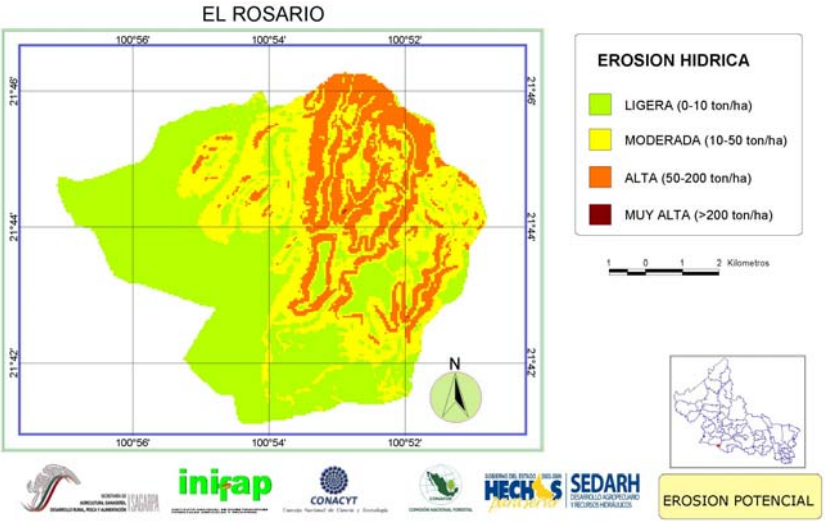


Figura 33. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Coronado.



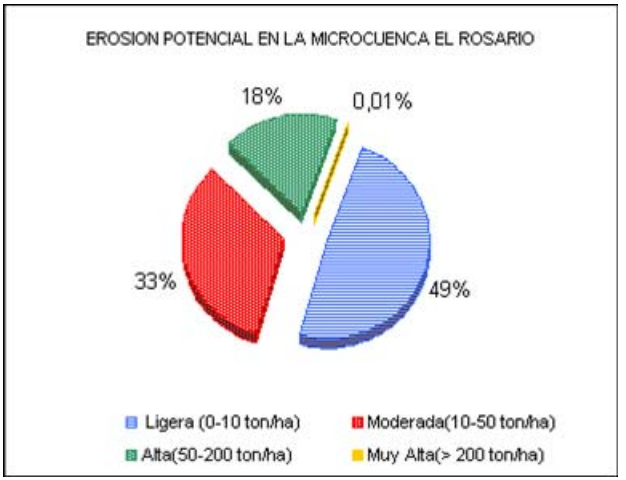
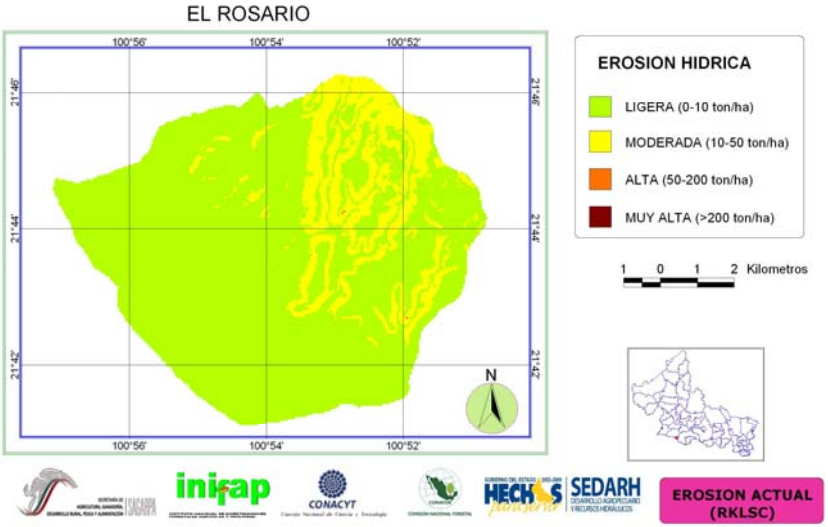


Figura 34. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca El Rosario.



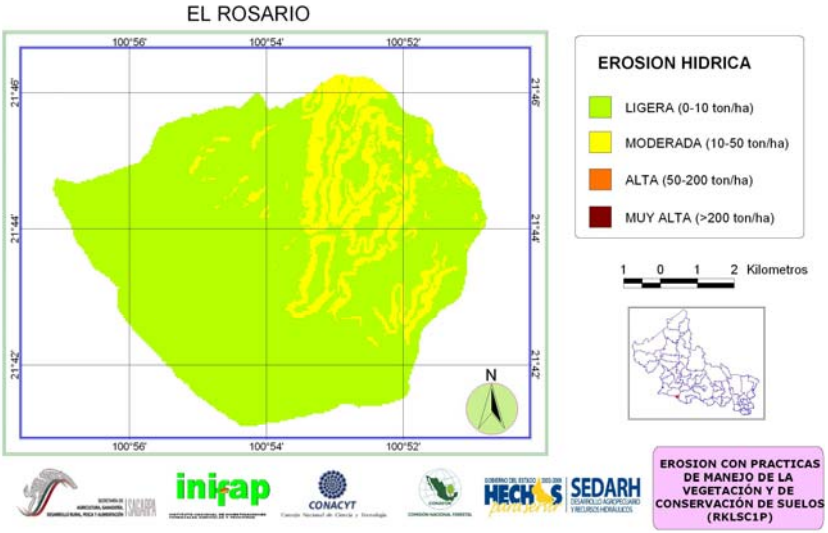
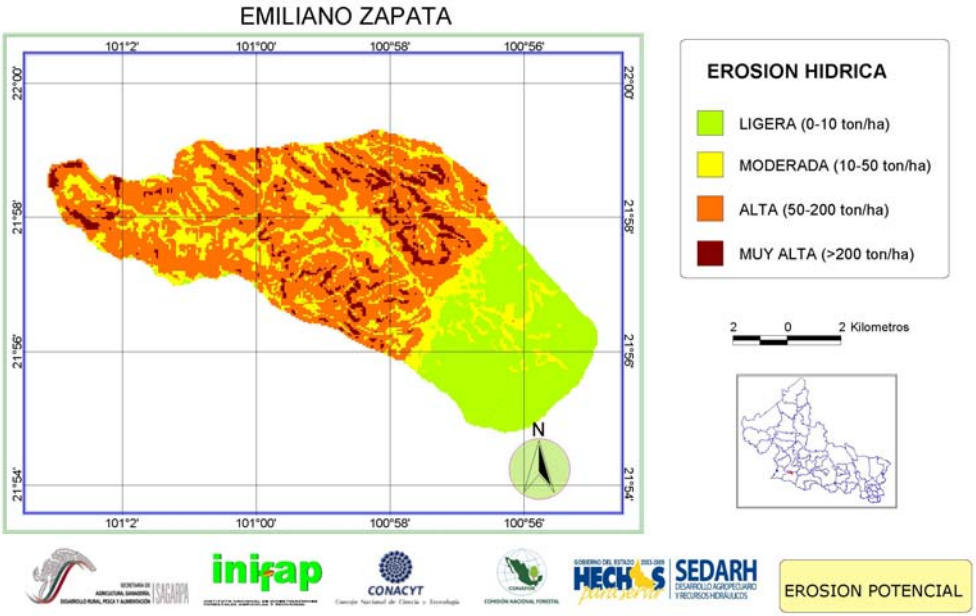


Figura 35. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca El Rosario.



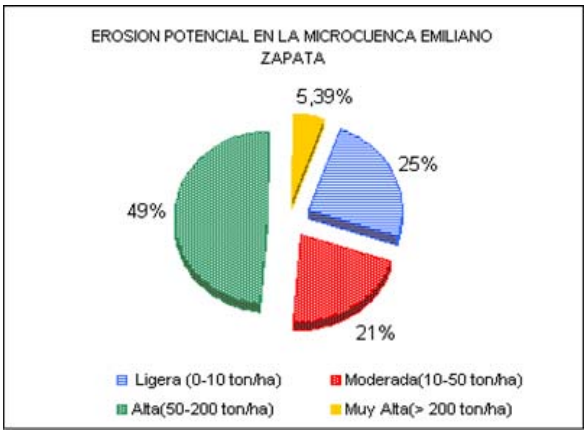


Figura 36. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Emiliano Zapata.

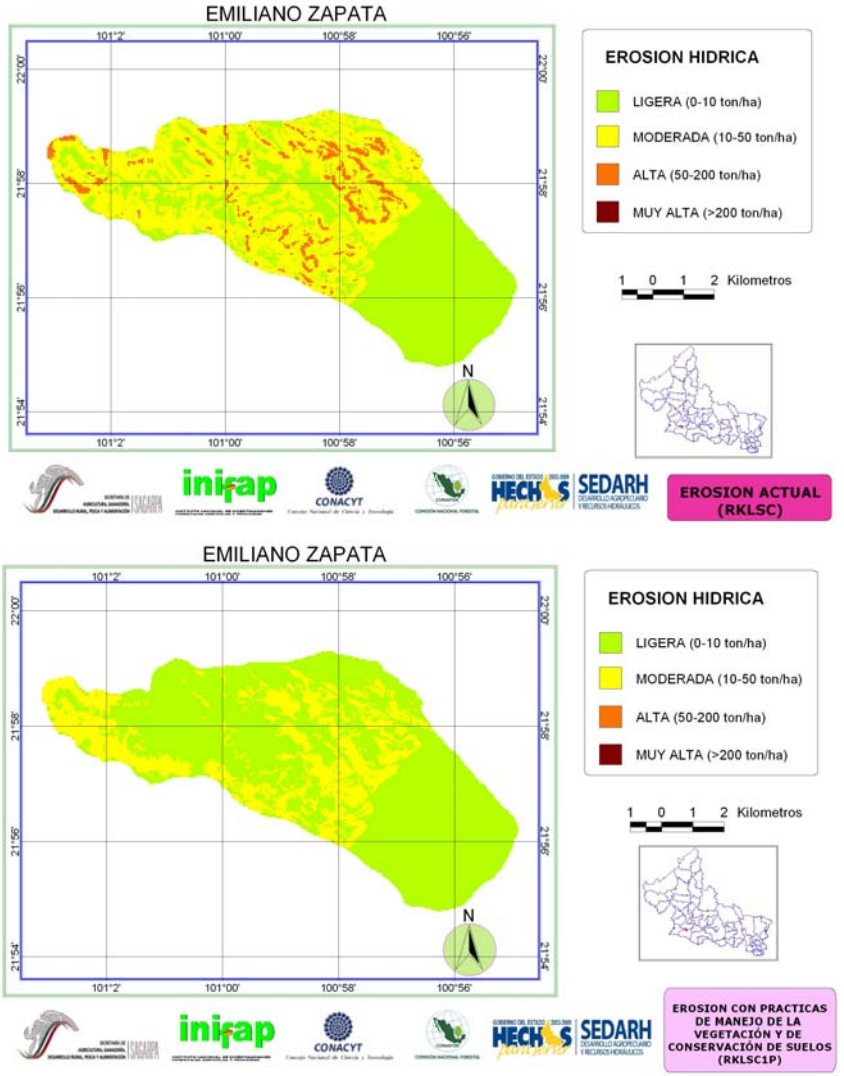
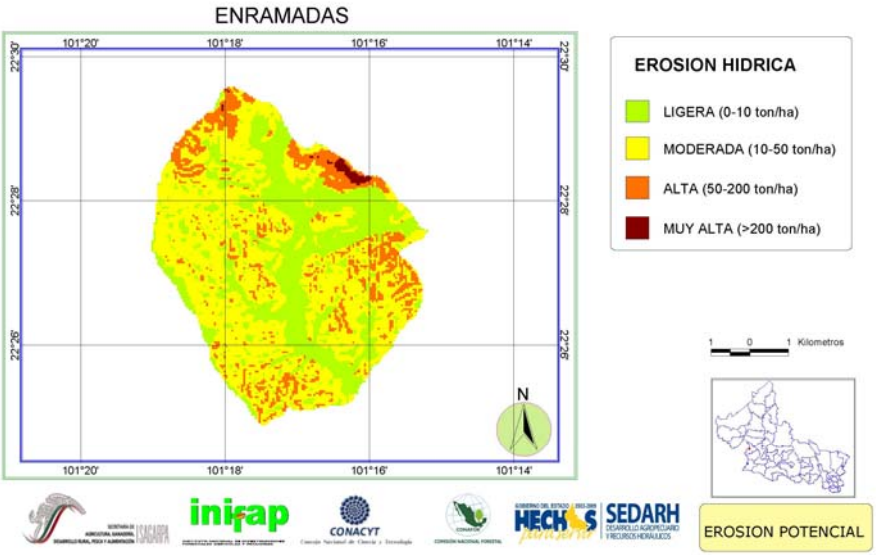


Figura 37. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Emiliano Zapata.



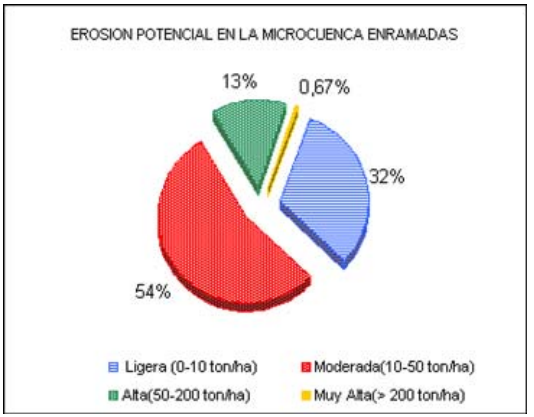
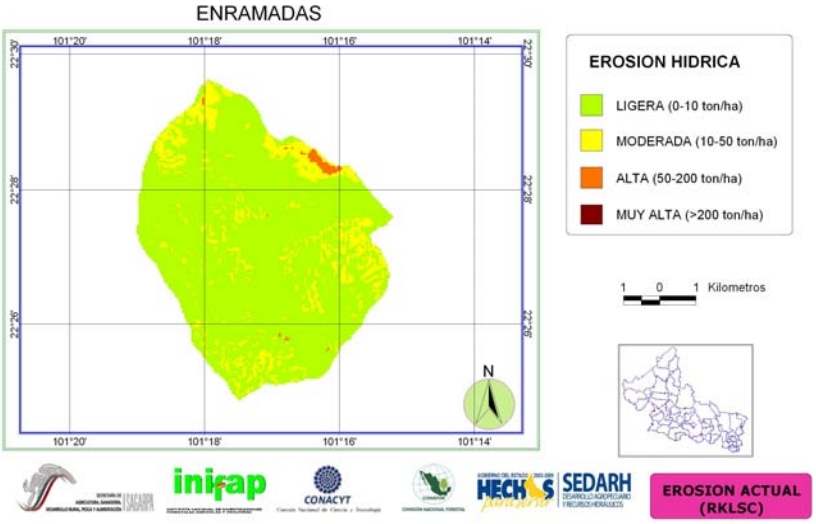


Figura 38. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Enramadas.



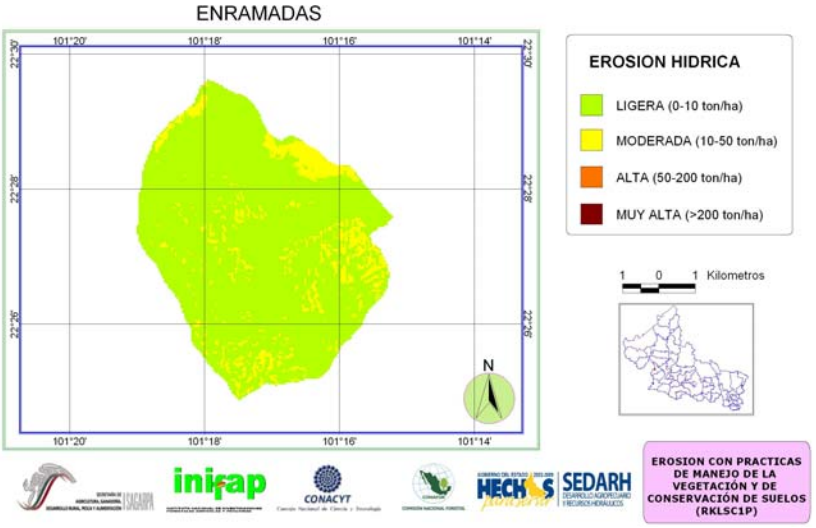
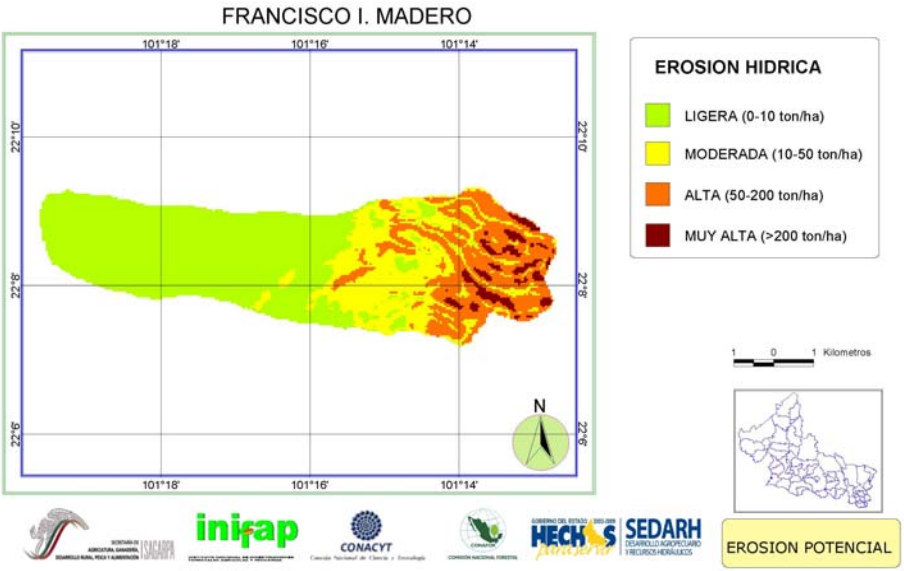


Figura 39. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Enramadas.



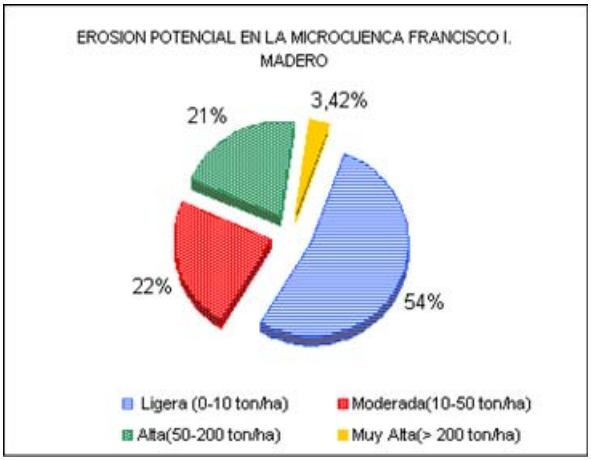


Figura 40. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Francisco I. Madero.

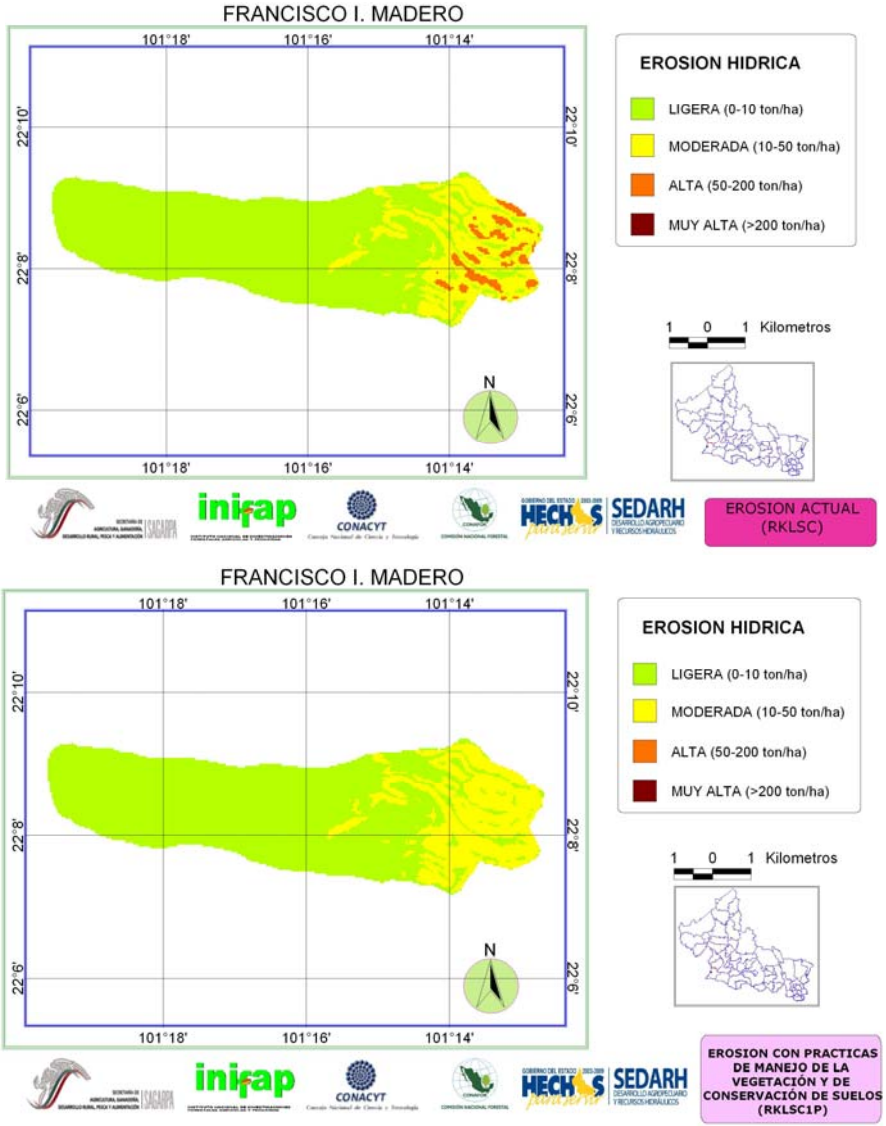
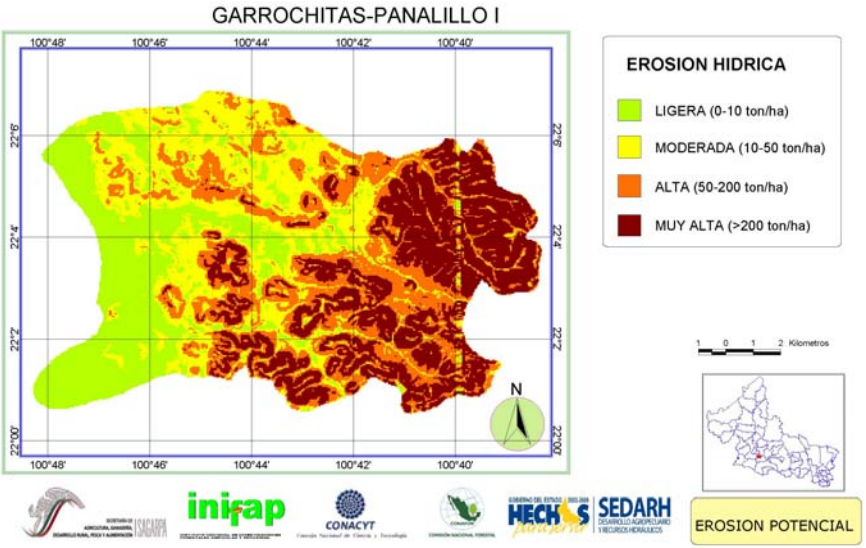


Figura 41. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Francisco I. Madero.



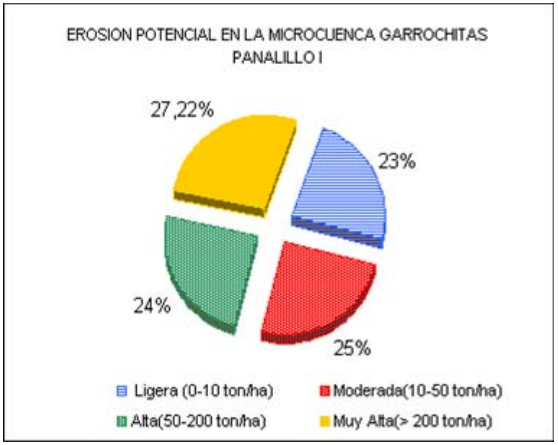
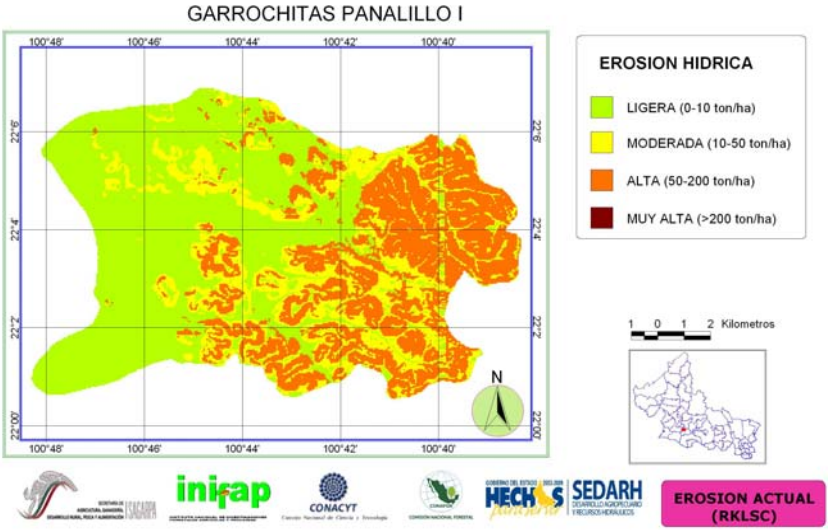


Figura 42. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Garrochitas Panalillo I.



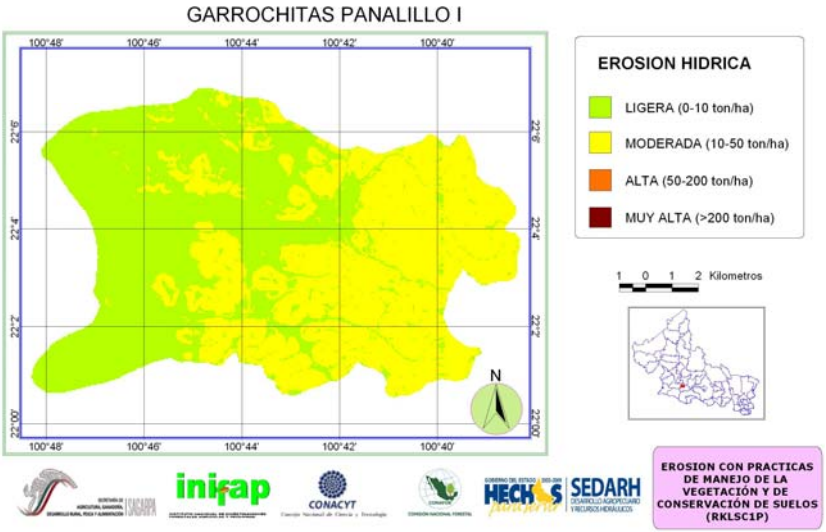
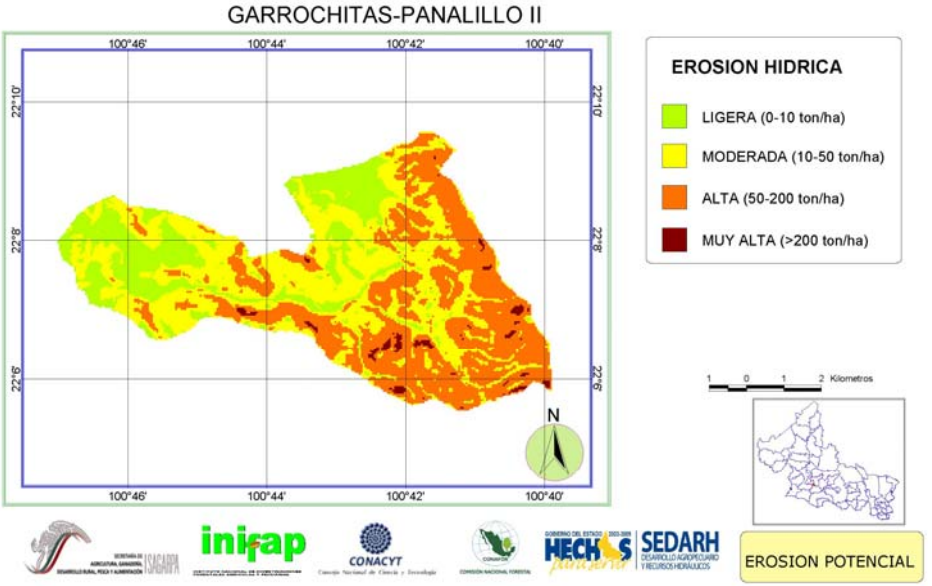


Figura 43. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Garrochitas Panalillo I.



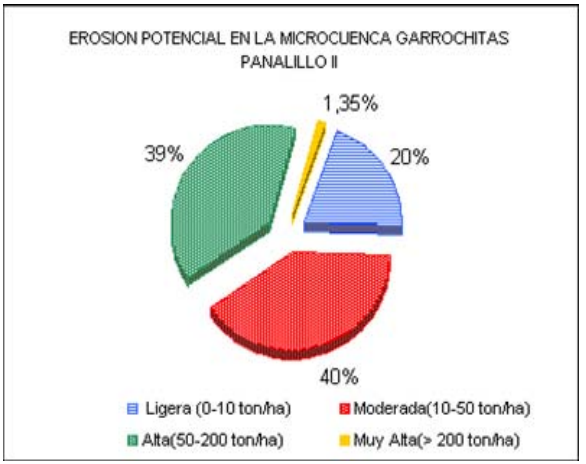


Figura 44. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Garrochitas Panalillo II.

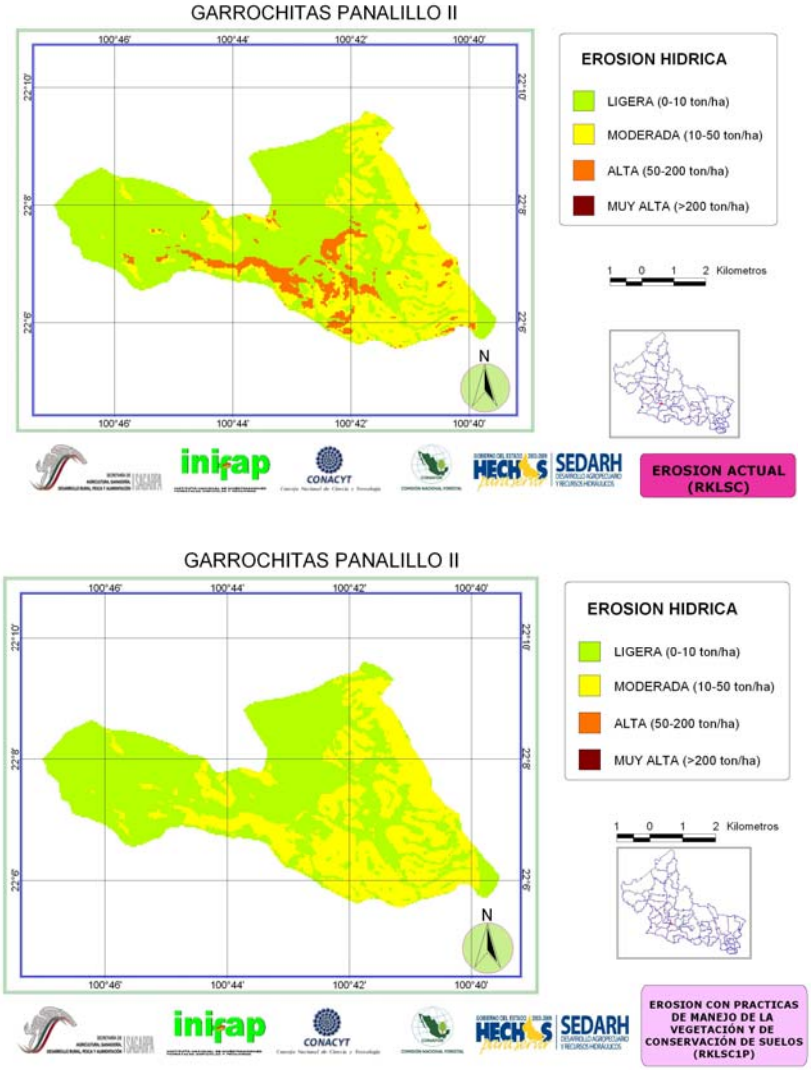


Figura 45. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Garrochitas Panalillo II.

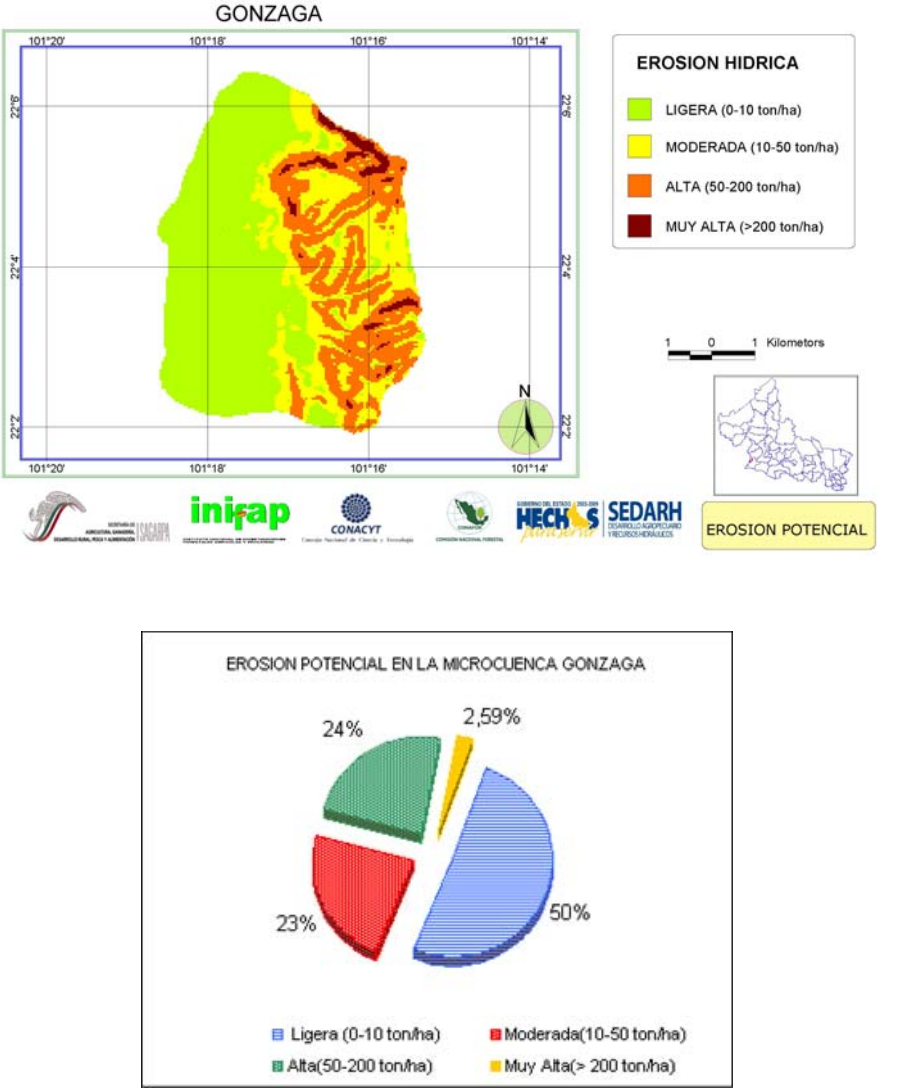


Figura 46. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca San Luis Gonzaga.

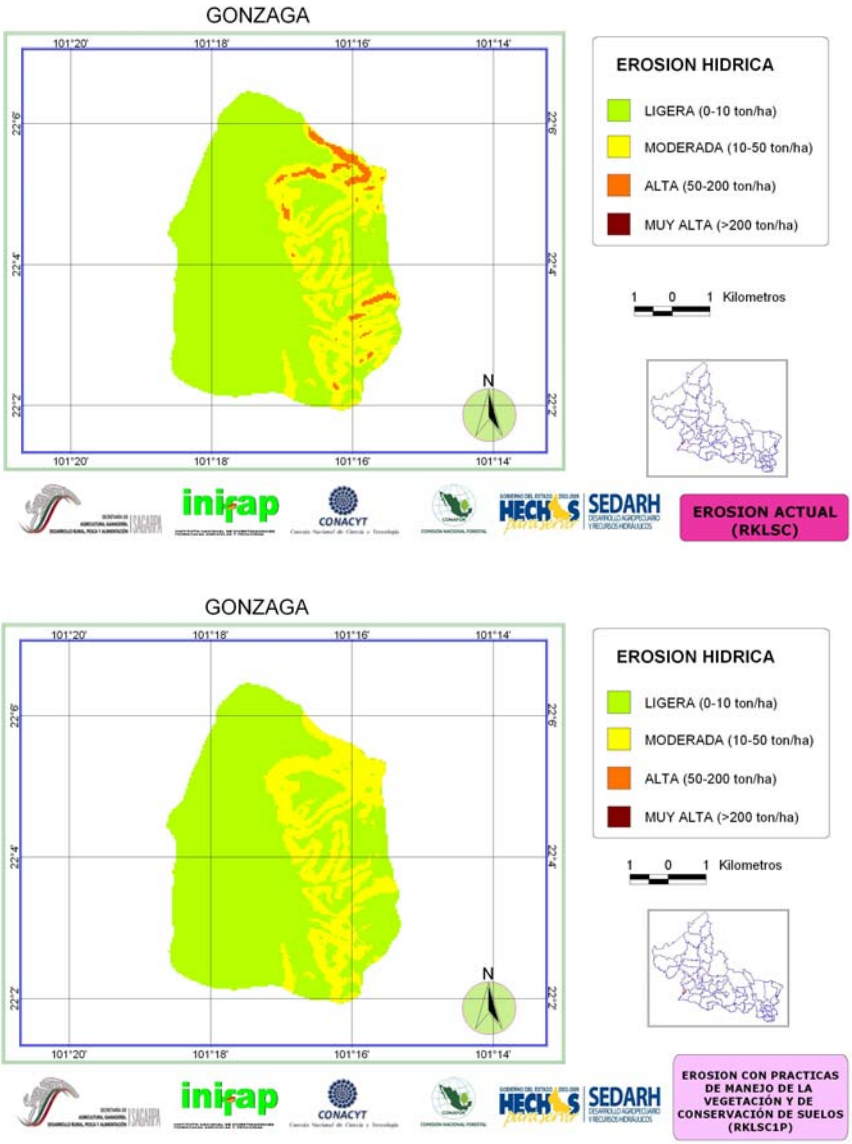
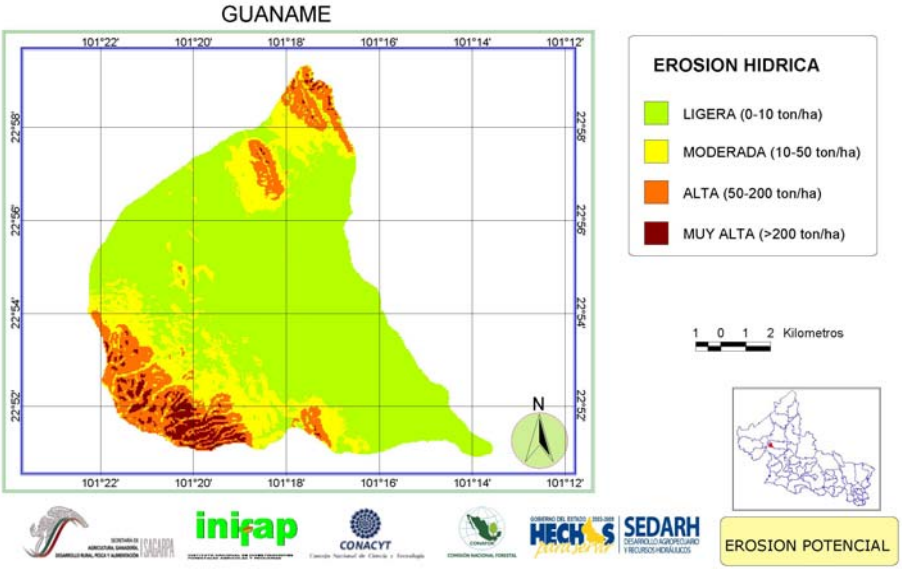


Figura 47. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca San Luis Gonzaga.



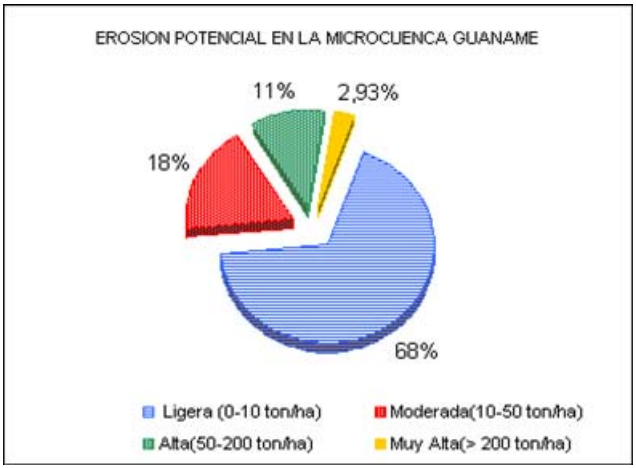


Figura 48. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Guanamé.

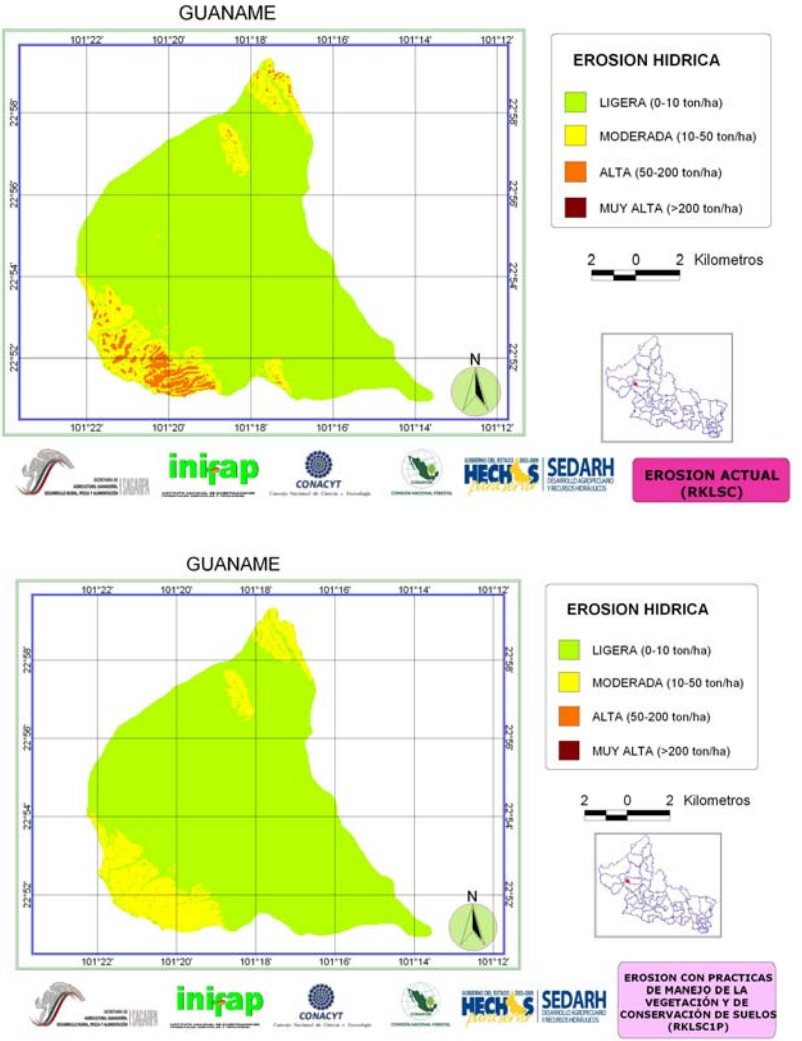


Figura 49. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Guanamé.

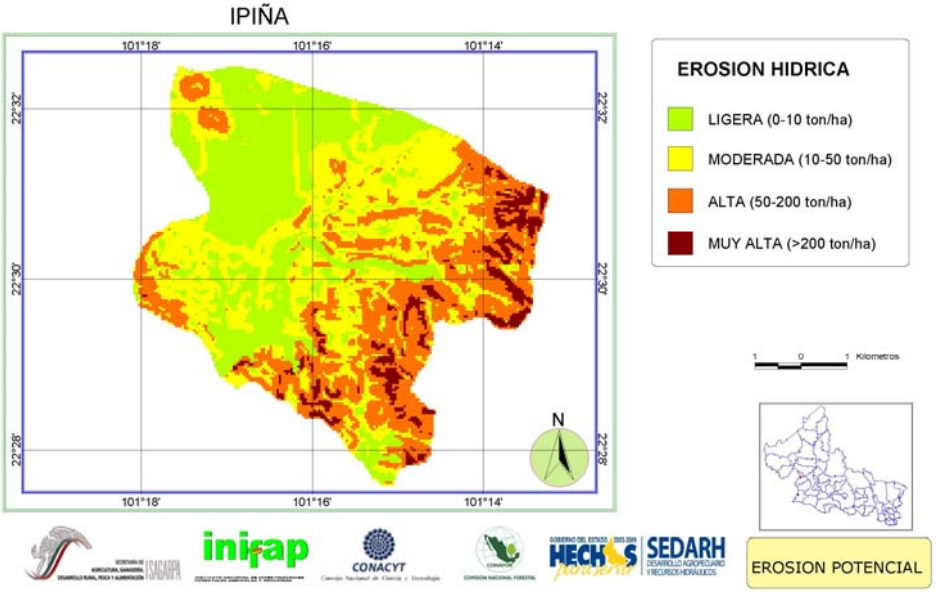


Figura 50. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Ipiña.

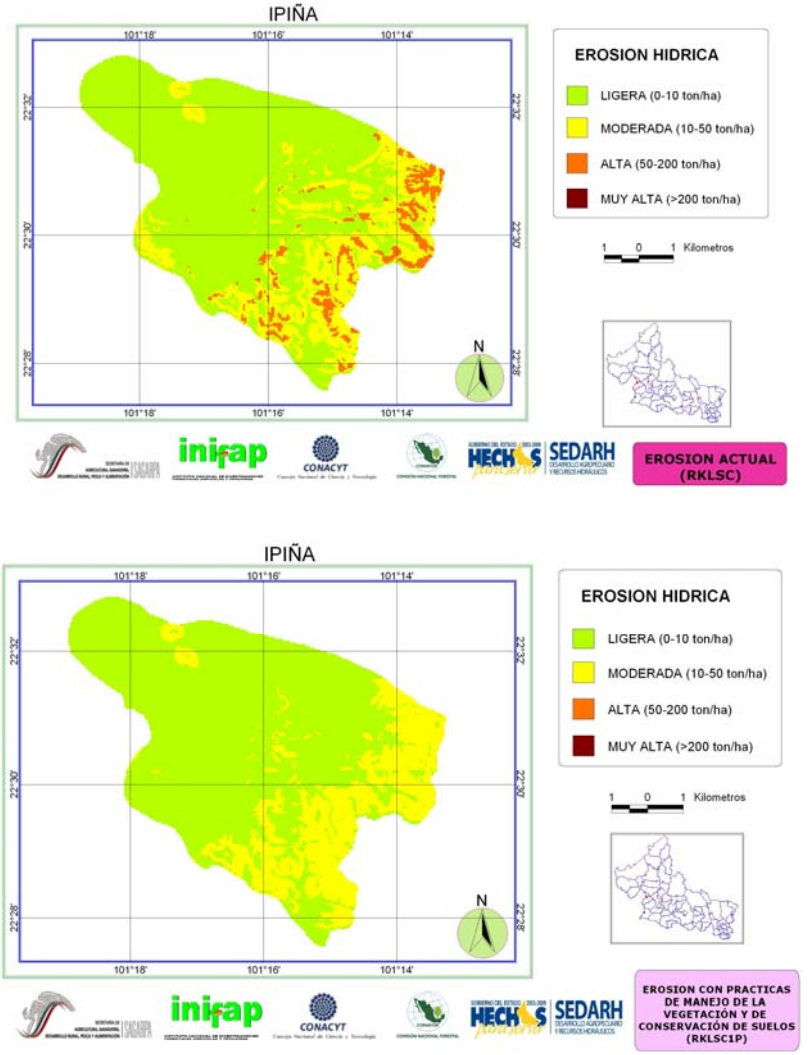
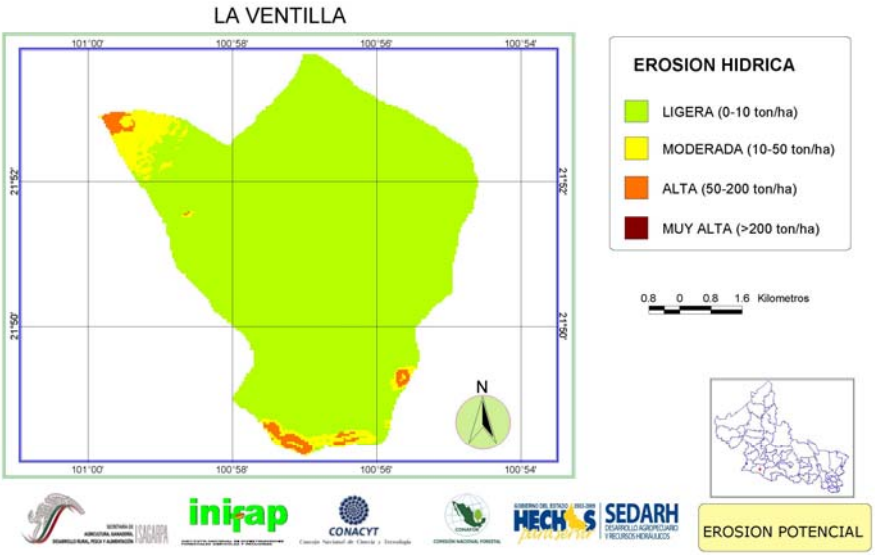


Figura 51. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Ipiña.



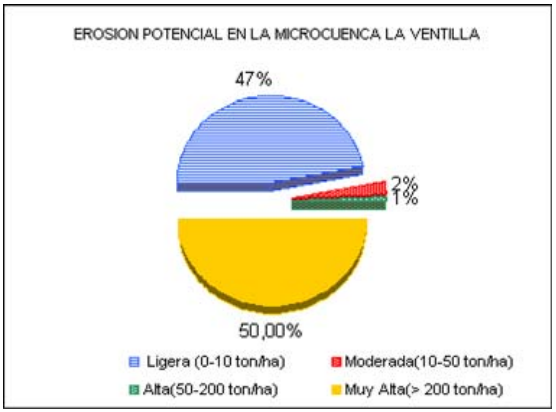
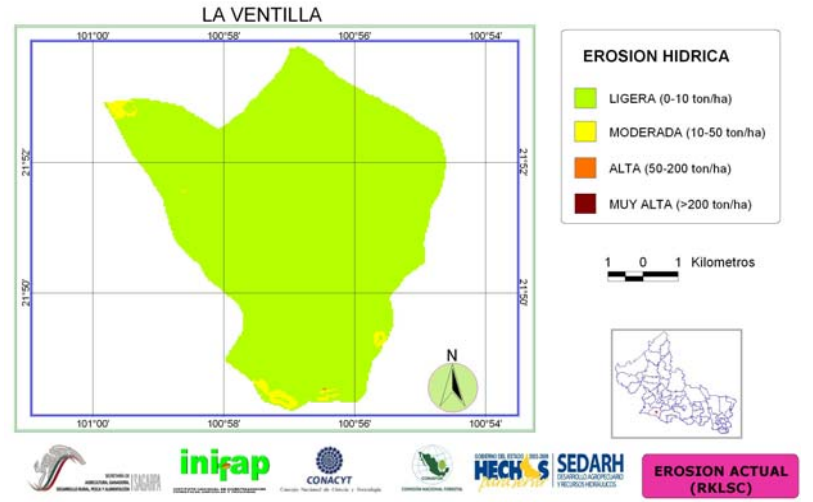


Figura 52. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca La Ventilla.



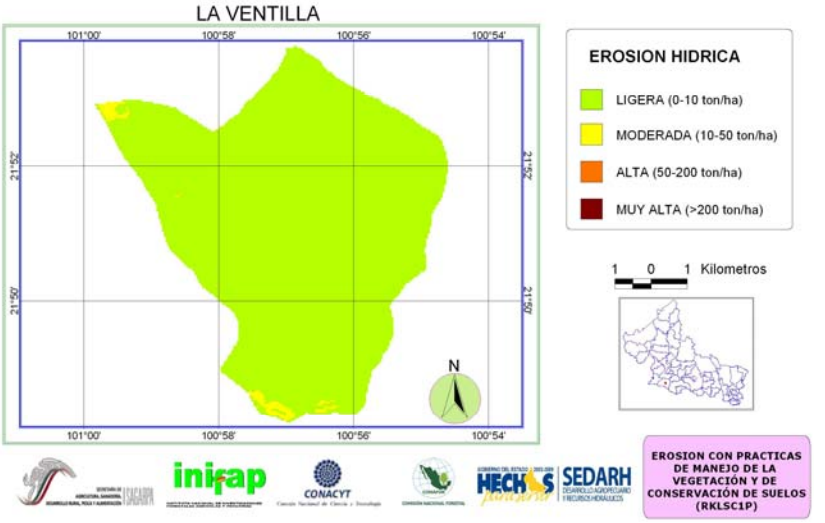
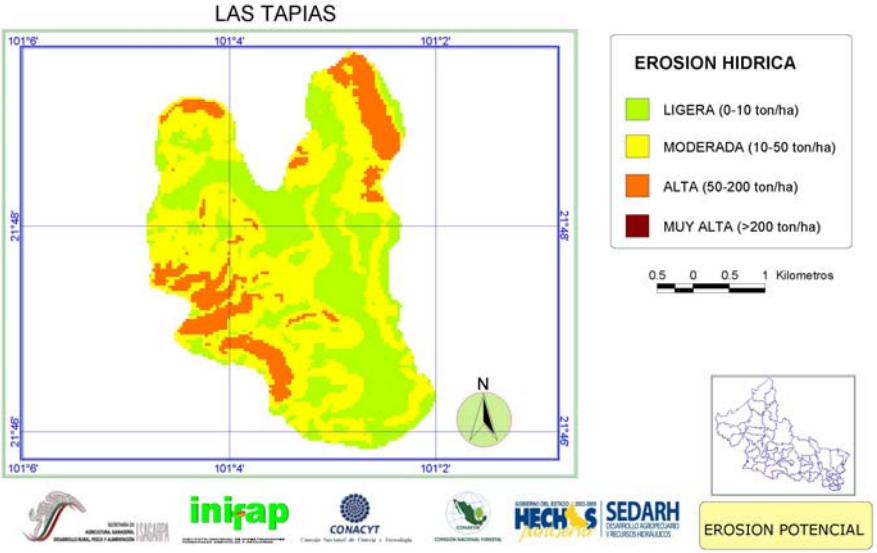


Figura 53. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca La Ventilla.



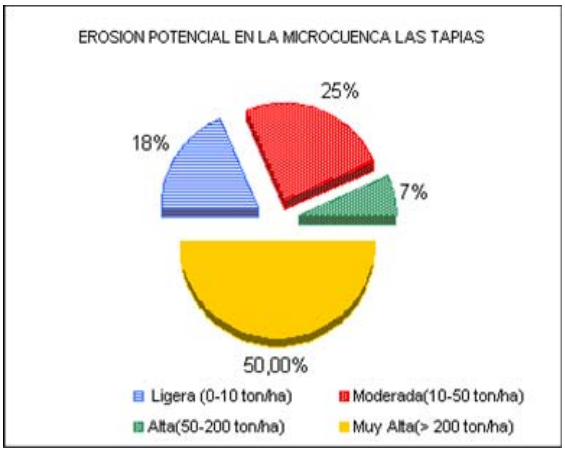
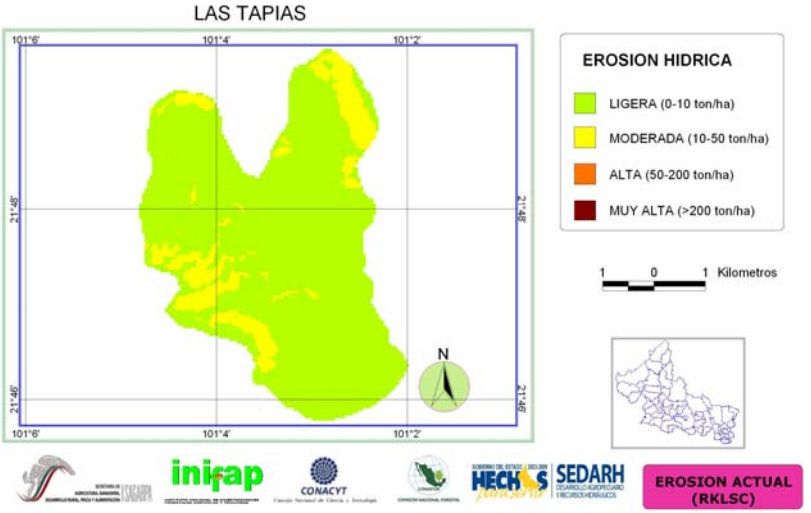


Figura 54. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Las Tapias.



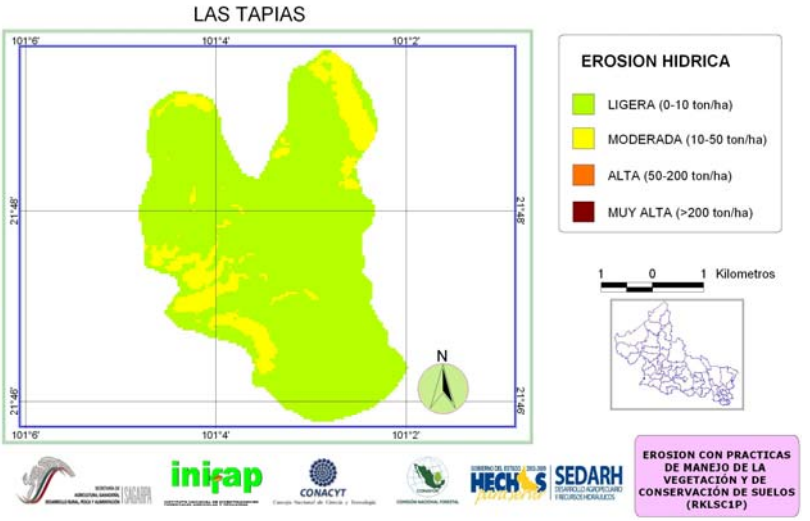
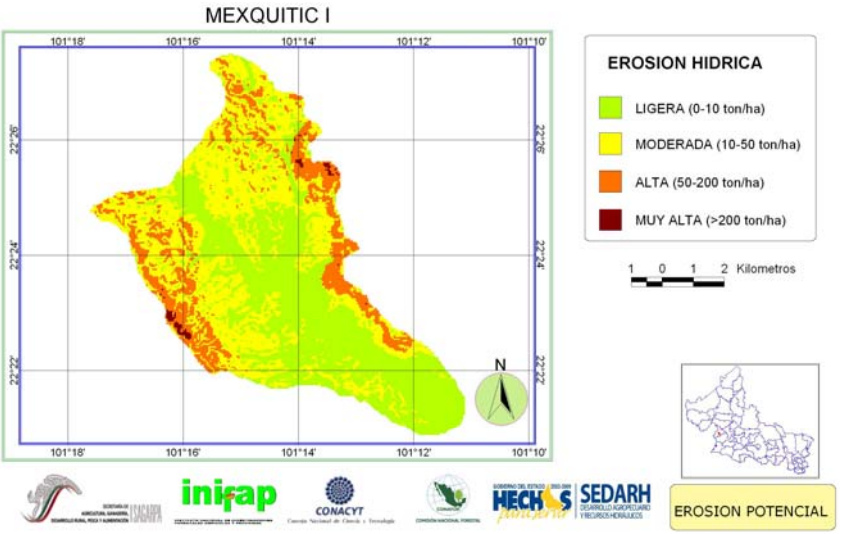


Figura 55. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Las Tapias.



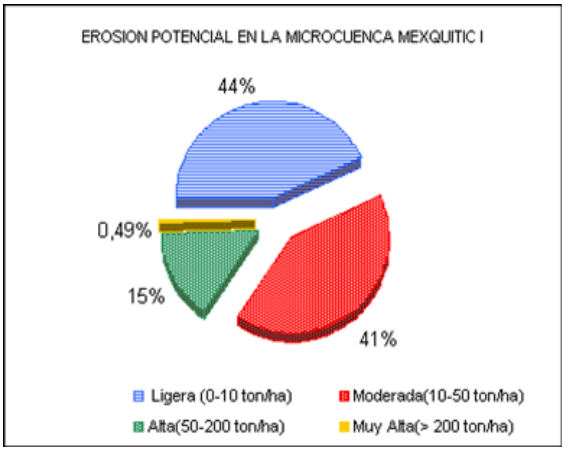


Figura 56. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Mexquitic I.

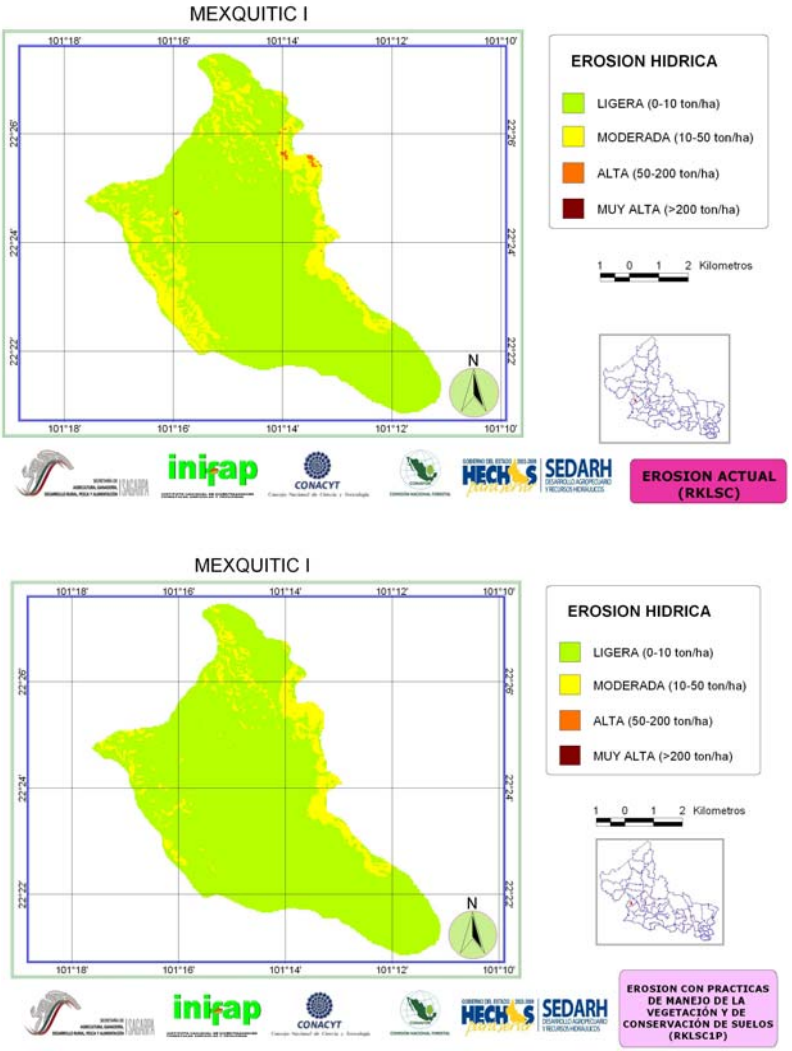
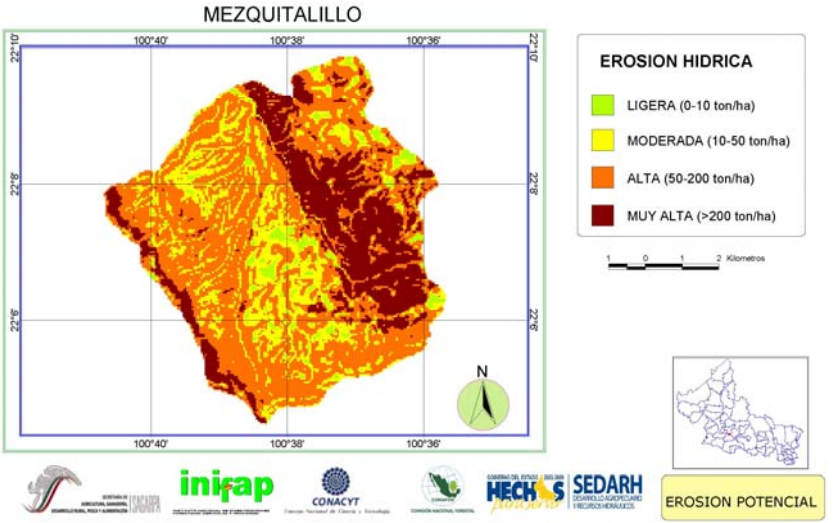


Figura 57. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Mexquitic I.



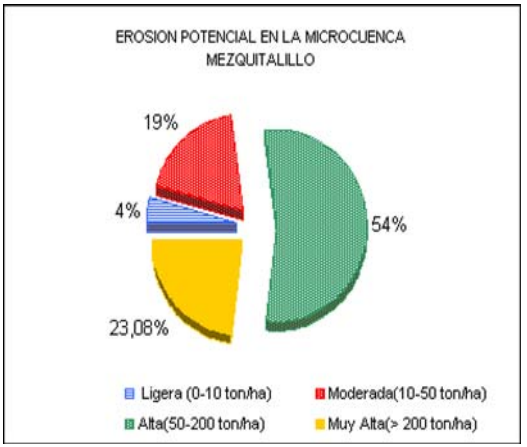
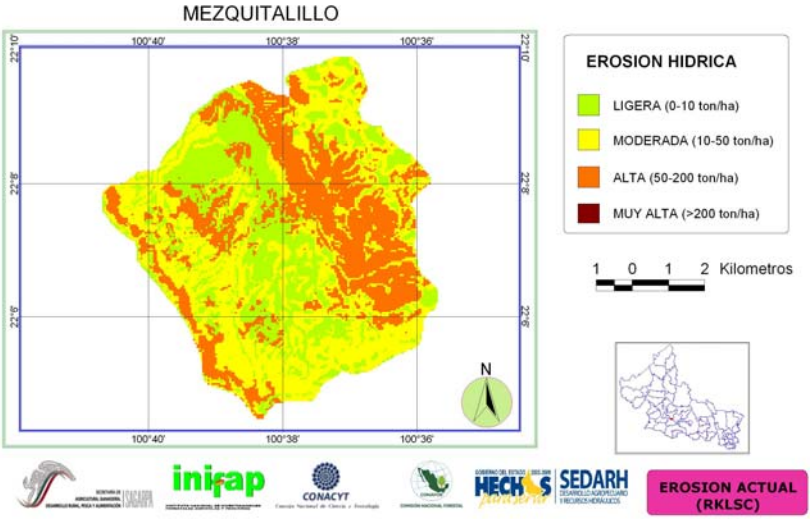


Figura 58. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Mezquitalillo.



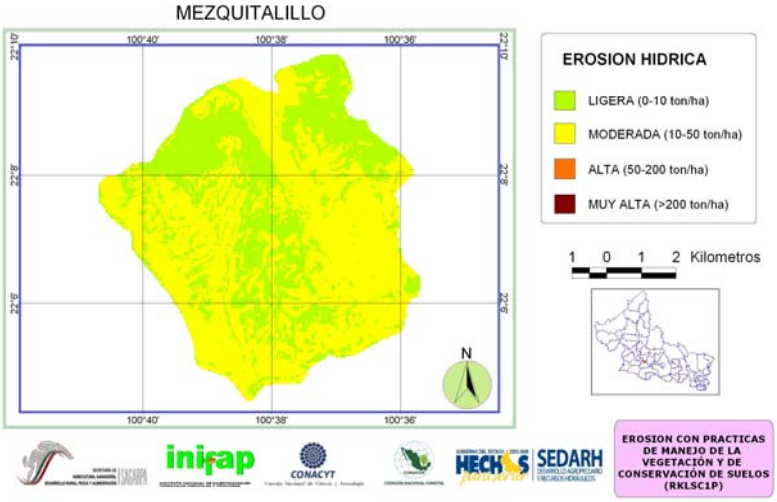
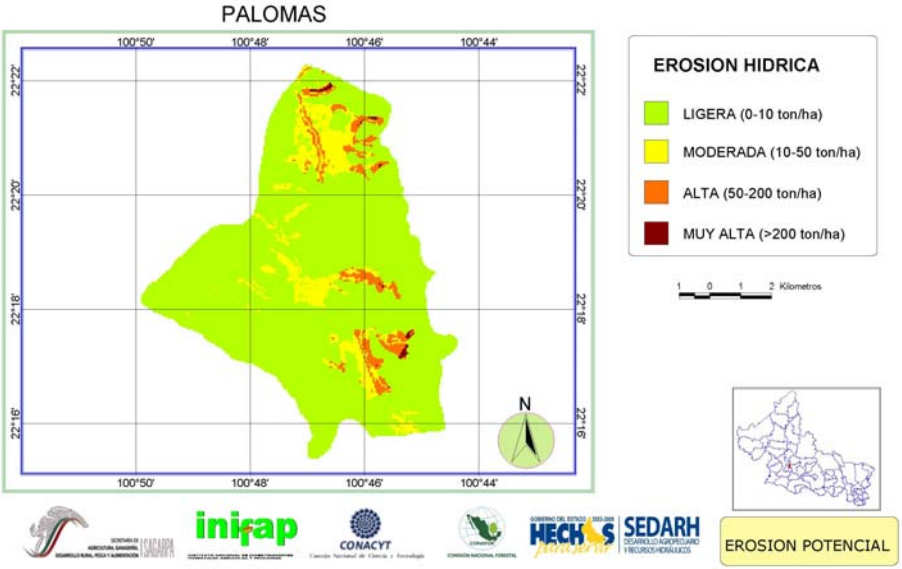


Figura 59. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Mezquitalillo.



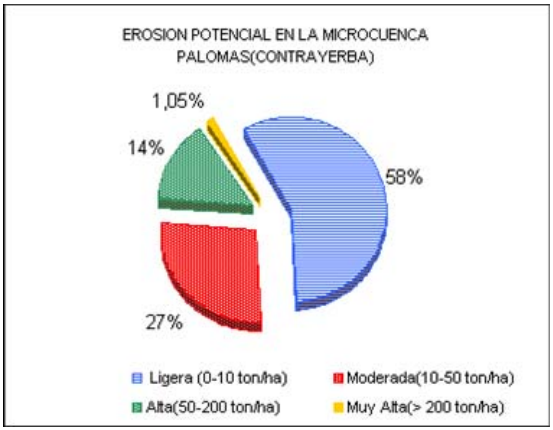
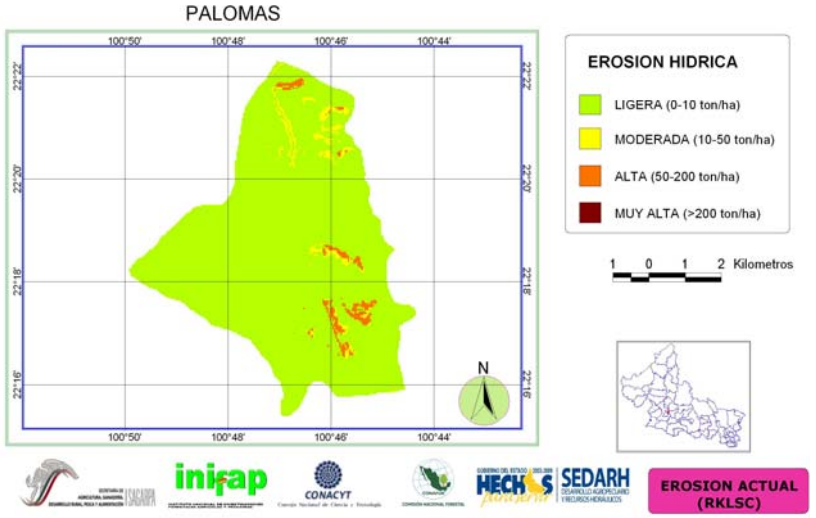


Figura 60. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Palomas (Contrahierba).



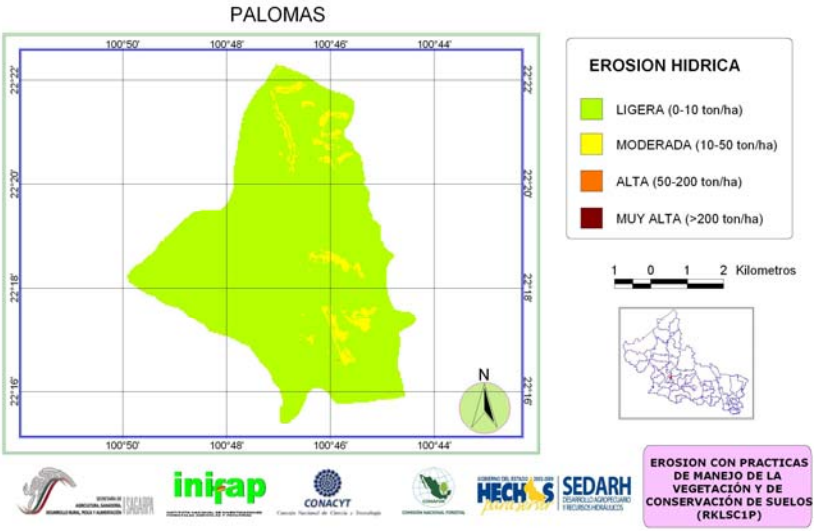
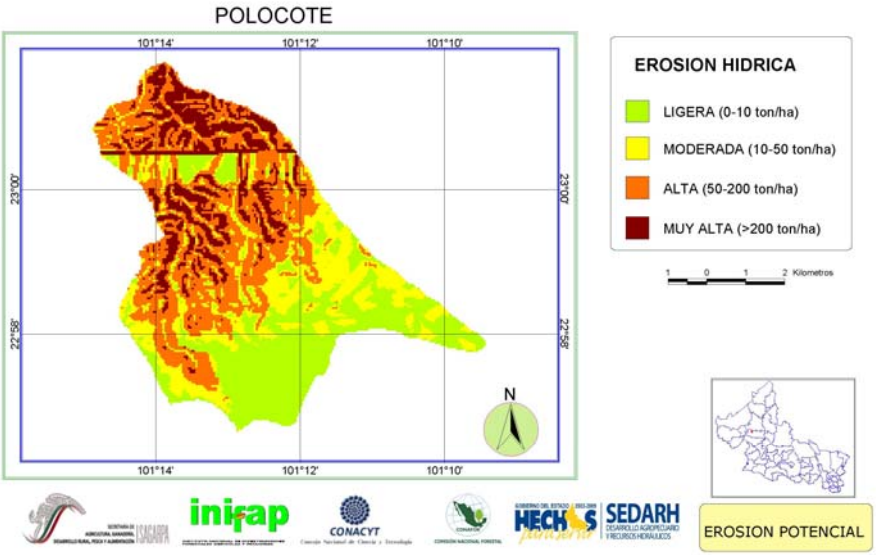


Figura 61. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Palomas (Contrayerba).



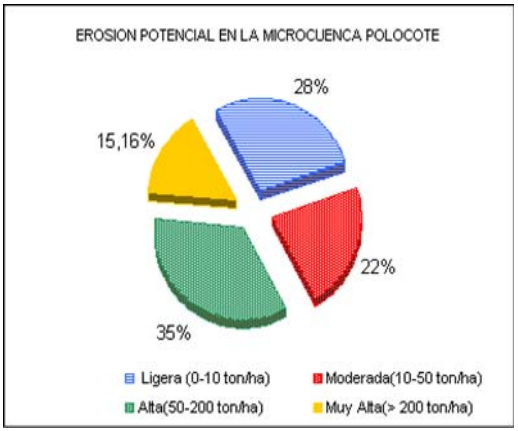


Figura 62. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Polocote.

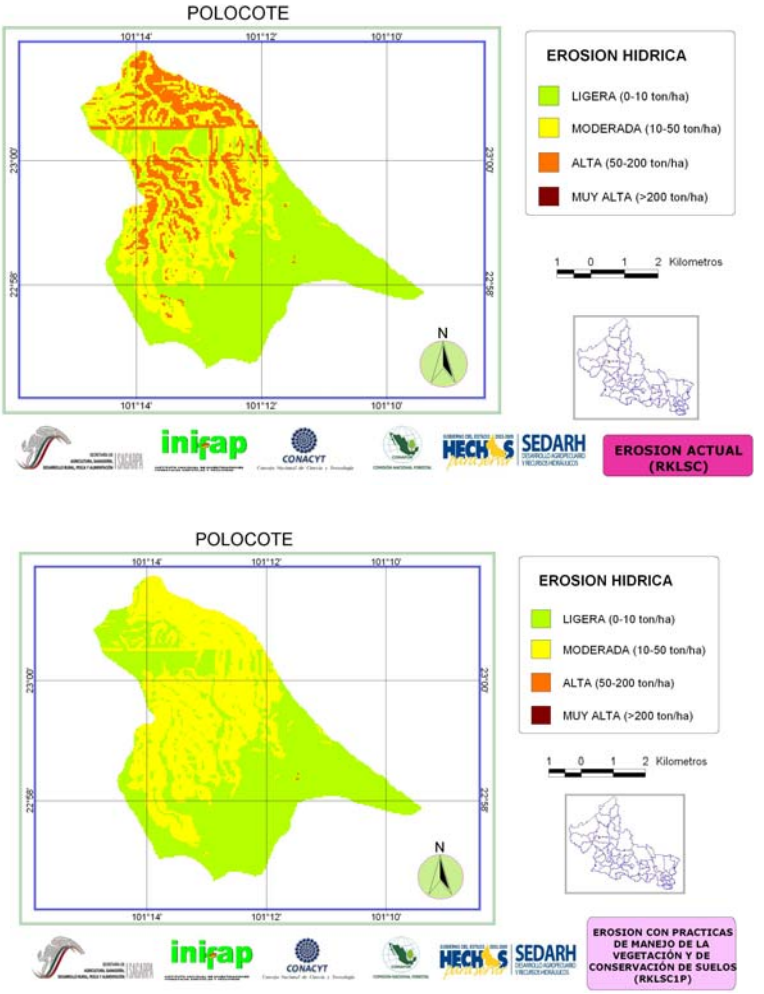
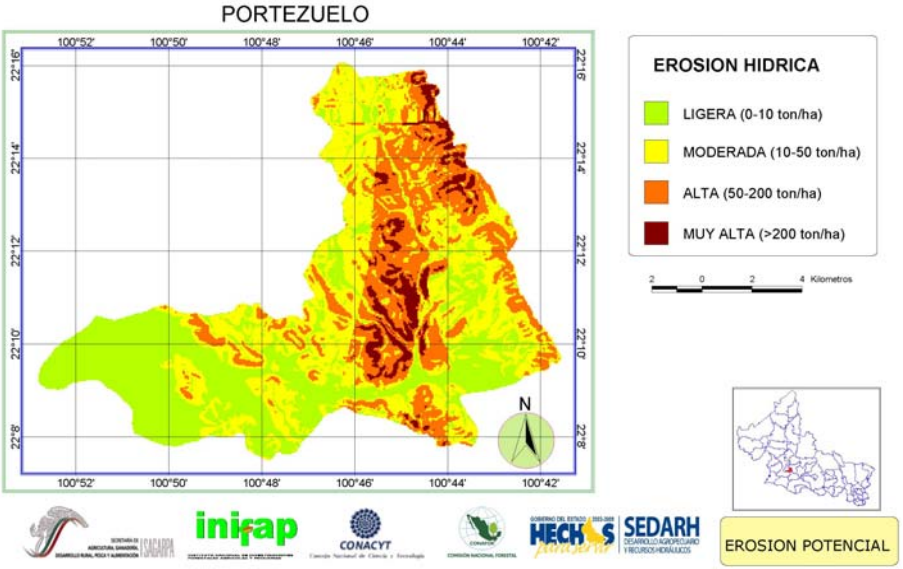


Figura 63. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Polocote.



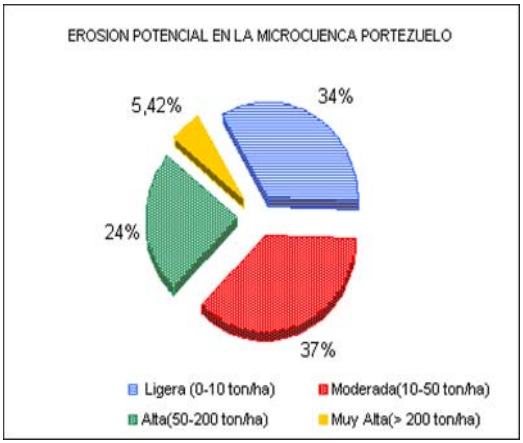
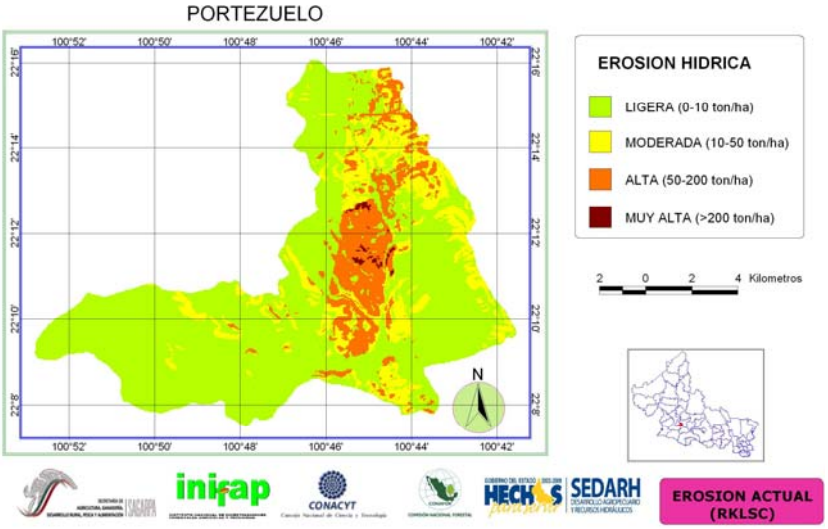


Figura 64. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Portezuelo.



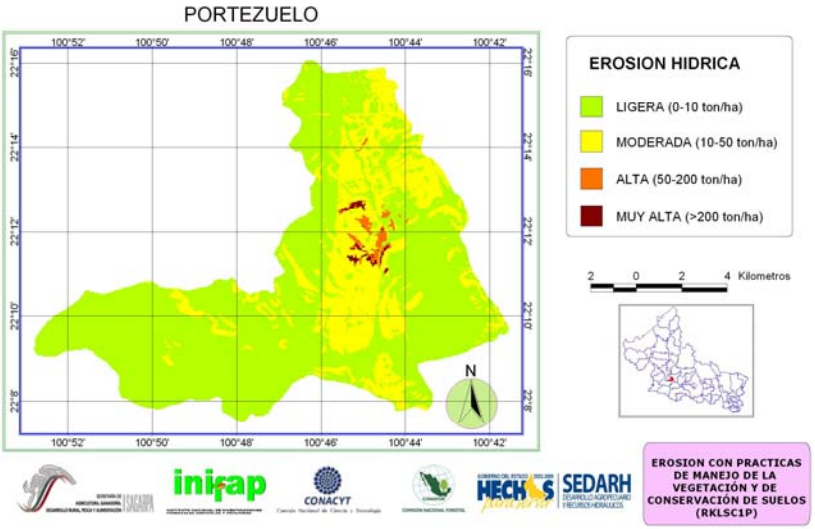
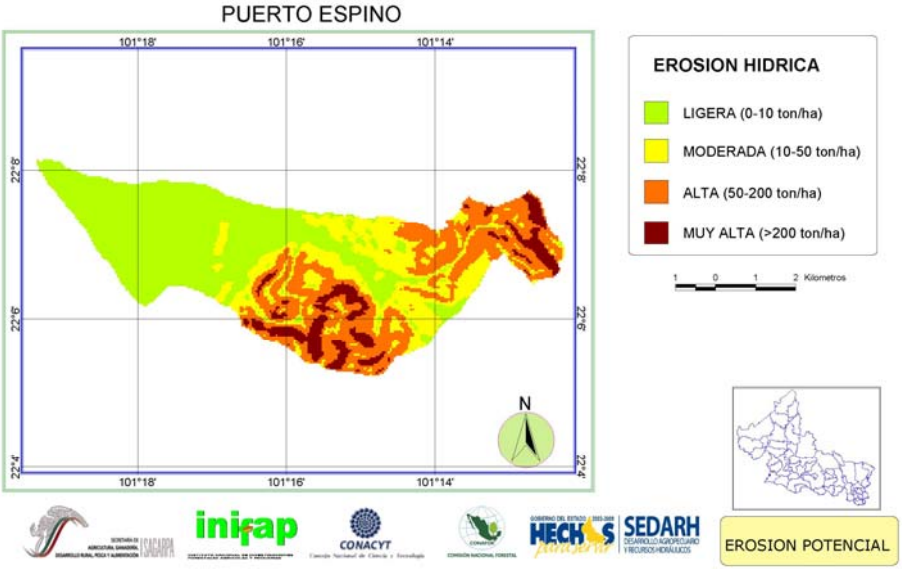


Figura 65. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Portezuelo.



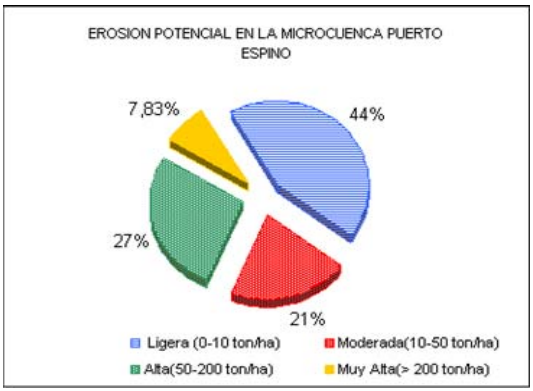


Figura 66. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Puerto Espino.

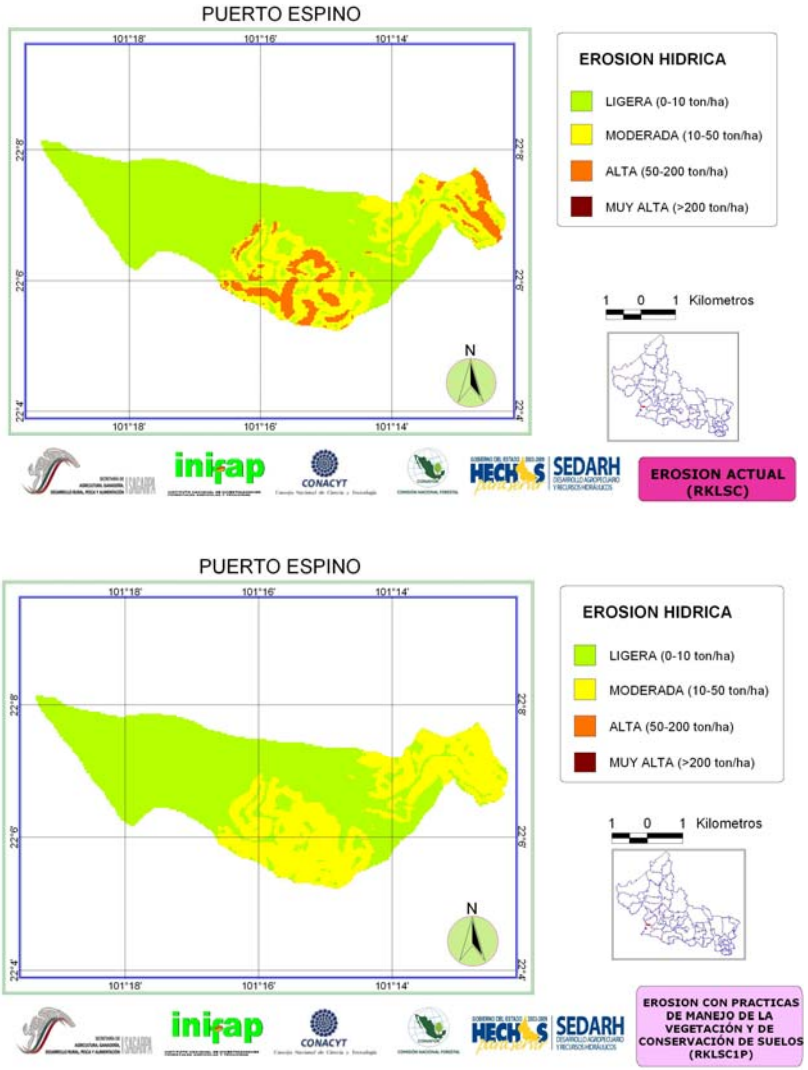
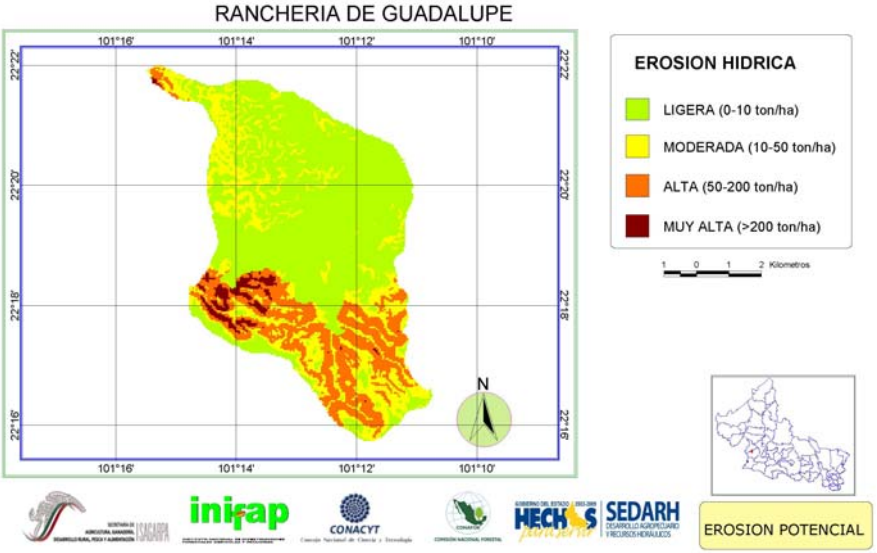


Figura 67. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Puerto Espino.



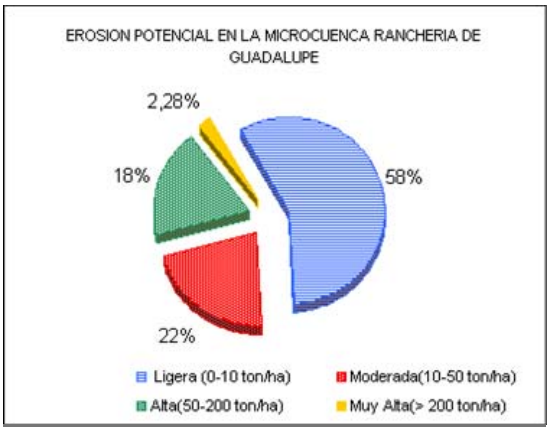
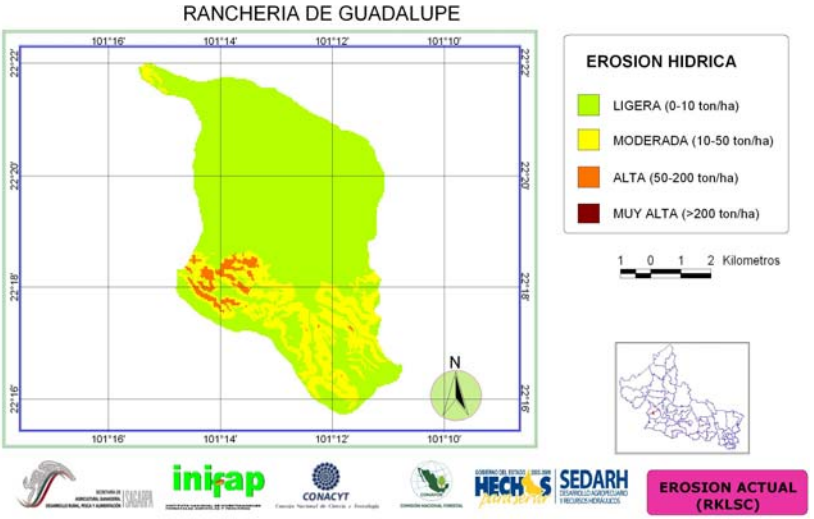


Figura 68. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Ranchería de Guadalupe.



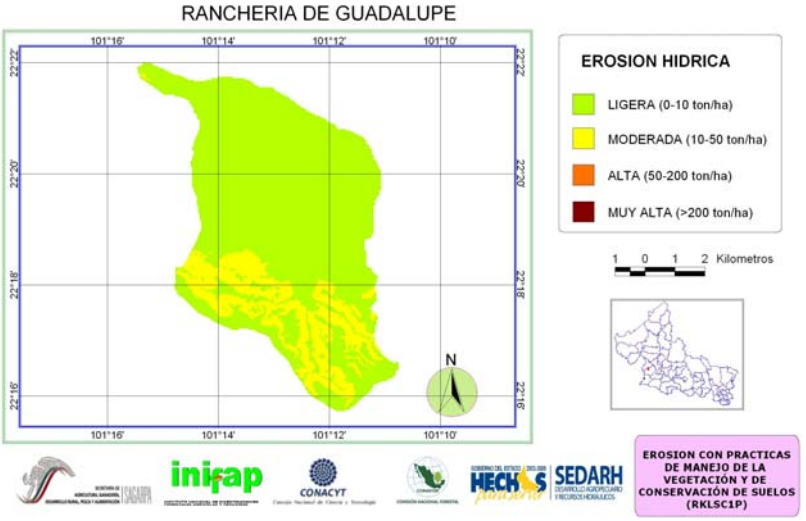
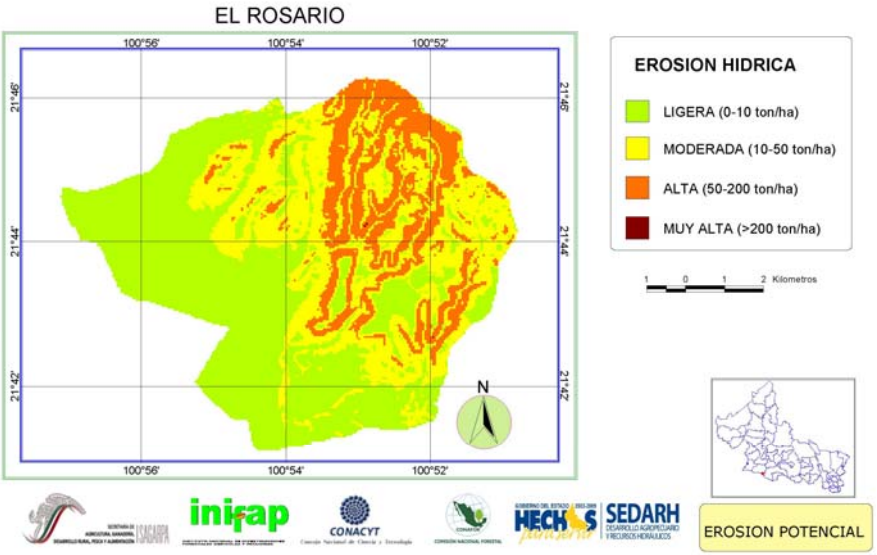


Figura 69. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Ranchería de Guadalupe.



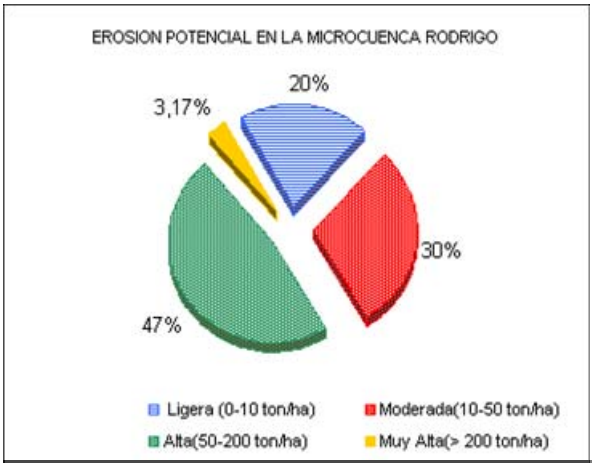
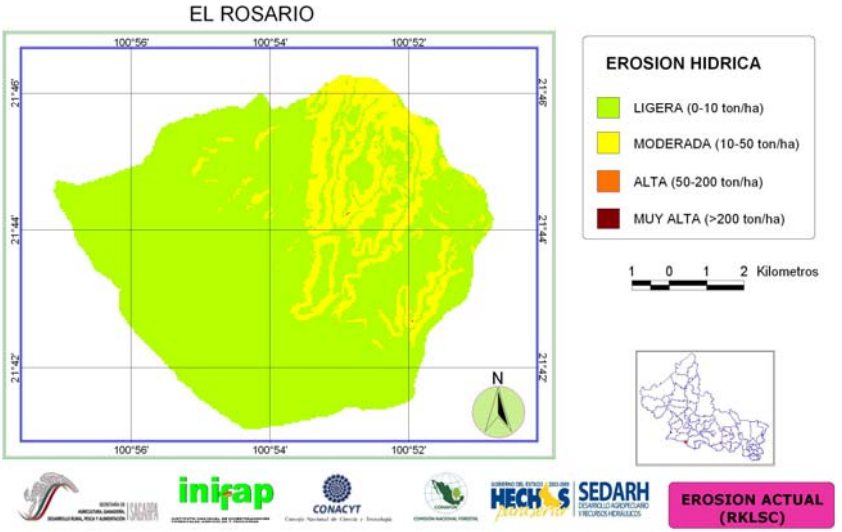


Figura 70. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Rodrigo.



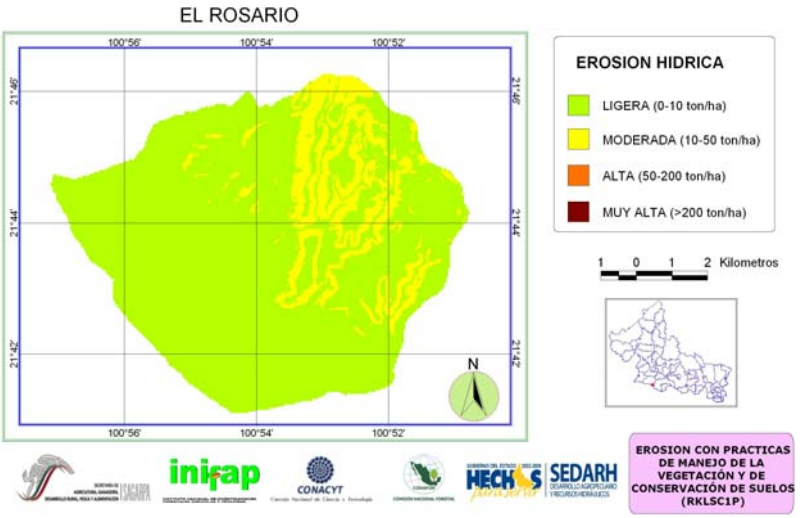
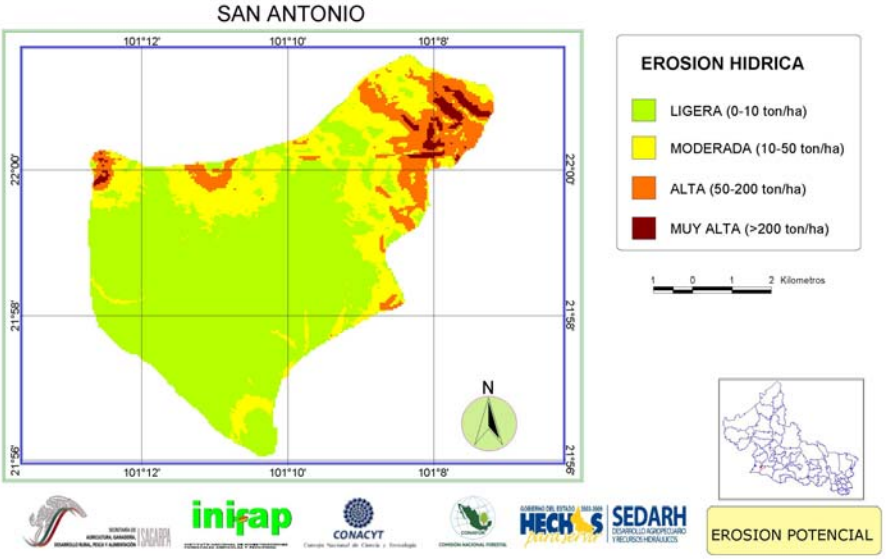


Figura 71. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Rodrigo.



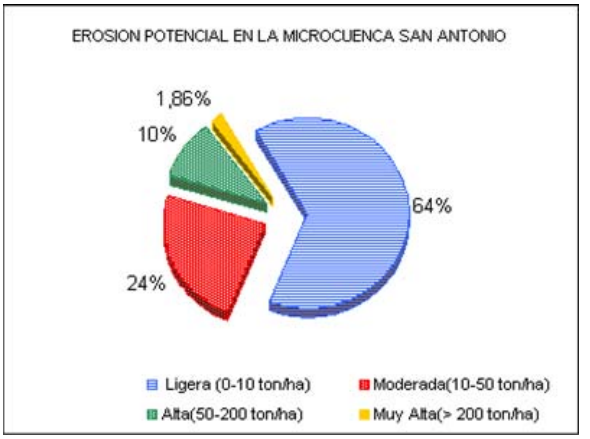
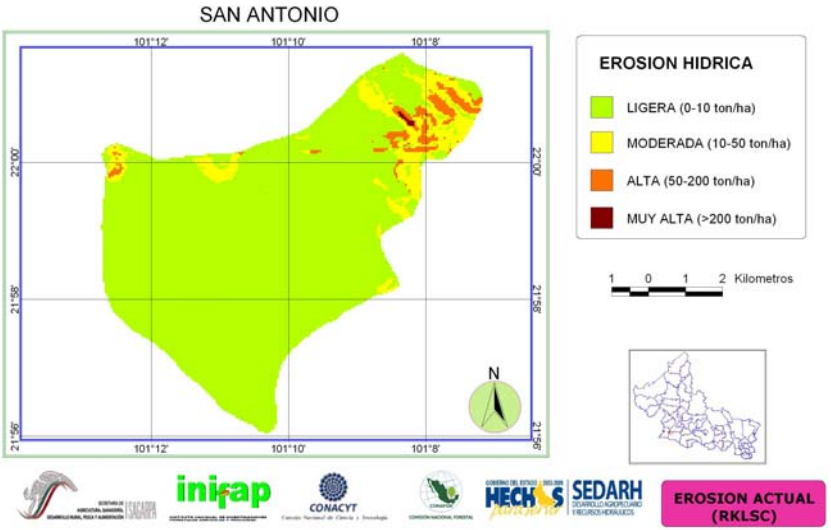


Figura 72. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca San Antonio.



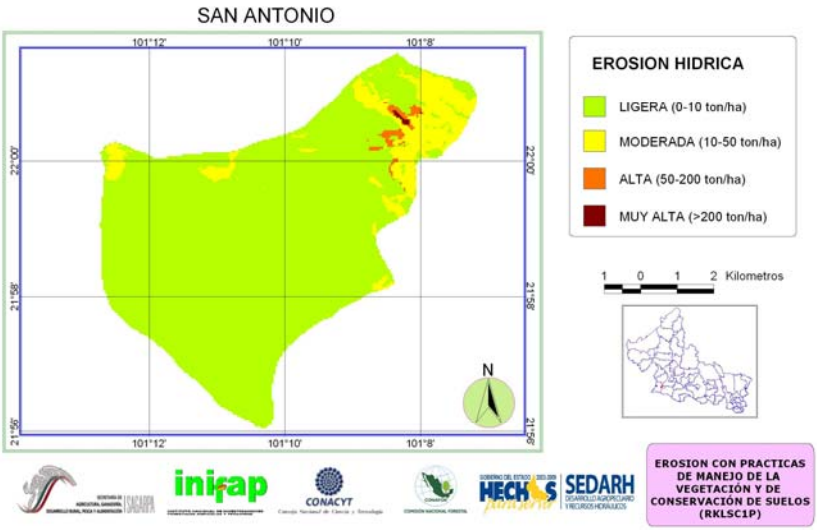
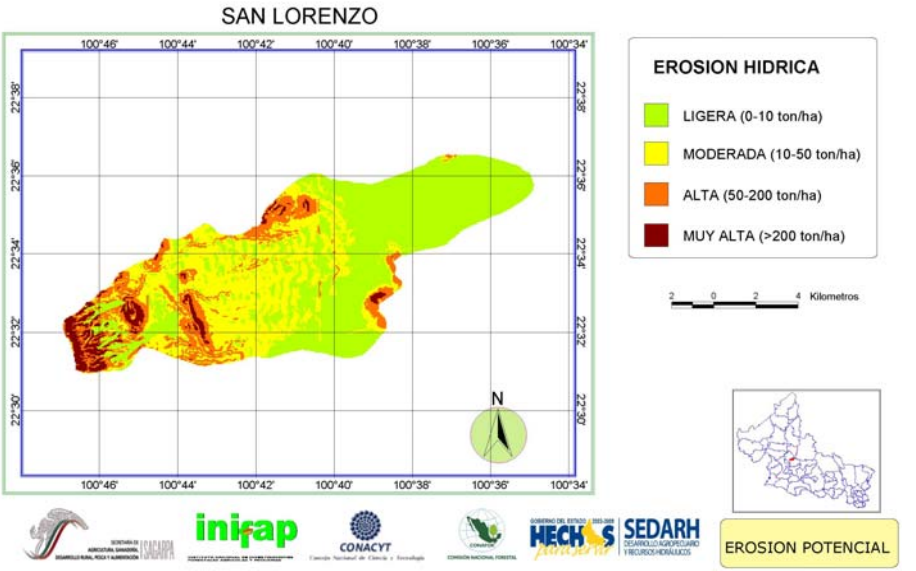


Figura 73. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca San Antonio.



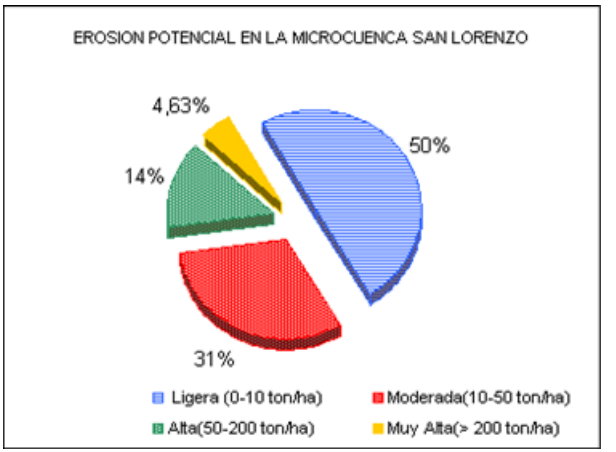


Figura 74. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca San Lorenzo.

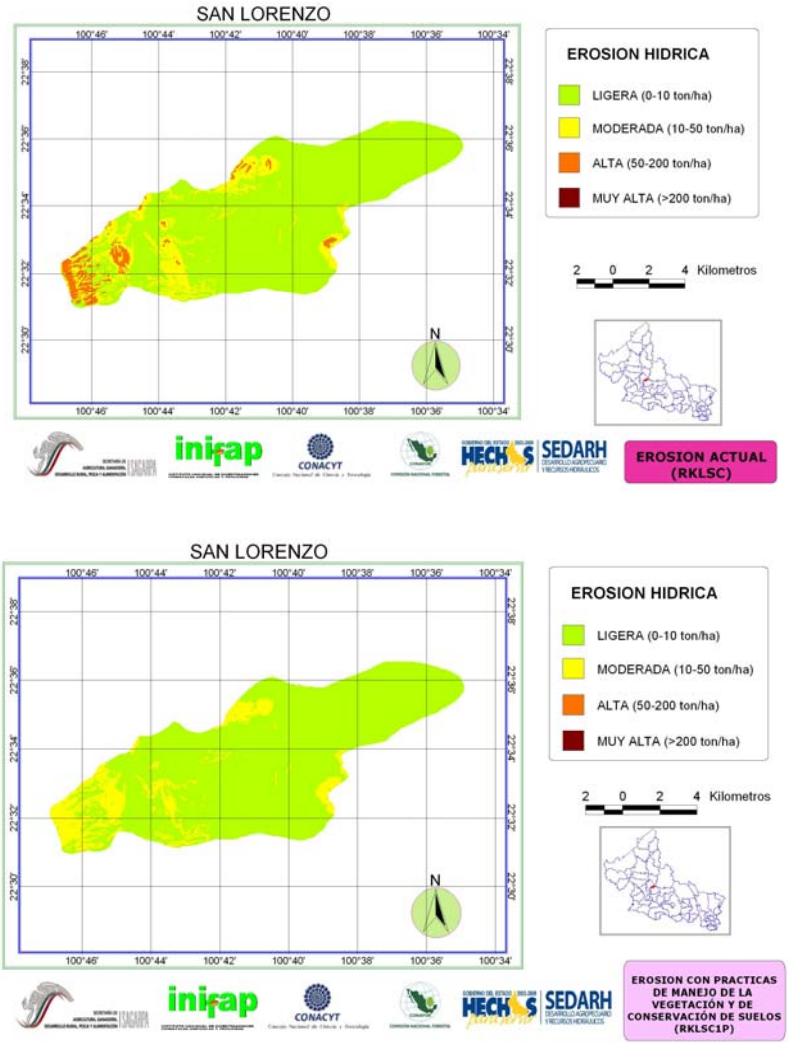
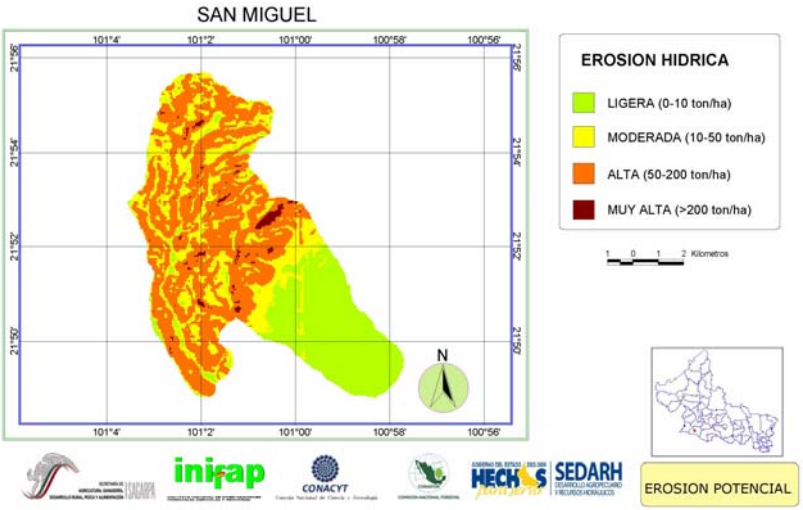


Figura 75. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca San Lorenzo.



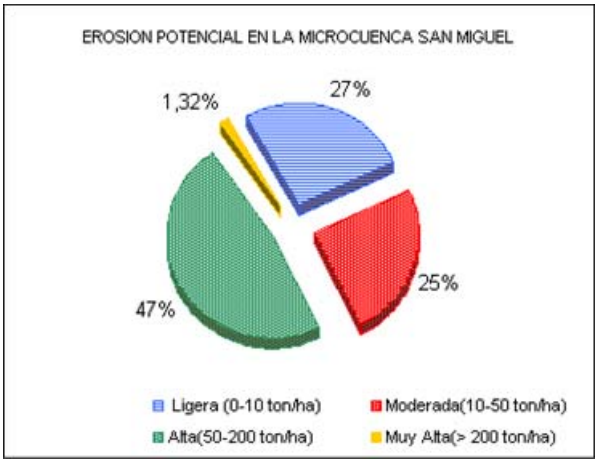
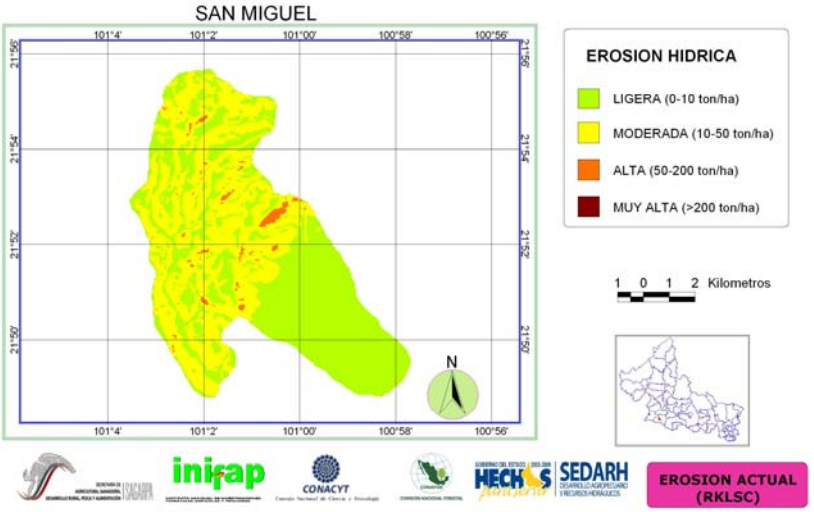


Figura 76. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca San Miguel.



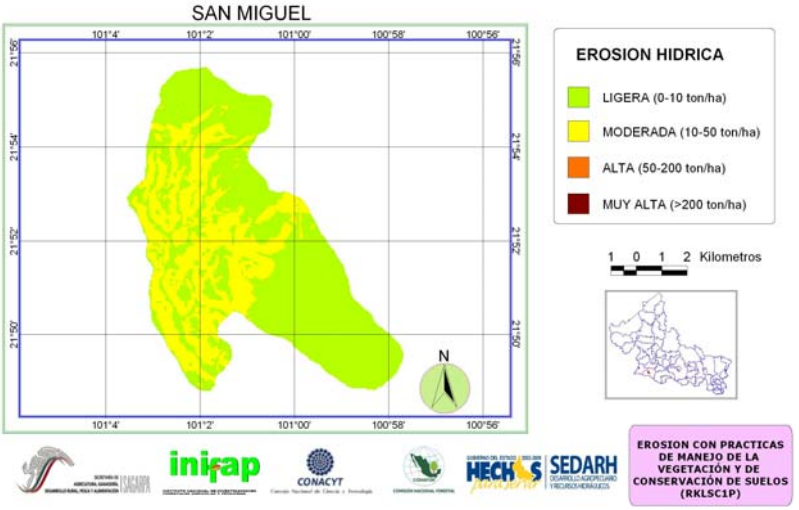
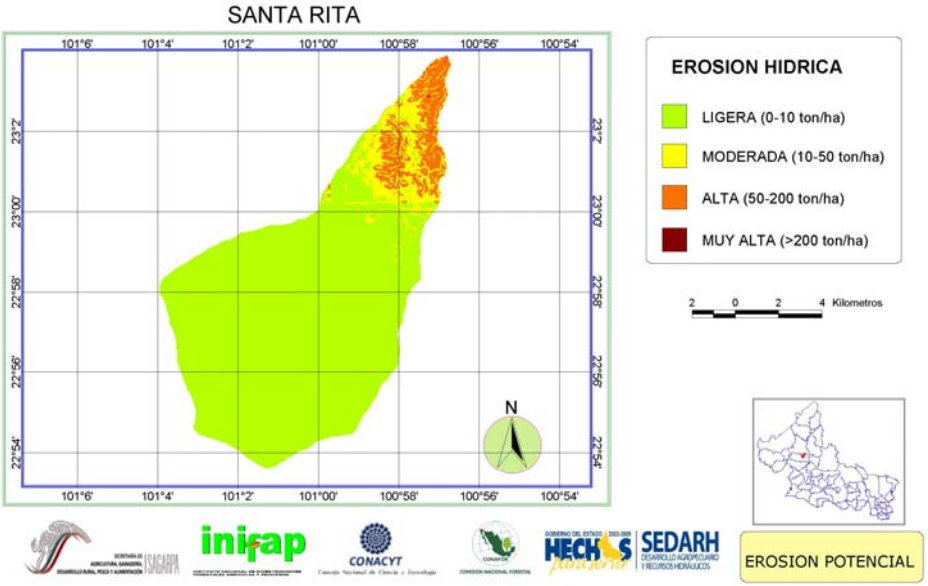


Figura 77. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca San Miguel.



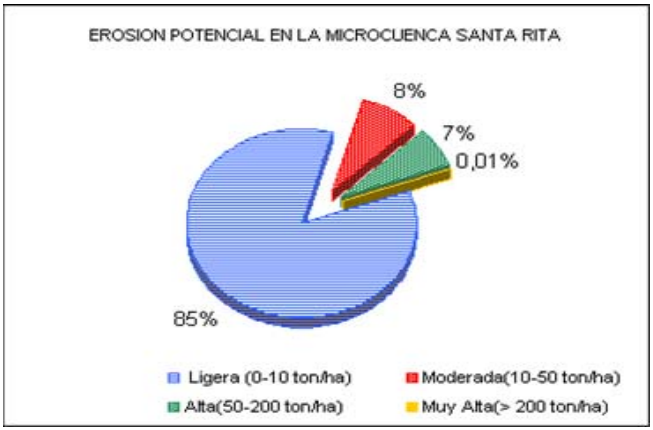
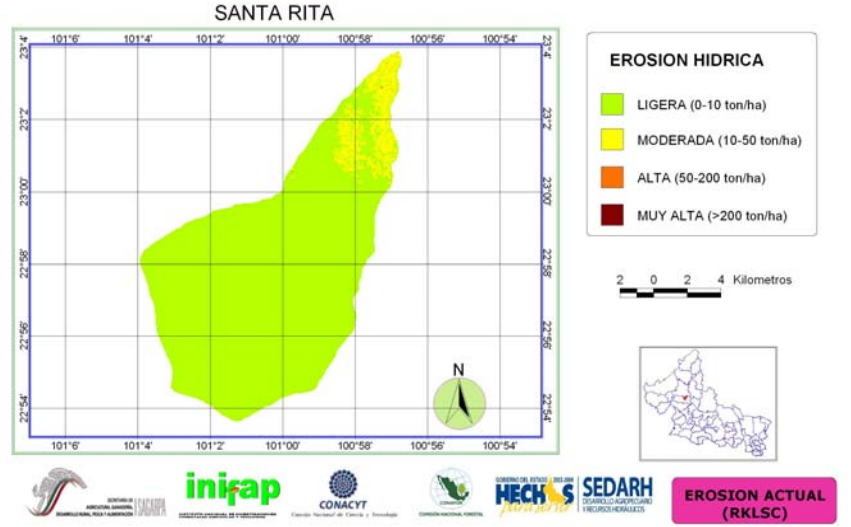


Figura 78. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Santa Rita.



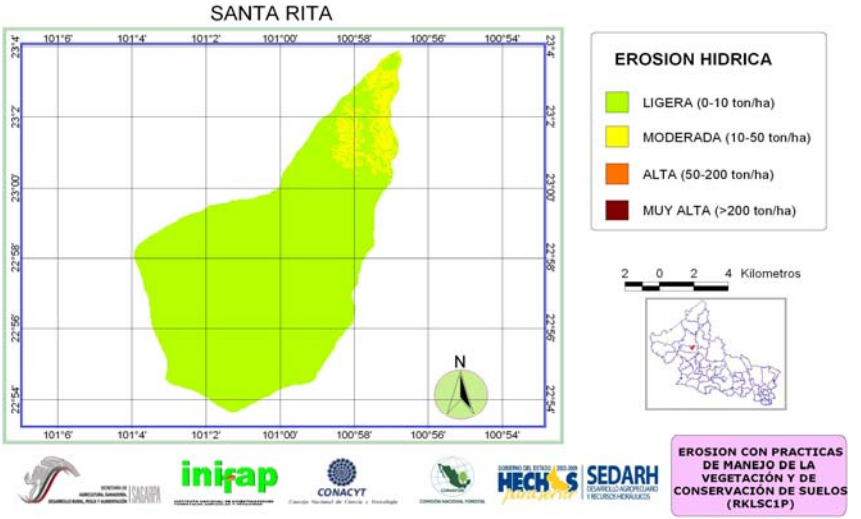
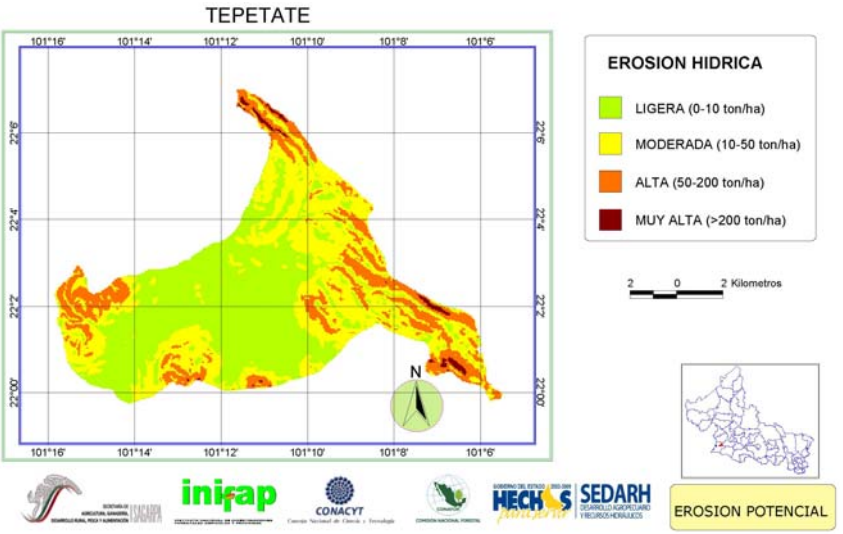


Figura 79. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Santa Rita.



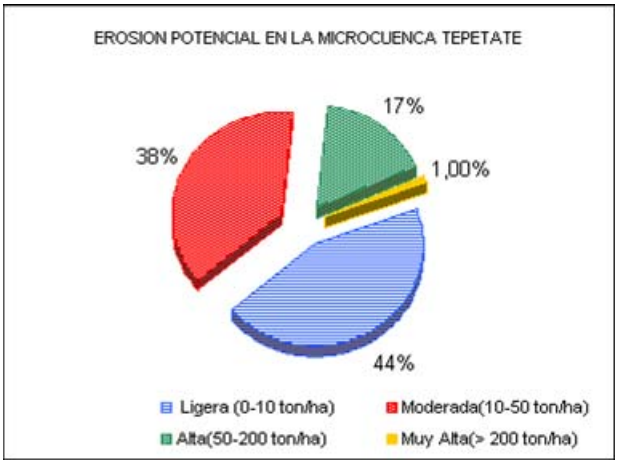


Figura 80. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Tepetate.

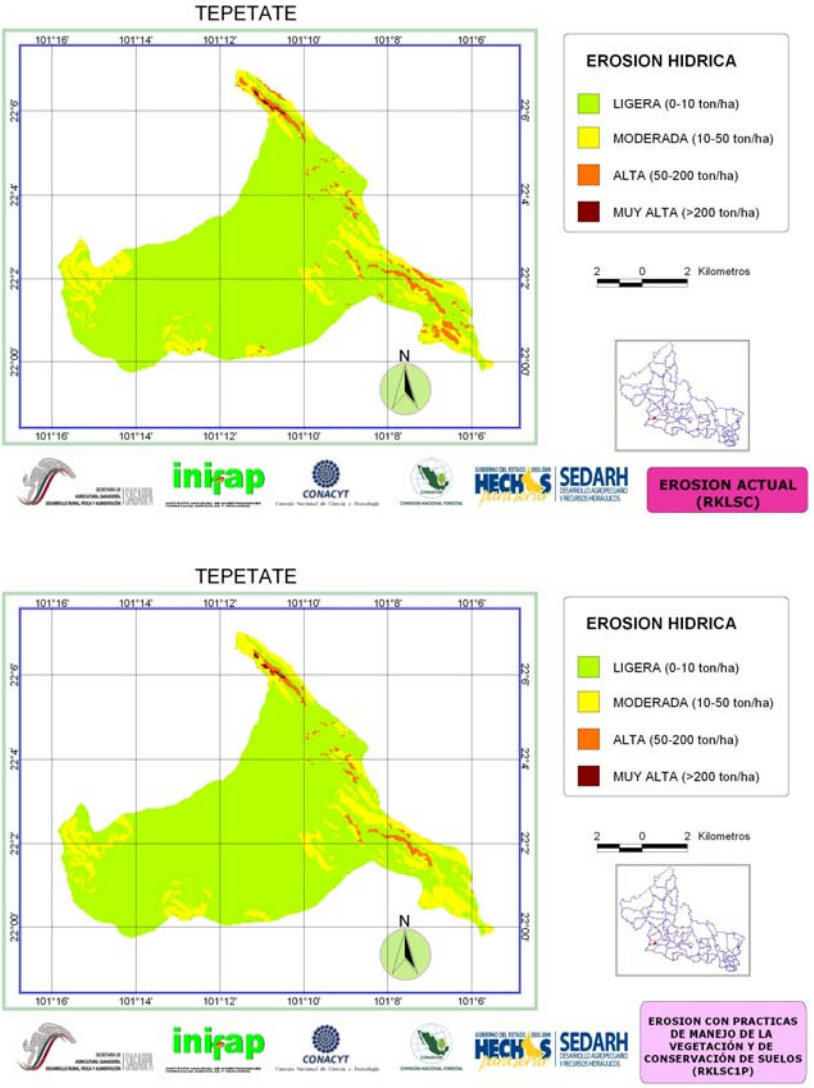
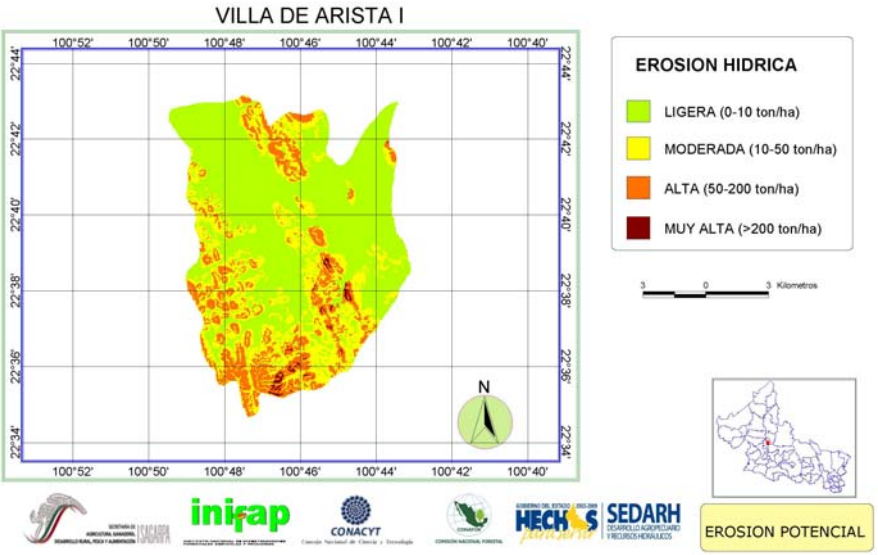


Figura 81. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Tepetate.



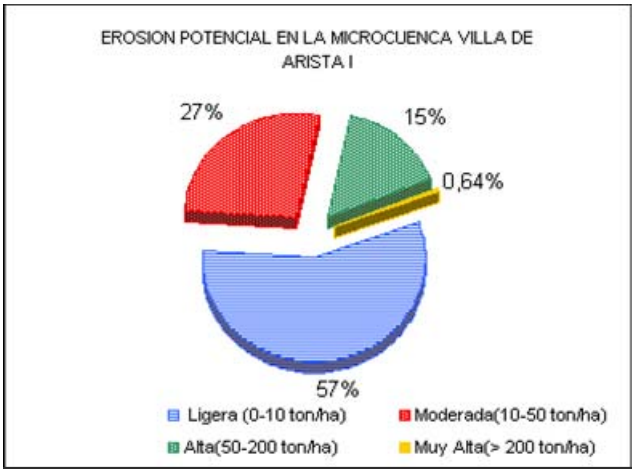


Figura 82. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Villa de Arista I.

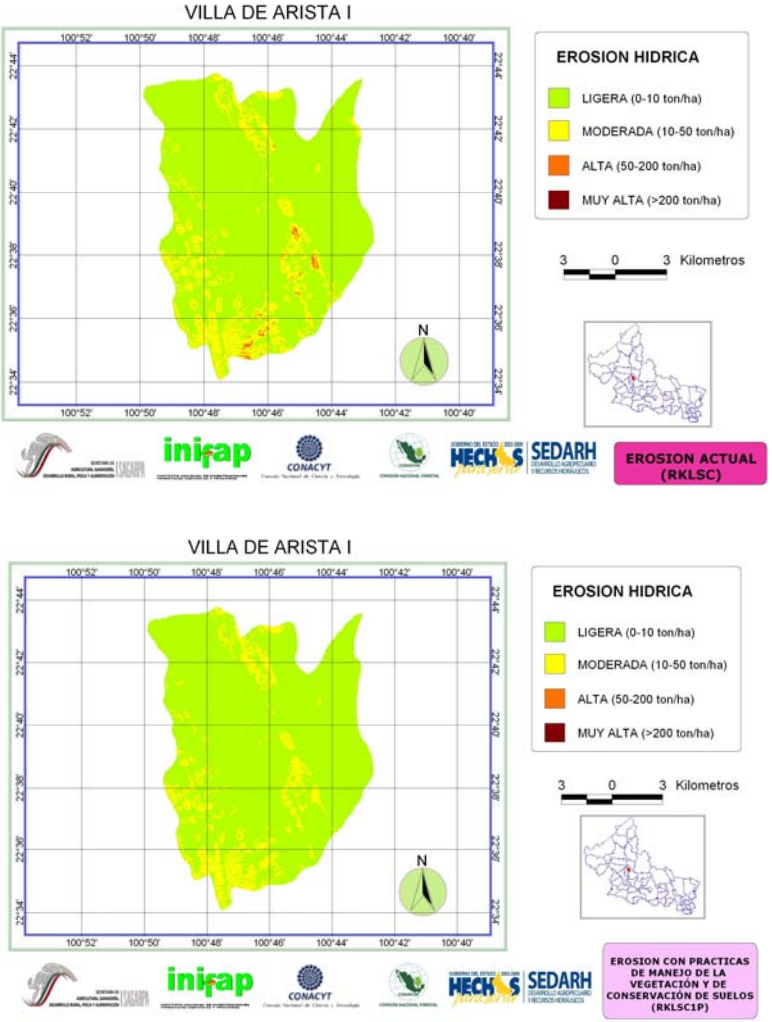
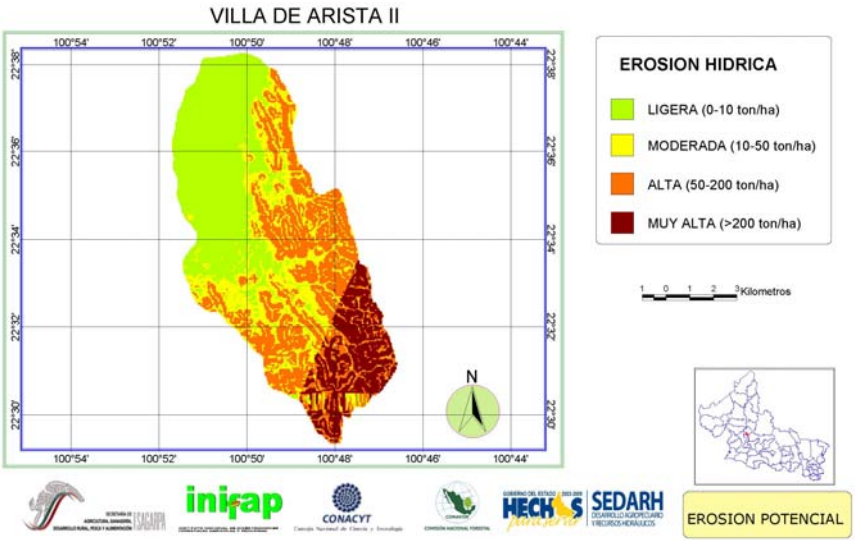


Figura 83. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Villa de Arista I.



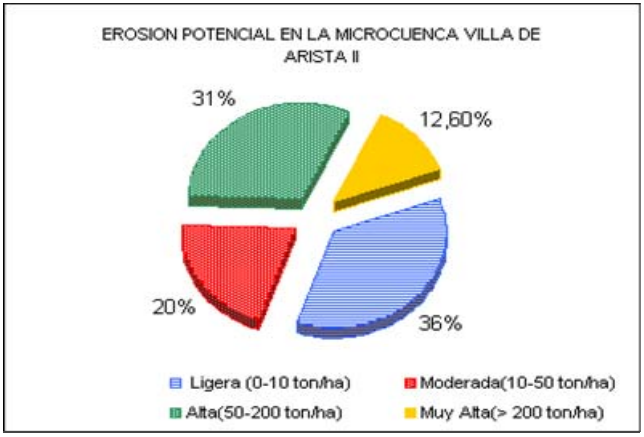
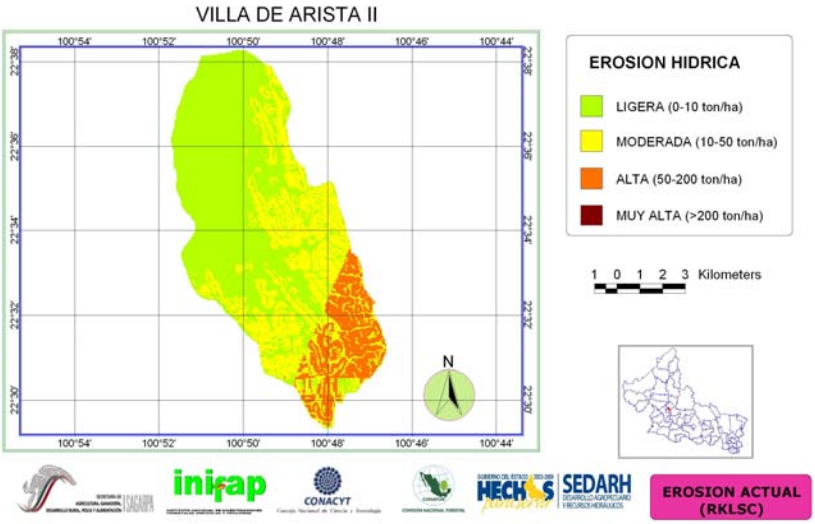


Figura 84. Riesgo potencial a la erosión hídrica en la microcuenca Villa de Arista II.



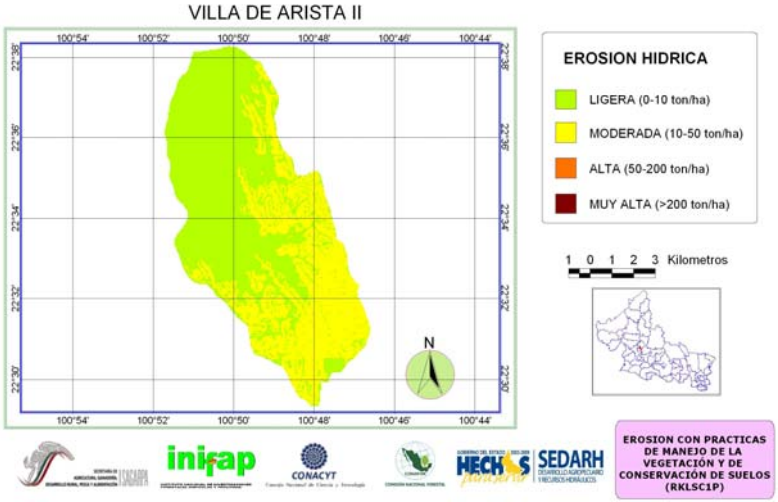


Figura 85. Erosión actual y esperada con manejo de la cobertura vegetal y prácticas mecánicas en la microcuenca Villa de Arista II.

5.3.3. Evaluación de la rentabilidad de prácticas de manejo para la conservación del suelo en el Altiplano Potosino. En coordinación con FIRCO, CONAFOR y CONAZA se obtuvo un análisis de costos y precios unitarios con las especificaciones de cada práctica mecánica o de manejo que se están promoviendo en las microcuencas. Se puede mencionar que las principales prácticas recomendadas son la labranza de conservación en las tierras agrícolas y el manejo de la cobertura vegetal a través del control de la carga animal en los agostaderos.

En relación a la labranza de conservación, los impactos económicos por el uso del multiarado dependen de la disponibilidad de maquinaria y equipo; para los productores que tienen tractor los costos de preparación del terreno disminuyen hasta 40% por el ahorro en diesel y en tiempo destinado a la preparación del terreno. Para los que contratan maquila, el impacto es menor (Espinosa *et al.,* 2005).

Los impactos económicos detectados con las acciones de manejo y rehabilitación de pastizales son las siguientes: sin tecnología se siembra maíz y sorgo grano con un rendimiento promedio de 300 a 500 kg/ha; con la tecnología se obtiene un rendimiento medio de 9 ton/hectárea de forraje fresco; con ello el productor se ahorra 4000 pesos en forraje por año; ya no se realiza este gasto; el ganado se mantiene más tiempo en los pastos sembrados, además cuentan con forraje de mayor calidad; (Espinosa *et al.,* 2005).

5.3.4. Indicadores sociales para la recomendación de prácticas de manejo de suelos en el Altiplano Potosino. En cada microcuenca se generó una base de datos sobre aspectos socioeconómicos, considerando las características de todas las localidades incluidas en cada microcuenca. En el cuadro 23 se presenta un resumen de esta información.

Cuadro 23. Características socioeconómicas en 32 microcuencas ubicadas en la zona semiárida de San Luis Potosí.

Microcuenca	Población total	Hombres	Mujeres	Población de 15 años y más alfabeta	PEA*	PEI**
Aguaje de los Castillo	730	353	377	459	224	341
Aguazarca-Papagayos	1,515	766	749	727	385	584
Carranco	1,900	941	959	887	350	867
Charquito	600	305	295	260	98	313
Corazones	811	389	422	320	132	389
Coronado	735	392	343	301	216	262
El Rosario	3,381	1,688	1,693	1,755	893	1,462
Emiliano Zapata	784	382	402	290	211	246
Enramadas	121	59	62	39	9	47
Francisco I. Madero	175	84	91	113	55	74
Garrochitas Panalillo I	10,578	5,254	5,324	4,809	2,912	3,916
Garrochitas Panalillo II	1,905	928	977	913	431	834
San Luis Gonzaga	676	343	333	320	214	249
Guanamé	1,044	515	529	643	250	529
Ipiña	521	257	264	223	96	240
La Ventilla	1,330	682	648	674	353	565
Las Tapias	No presenta localidades					
Mexquitic I	331	156	175	168	54	168
Mezquitalillo	687	345	342	294	101	339
Palomas (Contrayerba)	438	203	235	272	79	258
Polacote	451	220	231	237	168	141
Portezuelo	3,333	1,659	1,674	1,861	977	1,349
Puerto Espino	396	185	211	234	103	182
Ranchería de Guadalupe	1,873	912	961	970	389	857
Rodrigo	1,164	582	582	563	276	495
San Antonio	1,330	670	660	720	403	514
San Lorenzo	853	426	427	488	241	398
San Miguel	1,454	756	698	596	387	475
Santa Rita	1,653	851	802	840	429	725
Tepetate	2,078	1,077	1,001	1,165	750	679
Villa de Arista I	1,096	585	511	464	197	530
El Charquito	558	289	269	276	148	229
TOTAL	44,501	22,254	22,247	21,881	11,531	18,257

*PEA: Población total económicamente activa; **PEI: Población total económicamente inactiva.
FUENTE: INEGI, 2000

Es importante señalar que las actividades que actualmente se desarrollan en las microcuencas, las realizan ejidatarios-comuneros, jornaleros a los cuales se les asigna un salario o jornal que es cubierto por los proyectos que se desarrollan con los recursos que las instituciones están canalizando en el marco del Programa Estatal de Microcuencas. Las labores principales han construcción de terrazas de base angosta, plantaciones de nopal o maguey, construcción de presas filtrantes para el control de azolves, etc. Sin embargo en algunos lugares es tan baja la mano de obra (muchas veces compuesta por mujeres) que es necesario considerar la contratación de personal de otras localidades para la realización de las obras.

La falta de mano de obra disponible en las comunidades obedece en muchos de los casos a la fuerte migración que se presenta en la zona de estudio. La sequía recurrente y la falta de oportunidades en el campo origina el éxodo de las personas de las comunidades rurales hacia la Frontera. Además de los Estados Unidos, las ciudades mexicanas fronterizas donde existen facilidades para encontrar trabajo son: Tijuana, Cd. Juárez y Nuevo Laredo; secundariamente en Nogales, Ojinaga y Matamoros (Inard, 2004).

Capítulo 6

PROYECCIÓN DE ACCIONES Y RECOMENDACIONES DE MANEJO

Considerando que las medidas de conservación del suelo deben incluir cuatro acciones básicas: 1) proteger el suelo contra el impacto de las gotas de lluvia; 2) incrementar la capacidad de infiltración para reducir el escurrimiento superficial; 3) mejorar la estabilidad de los agregados del suelo para hacerlo más resistente a la erosión por salpicamiento; y, 4) aumentar la rugosidad de la superficie para reducir la velocidad del escurrimiento (Kirkby y Morgan, 1984), las recomendaciones de manejo para las 32 microcuencas giraron en torno a prácticas de manejo, conservación y restauración, dependiendo de la clase de suelo, su uso actual y potencial y del riesgo a la erosión.

Las acciones específicas para los planes rectores, incluyeron entre otras recomendaciones, la labranza de conservación (Martínez, 2005), manejo de escurrimientos; presas filtrantes para el control de azolves, prácticas mecánicas y vegetativas (Loredo *et al*., 2005), captación de agua de lluvia (Ventura *et al*., 2005); y, manejo y rehabilitación de agostaderos (Beltrán *et al.*, 2005)[1].

Es importante considerar cuales son las prácticas para el manejo eficiente del suelo de acuerdo a su capacidad de uso y riesgo a la erosión (Cuadro 24). Una de las bases para la selección de las prácticas de manejo, debe ser el bajo costo de las obras y las experiencias que se tienen en conservación del suelo por parte de los productores y de las instituciones de investigación locales.

---

[1] Para mayor información sobre estas prácticas se recomienda consultar el libro técnico No. 1 “Prácticas para la conservación del suelo y agua en zonas áridas y semiáridas”. INIFAP-CIRNE-Campo Exp. San Luis. San Luis Potosí, S.L.P. México.

Cuadro 24. Principales acciones a desarrollar (manejo, conservación o restauración) en función del tipo de tierra y riesgo a la erosión en 32 microcuencas ubicadas en la zona semiárida de San Luis Potosí.

CLASE	ACCIONES RECOMENDADAS
I	En este tipo de tierras sólo se requieren prácticas de manejo para no degradar el terreno. Su riesgo potencial de erosión es casi nulo ***(acciones de manejo).***
II	En estos terrenos se recomienda realizar acciones como agricultura de conservación, nivelación del terreno, despiedres y técnicas de control de la erosión. Esta unidad presenta erosión laminar leve y surcos en formación, por efecto del agua o del viento, lo cual demanda control inmediato. Las prácticas de conservación que estos terrenos requieren son: surcado al contorno, cultivos en fajas, cortinas rompevientos y si hay riesgo de inundaciones, bordos para control de escurrimientos ***(acciones de manejo y conservación).***
III	Esta clase es susceptible a la erosión. Para la preparación del terreno es indispensable no “voltear” la tierra con barbecho tradicional; es recomendable el uso del multiarado (Figura 86). Además se requieren prácticas de manejo como surcado al contorno, cultivo en fajas, y acciones de conservación como terrazas de base angosta y la construcción de presas filtrantes integradas a dichas terrazas, en aquéllas zonas donde inicie la formación de cárcavas ***(acciones de manejo y conservación).***
IV	Son muy susceptibles hídrica y requieren prácticas agronómicas, vegetativas y mecánicas. Para la preparación del terreno es indispensable no “voltear” la tierra con barbecho tradicional; es recomendable el uso del multiarado. Además es importante mantener una cobertura permanente durante todo el año. Si se cultivan, requieren forzosamente dejar los residuos de cosecha sobre la superficie del terreno. En caso de tierras dedicadas al pastoreo, se requiere el control de la carga animal (Figura 87) (***acciones de manejo y conservación del suelo y en su caso manejo de pastizales***).
V	Si el factor limitante es la humedad, lo más conveniente es el manejo de vegetación nativa o introducida (pastos y arbustos con tolerancia a la sequía) y el control de la cobertura vegetal. Se pueden construir manualmente terrazas de piedra acomodada si el terreno presenta alta pedregosidad. ***(acciones de conservación y restauración del suelo;***

CLASE	ACCIONES RECOMENDADAS
	manejo de pastizales).
VI	Son terrenos que ofrecen muy escasa resistencia la erosión hídrica. Debe mantenerse la cobertura vegetal natural a través del año. Se recomienda el control de la carga animal y evitar la extracción de la vegetación nativa. Las acciones en esta clase son de restauración de suelos ***(acciones de restauración del suelo; manejo de pastizales).***
VII	Suelos muy susceptibles a la erosión hídrica, presentan poca resistencia a la acción erosiva del agua. Se recomiendan acciones de restauración y protección como tinas ciegas, zanja y bordo y manejo de la carga animal ***(acciones de restauración del suelo; manejo de pastizales).***
VIII	Se consideran tierras no adecuadas para uso agropecuario, que solo pueden destinarse a la vida silvestre vegetal o animal ***(acciones de restauración solamente para proteger las partes bajas de la microcuenca; si no es el caso, lo más conveniente es no realizar acción alguna).***

Lo importante es obtener un plano de diseño de obras donde se integren prácticas mecánicas, prácticas agronómicas y manejo de las coberturas vegetales en tierras agrícolas y tierras de pastoreo (Loredo, 2005).

Actualmente se considera a la cobertura vegetal como la mejor herramienta para controlar la erosión, ya que brinda protección al suelo contra los agentes erosivos. Sin embargo el manejo de la cobertura vegetal, requiere de la integración de diversas prácticas, entre las que sobresalen para el caso de este estudio la reconversión de áreas agrícolas de baja productividad a uso pecuario, el manejo y rehabilitación de pastizales y el establecimiento y manejo de sistemas agroforestales. En el caso específico de San Luis Potosí, se ha observado que cuando la superficie del terreno mantiene más del 70% de cobertura en la superficie del suelo (cobertura basal) las pérdidas de suelo se reducen al mínimo (Loredo *et al.,* 2007a).

Figura 86. El multiarado es un implemento para preparar el terreno que a diferencia del barbecho tradicional no “voltea” el terreno.

Figura 87. Una de las principales acciones a desarrollar en las microcuencas es el manejo adecuado de agostaderos con el apotreramiento de ganado, el respeto a la capacidad de carga y la realización y ejecución de planes de manejo.

6.1. PRÁCTICAS PARA TIERRAS AGRÍCOLAS

Si se considera la clasificación de tierras y el riesgo a la erosión, sólo 1.8% de la superficie total de las 32 microcuencas presentan condiciones favorables para la agricultura semintensiva (Clases I, II, III). En esas tierras se recomienda el manejo adecuado de los escurrimientos y la agricultura de conservación y dejar al menos 20% de los residuos de cosecha sobre la superficie. Otras prácticas agronómicas son la aplicación de materia orgánica, el uso de biofertilizantes e incorporación de abonos verdes.

La clase IV es apropiada para uso agrícola pero presenta limitaciones de clima (IVc), de erosión (IVce), y, de topografía (IVcse). Son tierras abiertas al cultivo donde además de agricultura de conservación y manejo de residuos de cosecha (Martínez, 2005), se requiere surcado al contorno y terrazas de base angosta (Loredo *et al*., 2005), así como sistemas de captación *"in-situ"* de agua de lluvia (Ventura *et al*., 2005).

La captación *"in-situ"* del agua de lluvia tiene los siguientes objetivos: 1). Prevenir y revertir el proceso de degradación originado por la erosión hídrica; 2) Aumentar la eficiencia del uso del agua de lluvia; 3) Reducir el riesgo de pérdida de cosecha por efecto de la sequía; y 4) Incrementar la productividad y el bienestar social (Tovar y Anaya, 2002).

Dentro de las prácticas agronómicas que reducen las pérdidas de suelo se recomienda realizar la adición de materia orgánica a base de estiércoles (para incrementar la estabilidad de agregados y mejorar las propiedades físicas del suelo), así como el uso de biofertilizantes para promover el crecimiento radical (Loredo *et al.,* 2007b).

Algunas tierras de la clase IV no se cultivan y se dedican al pastoreo, ahí se ubican suelos con pastizal mediano abierto; son tierras muy susceptibles a erosión hídrica y eólica y el factor limitante principal es el agua; requieren prácticas agronómicas y vegetativas.

6.2. PRÁCTICAS PARA TIERRAS DE PASTIZAL O AGOSTADEROS

Se consideran pastizales o agostaderos, aquellas áreas de baja productividad potencial para los cultivos agrícolas, debido a limitaciones físicas (Aizpuru, 1995). Las limitaciones pueden ser baja precipitación, topografía accidentada, drenaje deficiente o temperatura (Stoddart *et al*., 1975). Incluye cualquier tipo de vegetación que se utilice extensivamente a través del pastoreo de animales domésticos o silvestres; y que además es fuente de agua, hábitat para la fauna silvestre, plantas medicinales, madera y recreación (Aizpuru, 1982).

La Sociedad de Manejo de Pastizales de Estados Unidos (SRM, 1974), define como pastizal a las tierras en las cuales la vegetación nativa, está constituida predominantemente de pastos, plantas herbáceas o arbustivas que son adecuadas para el pastoreo o ramoneo; incluye terrenos revegetados natural o artificialmente para proveer una cubierta vegetal permanente que puede ser utilizada como forraje. De Alba (1971), señala que agostadero es una palabra netamente castellana que se refiere a terrenos donde agosta el ganado y es el vocablo más apto para traducir la palabra “rangeland” o pastizal utilizado en Norteamérica. Por lo anterior, cualquier área natural que sirva como fuente de alimentación del ganado doméstico o silvestre es considerada como un agostadero (Beltrán *et al.,* 2005). La Comisión Técnico Consultiva para la determinación de los Coeficientes de Agostadero (COTECOCA), ubica dentro del agostadero, los siguientes tipos de vegetación: pastizal mediano abierto, pastizal amacollado, pastizal halófito, diferentes tipos de matorrales y algunos bosques con producción de forraje bajo el dosel arbóreo (COTECOCA, 1974).

En las microcuencas estudiadas, el agostadero es la fuente de alimentación más barata que existe para el ganado que se maneja en condición extensiva, bajo un esquema de pastoreo continuo. Después de las primeras heladas, los productores se apoyan en otras fuentes de alimentación como son los esquilmos de cultivos agrícolas (rastrojo de maíz, sorgo y tazol de frijol) y algunos productos y subproductos de

especies maderables y no maderables como el maguey picado, nopal chamuscado, flor de yuca y vaina de mezquite (Loredo *et al.,* 1998).

La mayor parte de las tierras evaluadas fueron ejidales, las cuales son de aprovechamiento comunal y generalmente presentan la problemática relativa a este tipo de uso, el cual es descrito por Hardin (1968) como la "*tragedia de los comunales"* e implica lo siguiente*: "Ante la ausencia de normas y control de acceso, es decir cuando el acceso es libre, los recursos sufren una sobreexplotación que implica su degradación o incluso su desaparición…*"

Esto significa que en las microcuencas no existen planes elementales de manejo de pastizales a nivel local, no hay reglamentos internos para el manejo de estas áreas y existe una sobreutilización extrema de la vegetación. El terreno es de todos pero el ganado es de cada uno, por lo cual hacen uso indiscriminado del agostadero pero nadie lo protege; en la mayoría de los casos no hay organización para producir y llevar al mercado los productos del pastizal.

A nivel regional, no existen diagnósticos actuales que permitan conocer la capacidad productiva y de recuperación de los pastizales, no se aplican leyes y reglamentos para el buen uso de estos recursos, los programas oficiales tienen dificultad para ser aplicados por la falta de organización en las comunidades y la falta de personal capacitado y comprometido en programas de asistencia técnica para este tipo de tierras. Además de lo anterior, en las comunidades de las microcuencas se enfrentan problemas de bajos índices de escolaridad, migración hacia los Estados Unidos de Norteamérica, problemas de salud y en muchos casos vías de comunicación deficientes.

Lo anterior representa uno de los principales problemas para llevar a cabo acciones de mejoramiento del pastizal en las microcuencas, sin embargo, en los recorridos de campo se logró observar que los productores reconocen la importancia de la actividad ganadera basada en el aprovechamiento de los pastizales, no sólo como un complemento a sus precarias actividades agrícolas, sino como un eje capaz de transformarse

en su actividad principal, conociendo el tipo de tierras donde habitan, no obstante, también existe un desconocimiento de las técnicas de manejo de pastizales y se carece de infraestructura apropiada.

Actualmente existen programas del Gobierno que buscan fortalecer la ganadería y el manejo de los pastizales (especialmente a través de la acción coordinada de las instituciones dentro del Programa Estatal de Microcuencas). Se han invertido recursos en la recuperación de los agostaderos, instalando cercos perimetrales y divisorios en los potreros, construyendo infraestructura hidráulica, tanto en jagueyes o abrevaderos, así como apoyos en la adquisición de papalotes y construcción de bebederos.

El logro en San Luis Potosí es que muchos de estos apoyos se han canalizado hacia los productores que trabajan en el esquema "microcuenca", incluyendo acciones de restauración de suelos que promueve CONAFOR. En resumen, las recomendaciones para manejar, conservar y mejorar el pastizal con las cuales coincidieron los habitantes y técnicos de las 32 microcuencas son las siguientes:

- Ajuste y control de la carga animal para que la tasa de cosecha sea igual o menor que la tasa de recuperación (Beltrán *et al.,* 2005).
- Elección y aplicación de un sistema de pastoreo rotacional incluyendo la instalación de cercos perimetrales y divisionales, o bien con el uso del cerco eléctrico.
- Distribución adecuada de aguajes en el agostadero.
- Eliminar el exceso de carga animal improductiva, principalmente equinos y animales enfermos.
- Utilizar saladeros y bloques nutricionales como suplemento y como herramienta para lograr una mejor distribución del pastoreo.
- Dar a las plantas del pastizal la oportunidad de recuperación a fin de que produzcan semilla y se lleve a cabo la resiembra en forma natural.

- Controlar plantas indeseables y tóxicas.

En pastizales, las prácticas agronómicas corresponden a la aplicación de un buen sistema de pastoreo con rotación efectiva de potreros y respeto a la capacidad de carga animal. En el caso de que se encuentren abiertas al cultivo, se recomienda reconvertirlas nuevamente a un uso pecuario a través de la resiembra de especies gramíneas ya sean nativas o introducidas (Beltrán y Loredo, 1999), lo importante es mantener y mejorar la cobertura vegetal y aplicar sistemas de pastoreo con un manejo rotacional eficiente.

En las clases IV y V, cuando se cuente con escurrimientos, se recomienda establecer cultivos para apoyo a la ganadería, mediante la producción de forrajes de corte para su posterior ensilaje (maíz y sorgo) o henificado (avena y cebada), siempre aplicando técnicas de agricultura de conservación.

En las tierras donde el riesgo a la erosión es moderado y fuerte (pueden ser de la clase V a la clase VII) se recomienda realizar acciones de conservación y restauración, tales como la construcción de terrazas de base angosta en curvas a nivel con la finalidad de cosechar agua de lluvia y retener los sedimentos que arrastra el agua en los escurrimientos. En este tipo de tierras, cuando la cobertura vegetal es buena, se recomienda realizar prácticas de mejoramiento como surcado listter, paso de cinceles o rodillo arreador, a fin de promover una mayor infiltración de agua en el suelo.

Las clases VI y VII deben ser destinadas exclusivamente para el pastoreo con limitaciones. En las partes altas se recomiendan prácticas de protección y restauración de suelo y agua tales como tinas ciegas, zanja y bordo, bordos en media luna, presas filtrantes para el control de azolves, bordos a nivel de piedra acomodada y en general, cualquier estructura que evite la pérdida de suelo y agua en las laderas. En estas tierras se desarrolla bien la producción caprina por lo escarpado del terreno y por la dominancia de especies arbustivas (Beltrán *et al*., 2004).

Por último es importante señalar que no todos los terrenos usados como agostadero tienen la misma capacidad de recuperación, ya que su respuesta a la aplicación de prácticas de manejo y mejoramiento es diferente entre regiones, e incluso entre años en una misma región o rancho; lo anterior se debe a la variación en suelos, vegetación, precipitación y prácticas de manejo; por ello los productores deben conocer las expectativas de recuperación de su agostadero antes de iniciar cualquier trabajo de rehabilitación, para evitar pérdidas económicas y pérdidas de tiempo, así como incremento en la degradación de los recursos (Ibarra *et al.,* 2007).

En los agostaderos ejidales es necesario que los productores consideren que el recurso común no es de ninguna manera sinónimo de libre acceso (Berkes *et al.,* 1989) y que los recursos en propiedad común pueden ser administrados de manera a viable a largo plazo (Descroix, 2004) si se establece control de la carga animal y un plan de manejo del pastoreo el cual sea respetado por los integrantes del ejido.

6.3. PRÁCTICAS PARA TIERRAS FORESTALES

En el caso de las microcuencas bajo estudio se encontró que el 8% de la superficie está ocupada por bosque de encino o de pino (alrededor de 20 mil hectáreas), las cuales son usadas en su mayoría para la extracción de leña y como agostadero. Se ubican en tierras de clase VII. En esta clase también se desarrolla fauna silvestre como el venado y jabalí. También se consideran como tierras forestales las ocupadas por matorral crasirosulifolio (10.3% de la superficie de las microcuencas), matorral espinoso (10%), matorral subinerme (14%), matorral inerme (7.4%), nopaleras (10.4%) y otros tipos de vegetación característicos de zonas áridas y semiáridas como izotal, cardonal y mezquital que en conjunto ocupan 7.6 de la superficie estudiada.

En todas las tierras forestales que presenten erosión severa, las acciones son de restauración de suelos, especialmente cuando estas tierras se ubican en las partes altas, porque los sedimentos que ahí se

producen afectan en forma desfavorable a las partes bajas de las microcuencas (sedimentación de obras hidráulicas, rompimiento y destrucción de obras de conservación que ya estén realizadas, destrucción de caminos, etc.). Las obras de restauración recomendadas son el control de cárcavas con revegetación de cauces (es importante que las plantas seleccionadas para realizar revegetación de las cárcavas o barrancas sean de preferencia nativas, con un sistema radical ramificado; las raíces son importantes en la estabilización del suelo en las cárcavas), suavizamiento de taludes, cabeceo de zanjas, construcción de presas filtrantes para el control de azolves desde el inicio de las cárcavas (Figura 88), reorientación de los escurrimientos hacia obras de almacenamiento o derivación con velocidades no erosivas, construcción de tinas ciegas para controlar el flujo superficial (Figura 89), etc.

En la clase VIII, se recomienda dejar exclusivamente el desarrollo de vida silvestre, por sus extremadas limitaciones; no se recomienda realizar acción alguna, sólo vigilar que no se realicen talas inmoderadas del arbolado y caza furtiva con la consecuente degradación de los recursos. En estos sitios es posible llevar a cabo programas de protección y reintroducción de fauna silvestre (como el venado), ya que puede llegar a ser altamente rentable si se realiza una promoción adecuada a esta actividad entre personas que gustan de la cacería.

Actualmente las tierras forestales enfrentan serios problemas, entre ellos, la apertura de tierras para la agricultura; régimen y fragmentación de la propiedad; carencia de políticas públicas sobre cambios en el uso del suelo o si existen, hay desconocimiento de ellas; sobreutilización de la vegetación con fines ganaderos y falta de un esquema adecuado de asesoría técnica. Esos factores provocan la degradación de los recursos forestales. Para detener los procesos de degradación es necesario respetar la el uso potencial del suelo, establecer programas de reconversión cuando las tierras forestales han sido indebidamente abiertas al cultivo y establecer estrategias de aprovechamiento donde los productores participen activamente.

Figura 88. Cabeceo con piedra acomodada de una cárcava y presas filtrantes para el control de azolves construidas a lo largo de la cárcava pendiente abajo (Fuente: CONAFOR, 2004).

Figura 89. Tinas ciegas. La tierra extraída se ubica aguas abajo, para que no impida la entrada del agua proveniente del escurrimiento (CONAFOR, 2004).

A fin de que estas estrategias pueda tener mayor impacto social, económico y ecológico es necesario que se desarrollen alternativas productivas diversas ya sea a través de la integración de esquemas productivos derivados de la producción maderable, no maderable o venta de **servicios ambientales** o bien otras estrategias como pueden ser actividades agrosilvopastoriles, agrosilvícolas o industriales a pequeña escala (Torres, 2005).

Se puede mencionar que a nivel nacional son pocos los casos exitosos en los que el manejo maderable de los recursos forestales ha promovido el desarrollo de las comunidades y a la vez se ha conservado el recurso forestal. Existen múltiples razones políticas, económicas, sociales y técnicas que en su conjunto determinan el éxito o fracaso de una comunidad en cuanto al manejo apropiado de los recursos forestales.

Entre los casos exitosos, existen varios elementos comunes (Bray *et al.,* 2003) como son los siguientes:

- Que se haya consolidado un área (mediana o grande) de manejo forestal.
- Que el bosque sea manejado por comunidades locales. Que exista rendición de cuentas a la comunidad local.
- Que se combinen varios niveles de organización.
- Que haya beneficios tangibles en el corto plazo.
- Que existan mecanismos claros de evaluación y control
- Que una parte sustancial de las ganancias se reinvierta.

Estos elementos propician un proceso gradual de capitalización, así como el desarrollo de esquemas eficientes de administración y conservación de recursos.

Capítulo 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La predicción del riesgo a la erosión es una herramienta para la elección de acciones de manejo, conservación o restauración de los suelos de las microcuencas, desde el punto de vista de pérdida de suelo. Es útil para no hacer propuestas a la ligera, teniendo en mente que antes de promover un programa de restauración es necesario pensar en un programa de prevención, manejo y conservación, donde el factor fundamental sea el manejo de la cobertura vegetal.
- La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, es una herramienta para estimar el riesgo a la erosión, que se basa en los siguientes factores: erosividad de la lluvia (Factor R); erosionabilidad del suelo (K); factores asociados a la pendiente (LyS), factor por cobertura vegetal (C); y factor por prácticas de manejo (P).
- A nivel local o parcelario es importante considerar la evaluación directa de los factores RKLS en campo y aplicar directamente los valores de los factores atenuantes (Factores C y P), para lo cual en esta publicación se presenta un método sencillo que los técnicos de las microcuencas pueden aplicar.
- Cuando se requiere determinar el riesgo a la erosión a nivel microcuenca, es necesario apoyarse en los Sistemas de Información Geográfica para realizar la estimación de riesgo a la erosión. En el INIFAP se cuenta con información de 32 microcuencas en las cuales se evaluó riesgo a la erosión dentro del proyecto “Evaluación de Tierras para el manejo integrado de 32 microcuencas en San Luis Potosí”, y de 20 microcuencas más, ubicadas en la Zona Media del estado, donde se estimó el riesgo a la erosión dentro de otro proyecto financiado por la Comisión Nacional de las Zonas Áridas.

- Como ejemplo, en la microcuenca Portezuelo, Mpio. de Cerro de San Pedro, S. L. P. se identificaron las áreas con mayor riesgo de erosión que pueden ser susceptibles de apoyo a través de programas de manejo y rehabilitación de pastizales, reforestación, restauración de suelos, o bien, de agricultura de conservación y reconversión productiva.
- En el caso de tierras agrícolas, se requiere mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas y realizar acciones de conservación cuando sea necesario a través de agricultura de conservación (Factor C) y prácticas mecánicas (Factor P).
- Es necesario promover la infiltración, reducir el escurrimiento a velocidades no erosivas y promover la recarga de los mantos acuíferos en todas las microcuencas.
- Para el manejo de agostaderos es indispensable mantener o favorecer la cobertura vegetal a través del control de la carga animal en función de la capacidad de recuperación del pastizal. Sin embargo, ante todo, es indispensable reconocer que el uso y aprovechamiento de estos recursos depende de las actividades de los habitantes de las microcuencas, de la capacitación que tengan, de la tecnología disponible y viable, así como de sus procesos de gestión y organización.
- En las tierras forestales se requiere respetar el uso potencial del suelo, establecer programas de reconversión cuando las tierras forestales han sido indebidamente abiertas al cultivo y establecer esquemas de aprovechamiento donde los productores participen activamente.
- En ambos casos (agostaderos y tierras forestales) el hecho de manejar los recursos con la visión de microcuenca implica el reconocer que las oportunidades de los productores que las habitan, están estrechamente ligadas al manejo adecuado del suelo, del agua y de la vegetación.

- Existen hoy, condiciones favorables para promover la participación de los productores de las comunidades en la toma de decisiones sobre el uso de los recursos en las microcuencas. La primera es la coordinación interinstitucional que llevan a cabo los gobiernos federal, estatal y municipal, para que se desarrolle el programa estatal de microcuencas en San Luis Potosí y la segunda es la disposición de los productores a participar activamente en la elaboración de sus planes rectores.
- Es indispensable que las instituciones, investigadores y técnicos, integren esfuerzos y se comprometan a elaborar las propuestas de solución de la problemática del manejo de los recursos naturales en el estado, tomando como base el concepto de manejo integral de microcuencas, para la predicción de riesgo a la erosión, diagnóstico del estado actual de los recursos, identificación de tecnologías apropiadas que promuevan la sostenibilidad, así como el fortalecimiento a los procesos de capacitación hacia los productores a fin de que ellos sean gestores de las acciones de aprovechamiento sustentable de los recursos.

Las amenazas para el desarrollo de estas acciones son los siguientes:

- La falta de políticas claras para el manejo de los recursos de las microcuencas, especialmente de los agostaderos.
- La carencia de reglamentos locales para el uso de los agostaderos y de las tierras forestales.
- La falta de organización de los productores.
- La deficiente selección y aplicación de tecnología.
- La falta de diagnósticos de riesgo a la erosión y del estado de salud del pastizal.
- La apatía de algunas autoridades al no reconocer que el manejo de los recursos en las microcuencas debe basar su manejo en principios no sólo productivos, sino también ecológicos.

LITERATURA CITADA

Aguilera C., M. y R. Martínez E. 1986. Relaciones agua suelo planta atmósfera. Ed. Universidad Autónoma Chapingo. 3ª edición. Chapingo, México. 321 p.

Aizpuru, G. E. 1995. Relaciones entre el ganado y el pastizal. Temas de actualidad en Manejo de Pastizales. Sociedad Mexicana de Manejo de Pastizales (SOMMAP). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah. México. pp 63 – 74.

Aizpuru, G. E. 1982. Memorias del curso de Manejo de Pastizales avanzado. Maestría en Manejo de Pastizales. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah. México. 178 p

Arias R., H. 1980. El factor R de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo en la cuenca del río Texcoco. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapino, México.

Arredondo G. A. 1998. Alternativas de uso del suelo mediante diversas especies forestales no maderables en el Altiplano Potosino. Informe de logros de proyectos financiados por la Fundación Produce de San Luis Potosí. Documento interno.

Bak H. y Cayssials R. 1974. Estabilidad estructural de algunos suelos del Uruguay. Montevideo, Ministerio de Agricultura y Pesca, Dirección de Suelos y Fertilizantes. 58 p.

Baver L. D., Gardner W. H. y Gardner W. R. 1980. Física de suelos. Editorial ETEHA. México.

Beasley, R. P. 1972. Erosion and sediment pollution control. Iowa State University Press. Ames Iowa. USA. 320 p.

Becerra, M. A. 1999. Escorrentía, erosión y conservación de suelos. Ed. Universidad Autónoma Chapingo. 1ª edición. Chapingo, México. 376 p.

Bell M., A., J.D. Corbett, H. van Keulen, H. Barreto. 1993. Soil and water conservation and management practices. In: In: Ruiz F.,J.F. Editor. Land Evaluation for Sustainable Agriculture for Mexico. Seminar/Workshop. El Batán, México. p 237-257.

Beltrán L. S., Loredo O. C., Gámez V. H. G. 2004. Arbustivas forrajeras con potencial para las zonas semiáridas de San Luis Potosí. Memorias de la XL Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Yucatán, México.

Beltrán L., S., C. Loredo O. y J. Urrutia M. 2005. Manejo y rehabilitación de agostaderos de zonas áridas y semiáridas. In: Loredo O. C. (Ed). 2005. Prácticas para la conservación del suelo y agua en zonas áridas y semiáridas. INIFAP-CIRNE-Campo Exp. San Luis. Libro técnico No. 1. San Luis Potosí, S.L.P. México. 187 p.

Beltrán, J. A.; Tijerino, D.; Vernooy, R. 1999. Desarrollo de procesos organizativos a nivel local para el manejo colectivo de los recursos naturales. Guía 9. En: Instrumentos para la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 147 p.

Beltrán, L. S y Loredo O. C. 1999. Rehabilitación y manejo de pastizales de zonas áridas y semiáridas. Informe Final de Proyecto. C.E. Palma de la Cruz. San Luis Potosí. S.L.P.

Berkes, F., D. Feeny, B. J. McCay and J.M. Acheson. 1989. The benefits of the Commons. Nature (340): 91-93.

Bosque S.1992. Sistemas de información geográfica: Ed. RIALP S.A. España. 451 p.

Brady N. C. and Weil R.R. 1999. The nature and Properties of Soils. 20th ed.Prentice Hall, New Jersey, USA. 529 p.

Bray, D; Merino L.; Negreros P., Torres J. M. y Vester H. 2003. Mexico's community managed forests: A global model for sustainable landscapes. Conservation Biology17(3):672-677

Brooks, K. N., P. Ffolliot, F., H. Gregersen M. and J.Thames L. 1991. Hydrology and the Management of Watersheds. Iowa State University Press/Ames. 392 p.

Candia C. U. 2004. Promoción para la organización de productores. Memorias del Curso-Taller "Manejo Integrado de recursos con Enfoque de Microcuenca". Junio de 2004. San Luis Potosí, S.L.P.

Casillas y Maldonado. 2005. Guía Técnica para la elaboración de planes rectores de producción y conservación. SAGARPA-FIRCO. México, D.F. 163 p.

CIAT. 1999. Nueve instrumentos para la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. Guía 1.

Colegio de Postgraduados de Chapingo. 1977. Manual de Conservación del Suelo y Agua. Instructivo. SARH-SPP. Chapingo, México. 248 p.

Comisión Nacional de las Zonas Aridas (CONAZA). 1993. Plan Nacional para combatir la Desertificación.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2004. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas. 210 p.

Comisión Técnico Consultiva para la determinación de los coeficientes de agostadero (COTECOCA) 1974. Coeficientes de agostadero para el estado de San Luis Potosí. México.

Cortés, T., H. G. 1991. Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Montecillos, México. 168 p.

De Alba, J. 1971. Alimentación del ganado en América Latina. La prensa Médica Mexicana. México, D. F. 336 p.

DETENAL (INEGI).1973. Cartas temáticas impresas de: Uso del Suelo y Vegetación, Topografía y Edafología. Varias cartas. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.

DETENAL (INEGI).1974. Cartas temáticas impresas de: Uso del Suelo y Vegetación, Topografía y Edafología. Varias cartas. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.

Descroix, L. 2004. Propiedad privada y pública, gestión colectiva: ¿Y la política patrimonial?. In: Descroix L. J.L. González B. y J. Estrada A. La Sierra Madre Occidental, una fuente de agua amenazada. INIFAP, IRD. Gómez palacio, Durango, México. 300 p.

Dissmeyer G. E., and G. R. Foster. 1981. Estimating the Cover Management Factor (C) in the Universal Soil Loss Equation for Forest Conditions. J. Soil Water Conserv. 36: 235-240.

Echavarría Ch., F.G. y A. Serna P. 2007. Niveles de degradación del suelo de un pastizal semiárido: I. Características y distribución. In: Loredo O. C., y S. Beltrán L. (Editores) 2007. Memorias del IV Simposium Internacional de Pastizales. San Luis Potosí, México. 271 p

ESRI. Enviromental Systems Research Institute Inc 1995. The ARC/INFO Method, Self Study Workbook: Versión 7 for UNIX and Open VMS. 3 ed. California-USA, 1995. p. 1-2.

ESRI. Enviromental Systems Research Institute Inc 1998. Arcview 3x. ESRI. http://www.businessmap.com/software/arcview/index.html.

Estrada-Berg, W., J. W. 1995. Evaluación y cartografía de la desertificación. En: Anaya G. y F. Díaz C. (Eds). Memorias del IV curso sobre desertificación y desarrollo sustentable. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México. pp 81-101.

FAO, 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma. 86 p.

Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO). 2005. Guía técnica para la elaboración de planes rectores de producción y conservación (PRPC). México. 163 p.

Figueroa, S. B. 1975. Pérdidas de suelos y nutrimentos y su relación con el uso del suelo en la cuenca del río Texcoco. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Chapingo, México. 209 p.

Figueroa, S. B., A. Amante O., H. G. Cortés T., J. Pimentel L., E.S.Osuna C., Rodríguez O. J. M. y Morales F. F. J. 1991. Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. SARH. Colegio de Postgraduados. Centro regional para estudios de zonas áridas y semiáridas. 150 p.

Foster, G. R. , McCool, D. K., Renard, K. G., and Moldenhaver, L. S. 1981. Conversion of the Universal Soil Loss Equation (USLE) to SI metric units. J. Soil and Water Cons., 36:355-359.

Frederick, R. J., Hubbs, J. A., and Donahue, R. L. 1999. Soil and water conservation. Productivity and Environmental Protection. Prentice Hall. 3a ed. p. 68-163.

García E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climatica de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México.

García, L., R. 1983. Diagnóstico sobre el estado actual de la erosión en México. Terra: 1 (1): 11-14.

Hardin, G. 1968. The tragedy of the commons. Garrett Hardin. Science, 162:1243-1248.

Hernández R. A., Villanueva D. J. Y Loredo O.C. 1999. Establecimiento, manejo y aprovechamiento integral de especies forestales de zonas semiáridas del noreste de México. Informe anual de actividades 1998. Documento interno.

Ibarra F., F.A., M. H. Martín I., A. Encinas B., S. Pérez P. 2007. Recomendaciones para el mejoramiento forrajero de los agostaderos de Sonora mediante técnicas de rehabilitación y manejo. Publicación Especial. Fundación Produce Sonora-INIFAP. 21 p.

Inard L., B. 2004. ¿Una montaña en vías de abandono? In: In: Descroix L. J.L. González B. y J. Estrada A. La Sierra Madre Occidental, una fuente de agua amenazada. INIFAP, IRD. Gómez palacio, Durango, México. 300 p.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2000. XII Censo General de Población y Vivienda 2000. (http://www. inegi.gob.mx/difusion /espanol/ poblacion/index.html).

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2003. Modelo de elevación digital, escala 1:50000 (diversas cartas).

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1978. Carta F14A84 edafológica 1:50 000.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1978. Carta F14A84 uso del suelo 1:50 000.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1978. Carta F14A84 uso potencial escala1:50 000.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005. Guía para la interpretación de cartografía: edafología. México. 28 p.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 1992. Resúmenes de la tercera Reunión Cient. Forestal y Agrop.del INIFAP-SLP Pub. Esp. Núm. 4 SARH-INIFAP-CIRNE.

Kirkby, M. J. 1984. El Problema. In: M.J. Kirkby y R.P.C. Morgan. Erosión del suelo. John Wiley & Sons. Ltd., pp 1-16.

Kirkby, M. J. y R. P. C. Morgan. 1984. Erosion de Suelos. Ed. Limusa. México. 375 p.

Lindsay, J. I., and F. A. Gumbs. 1982. Erodibility Indices compared to measured values of selected Trinidad soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 46:393-396.

Loredo O. C., Beltrán L.S. y Barrón C. J.L. 1998. Reconversión de áreas agrícolas de baja productividad a uso pecuario. Foll. Téc. SAGAR-INIFAP- C.E. Palma de la Cruz, S.L.P.. 22 p.

Loredo O. C., S. Beltrán L., F. Moreno S. y M. Casiano D. 2007a. Predicción de riesgo a la erosión hídrica a nivel microcuenca. Folleto Técnico No. 29. INIFAP-CIRNE-Campo Experimental San Luis. San Luis Potosí, S.L.P. México. 66 p.

Loredo O. C., S. Beltrán L., J. L. Sarreón T. y M. Casiano D. 2005. Prácticas mecánicas para el control de la erosión hídrica. In: In: Loredo O. C. (Ed). 2005. Prácticas para la conservación del suelo y agua en zonas áridas y semiáridas. INIFAP-CIRNE-Campo Exp. San Luis. Libro técnico No. 1. San Luis Potosí, S.L.P. México. 187 p.

Loredo O. C., S. Beltrán L., M. A. Peña del Río. 2007b. Uso de biofertilizantes para la producción de maíz forrajero en condiciones de temporal. Folleto Científico No. 2. Campo Experimental San Luis-CIRNE-INIFAP. San Luis Potosí, S.L.P. México. 60 p.

Loredo O. C., y S. Beltrán L. 2005. Prácticas agronómicas y vegetativas. In: Loredo O. C. (Ed). 2005. Prácticas para la conservación del suelo y agua en zonas áridas y semiáridas. INIFAP-CIRNE-Campo Exp. San Luis. Libro técnico No. 1. San Luis Potosí, S.L.P. México. 187 p.

Loredo O., C. 1994. Efecto de la reforestación cobre el control de la erosión hídrica. Tesis de maestría en ciencias. UAAAN. 105 p.

Loredo O., C., S. Beltrán L., F. Moreno S. y M. Casiano D. 2006. Evaluación de tierras para el manejo de 32 microcuencas hidrológicas en el estado de San Luis Potosí. In: Memorias de la XII Reunión Nacional y II de América Latina y el Caribe, sobre Sistemas de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia. Querétaro, México. P 107-116.

Loredo O., C., S. Beltrán L., I. Sánchez C. y J. Villanueva D. 2003. Evaluación de Tierras para el manejo integrado de microcuencas en San Luis Potosí. Protocolo de Proyecto. INIFAP-CIRNE-Campo Experimental San Luis. San Luis Potosí, S.L.P. México. 17 p.

Loredo O., C, Abencerraje R.F. y Duéñez A. J. 1996. Efecto de la reforestación con *Pinus halepensis* en el control de la erosión hídrica. En: Ordaz Ch. V,

Alcántar G.,G y Castro B., C. Editores. Memorias del XXVII Congreso nacional de la Ciencia del Suelo. Cd. Obregón, Son. Nov. 1996. p. 179.

Loredo O.,C., S. Beltrán L. y F. Moreno S. 2004. Conservación del suelo y agua en 20 microcuencas de San Luis Potosí. Protocolo de Proyecto. INIFAP-CIRNE-Campo Experimental San Luis. San Luis Potosí, S.L.P. México. 23 p.

Loredo Osti C. (Ed). 2005. Prácticas para la conservación del suelo y agua en zonas áridas y semiáridas. INIFAP-CIRNE-Campo Exp. San Luis. Libro técnico No. 1. San Luis Potosí, S.L.P. México. 187 p.

Loredo, O. C. 1986. Efecto de la aplicación de estiércol caprino sobre la estabilidad de agregados del suelo. Reporte Final de Problema Especial. Física de Suelos. UAAAN. 19 p.

Loredo, O. C., S. Beltrán L. y G. Vázquez U. 2000. Producción de sedimentos en una pradera de pasto buffel (Cenchrus ciliaris) en el Altiplano Potosino. In: Quintero L.,R., T. Reyna T., L. Corlay Ch., A. Ibáñez H. y N. García C. Eds. La edafología y sus perspectivas al siglo XXI. Tomo I. p 181-185.

Mannering J.V., y L. Meyer D. 1963. The effect of various rates of surface mulch on infiltration and erosion. *Soil Sci.Soc.Am. Proc., Madison,* 27:84-86.

Martínez G., M. A. 2005. Agricultura de conservación para la producción de cultivos. In: Loredo O. C. (Ed). 2005. Prácticas para la conservación del suelo y agua en zonas áridas y semiáridas. INIFAP-CIRNE-Campo Exp. San Luis. Libro técnico No. 1. San Luis Potosí, S.L.P. México. 187 p.

Martínez M., M. y V. J. Fernández. 1983. Jerarquización de acciones de conservación de suelos a partir de cuencas hidrológicas. Manuscrito. SARH-DGCSA. México. 12 p.

Martínez, G. M. A. 2003. Transferencia de labranza de conservación en sistemas de producción agrícola en San Luis Potosí. Informe anual de actividades. CIRNE-INIFAP.CE Palma de la Cruz. San Luis Potosí, S. L. P.

Martínez, M., M. 1983. Perspectivas técnicas sobre la conservación y productividad de los suelos en México. Terra: 1 (1): 24-30.

Medina G., G., G. Díaz P., C. Loredo O., V. Serrano A., M. A. Cano G. 2005. Estadísticas climatológicas básicas del estado de san Luis Potosí (período 1961-2001). Libro Técnico Núm. 2. INIFAP-CIRNE-C.E. San Luis. México, D.F. 319 p.

Moreno S. F., A. González H. A., G. M. Cruz B. y C. Loredo O. 2005. Uso de los

Sistemas de Información climática (SIG) para la planeación de acciones de conservación del suelo y agua. Memorias de curso técnico. 104 p.

Morgan, R. P. C. 1986. Soil erosion and conservation. Longman Ltd. 298pp

Munk R., Helle; Westermann, Olaf; Guerrero, M. P. 1999. Metodología de análisis de grupos de interés para el manejo colectivo de recursos naturales en microcuencas. Guía 4. En: Instrumentos metodológicos para la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales. 133 p.

Noyola, 2005. Caracterización de la microcuenca Portezuelo, Mpio. de Cerro de san Pedro. Tesis de Licenciatura. Facultad de Agronomía de la UASLP. San Luis Potosí, S. L. P. México. 66 p.

Ortiz S., M. de la L.; Anaya G., M.; y Estrada B. W. J. 1994. Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de la tierra. México. 49 p.

Osuna C., E.S., J. S. Padilla R., E. Martínez M., M.A. Martínez G. y J.A. Acosta G. 2006. Sistema de producción intgegral y de conservación de suelo y agua en la zona semiárida del norte centro de México. In: Memorias de la XII Reunión Nacional y II de América latina y el Caribe sobre Sistemas de Captación y Aprovechamiento del agua de lluvia. Querétaro. México.

Ramakrishna, B. 1997. Estrategias de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias. Serie Investigación y Educación En Desarrollo Sostenible. IICA. San José Costa Rica. 338 p.

Ríos, B., J. D. 1987. Efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo. Tesis Maestría. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 226 p.

SAGARPA. 2005. www.sagarpa.gob.mx/sdr/apoyos/publicaciones/dctos_excell/1estim-erosion.xls.

Sánchez C., I. 2005. Fundamentos para el aprovechamiento integral del agua: una aproximación de simulación de procesos. Libro científico No. 2. CENID-RASPA-INIFAP. México. 272 p.

Sánchez V., A., R. M. García N. Y A. Palma T. 2003. La cuenca hidrográfica: unidad básica de planeación y manejo de recursos naturales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Serie: Alternativas productivas. México, D.F. 47 p.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1986. Inventario de Areas Erosionadas en México. SARH-DGCSA. México, D.F.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1977. Manual de Conservación del Suelo y Agua. Instructivo. Colegio de Postgraduados de Chapingo. SARH-SPP. Chapingo, México. 248 p.

Singh T. 1970. Infiltration and Soil stability of a summer range. J. Range Manage 22(2):123-127.

Society for Range Management (SRM) 1974. Range term Glossary Committee. A glossary of terms used in range management. Kothmann M. M. (ed). Denver, Colorado. U. S. A. 36 p.

Stallings, J. H. 1982. El suelo: su uso y mejoramiento. Ed. Continental. México, D.F. 480 p.

Stoddart, S. A., Smith, A. D. and Box, T. M. 1975. Range management. Mc. Graw Hill Book Company. Inc. New York, U.S.A. 532 p.

Suárez, F. C. 1979. Conservación de suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica. 315 p.

Tovar S., J.L., y M. Anaya G. 2002. Implementos Agrícolas para los Sistemas de Microcaptacion de Lluvia en Zonas de Temporal Deficiente. Memoria de la VIII Reunión Nacional sobre Sistemas de Captación de Agua de Lluvia. Chihuahua, Mex**.**

Trejo, M., E. Barrios, W. Turcios, H. Héctor. 1999. Método participativo para identificar y clasificar indicadores locales de calidad del suelo a nivel de microcuenca. Guía 1. En: Instrumentos para la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales. CIAT. Cali, Colombia. 255 p.

Trieste, D.J., and G. F. Gifford. 1980. Application of the Universal Soil Loss Equation to rangelands on a per-storm basis. J. Range Manage. 33:66-70.

Trueba, C., A. 1981. Evaluación de la eficiencia de cuatro prácticas mecánicas para reducir las pérdidas de suelo y nutrimientos por erosión hídrica en terrenos agrícolas de temporal. DGCSA-SARH. México. 162 p.

Ventura R. E. Jr, J. Acosta G., M. A. Domínguez C. y K. Ward. 2005. Captación de agua de lluvia. In: Loredo O. C. (Ed). 2005. Prácticas para la conservación del suelo y agua en zonas áridas y semiáridas. INIFAP-CIRNE-Campo Exp. San Luis. Libro técnico No. 1. San Luis Potosí, S.L.P. México. 187 p.

Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1965. Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rochy Mountains. USDA Agr. Handbook 282.

Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses-a Quide to Conservaction Planning-USDA; Agriculture Handbook 537. Sci. and Educ. Admin. USDA washington, D.D. 59- p.

Wischmeier, W. H., and D. D. Smith. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. Trans. Am. Geoghys. Un. 39:285-291

Wischmeier, W. H., C. B. Jonson, and B.V. Cross. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. J. Soil and Wat. Conserv. 26:189-193.

Zárate L., A. 1998. Memorias del Curso-Taller Introducción al uso y Manejo de Sistemas de Información Geográfica. Editado por SEMARNAP Delegación. Coahuila. Enero de 1998.

Zárate Z.R. y M. Anaya G. 1992. Evaluación y cartografía del riesgo a la degradación del suelo por erosión hídrica en el estado de Tlaxcala. Rev. TERRA. SMCS. Vol 10 (1) p 3-14.

ANEXO 1

INFORMACIÓN QUE INTEGRA EL DOCUMENTO "PLAN RECTOR DE PRODUCCIÓN Y CONSERVACIÓN" (FIRCO, 2005)

1. Presentación

- **1.1. Antecedentes**
- **1.2. Introducción**
- **1.3. Objetivos**

2. Marco de referencia

- **2.1. Marco fisico**
  - 2.1. 1. Localizacion
  - 2.1.2. Clima
  - 2.1.3. Suelos
  - 2.1.4. Fisiografia
  - 2.1.5. Hidrologia
  - 2.1.6. Geologia
  - 2.1.7. Vegetación
  - 2.1.8. Fauna
  - 2.1.9. Infraestructura
- **2.2. Marco social**
  - 2.2.1. Antecedentes históricos
  - 2.2.2. Poblacion
  - 2.2.3. Vivienda
  - 2.2.4. Alimentacion
  - 2.2.5. Salud
  - 2.2.6. Servicios públicos
  - 2.2.7. Educacion
  - 2.2.8. Recreacion y religion
  - 2.2.9. Organización
- **2.3. Marco económico**
  - 2.3.1. Población económicamente activa
  - 2.3.2. Tenencia de la tierra
  - 2.3.3. Migración
  - 2.3.4. Financiamiento
  - 2.3.5. Subsidios
  - 2.3.6. Destino de la producción
- **2.4. Sistemas de producción**

Sistemas de producción agrícola
Sistemas de producción pecuario
Sistemas de producción forestal
Sistemas de producción minero
Otros sistemas de producción

2.5. Diagnóstico de oportunidades y de la problemática
2.6. Propuestas
2.7. Decisiones de los habitantes
2.8. Financiamiento del Plan
2.9. Impactos esperados

Cartografía básica

Planos

- Plano base (microcuenca).
- Topográfico.
- Edafológico.
- Uso actual del suelo.
- Pendientes.
- Erosión (carta de uso potencial).
- Riesgo de erosión.
- Áreas de interés.
- Climatológico (carta 1:500 000).
- Limites políticos (ran, plano de zona).
- Hidrología superficial.
- Hidrología subterránea.
- Dinámica de uso del suelo.
- Plano de acciones proyectadas.

Anexos.

- Especificaciones de las prácticas de conservación de suelo y agua.
- Análisis de costos unitarios para las prácticas de conservación de suelo y agua.
- Costos de producción agrícolas, pecuarios y forestales.
- Actas y minutas de las reuniones (asambleas participativas).
- Proyectos específicos (ejecutivos).
- Informes fotográficos.

ANEXO 2

PRÁCTICAS PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN HÍDRICA (Adaptado de Loredo, 2005).

1. PRÁCTICAS AGRONÓMICAS

Las prácticas agronómicas para el control de la erosión, se refieren a las actividades de manejo del terreno, tales como el subsoleo o cinceleo, labranza de conservación, incorporación de materia orgánica y aplicación de mejoradores, que tiendan a reducir la densidad aparente del suelo, a incrementar su capacidad de infiltración, disminuir el escurrimiento y conservar la humedad. A continuación se mencionan algunas de éllas.

Subsoleo o cinceleo. Esta práctica consiste en fracturar el suelo en su perfil para romper el “piso de arado” con el objeto de incrementar la capacidad de infiltración, promover la penetración de raíces y reducir el escurrimiento superficial. Permite aumentar temporalmente la porosidad del suelo si se realiza a capacidad de campo. Debe efectuarse después de comprobar que la profundidad del suelo es la conveniente, teniendo cuidado de no mezclar capas fértiles con infértiles, en el caso de suelos poco profundos. La separación entre los cinceles dependerá de las condiciones del terreno y del tipo de resultados que se requieran, pero deberán penetrar a una profundidad mínima de 45 centímetros. Como la formación del piso de arado en los terrenos agrícolas es muy común, se recomienda realizar el subsoleo con una periodicidad promedio de 4 años. No debe realizarse en suelos de poca profundidad.

Labranza de conservación. Sistema de laboreo y siembra que mantiene al menos 30% de la superficie del suelo cubierta con residuos después de la siembra. El suelo se prepara al mínimo, solamente para enterrar la semilla y los residuos vegetales se mantienen sobre la superficie para proteger al suelo.

Labranza cero. No se disturba el suelo antes de la siembra. Esta se realiza en forma directa y solo se prepara una franja no mayor de 7 cm de ancho. El control de la maleza se realiza con herbicidas.

Labranza en camellones. La siembra se realiza sobre camellones o surcos de 10 a 15 cm de altura, en la parte media del surco. El control de malezas se realiza combinando herbicidas y escardas.

Labranza en franjas. Se labora solamente un tercio de la superficie al momento de la siembra, lo cual puede realizarse con arado rotatorio, o con un cincel en la línea de la siembra o una escardilla. El control de malezas se realiza combinando herbicidas y escardas.

Labranza en coberteras. Se labora la superficie del suelo antes de la siembra, con cinceles de puntas en “v” del tipo pata de ganso. Se dejan los residuos de cosecha sobre la superficie del terreno. El control de la maleza se realiza con una combinación de herbicidas y escardas.

Fertilización. Los suelos que presenten deficiencias nutrimentales en los cultivos, especialmente de nitrógeno y fósforo, requieren adiciones de fertilizante orgánico o químico. En condiciones de temporal, es una práctica que ha tenido poca aceptación entre los productores; sin embargo, es necesaria para evitar el empobrecimiento del suelo, siendo necesario consultar las recomendaciones que vienen en los paquetes tecnológicos del INIFAP, para los diferentes cultivos.

Además existen prácticas agronómicas que el productor realiza en forma tradicional. A continuación se describen algunas de éllas:

Barbecho. Consiste en voltear el suelo superficial considerado como la capa arable, después de la cosecha anterior a una profundidad mínima de 20 cm ya sea con tractor o yunta. Los beneficios son los siguientes: permite aumentar la rugosidad del terreno de tal forma que al suceder un evento pluvial, el suelo tiene mayor capacidad de infiltración y almacenamiento de agua. Para esta labor, se utiliza un arado de dos, tres o cuatro discos de 16 a 22 pulgadas de diámetro jalado por un tractor de

70 a 150 HP. Esta labor se puede realizar también con el arado de vertedera.

Rastreo. Práctica complementaria al barbecho, que se realiza con una rastra de discos. Se realiza para “desmenuzar” los terrones grandes que deja el barbecho y tener una cama “más mullida” para la germinación de la semilla.

Rasamiento. También conocido como empareje agrícola, consiste en el trabajo necesario para suavizar la pendiente y uniformizar el relieve del terreno, después del barbecho y rastra, cuando se ha establecido el temporal. Con esta práctica se busca tener mayor eficiencia en las labores de surcado, siembra, labores de cultivo y aplicación más uniforme de los fertilizantes.

2. PRÁCTICAS VEGETATIVAS

Las prácticas vegetativas consideran el desarrollo de plantas o cultivos, o el manejo de la vegetación natural, con la finalidad de mejorar la capacidad productiva de los terrenos y ayudar a disminuir la erosión del suelo. Las más conocidas son las siguientes:

Rotación de cultivos. Se refiere al crecimiento de dos o más cultivos en el mismo terreno, estableciendo uno después de cosechar el otro. Generalmente se recomienda sembrar una leguminosa después de una gramínea o bien un cultivo tupido (avena, cebada o trigo) después de uno de surco.

Cultivo en fajas. Implica el establecimiento de dos o más cultivos en el mismo periodo o ciclo de cultivo. Un ejemplo sería 10 surcos de maíz, diez de frijol y 10 de avena.

Cultivos asociados ó policultivos. Implican el crecimiento de dos o más cultivos en el mismo terreno y al mismo tiempo. En México la asociación maíz-frijol ha sido utilizada desde épocas prehispánicas.

Cultivos de cobertera. Es el establecimiento de cultivos después de la cosecha del cultivo de interés económico, con el fin único de mantener

cubierto el suelo y reducir las pérdidas por erosión. Generalmente se trata de un cultivo tupido en el cual es recomendable la presencia de una leguminosa de ciclo corto.

Abonos verdes. Implica que el cultivo de cobertera se incorpore al suelo para incrementar su fertilidad. La incorporación se debe realizar con suficiente tiempo antes de la siguiente siembra, para promover la descomposición de las plantas.

3. PRÁCTICAS MECÁNICAS

Las prácticas mecánicas son aquellas obras que se realizan con implementos agrícolas, aditamentos especiales o mano de obra y consisten en realizar movimientos de tierra, para disminuir el escurrimiento superficial y reducir la erosión en terrenos con pendiente. La elección de este tipo de prácticas está en función de la clase y uso del suelo, el valor de los terrenos por proteger y la disponibilidad de recursos económicos.

También deben considerarse aspectos operativos y de eficiencia, así como la experiencia de los productores. Por ejemplo, en las zonas áridas y semiáridas, existen zonas agrícolas donde el conocimiento y la experiencia tradicional han propiciado una agricultura basada en el manejo de los escurrimientos superficiales a través de la utilización del agua que escurre en corrientes intermitentes durante la época de lluvias, la cual es dirigida hacia parcelas limitadas por “bordos parcelarios”, generalmente localizados en la parte baja de las microcuencas.

A continuación se definen las principales prácticas mecánicas.

Surcado al contorno. Consiste en realizar el trazo de los surcos y el laboreo del cultivo en forma perpendicular a la pendiente natural del terreno. Es una práctica con un nivel bajo de inversión inicial. Es recomendable en terrenos con pendientes mayores del 3% y menores de 6%. Cuando la pendiente es mayor es necesario complementarla con otras prácticas mecánicas como las terrazas de formación paulatina.

Terrazas de base angosta. Consiste en la construcción de bordos de tierra, entre los cuales se espera se forme una terraza, por el movimiento del suelo que se presenta en cada evento lluvioso donde ocurre escurrimiento y desprendimiento del suelo superficial. Las terrazas se pueden trazar “al contorno”, o bien, modificándolas para hacerlas paralelas entre sí. Son útiles hasta el 15% de pendiente. Favorecen las acciones de reforestación o plantaciones de maguey y nopal, cuando se aprovechan los bordos para su establecimiento.

Tinas ciegas o zanjas trincheras. Consiste en abrir zanjas y bordos en forma discontinua sobre curvas a nivel. Tal discontinuidad forma un dique divisor entre zanja y zanja. Para la construcción de las tinas ciegas se excava en material común o en algunos casos en material del tipo I y II; el material extraído se coloca de aguas abajo de la tina. Esta práctica se realiza generalmente con mano de obra. El sistema recomendado para la ubicación de las tinas, es del tresbolillo, para favorecer la captación del la mayor parte del escurrimiento generado en el terreno.

Dren interceptor. Es un canal colector de aguas broncas para su encauzamiento a velocidades no erosivas hacia zonas acondicionadas para su desalojo, o bien, para su conducción a bordos de almacenamiento. Esta obra se construye en pendientes que varían del 10 al 15% y se ubica en la parte superior al lugar en donde se construirán las terrazas de base angosta, evitando que éstas se rompan a causa de avenidas incontroladas. El dren interceptor distribuye el agua de escurrimiento en forma controlada a cauces bien definidos. Para su diseño se requiere conocer el escurrimiento máximo esperado.

Presas Filtrantes para el Control de Azolves.

Las presas filtrantes para control de azolves son estructuras de forma trapezoidal construidas con piedra acomodada en las cárcavas de formación que se encuentran en los terrenos de cultivo. En caso de hacerlas para el control de la erosión en estado mas avanzado como es el caso de control de torrenteras, se puede utilizar material mas especializado como gaviones. La función que tienen las presas filtrantes para control de

azolves es retener los sedimentos que transportan los escurrimientos de las partes altas y controlar la velocidad del escurrimiento. En el caso de terrenos de cultivo las presas filtrantes se realizan como obra complemento a las terrazas de formación sucesiva y el intervalo entre cada presa generalmente es el que hay entre cada bordo de las terrazas. En el caso de que las presas sean diseñadas para el control de cárcavas en terrenos no cultivados, el espaciamiento entre las presas dependerá de la pendiente de la cárcava, del gasto esperado para un escurrimiento máximo en 24 horas para un período de retorno de 10 años, del material a utilizar en la construcción de las presas filtrantes, de la naturaleza de los sedimentos depositados y de la altura efectiva de dichos sedimentos.

4. SISTEMAS AGROFORESTALES

Sistemas de producción que involucran en el mismo terreno, árboles y arbustos, cultivos anuales y/o ganado.

La agroforestería consiste en todas las prácticas de uso de suelo que involucren asociaciones ecológicas y económicas de árboles y arbustos con la producción de algún cultivo y/o la producción ganadera. Los componentes que se manejan en agroforestería generalmente son tres: la cubierta herbácea (cosechas agrícolas o hierbas y gramíneas para pastoreo), cubierta forestal (árboles y arbustos) y animales (ganadería). La naturaleza de estos tres componentes, así como su distribución en espacio y tiempo define a los diversos sistemas agroforestales.

Así por ejemplo, una siembra de un cultivo anual como maíz o frijol, entre las franjas de una plantación forestal maderable, corresponde a un sistema agrosilvícola. Si además una parte del terreno se destina para producir forraje de corte o para el pastoreo del ganado, el sistema agroforestal puede definirse como un sistema agrosilvopastoril. La combinación de actividades ganaderas y forestales en el mismo pedazo de tierra sin la producción de cultivos anuales, define a un sistema silvopastoril.

AGRADECIMIENTOS

Al Fondo Sectorial CONACYT-CONAFOR por el financiamiento otorgado al proyecto Proyecto 2002-6320 ***"Evaluación de Tierras para el manejo integrado de 32 microcuencas en San Luis Potosí".***

Al laboratorio de Geomática del Centro de Investigación Disciplinaria COMEF del INIFAP por las facilidades brindadas para la digitalización de mapas y creación de bases de datos.

A los técnicos y productores de las microcuencas que participaron activamente en la delimitación de cada una de ellas, así como en las acciones de capacitación y transferencia de tecnología desarrolladas en marco del proyecto "Evaluación de Tierras para el manejo integrado de 32 microcuencas en San Luis Potosí".

En el proceso editorial de esta publicación colaboraron:

Revisión Técnica

Dr. Jorge Elizondo Barrón

M.C. Oscar Ulises Martínez Burciaga

M.C. Mario Marín Silva Serna

M.C. José Luis Barrón Contreras

Dr. Jorge Urrutia Morales

Edición

M.C. José Luis Barrón Contreras

Imagen de Portada

Ing. Marcos Casiano Domínguez

SAGARPA

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN

inifap

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

GOBIERNO DEL ESTADO 2003-2009 HECHOS para servir

SEDARH DESARROLLO AGROPECUARIO Y RECURSOS HIDRÁULICOS

CONAFOR

COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología