



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA



**RIESGO A LA EROSIÓN HÍDRICA Y PRÁCTICAS DE MANEJO
DE SUELOS EN LA MICROCUENCA LA CONCORDIA,
ARMADILLO DE LOS INFANTE, S.L.P.**

Por:

Salvador Durán Trejo

**Tesis profesional presentada como requisito parcial para obtener el título de
Ingeniero Agrónomo Zootecnista**

Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.

Julio de 2012



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA



**RIESGO A LA EROSIÓN HÍDRICA Y PRÁCTICAS DE MANEJO
DE SUELOS EN LA MICROCUENCA LA CONCORDIA,
ARMADILLO DE LOS INFANTE, S.L.P.**

Por:

Salvador Durán Trejo

Asesores

Dra. Catarina Loredo Osti

M.C. Jesús Huerta Díaz

Dr. José Luis Lara Mireles

**Tesis profesional presentada como requisito parcial para obtener el título de
Ingeniero Agrónomo Zootecnista**

Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.

Julio de 2012

El trabajo de tesis titulado **“Riesgo a la Erosión Hídrica y Prácticas de Manejo de Suelos en la Microcuenca La Concordia, Armadillo de los Infante, S.L.P”** fue realizado por: Salvador Durán Trejo como requisito parcial para obtener el título de “Ingeniero Agrónomo Zootecnista” y fue revisado y aprobado por el suscrito Comité de Tesis

Dra. Catarina Loredó Osti

Asesora

Dr. José Luis Lara Mireles

Asesor

M. C. Jesús Huerta Díaz

Asesor

Ejido palma de la Cruz, Municipio de Soledad de Graciano Sánchez, S. L. P. a los 28 días del mes de junio del 2012.

DEDICATORIAS

A mis Padres

A ti mama, por brindarme todo tu apoyo, comprensión y cariño, por escucharme cuando más lo necesitaba y darme esos consejos tan valiosos, por orientarme y darme ánimos de seguir adelante, eres la mejor madre y eso tu lo sabes.

A ti papa, porque eres una persona admirable, que nunca se da por vencido sin importar cual grande sea el problema, me has enseñado que con esfuerzo, dedicación y trabajo todo sale adelante, porque para mí eres como el ave fénix el que ha resurgido de las cenizas más de una vez.

Gracias a los dos por hacerme la persona que soy, por enseñarme a valorar a las personas por lo que son y no por lo que tienen, se que si hoy eh terminado una nueva etapa en mi vida es gracias a ustedes, por su amor, cariño, protección y apoyo. Siempre les estaré agradecido por eso. Los amo papas.

A mis Abuelos

Rafael y Ma. de Jesús por su cariño y consejos, por estar a mi lado en mi infancia y enseñarme a respetar y ser humilde con las personas, por enseñarme a trabajar desde chico y ganarme las cosas con esfuerzo. Son de las personas más importantes en mi vida gracias por todo.

A mi abuela Olimpia, por su cariño y atención en el tiempo que estuvo a mi lado.

A mis Hermanos

A ti Carlos, por sustentarme y apoyarme todo este tiempo y a ti Omar por ayudarme cuando lo necesite. Gracias por su cariño, ayuda y consejos.

A mi Familia

A mis tíos y tías, gracias por todo su apoyo, por sus consejos y por darme ánimo para seguir adelante, a mis primos porque me han enseñado muchas cosas y en especial a ti Yazmín que eres como mi hermana, te quiero mucho.

A mi Novia

Gracias por apoyarme en todo este proceso, por estar a mi lado y darme tu amor y cariño, porque de ti eh aprendido mucho y ha cambiado mi forma de pensar, eres especial en mi vida. Te amo.

AGRADECIMIENTOS

A dios, por permitirme terminar esta etapa en vida a lado de todos mis seres queridos poder tener una vida llena de satisfacción, felicidad y sobre todo salud.

A la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

A mis asesores

Dra. Catarina Loredo Osti

Dr. José Luis Lara Mireles

M.C Jesús Huerta Díaz

Por su apoyo, tiempo y atención durante la realización de este proyecto de tesis.

A mis profesores

Por transmitirme sus conocimientos en cada una de sus clases, por su orientación y consejos durante toda la carrera que me permitieron terminar exitosamente este proceso.

A mis compañeros

Marco Antonio Galván, Gerardo Esaú Ramírez, Fulgencio Rodríguez, Salvador Jonguitud y José Manuel Rodríguez y mis demás compañeros de generación 2008-2012. Gracias por su amistad y confianza, por que juntos logramos terminar esta etapa satisfactoriamente, porque aunque no nos dimos cuenta todo fue un trabajo en equipo, gracias por todos los momentos que vivimos juntos, espero que logren todas sus metas en la vida, les deseo lo mejor.

CONTENIDO

DEDICATORIAS.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
SUMMARY.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Cuenca Hidrográfica.....	3
La Erosión del Suelo.....	5
Erosión Hídrica.....	6
Mecánica de la erosión hídrica.....	7
Evaluación local de la erosión hídrica.....	8
Límites Permisibles de Erosión.....	8
Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo.....	9
Métodos Mecánicos para el Control de la Erosión.....	16
MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
Localización del Área de Estudio.....	18
Desarrollo del Proyecto.....	19
Generación de la Base de Datos.....	19
Procedimiento para la Digitalización y Carga de Base de Datos.....	20
Evaluación de Riesgo a la Erosión.....	21
Simulación para la Obtención de las Prácticas de Manejo.....	22
Obtención de Indicadores Económicos y Sociales.....	22
Diseño del Programa para el Manejo de la Microcuenca.....	22

RESULTADOS.....	23
Caracterización Sociodemográfica.....	23
Infraestructura de Servicios.....	23
Educación.....	23
Alimentación.....	24
Salud.....	24
Organización político – social.....	25
Servicios públicos.....	25
Infraestructura industrial.....	25
Sistemas de Producción.....	26
Agricultura.....	26
Ganadería.....	27
Forestal.....	27
Minería.....	27
Infraestructura de Conservación de Suelo y Agua.....	27
Maquinaria e Implementos Agrícolas.....	28
Clima.....	28
Marco Físico e Hidrológico.....	30
Geología.....	34
Fisiografía.....	36
Suelos.....	36
Características de las unidades de suelo.....	37
Caracterización de la Vegetación y Uso del Suelo.....	39
Flora.....	39
Fauna.....	39
Uso Actual del Suelo.....	41
Asociaciones especiales de vegetación.....	42
Uso agrícola.....	44
Uso forestal.....	45
Uso pecuario.....	45
Desprovisto de vegetación.....	46

Uso Potencial del Suelo.....	47
Erosión Potencial.....	50
Prácticas Vegetativas y Agronómicas Recomendadas.....	51
Prácticas Mecánicas.....	58
Recomendaciones para el Manejo de Pastizales.....	75
DISCUSIÓN.....	85
CONCLUSIONES.....	88
LITERATURA CITADA.....	90
ANEXOS.....	94

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Nombre	Página
1	Pérdida de suelo permisible en función del material parental.....	9
2	Ecuaciones de erosividad de la lluvia para diferentes regiones de México.....	11
3	Valores del factor K estimado en función de la unidad de suelo y textura superficial.....	12
4	Valores que toma m en función al grado de pendiente.....	13
5	Valores de C que se pueden utilizar para estimar las pérdidas de suelo en la EUPS.....	15
6	Valores de P que se pueden utilizar para estimar pérdidas de suelo en la EUPS.....	16
7	Coordenadas geográficas de la microcuenca La Concordia, Armadillo de los Infante, S.L.P.....	18
8	Distribución y principales características de la población de la microcuenca La Concordia.....	23
9	Escolaridad de la población de la microcuenca La Concordia.....	24
10	Rendimiento promedio de cultivos bajo riego en la microcuenca La Concordia.....	26
11	Distribución de precipitación y temperatura en la estación climatológica Armadillo de los Infante.....	29
12	Cantidad de corrientes por número de orden en la microcuenca La Concordia.....	32
13	Características morfológicas e hidrológicas de la microcuenca La Concordia.....	33
14	Unidades de suelo presentes en la microcuenca La Concordia.....	37
15	Vegetación actual y uso potencial en la microcuenca La Concordia....	40
16	Especies de fauna silvestre y su aprovechamiento en la microcuenca La Concordia.....	41
17	Asociaciones especiales de vegetación en la microcuenca La Concordia.....	43
18	Tipo de uso agrícola en la microcuenca La Concordia.....	44
19	Tipo de uso forestal en la microcuenca La Concordia.....	45
20	Tipo de uso pecuario en la microcuenca La Concordia.....	46

21	Área desprovista de vegetación en la microcuenca La Concordia.....	46
22	Uso potencial de las tierras en la microcuenca La Concordia.....	47
23	Clase de erosión potencial en la microcuenca La Concordia.....	50
24	Ancho entre fajas recomendado para sistemas de cultivo en fajas.....	53
25	Efecto de la cobertura con residuos de cosecha en la pérdida de suelo y escurrimiento superficial bajo lluvia simulada.....	54
26	Distancia a que deben trazarse las líneas guías en cultivos a nivel según la pendiente del terreno.....	60
27	Valores del coeficiente “C” para el cálculo del escurrimiento.....	64
28	Calculo del coeficiente de escurrimiento ponderado “C”.....	65
29	Dimensiones y capacidad de almacenamiento de las terrazas de base angosta, cuando el material de préstamo se obtiene de aguas arriba y aguas abajo.....	66
30	Especificaciones de construcción (Dimensiones del bordo de terraza)..	67
31	Textura del suelo y densidad aparente.....	73
32	Principales especies recomendadas para la rehabilitación de agostaderos en zonas áridas y semiáridas.....	78
33	Equivalencias en unidades animal para varias especies en diferentes etapas de producción.....	81
34	Resultados de la estimación de carga animal.....	82
35	Ajuste de la unidades animal para diferentes especies en la microcuenca La Concordia.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Partes que componen una cuenca.....	4
2	Tipos de red de drenaje.....	5
3	Regiones de México donde aplican las ecuaciones de erosionabilidad.....	10
4	Climograma de temperatura y precipitación promedio mensual de la estación Armadillo de los Infante.....	29
5	Red de drenaje de la microcuenca La Concordia.....	33
6	Tipos de suelo en la microcuenca la Concordia.....	39
7	Gráfica de uso actual del suelo en la microcuenca La Concordia.....	40
8	Tipo de vegetación y uso actual del suelo en la microcuenca La Concordia.....	42
9	Uso potencial del suelo en la microcuenca La Concordia.....	48
10	Erosión potencial en la microcuenca La Concordia.....	51
11	Surcado al contorno.....	59
12	Terrazas de formación sucesiva ó paulatina.....	61
13	Dimensiones y diseño de las tinas ciegas.....	69
14	Barreras de piedras en curvas a nivel.....	72
15	Presas de malla de alambre electrosoldada o ciclónica.....	74

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar el riesgo a la erosión hídrica por medio de un modelo de predicción de la pérdida de suelo así como también caracterizar los recursos de la microcuenca La Concordia del municipio de Armadillo de los Infante, S.L.P, con el propósito de proponer obras y prácticas mecánicas, agronómicas y vegetativas para la conservación de los recursos. Para ello se generó una base de datos vía digitalización de mapas temáticos sobre edafología, uso actual y uso potencial; con el apoyo de Sistemas de Información Geográfica y aplicando el modelo de predicción “Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo” ($E = RKLSCP$), además se realizó una descripción sociodemográfica de la microcuenca. La microcuenca tiene una superficie de 8,657 hectáreas, con una población total de 1,434 habitantes. El clima es seco con una temperatura media anual de 18.3 °C y una precipitación media anual de 565.5 mm. La altitud varía de 1500 a 2000 msnm. Los tipos de suelo y su superficie son: rendzinas: 318.65 ha (3.6% del área total); phaeozem: 1,014.34 ha (11.71%); litosol: 5,661.11 ha (65.39%); chernozem: 1,394.38 ha (16.10%); y, suelos vertisol: 268.86 ha (3.1%). Con relación al uso actual del suelo, el 78% corresponde a asociaciones especiales de vegetación, el 8.8% a uso agrícola, el 7.6% a uso forestal, 4.8% a uso pecuario y el 0.7% corresponde a terreno erosionado. Las clases de uso potencial del suelo se distribuyen de la siguiente manera: la clase VIII abarca el 50.0% del área, la clase IV/s ocupa 27.8%, el 19.5% corresponde a la clase VII/s, el 1.4% a la clase VI/s y el 1.3% para las clase IV/sc. La superficie de la microcuenca con riesgo potencial a la erosión hídrica se distribuye de la siguiente forma: erosión ligera (0-10 t ha⁻¹): 29.5%; erosión moderada (10-50 t ha⁻¹): 28.1%; erosión alta (50-200 t ha⁻¹): 22.03%; y, erosión muy alta (>200 t ha⁻¹): 20.4%. Como se puede observar en los datos anteriores es necesario llevar a cabo prácticas de manejo que nos permitan mejorar las condiciones y preservar los recursos de la microcuenca; las prácticas propuestas son: rotación de cultivos, cultivos en contorno, asociaciones de cultivos y cultivos en fajas para las tierras agrícolas; resiembra de pastizales, reforestación, surcado al contorno, tinajas ciegas y presas filtrantes para las tierras de agostadero y forestales. Es indispensable establecer un programa de manejo de pastizales.

SUMMARY

The aim of this study was to evaluate the water erosion risk using a model for predicting soil loss as well as characterize the watershed resources of the watershed La Concordia, Armadillo of Infante municipality, SLP state. A purpose project was obtained which were integrated agronomic, vegetative and mechanical practices for conservation water and soil resources. A database was generated with digitization of thematic maps on soil type, actual and potential soil use with the support of Geographic Information Systems and applying the model prediction "Equation Universal Soil Loss" ($E = RKLSCP$). The sociodemographic description of the watershed was obtained. The people living in the watershed are 1.434 inhabitants in 8657 hectares. The climate is dry with an average temperature of 18.3°C and average annual rainfall of 565.5 mm. The altitude varies from 1500 to 2000 m. The soil types are rendzinas: 318.65 ha (3.6% of total area); phaeozem: 1,014.34 ha (11.71%); litosol: 5,661.11 ha (65.39%); chernozem: 1,394.38 ha (16.10%); and, vertisol: 268.86 ha (3.1%). The actual soil use presents the following distribution: 78% are special associations of vegetation; 8.8% are agricultural use land, 7.6 % for use forest; 4.8% to use the livestock and 0.7% are erosion lands. Classes of potential land use are distributed as follows: Class VIII covers 50.01% of the area, the class IV/s 27.77%, the 19.45% is a Class VII/s, the 1.43% class VI/s and 1.31% for Class IV/sc. The surface of the watershed affected by slight erosion risk ($0-10 \text{ t ha}^{-1}$) corresponds to 29.49%, 28.07% for a moderate erosion ($10-50 \text{ t ha}^{-1}$), the 22.03% corresponds to high erosion ($50-200 \text{ t ha}^{-1}$) and very high erosion ($> 200 \text{ t ha}^{-1}$) covers 20.39%. The management practices recommended were stoking rate control, rangelands revegetation, reforestation, to increase the vegetal cover, and mechanical practical as successive formation terraces, settles trench, sediment control structures for gully control erosion. With the application of these practical, the degree of actual soil could be reduced from high to moderate.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural que contiene agua, aire y elementos nutritivos que todos los seres vivos utilizamos, limita o favorece el desarrollo del ecosistema y sustenta la vida del planeta entero. Es un elemento que el ser humano aprovecha y del cual obtiene bienes y servicios fundamentales, desde su alimentación hasta una forma de vida (Hernández, 2010).

Estudios recientes muestran que 64% de los suelos de México presentan problemas de degradación en diferentes niveles que van de ligera a extrema, 13% son terrenos desérticos o rocosos y zonas abandonadas o improductivas y sólo 23% del territorio nacional cuenta con suelos que mantienen actividades productivas sustentables o sin degradación aparente (CONAFOR, 2007).

De la superficie degradada, el tipo de erosión más importante es la hídrica que afecta en forma dominante al 37% (73 millones de ha). Su efecto más evidente es la formación de cárcavas, cuya superficie afectada comprende una extensión de 12% que representan 24 millones de ha (CONAFOR, 2007).

En el estado de San Luis Potosí, un estudio llevado a cabo por SEMARNAT en 2001, basado en la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo Revisada (RUSLE), arrojó datos que señalan cantidades mayores a $200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ de suelo removido en zonas con pendiente alta. Esto equivale a una afectación del 23% de la superficie estatal con erosión extrema. El resto del territorio también presenta algún grado de erosión: el 24% severa (con pérdidas de 50 a $200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$), el 21% moderada (10 a $50 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) y el 32% restante ligera (menor a $10 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$).

La erosión del suelo depende del grado de afectación que el hombre ha influenciado sobre estas regiones, y no por la ubicación geográfica que presenten, por lo que cualquier lugar está expuesto a sufrir serios daños.

Debido a que la erosión es un proceso que puede tener consecuencias devastadoras afectando de diferentes formas un ecosistema, ya sea, por la pérdida de biodiversidad, daños en infraestructura, abatimiento de mantos acuíferos y principalmente pérdida de suelo, se han desarrollado técnicas para minimizar estos efectos, las cuales se clasifican en tres grupos: 1.-Prácticas agronómicas: (Preparación del suelo con el fin de favorecer

el desarrollo vegetal, sin alterar las condiciones del mismo), 2.- Prácticas vegetativas (consiste en utilizar vegetación nativa o introducida, para proteger el suelo de la erosión), 3.- Prácticas mecánicas (Son aquellas actividades que se realizan con implementos agrícolas y mano de obra, con el fin de disminuir los escurrimientos superficiales y la erosión de los terrenos) (Morgan, 1997).

Sin embargo, sea cual sea la práctica que se realice para la conservación del suelo debe de 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 aspereza o rugosidad de la superficie para reducir la velocidad del escurrimiento (Kirkby y Morgan, 1984).

La microcuenca La Concordia, en su parte más alta se encuentra afectada por un nivel muy alto de erosión, debido principalmente a la mala planeación así como el mal manejo de las actividades pecuarias, lo cual trae como consecuencia la degradación de los pastizales, matorrales y sus bosques naturales. Por lo que se desarrollaran acciones de conservación y manejo de los recursos las cuales tienen la finalidad de disminuir dichas alteraciones.

Objetivos

1. Caracterizar los recursos de la microcuenca La Concordia.
2. Evaluar el riesgo a la erosión hídrica en la microcuenca La Concordia.
3. Realizar propuestas de manejo de los recursos en la microcuenca La concordia.

REVISIÓN DE LITERATURA

Cuenca Hidrográfica

Es toda área limitada por un parteaguas y drenada por una corriente o sistemas de corrientes, cuyas aguas concurren en un punto de salida (CPCH, 1977). En la cuenca existen factores ecológicos, climatológicos, hidrológicos, sociales, económicos, culturales, etc. que se relacionan entre sí, dando a la cuenca su propia dinámica. La microcuenca es considerada la unidad de planeación y programación de acciones, donde se pueden desarrollar y coordinar los servicios integrados de las instituciones (CIAT, 1999).

Uno de sus objetivos generales es el de impulsar procesos de planeación y acción participativa, además de rehabilitar, conservar, proteger, y aprovechar los recursos naturales (Loredo *et al.*, 2007).

Según CONAFOR en 2007, las cuencas tienen dos zonas básicas de funcionamiento hídrico que hay que tener presentes para su manejo y planeación, estas zonas son:

Parte alta. Es la zona de mayor importancia, debido a que es el área de captación y suministro de agua de lluvia hacia la parte baja de la cuenca. Es el lugar donde se originan manantiales, arroyos y ríos.

Parte baja. Es la zona de descarga de agua, de almacenamiento y aprovechamiento por las poblaciones, donde se realizan actividades agrícolas y pecuarias debido a la moderada inclinación de los terrenos, mayor profundidad de los suelos y humedad captada de la parte alta de la cuenca.

Las características propias de las cuencas, como la forma, tamaño, relieve, vegetación, uso y aprovechamiento de los recursos naturales, influyen directamente en comportamiento de los escurrimientos superficiales y disponibilidad de agua:

Forma. En las cuencas de forma alargada los escurrimientos superficiales fluyen lentamente en comparación con las cuencas redondas en donde el flujo del agua es más rápido.

Tamaño. A medida que las cuencas incrementan su tamaño tienen más capacidad de captar agua y disponer de mayores volúmenes de escurrimientos.

Relieve. La forma del relieve influye directamente en el comportamiento de las corrientes superficiales como la velocidad, dirección, longitud y número de arroyos que se originan principalmente en la parte alta de la cuenca.

Vegetación. El tipo de vegetación, condición y manejo de la misma en una cuenca, es de vital importancia para la captación, la retención, la infiltración, el almacenamiento y el aprovechamiento del agua de lluvia (CONAFOR, 2007).

La cuenca se integra por diferentes elementos, que intervienen en el escurrimiento de la cuenca, estos elementos son: El parteaguas, vertientes o laderas, boquilla, red de drenaje y tipo de drenaje, los cuales se muestran en la figura 1.

El parteaguas. Es el límite físico de la cuenca que define la dirección de los escurrimientos superficiales, es determinado por el trazo de una línea imaginaria a partir de la boquilla o parte más baja y prolongándola por “el filo” de mayor elevación del área de confluencia (cuidando que los escurrimientos superficiales concurren hacia el punto de salida previamente establecido) y hasta llegar nuevamente a la boquilla, por el margen opuesto a donde se inició el trazo.

Vertientes o laderas. Es el área sobre la superficie terrestre donde se presenta directamente el impacto de las gotas de lluvia, produciendo los escurrimientos laminares que al converger, son la fuente de abastecimiento de las corrientes.

Boquilla. Es la parte más baja de la cuenca donde los escurrimientos superficiales convergen en un punto sobre la corriente principal.



Figura 1. Partes que componen una cuenca. Fuente: CONAFOR, 2007.

Red de drenaje. Conjunto de afluentes naturales por donde circulan las corrientes de agua superficial. Dicho conjunto de afluentes se compone de un cauce principal y por corrientes que se derivan de él. Las corrientes se clasifican de acuerdo con el número de orden, que considera como corrientes de primer orden aquellos afluentes que no tienen tributarios; de segundo orden, aquellas corrientes con dos o más tributarios de primer orden; de tercer orden aquellas corrientes que tienen dos o más tributarios de segundo orden y así sucesivamente.

Tipo de drenaje. La configuración de las redes fluviales es el resultado de las influencias que tienen los suelos, las rocas, el grado de fracturación, estratificación y topografía. Las seis formas de sistemas de drenaje más comunes son: dendrítico, enrejado o rastrillo, radial, paralelo, anular y rectangular, dichos sistemas se muestran en la figura 2.

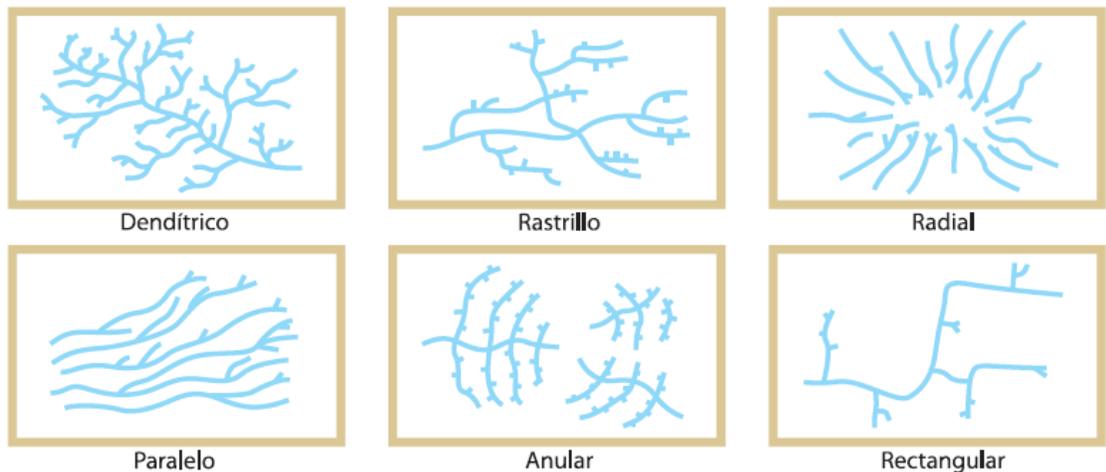


Figura 2. Tipos de red de drenaje. Fuente: CONAFOR, 2007.

La Erosión del Suelo

La erosión se define como el proceso físico que consiste en el desprendimiento, transporte y deposición de las partículas del suelo (Kirkby y Morgan, 1984). Si este proceso se lleva a cabo en condiciones naturales se denomina erosión geológica, pudiendo ser considerada como una forma más de conservación de relieve.

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 la cobertura vegetal en los terrenos agrícolas, promoviendo la sobreutilización de agostaderos o al deforestar aéreas arboladas o de arbustos (Loredo *et al.*, 2007). 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 y la erosión eólica cuando el agente causal es el viento.

Las pérdidas de suelo ocasionadas por la erosión depende de las características de la lluvia o el viento, el grado de pendiente, del tipo de suelo, de las prácticas mecánicas y de las labores de culturales, así como de la cubierta vegetal del suelo (Ruiz, 1995).

Erosión Hídrica

La erosión hídrica es un proceso físico que consiste en el desprendimiento, transporte y depositación de las partículas del suelo por efectos de la acción del agua.

Como agente activo, el agua erosiona al suelo de dos maneras: la primera por el impacto de la lluvia y la segunda por la fricción del escurrimiento superficial sobre el terreno, este proceso se desencadena básicamente cuando el hombre provoca con sus actividades el deterioro de la cobertura vegetal. Ambos mecanismos, impacto de la lluvia y fricción de la escorrentía, actúan simultáneamente durante una tormenta y que uno u otro predomine dependerá de las circunstancias particulares de cada caso (Becerra, 2005).

La erosión es un proceso complejo en el cual intervienen diversos factores, los cuales para el caso de la erosión hídrica han sido agrupados por la FAO (1980) de la siguiente manera:

- a) Climáticos. Expresados sobre todo por la agresividad de la lluvia para erosionar.
- b) Edáficos. Los cuales en conjunto se manifiestan por la susceptibilidad del suelo para ser erosionado.
- c) Topográficos. Constituidos por la longitud, forma y pendiente del terreno.
- d) Humanos. Los cuales se manifiestan fundamentalmente por sus efectos sobre la cubierta vegetal, alterando, el tipo de vegetación, las condiciones de superficie del terreno entre otras (Becerra, 2005).

Las principales formas en que se presenta la erosión hídrica son:

- 1) Erosión de manto o laminar. Las gotas de lluvia actúan de forma de forma pareja sobre la superficie del suelo, removiendo una delgada capa superficial la cual es transportada por la corriente producida, dejando la superficie del suelo nuevamente expuesta a la acción de sucesivas gotas de lluvia, repitiéndose el fenómeno.
- 2) Erosión de fertilidad. Consiste en el desprendimiento de partículas del suelo con un diámetro inferior a los 2 mm, las cuales corresponde a la fracción fina del suelo (arcilla, limo y materia orgánica) afectando la calidad del suelo.
- 3) Erosión de encharcamiento. El golpe de la gota de lluvia produce una acción de batido del suelo, destruyendo los agregados y compactándolo, la cual se va impermeabilizando hasta producir una disminución paulatina en la velocidad de infiltración.
- 4) Erosión en canales o surcos. Es la remoción y transporte de las partículas del suelo causadas por la concentración de los escurrimientos en pequeños canales o curcos.
- 5) Erosión en cárcavas. Es la remoción y transporte del suelo por la concentración de escurrimiento en los taludes de los canales profundos que no pueden ser borrados por las labores de cultivos anuales.
- 6) Erosión en corriente. Es el proceso de remoción y transporte de las partículas en suspensión y en el lecho del cauce cuando se presentan los escurrimientos superficiales.
- 7) Erosión en pedestales. Estos son montículos de suelos que se forman cuando existe vegetación permanente, arboles, maguey, nopal y otros (Torres, 1981).

Mecánica de la erosión hídrica

El proceso de erosión es muy complejo y se encuentra condicionado por múltiples factores, entre ellos destacan: la cantidad, intensidad y duración de lluvia, la naturaleza del flujo superficial y del suelo, la pendiente, la cobertura, etc., pero se reconocen siempre tres elementos secuenciales que generan el fenómeno. El material primero debe ser soltado antes de ser transportado y el movimiento es causado por el impacto de la

gota de lluvia, de la turbulencia que estas provoquen y el caudal que generen, para finalmente ser depositado.

Por lo tanto la secuencia erosiva se lleva a cabo en tres procesos claros y definidos:

1. Desprendimiento de las partículas de la masa del suelo.
2. Transporte de las partículas.
3. Deposito de material y agentes erosivos.

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 anual por hectárea, debidas a erosión laminar y en canalillos, en áreas agrícolas, (Wischmeier y Smith, 1978).

El objetivo que se persigue con los estudios de erosión es que el personal profesional pueda utilizar y generar 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 mecanizados. 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 los sitios no cultivados.
- Tercer nivel de sostenibilidad o erosión permisible.

Lo anterior nos ayudará a seleccionar de manera adecuada los sistemas a implementar en el uso y manejo del suelo y vegetación, con el objetivo de mantener los recursos naturales.

Límites Permisibles de Erosión

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 a las tasas de pérdida permisibles.

Los límites permisibles de erosión (LPE) se basan en los siguientes aspectos: que las pérdidas de suelo sean igual 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 del suelo permitan mantener una profundidad de suelo adecuada. Los LPE son variables para diferentes sitios, ya que son una función de la profundidad, tipo y procesos formadores de suelo, así como del clima (Figuroa *et al.*, 1991).

Cuadro 1. Pérdida de suelo permisible en función de la profundidad del suelo y del material parental.

Profundidad del suelo (cm)	Material parental	LPE (t año ⁻¹)
>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.

Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo

La EUPS fue desarrollada por Wischmeier y Smith en 1978 con la finalidad de estimar la pérdida de suelo anual así como el valor promedio de un periodo representativo de años, que se genera en un determinado lugar, a partir de las distintas formas de erosión ante determinadas condiciones de clima, suelo, vegetación, y usos de suelo. La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo involucra los siguientes factores (Wischmeier y Smith, 1978.): $A = R K L S C P$

Donde:

A = Es el promedio anual de pérdida de suelo (ton/ha).

R= Es el factor de erosividad de la lluvia (MJmm/ha hr).

K= Es el factor de erosionabilidad del suelo (ton ha hr/MJ mm ha).

L= Es el factor de la longitud de la pendiente (Adimensional).

S= Es el factor de grado de la pendiente (Adimensional).

C= Es el factor de manejo de cultivos (Adimensional).

P= Es el factor de prácticas mecánicas de control de erosión (Adimensional).

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 del suelo.

Como se mencionó anteriormente, la mecánica de la erosión hídrica se da en distintas fases, la primera de ellas es que la gota de lluvia moja el suelo y después se remueven las partículas de este. Cuando la precipitación excede la capacidad de infiltración, se presenta el escurrimiento superficial, el cual tiene la habilidad de remover y transporta las partículas desprendidas del suelo hacia un punto de sedimentación (Loredo *et al* 2007).

Wischmeier y Smith en 1965 señalan que el mejor método para estimar erosividad del suelo causada por la lluvia es el EI_{30} . Con base a esta ecuación, Cortés (1991) propone catorce modelos de regresión a partir de datos de precipitación media anual (x) para estimar el valor de R de la EUPS (Cuadro 2 y figura 3).



Figura 3. Regiones de México donde aplican las ecuaciones de erosionabilidad.
Fuente: www.sagarpa.gob.mx/sdr/apoyos/publicaciones/datos_excell/01estim-erosion.xls

Cuadro 2. Ecuaciones de erosividad de la lluvia para las diferentes regiones de México.

REGION	ECUACIONES	
	Y = EI30; X = lluvia anual	R ²
1	$Y = 1.20785x + 0.002276 x^2$	0.92
2	$Y = 3.45552x + 0.006470x^2$	0.93
3	$Y = 3.67516x + 0.001729x^2$	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	$Y = 1.546x + 0.002640x^2$	0.95

Fuente: Cortés, 1991.

Erosionabilidad del suelo (K)

Figuroa *et al.*, (1991) definen que la susceptibilidad de que un suelo en particular pueda ser erosionado. Depende de la textura, contenido de materia orgánica, de la estructura del suelo, de los óxidos de hierro y aluminio, uniones electroquímicas, contenido inicial de humedad y procesos de humedecimiento y secado. Loredó (1986) establece que estas propiedades se relacionan entre sí, observándose que el contenido de materia orgánica afecta directamente la estabilidad estructural y ésta, a su vez, influye en la porosidad así como en la retención de humedad y conductividad hidráulica del suelo.

La FAO (1980) propuso un método sencillo que nos permite estimar el factor K, en el cual se utiliza la clasificación del suelo FAO/UNESCO y la textura como parámetros para determinar dicho valor, debiendo realizar un ajuste para las fases gravosa y pedregosa. El procedimiento que se sigue es el siguiente:

- 1) Determinar la unidad de suelo o grupos de unidades de suelo asociados entre si, tal y como se presentan en los mapas de suelos DETENAL (INEGI).
- 2) Determinar la clase textural que presenta la unidad o grupo de suelos asociados entre si, tal y como se presentan en estos mapas.
- 3) Una vez determinada la unidad de suelo y la clase de textura obtener el valor correspondiente de erosionabilidad de acuerdo al cuadro 3.

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.

Cuadro 3. Valores del factor K estimado en función de la unidad del suelo y textura superficial.

Símbolo	Tex. G	Tex. M	Tex. F	Símbolo	Tex. G	Tex. M	Tex. F	Símbolo	Tex. G	Tex. M	Tex. F
A	0.026	0.040	0.013	Jd	0.026	0.040	0.013	Rd	0.026	0.040	0.013
Af	0.013	0.020	0.007	Je	0.026	0.040	0.013	Rx	0.053	0.079	0.026
Ag	0.026	0.030	0.013	Jt	0.053	0.079	0.026	S	0.053	0.079	0.026
Ah	0.013	0.020	0.007	Jp	0.053	0.079	0.026	Sg	0.053	0.079	0.026
Ao	0.026	0.040	0.013	K (h,k,l)	0.026	0.040	0.013	Sm	0.026	0.040	0.013
Ap	0.053	0.079	0.026	L	0.026	0.040	0.013	So	0.053	0.079	0.026
B	0.026	0.040	0.013	La	0.053	0.079	0.026	T	0.026	0.040	0.013
B(c,d,e,k)	0.026	0.040	0.013	Lc	0.026	0.040	0.013	Th	0.013	0.020	0.007
Bf	0.013	0.020	0.007	Lf	0.013	0.020	0.007	Tm	0.013	0.020	0.007
Bg	0.026	0.040	0.013	Lg	0.026	0.040	0.013	To	0.026	0.040	0.013
Bh	0.013	0.020	0.007	Lk	0.026	0.040	0.013	Tv	0.026	0.040	0.013
Bk	0.026	0.040	0.013	Lo	0.026	0.040	0.013	U	0.013	0.020	0.007
B (v, x)	0.053	0.079	0.026	Lp	0.053	0.079	0.026	V (c,p)	0.053	0.079	0.026
C (h,k,l)	0.013	0.020	0.007	Lv	0.053	0.079	0.026	W	0.053	0.079	0.026
D (d,g,e)	0.053	0.079	0.026	M (a,g)	0.026	0.040	0.013	Wd	0.053	0.079	0.026
E	0.013	0.020	0.007	N (d,e,h)	0.013	0.020	0.007	We	0.053	0.079	0.026
F(a,h,p,o)	0.013	0.020	0.007	O (d,e,x)	0.013	0.020	0.007	Wh	0.026	0.040	0.013
G	0.026	0.040	0.013	P	0.053	0.079	0.026	Wm	0.026	0.040	0.013
Gc	0.013	0.020	0.007	Pf	0.053	0.079	0.026	Wx	0.053	0.079	0.026
G (d,e)	0.026	0.040	0.013	Pg	0.053	0.079	0.026	X(k,h,l,g)	0.053	0.079	0.026
G (h,m)	0.013	0.020	0.007	Ph	0.026	0.040	0.013	Y(h,k,l,g,t)	0.053	0.079	0.026
G (p,x)	0.053	0.079	0.026	Po	0.053	0.079	0.026	Z	0.053	0.079	0.026
Gv	0.053	0.079	0.026	Pp	0.053	0.079	0.026	Zg	0.026	0.040	0.013
H(c,g,h,l)	0.013	0.020	0.007	Q (a,c,f,l)	0.013	0.020	0.007	Zm	0.013	0.020	0.007
I	0.013	0.020	0.007	R	0.026	0.040	0.013	Zo	0.026	0.040	0.013
J	0.026	0.040	0.013	Re	0.026	0.040	0.013	Zt	0.053	0.079	0.026
Jc	0.013	0.020	0.007	Rc	0.013	0.020	0.007				

Fuente: Becerra, 1999.

Leyenda: significado de los símbolos de textura; G = Gruesa, M = Media, F = Fina.

Longitud (L) y grado de pendiente (S)

La pendiente del terreno afecta los escurrimientos superficiales imprimiéndoles velocidad, la cual depende del grado y longitud de la pendiente. Dicha longitud está definida por la distancia del punto de origen del escurrimiento superficial al punto donde cambia el grado de pendiente, la longitud se puede estimar mediante la siguiente ecuación (Wischmeier y Smith, 1978).

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

En donde:

L = Factor de longitud de la pendiente (adimensional)

λ = Longitud de la pendiente en metros

M = Coeficiente que depende del grado de pendiente (Cuadro 4)

Cuadro 4. Valores que toman m en función al grado de pendiente.

Grado de pendiente (%)	Valor de m
< 1	0.2
1 – 3	0.3
0 – 5	0.4
> 5	0.5

Fuente: Wischmeier y Smith, 1978.

Sin embargo, los factores L y S de la EUPS, se pueden calcular de forma combinada (LS) a partir de la siguiente ecuación:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m (0.065 + 0.45s + 0.0065s^2)$$

El grado de pendiente (S), se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$s = \left(\frac{Hf - Hi}{L} \right)$$

En donde:

S = Grado de pendiente (%)

Hf = Altura más alta del terreno (m)

Hi = Altura más baja del terreno (m)

L = Longitud media del terreno (m)

Los cuatro factores descritos hasta ahora (R, K, L y S), le dan la magnitud al nivel potencial de erosión laminar y en arroyuelos del suelo, es decir, estima la erosión media anual para un área de barbecho continuo y sin vegetación (Loredo *et al.*, 2007).

Factor de cubierta vegetal (C)

La cubierta vegetal comprende la vegetación (natural o cultivada) y los residuos de la cosecha. Tiene efectos benéficos en la reducción de las pérdidas de las partículas del suelo ya que le brinda protección contra 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 cobertura en el suelo y de la densidad de raíces (Figuerola *et al.*, 1991).

Los valores de C son menores que la unidad y en promedio indican que a medida que aumenta la cobertura del suelo el valor de C se reduce y puede alcanzar valores similares a 0.

Actualmente se considera a la cobertura vegetal (Factor C) 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 requiere de la integración de diversas prácticas, entre las cuales destacan la agricultura de conservación, la producción de cultivos alternativos, la reconversión de áreas agrícolas de baja productividad a uso pecuario, el manejo y rehabilitación de pastizales, el establecimiento y manejo de sistemas forestales (Loredo, 2005).

Cuadro 5. Valores de C que se pueden utilizar para estimar las pérdidas de suelo en la EUPS.

Cultivo	Nivel de productividad		
	Alto	Moderado	Bajo
Maíz	.54	.62	.80
Maíz labranza cero	.05	.10	.15
Maíz rastrojo	.10	.15	.20
Algodón	.30	.42	.49
Pastizal	.004	.01	.10
Alfalfa	.020	.050	.10
Trébol	.025	.050	.10
Sorgo grano	.43	.55	.70
Sorgo grano rastrojo	.11	.18	.25
Soya	.48		
Soya después de maíz con rastrojo	.18		
Trigo	.15	.38	.53
Trigo rastrojo	.10	.18	.25
Pastizal en buenas condiciones	.01	.054	
Pastizal sobrepastoreado	.10	.22	
Maíz , sorgo, mijo	.4 a .9		
Arroz	.1 a .2		
Algodón y tabaco	.5 a .7		
Cacahuete	.4 a .8		
Palma, cacao y café	.1 a .3		
Piña	.1 a .3		

Fuente: www.sagarpa.gob.mx/sdr/apoyos/publicaciones/datos_excell/01estim-erosion.xls

Factor por prácticas mecánicas (P)

Su principal objetivo es controlar los escurrimientos superficiales para disminuir la erosión hídrica en los terrenos con pendiente, 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). Si el valor de P es cercano a 0, entonces hay una gran eficiencia en la obra o práctica seleccionada y si el valor es cercano a 1, entonces la eficiencia de la obra es muy baja para reducir la erosión. Los métodos más comunes para esta práctica son: surcado al contorno, terrazas, tinas ciegas, franjas al contorno, entre otras.

Cuadro 6. 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	0.80
Franjas al contorno	0.60
Terrazas (2-7% de pendiente)	0.50
Terrazas (7-13% de pendiente)	0.60
Terrazas (mayor de 13%)	0.80
Terrazas de banco	0.10
Surcado lister	0.05
Ripper	.6
Terrazas de zing	.1

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

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 combina el uso de la vegetación y las prácticas mecánicas existe un efecto multiplicativo (Morgan, 1997).

Métodos Mecánicos para el Control de la Erosión

Las prácticas mecánicas son aquellas actividades que se realizan con implementos agrícolas, aditamentos especiales o con mano de obra las cuales consisten en realizar movimientos de tierra, con el fin de disminuir los escurrimientos superficiales y reducir la erosión en terrenos con pendiente.

Estas prácticas de conservación del suelo deben cumplir con 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.
- 4) Aumentar la aspereza o rugosidad de la superficie para reducir la velocidad del escurrimiento (Kirkby y Morgan, 1984).

Antes de diseñar las estructuras utilizadas en la conservación del suelo y agua, se debe tener información sobre la época de lluvias y de los escurrimientos que se

presentan en el área de la microcuenca, así como también la clase y uso del suelo, el valor de los terrenos a proteger y la disponibilidad de recursos económicos.

Las prácticas mecánicas utilizadas para la conservación del suelo son las siguientes:

- Surcado en contorno.
- Terrazas de formación sucesiva.
- Tinas ciegas o Zanjas trincheras.
- Dren interceptor.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Área de Estudio

El estudio se realizó en la microcuenca “La Concordia”, la cual se ubico y se delimito en la carta topografía F14-A75, en la que se delimito su parteaguas y los demás componentes de la microcuenca.

La microcuenca La Concordia se encuentra ubicada en el municipio de Armadillo de los Infante en el centro del estado de San Luis Potosí; el cual se localiza en la zona centro - oriente de la republica Mexicana.

La microcuenca La Concordia esta localiza entre las siguientes coordenadas:

Cuadro 7. Coordenadas geográficas de la microcuenca La Concordia, Armadillo de los Infante, S.L.P.

Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud
22° 24' - 22° 18'	100° 30' - 100° 36'	1500 – 2000 msnm

El municipio de Armadillo de los Infante colinda al norte con Villa Hidalgo; al este con San Nicolás Tolentino; al sur con Zaragoza; al oeste con Cerro de San Pedro; al noroeste con Soledad de Graciano Sánchez; al suroeste con San Luis Potosí. El predio cuenta con una superficie de 8657 has, Las localidades que la integran son: El Durazno, La Concordia, Paradita del Refugio, Rancho Nuevo de la Cruz, Santa Lucia.

El proyecto constó de dos actividades:

ACTIVIDAD 1: Caracterización de los recursos de la microcuenca y predicción de riesgo a la erosión hídrica.

Mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS, por sus siglas en ingles) y con el apoyo de cartografía de INEGI se caracterizarán los recursos. Se estimará el riesgo a la erosión mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Wischmeier y Smith, 1978) adaptada por la FAO (1980). El proceso consistirá en delimitar el área de estudio y obtener información sobre edafología, uso actual, uso potencial, así como mapa fisiográfico, a través del modelo de elevación

digital escala 1:50000 (INEGI, 1974). La erosividad de la lluvia se obtendrá 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 (Figueroa *et al.*, 1991).

ACTIVIDAD 2: Propuesta de manejo de los recursos de la microcuenca.

Con los resultados de la caracterización y predicción de riesgo a la erosión se realizarán propuestas de manejo para el uso adecuado del suelo de acuerdo a su capacidad, así como el logro del control satisfactorio de la erosión.

Desarrollo del Proyecto

El estudio se Realizara de acuerdo a lo siguiente:

1. Se caracterizara las condiciones climáticas y fisiográficas de la microcuenca.
2. Se caracterizara las condiciones socioeconómicas de la micr cuenca.
3. Se estimara la erosión hídrica actual y potencial con un modelo de predicción de pérdida de suelo, para ello se genero una base de datos.
4. Se identificaran tecnologías y prácticas de manejo que promuevan el uso adecuado en la micro cuenca para realizar las acciones de manejo.
5. Se obtuvieron diseños “tipo” para terrazas de formación sucesiva y tinas ciegas para reforestación.

Generación de la Base de Datos

Por medio de la cartografía topográfica escaneada 50 000 se realizara la delimitación de la microcuenca La Concordia de manera manual, posteriormente se digitalizara el área usando una tabla digitalizadora GTCO5 con punk o digitalizador PC Arc/info y por último se uso para el mapeo e impresión el programa ArcView. Se obtendrá una base de datos de los recursos de este micro cuenca, vía digitalización de mapas temáticos sobre suelos, vegetación, uso actual y uso potencial del suelo. De acuerdo con estos mapas, se realizara la descripción de los tipos de vegetación, tipo de suelo, y uso potencial en la micro cuenca determinando su extensión por ha. Y el porcentaje que ocupa el área.

Procedimiento para la Digitalización y Carga de Base de Datos

Se abre un directorio, se invoca el programa con ARC enter, y se crea una cobertura estando en ARC/INFO dándole orden con las siguientes teclas CREATE nombre de la cobertura, TABLES, SELL nombre de la cobertura, ADD, donde el programa pide los TICs los cuales son identificadores o puntos de control de la cobertura, anteriormente numerados al igual que las coordenadas de latitud y longitud en grados decimales. Una vez determinado este modelo TABLES se tecléa QUIT ST. Se comienza a digitalizar estando en el programa y directorio donde se creó la cobertura invocando al comando de edición con las instrucciones: ARCEdit, DISPLAY 4, EDIT manifiesta el nombre de la cobertura, DRAW arc tic; DRAW dibuja los tics y los arcos de la cobertura y COORDIG dando enter después de la instrucción, a lo que posterior a este comando todas las instrucciones tienen que ser dadas desde el punto de la tableta; la computadora pide los TICs, los cuales se introducen desde el digitalizador presionando el número del TIC desde el digitalizador.

Posteriormente se presiona la intersección de las líneas de control del digitalizador exactamente en el TIC del mapa correspondiente al número que se marco anteriormente y tecleando la letra "A" del digitalizador dos veces una vez que se colocaron bien el punto del tic. Una vez que se termina de introducir los tics la maquina pide otro, pero se oprime la letra A en vez del número de tics para salir. Ya dados todos los tics a la cobertura se dan las siguientes ordenes: EF, ARC, ADD que agrega los elementos a editar. Para empezar a digitalizar hay que oprimir el (8) opciones del digitalizador, luego el (3) que es para evitar el auto incremento al valor del indicador. Se ubica un punto para empezar a digitalizar oprimiendo el (0), y se prosigue digitalizando oprimiendo el número (2) apareciendo un punto, inmediatamente se oprime consecutivamente el (1) a la vez que se va moviendo la intersección de las dos líneas del digitalizador, procurando que la distancia entre uno y otro no se supere a 1 mm principalmente por las líneas sinuosas.

Para salir del programa y grabar lo digitalizado se oprime el (9) en el punto y se escribe SAVE, QUIT enter. Para corregir y quitar errores se da CLEAN nombre de la cobertura de salida, los valores de tolerancia ARCEdit, DISPLAY 4, EDIT (nombre de la cobertura de salida a la que se hizo la limpieza CLEAN), DRAW arc TIC NODE

DANGLE; DRAW EDITDISTANCE.003, SETDRAWSYM 5. Primer caso cuando las líneas están pesadas se selecciona con EF ARC; SEL MANY o EF ARC; SEL BOX, y luego DELETE enter, cuando llega la línea se le da EF NODE; MOVE enter, después se graba y se sale del programa con SAVE y QUIT enter.

Se etiqueta y se crea la base de datos de los polígonos digitalizados con las instrucciones siguientes: ARCW, DESCRIBE cobertura final limpia, BUILD cobertura final limpia, POLY; LIST cobertura final limpia. PAT; para crear la base de datos: TABLES, SELECT cobertura final limpia, POLY para que integre los campos que se introdujeron dar enter después de cada comando. El programa Arc View GIS versión 3.1 soporta mucho tipo de información y esta aparece en ventanas diferentes. Se puede usar la ventana del documento para desplegar y operar: “vistas” despliega un mapa conteniendo cada capa de información; “tablas” despliegan la información tubular, bases de datos, “gráficos” representan de manera visual la información tubular en seis tipos de gráficos, “layouts” permite juntar los diferentes tipos del proyecto y otros componentes de un mapa, “scripts” es un programa de Arc View, que permite personalizar la aplicación.

Evaluación de Riesgo a la Erosión

Con el apoyo de los Sistemas de Información Geográfica, utilizando datos vectoriales, se identificaron áreas homogéneas y se realizaron las sobreposiciones de mapas necesarias para obtener el plano de riesgo potencial a la erosión, así como el uso potencial con las recomendaciones de manejo de la microcuenca.

Para la elaboración del mapa de riesgo a la erosión se utilizó una adaptación (Zárate 1998) que considera a la metodología propuesta por la FAO (1980), basada en la ecuación universal de pérdidas de suelo, para estimar la erosión superficial. Se utilizaron los siguientes mapas: isoyetas media anuales, mapas de pendientes (modelo de elevación digital), unidades de suelo de acuerdo a la clasificación FAO, fases físicas del suelo, el mapa de uso del suelo y vegetación. Se trabajó con la cartografía de INEGI, escala 1:50 000. Para estimar el riesgo a la erosión los factores de la ecuación universal de pérdidas de suelo considerados fueron R, K, L, S, (Erosionabilidad del suelo, factor por longitud de pendiente y factor por grado de pendiente en ese orden).

Simulación para la Obtención de las Prácticas de Manejo

Área conocer cuales prácticas de manejo son las necesarias para reducir las pérdidas de suelo a límites permisibles o cambios esperados en la pérdida de suelo, en función de cambios en el manejo de los recursos, los factores de la EUPS son C= Factor por cobertura vegetal (adimensional) y P = Factor por prácticas de manejo (adimensional).

Obtención de Indicadores Económicos y Sociales

Se identificaron las condiciones sociales y la factibilidad social de adopción y desarrollo de las prácticas de manejo que se propongan como resultado de este proyecto. Esto a través de la obtención de datos relacionados con los aspectos técnicos, socioeconómicos, climáticos y agropecuarios del área de estudio, considerando la información del Censo de Población y vivienda 2010, Censo ejidal 1991, Plan Rector de la Microcuenca 2007, así como en trabajos de investigación, libros y manuales.

Diseño del Programa para el Manejo de la Microcuenca

En función de la información generada en sus diferentes etapas se integro el programa para el manejo de la microcuenca.

RESULTADOS

Caracterización Sociodemográfica

De acuerdo al Censo de Población y Vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en el año del 2010, la microcuenca la concordia cuenta con una población total de 1434 habitantes, de los cuales 698 son del género masculino y 736 son del género femenino, la población se distribuye como se muestra en el cuadro número 8.

Cuadro 8. Distribución y principales características de la población de la microcuenca La Concordia.

Localidad	Población Total	Población Masculina	Población Femenina	Población de 15 años y más alfabeta	Población económicamente activa	Total de viviendas habitadas
La Concordia	831	396	435	142	259	175
Paradita del Refugio	424	210	214	24	150	85
Rancho Nuevo la Cruz	153	77	76	18	48	36
Santa Lucia	2	1	1	*	*	1
El durazno	24	14	10	20	13	8
TOTAL	1434	698	736	204	470	305

Fuente: Censo de Población y Vivienda (INEGI) 2010.

Infraestructura de Servicios

Educación

En la microcuenca La Concordia la educación está cubierta en los niveles de preescolar, primaria y telesecundaria únicamente en las comunidades de mayor población (La Concordia y Paradita del Refugio) y para obtener sus estudios a nivel bachillerato deben de acudir al Colegio de Bachilleres (COBACH) en el municipio de Villa Hidalgo. A continuación en el cuadro 9 se presentan algunos datos relevantes sobre el grado de escolaridad en la microcuenca.

Cuadro 9. Escolaridad de la población de la microcuenca La Concordia.

Grupo por edad	Habitantes
Población de 6 a 14 años que sabe leer y escribir	691
Población de 6 a 14 años que no sabe leer y escribir	170
Población de 15 años y más alfabetada	308
Población de 15 años y más analfabeta	69
Grado promedio de escolaridad	4.1

Fuente: INEGI, 2010

El promedio de escolaridad que se tiene a nivel microcuenca es de 4.1; lo anterior se puede deber al bajo nivel socioeconómico y a la falta de instituciones de educación, siendo la comunidad la Concordia la que tiene acceso a un nivel más alto de educación ya que esta comunidad cuenta con nivel preescolar, primaria y telesecundaria, a diferencia del resto de las comunidades que solo cuentan con preescolar y primaria.

Alimentación

La dieta que tiene la población en general, está compuesta en su mayoría por: tortilla de maíz, frijol y sopas (pastas y arroz) y verduras que obtienen en la zona. Además a nivel de traspatio cuentan con aves y cerdos para la producción de huevo y carne, la cual es destinada para el consumo familiar aminorando los gastos. La carne bovina y de pescado la consumen en muy pocas ocasiones ya que son de un alto costo y el ingreso familiar no se los permite.

Salud

Las necesidades de servicios médicos para la atención de la salud y tratamiento de enfermedades es muy alta, ya que la población cuenta únicamente con una casa de salud a la cual asiste una enfermera cada 15 días, por lo que en caso de alguna enfermedad el afectado se debe trasladar a la cabecera municipal ocasionando gastos en la economía de las familias, en general la población solo tiene acceso a las campañas de salud que proporciona la secretaria de salud llevando las vacunas que se tienen en esa campaña.

A nivel microcuenca, las enfermedades más incidentes son las gripes y las gastrointestinales, mientras que las principales causas de muerte se dan por la presión ya sea alta o baja.

Organización político – social

En las comunidades La Concordia y Paradita de El Refugio la autoridad es designada al Comisariado Ejidal, el cual cuenta con un comité que está conformado por un secretario, un tesorero y un presidente, mientras que en el resto de las comunidades la autoridad la tiene el juez de cuartel o sector.

En las zonas de riego de la microcuenca se tiene conformado un comité el cual está integrado por personas que han sido comisariados ejidales y/o personas con experiencia o algún nivel de capacitación superior. Cuando es necesario tomar decisiones sobre alguna acción, lo someten a votación en las juntas ejidales, las cuales se celebran de manera regular cada mes o cada que sea necesario.

Servicios públicos

La microcuenca La Concordia dispone de los servicios públicos fundamentales como lo son la energía eléctrica, drenaje y el agua potable entubada. El 90% de las viviendas cuenta con alumbrado público, el 95% de la población cuenta con agua potable entubada y solamente el 2% de las viviendas cuenta con drenaje.

Las comunidades de esta zona se comunican a través de carreteras o caminos de terracería, en cuanto a los medios de transporte los proporciona la línea de autobuses Cerritenses.

Infraestructura industrial

La microcuenca La concordia, se encuentra ubicada en una región marginada por lo que carece de infraestructura industrial que genere buenas ofertas de empleo. En la localidad de Paradita del Refugio se cuenta con hornos mezcaleros en regulares

condiciones que actualmente no son utilizados, como consecuencia de esto los pobladores buscan empleo fuera de las comunidades en distintas actividades como jornaleros y como mano de obra en la industria ubicada en la cabecera municipal o en la capital del estado.

Sistemas de Producción

Agricultura

La microcuenca La Concordia, cuenta con una superficie destinada a la actividad agrícola de 760 ha, de las cuales únicamente 200 ha cuentan con riego mientras que el resto se basan en la producción de temporal. En esta superficie se siembran cultivos básicos como son el maíz y el frijol, con rendimientos relativamente bajos que van de 1 a 1.5 t ha⁻¹ de maíz y 1.5 t ha⁻¹ de frijol. La preparación del terreno para la siembra se realiza a través de labores de barbecho, rastra, bordeo, siembra y cosecha, por lo que es necesario contratar la maquila de maquinaria agrícola para poder producir.

En lo que refiere a la agricultura de riego se utilizan 6 pozos, los cuales riegan las 200 has. Teniendo como infraestructura en una parte de la zona canales que permitan reducir el desperdicio de agua por infiltración pero aun así hay grandes pérdidas de este recurso tan valioso, por lo que los productores están dispuestos a adquirir sistemas de riego por medio de tubería para eficientizar el uso del agua y poder obtener mayores rendimientos principalmente en los cultivos de maíz, frijol, alfalfa, calabaza y sorgo. El tamaño promedio de las parcelas en esta comunidad es en zona de riego media ha por beneficiario y en zona temporal de 4 ha por beneficiario. Los rendimientos promedios obtenidos en la zona de riego se muestran en el cuadro 10.

Cuadro 10. Rendimiento promedio de cultivos bajo riego en la microcuenca La Concordia.

Cultivo	Rendimiento (t ha ⁻¹)
Maíz	2
Frijol	3
Alfalfa	100 pacas

En la microcuenca La Concordia las fechas de siembra y labores agrícolas se realizan del 15 de abril a mayo, utilizando tractores que rentan, para realizar las acciones de

barbecho, rastra, bordeo. Para combatir la maleza utilizan herbicidas, (malation, paration) para las plagas y enfermedades no utilizan ningún tipo de insecticidas, por lo que se ven atacados por el gusano barrenador, la conchuela, diabrotica, etc. Utilizan poco los fertilizantes, no cuentan con asistencia técnica de ninguna dependencia ni particular, no reciben créditos, el método de cosecha se realiza manualmente.

Ganadería

En la microcuenca La Concordia la actividad pecuaria es de bajo potencial, aun así, se cuentan con 900 has destinadas a la producción de bovinos y caprinos en agostadero, su manejo es muy reducido ya que los beneficiarios son principalmente agricultores que carecen de conocimientos zootécnicos, de esta situación se desencadenan problemas sanitarios en el hato y falta de mejoramiento genético del ganado que en su mayoría es de descendencia criolla, la comercialización de este ganado se realiza únicamente cuando existe alguna necesidad y lo realizan en el mismo ejido o bien por medio de compradores que van esporádicamente a las comunidades. El tipo de pasto que existe en la zona es navajita y su coeficiente de agostaderos es de 23 has por unidad animal.

Forestal

La actividad forestal no es explotada en la microcuenca La Concordia, ya que su vegetación en la mayor parte de esta está dada por matorrales, mezquitales teniendo poco aprovechamiento para la obtención de madera o algún otro recurso forestal.

Minería

La microcuenca La Concordia no cuenta con minerales que permitan la explotación de este recurso.

Infraestructura de Conservación de Suelo y Agua

En el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales en la microcuenca La Concordia los productores implementaron delimitación del agostadero con 4 potreros y para la captación de agua se tienen 12 bordos; también se construyó una presa con cortina de tierra, de la cual se pretenden aprovechar las aguas que esta desfoga

encausándolas a las tierras agrícolas de temporal; y en las partes altas con manejo de agricultura se construirán terrazas de formación sucesiva para la retención de humedad y disminución de la erosión.

Maquinaria e Implementos Agrícolas

Para la preparación de las tierras agrícolas cuentan con 5 tractores los cuales están equipados con diferentes implementos agrícolas como son el arado y la rastra.

Se cuenta con un sistema de riego a base de canaletas de concreto que riega 200 has, aun así se tienen grandes pérdidas de líquido vital tanto por evaporación como por infiltración por el mal estado de los canales, es por eso que los productores pretenden implementar un sistema de riego a base de tuberías para tener un mejor aprovechamiento.

Clima

El clima en esta microcuenca es subtipo semiseco – semicálido. Las condiciones que tipifican estos tipos de clima son una temperatura media anual mayor a 18 °C mientras que la temperatura media del mes más frío es inferior al valor antes citado. La precipitación total anual va de 400 a 700 mm, y la lluvia se concentra en el verano mientras que en invierno el porcentaje de precipitación es de 5 y 10.2 %. La temperatura es de tipo Ganges, esto quiere decir que el mes más caliente se presenta antes del solsticio de verano, mientras que los meses más secos son noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo; por lo que los meses de junio a octubre existe la humedad suficiente para llevar a cabo las actividades agrícolas. Las temperaturas máximas, mínimas y medias, así como la precipitación se muestran en el cuadro 11.

En la microcuenca La Concordia, los meses más calurosos son de abril a agosto, con una temperatura promedio de 21.06 °C presentando la temperatura máxima durante el mes de Mayo con 22.3 °C. Los mayores índices de precipitación comienzan a apreciarse durante los meses de junio a septiembre, con una precipitación promedio de 100.4 mm, el mes con mayor precipitación fue Julio con 112.9 mm. Lo anterior se puede apreciar en la figura 4.

Cuadro 11. Distribución de precipitación y temperatura en la estación climatológica Armadillo de los Infante.

Mes	Temp. máxima media °C	Temp. mínima media °C	Temp. media °C	Precipitación en mm	Precipitación máxima en 24 hrs (mm)
Enero	21.4	4.9	13.1	14.5	24
Febrero	23.9	6.0	15.0	9.3	26
Marzo	28.2	8.4	18.3	8.3	35
Abril	30.4	11.0	20.7	21.9	37
Mayo	31.1	13.5	22.3	40.8	65
Junio	28.8	14.5	21.7	96.7	129
Julio	26.4	14	20.2	112.9	115
Agosto	26.9	14	20.4	89.4	89.5
Septiembre	26	13.7	19.9	102.6	120
Octubre	24.8	10.8	17.8	42.3	52
Noviembre	24.2	7.9	16.1	15.2	36.5
Diciembre	21.7	6.0	13.9	11.6	29
Anual	26.4	10.4	18.3	565.6	129

Fuente: Medina *et al.*, 2005

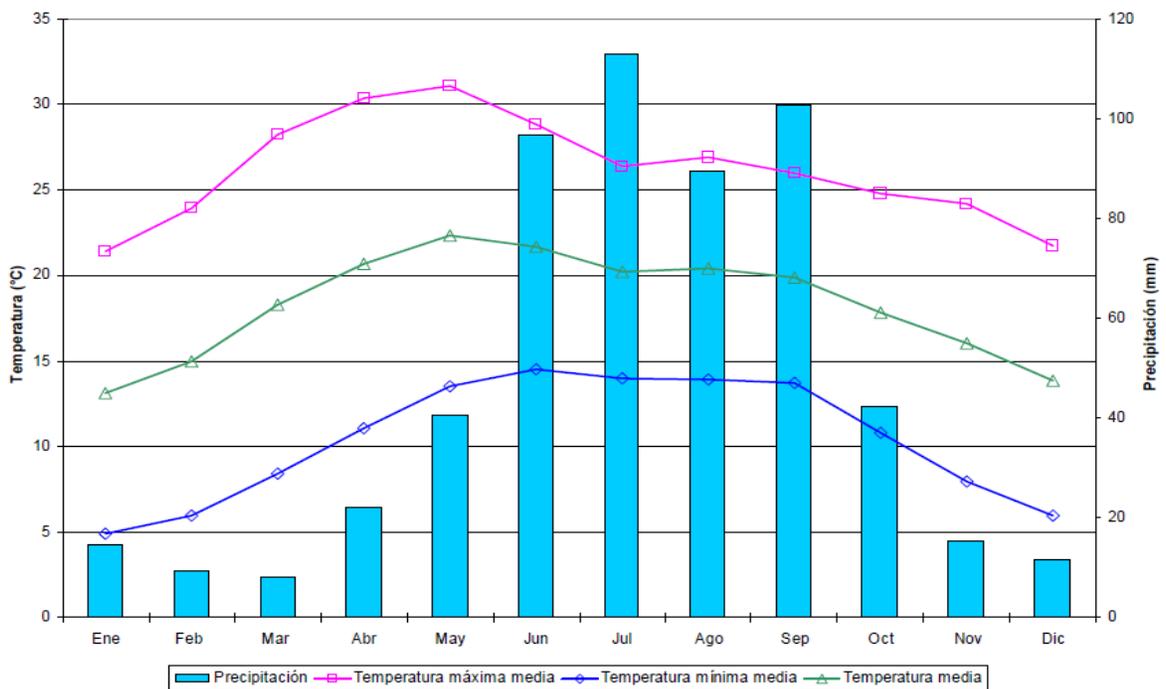


Figura 4. Climograma de temperatura y precipitación promedio mensual en la estación Armadillo de los Infante. Fuente: Medina *et al.*, 2005

Como se pudo apreciar en el cuadro 11 y la figura 4, en la microcuenca se tiene muy marcado el temporal de lluvias, por lo que se deberá de aprovechar esta estacionalidad para llevar a cabo acciones de captación y manejo adecuado del agua, que nos permita eficientizar el recurso, incrementar la productividad de las tierras así como también mejorar el nivel de vida.

Marco Físico e Hidrológico

La microcuenca La Concordia se encuentra ubicada en la región hidrológica 37 El Salado (RH-37) y 26 Panuco (RH-26). Por su extensión corresponde a una de las vertientes interiores más importantes del país, la cual limita al sureste con la región hidrológica 26 Panuco.

La zona es de clima seco y semiseco por lo que las corrientes de agua van de oriente a poniente, estas son de carácter intermitente ya que solo se forman en temporadas de lluvias, siendo su curso muy reducido, la mayor parte del agua se pierde por infiltración y evaporación, y el resto desaparece en las llanuras.

Las corrientes y arroyos principales son: El Pachón, El Toloache, Arroyo de Paradita y San Elías; además se cuenta con 12 bordos para la captación de agua y una presa la cual no está en funcionamiento ya que presenta un fractura en el vaso.

La microcuenca la concordia es de tipo endorreica o lacustre, su red de drenaje es efímera, ya que solo conduce agua en el periodo de lluvias y el modelo de drenaje que presenta esta cuenca es dendrítico. En el cuadro 13 se muestran las características morfológicas e hidrológicas del área de estudio, las cuales se obtuvieron de la siguiente manera:

Datos:

Área de la cuenca (A_c) = 86.57 km²

Perímetro de la cuenca (P) = 41.47 km

Longitud de la cuenca (L_c) = 13.9 km

El índice de forma nos da una idea de que tan cerca o lejos se está de la forma de un círculo. La forma de la cuenca definitivamente afecta las características de la descarga de la corriente, principalmente en los eventos de flujo máximo (Loredo, 2011). El procedimiento para estimar el índice de forma es el siguiente:

$$Kf = \frac{Ac}{Lc^2}$$

$$Kf = \frac{86.57}{13.9^2} = \mathbf{0.44}$$

Coeficiente de compacidad es el coeficiente adimensional entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo con área igual al tamaño de la cuenca en km²; el cual tendrá como límite inferior la unidad indicando entonces que la cuenca es circular y conforme su valor crece indicara una mayor distorsión en su forma (Loredo, 2011). El coeficiente de compacidad se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Cc = \frac{P}{Pc} = 0.282 \left(\frac{P}{\sqrt{Ac}} \right)$$

$$Cc = .282 \left(\frac{41.47}{\sqrt{86.57}} \right) = \mathbf{1.25}$$

Este resultado nos indica que esta microcuenca es de forma asimétrica.

La relación de elongación se define como el cociente adimensional entre el diámetro de un círculo de la misma área de la cuenca y la misma longitud de la cuenca. Se determina por medio de la siguiente fórmula:

$$Re = 1.1284 \left(\frac{\sqrt{Ac}}{Lc} \right)$$

$$Re = 1.1284 \left(\frac{\sqrt{86.57}}{13.9} \right) = \mathbf{0.75}$$

La relación de bifurcación es el cociente entre el número de cauces de cualquier orden y el número de cauces del siguiente orden superior, la fórmula se muestra a continuación:

Cuadro 12. Cantidad de corrientes por número de orden.

Número de orden de cauce	Número total de cauces por orden
1	101
2	22
3	3
Suma	126

$$Rb = \frac{Un\ de\ u}{Un\ de\ u + 1}$$

De primer orden a segundo orden: $Rb = \frac{101}{22} = 4.59$

De segundo orden a tercer orden: $Rb = \frac{22}{3} = 7.33$

$$Rb = \frac{(4.59 + 7.33)}{2} = \mathbf{5.96}$$

La densidad de drenaje es la longitud total de los cauces dentro de la cuenca dividida entre el área total del drenaje. La cual se estima por medio de la siguiente fórmula:

$$Dd = \frac{L}{Ac}$$

$$Dd = \frac{131.65}{86.57} = 1.52$$

La densidad de corriente se define mediante la relación del número total de cauces independientemente del número de orden entre el área de la cuenca, la fórmula se muestra a continuación:

$$Dc = \frac{Nu}{Ac}$$

$$Dc = \frac{126}{86.57} = \mathbf{1.45}$$

Cuadro 13. Características morfológicas e hidrológicas de la microcuenca La Concordia.

Datos	Resultados
Área de la microcuenca en km ²	86.57 km ² ó 8657 ha
Perímetro de la microcuenca en km	41.47 km
Ancho medio en km	6.52 km
Longitud de la cuenca en km	13.9 km
Índice de forma (Kf)	.44
Coefficiente de compacidad (Cc)	1.25
Relación de elongación (Re)	.75
Relación de bifurcación	5.96
Densidad de drenaje	1.52 km/km ²
Densidad de corriente	1.45 cauces por km ²

En la figura 5 se muestra la red de drenaje de la microcuenca La Concordia.

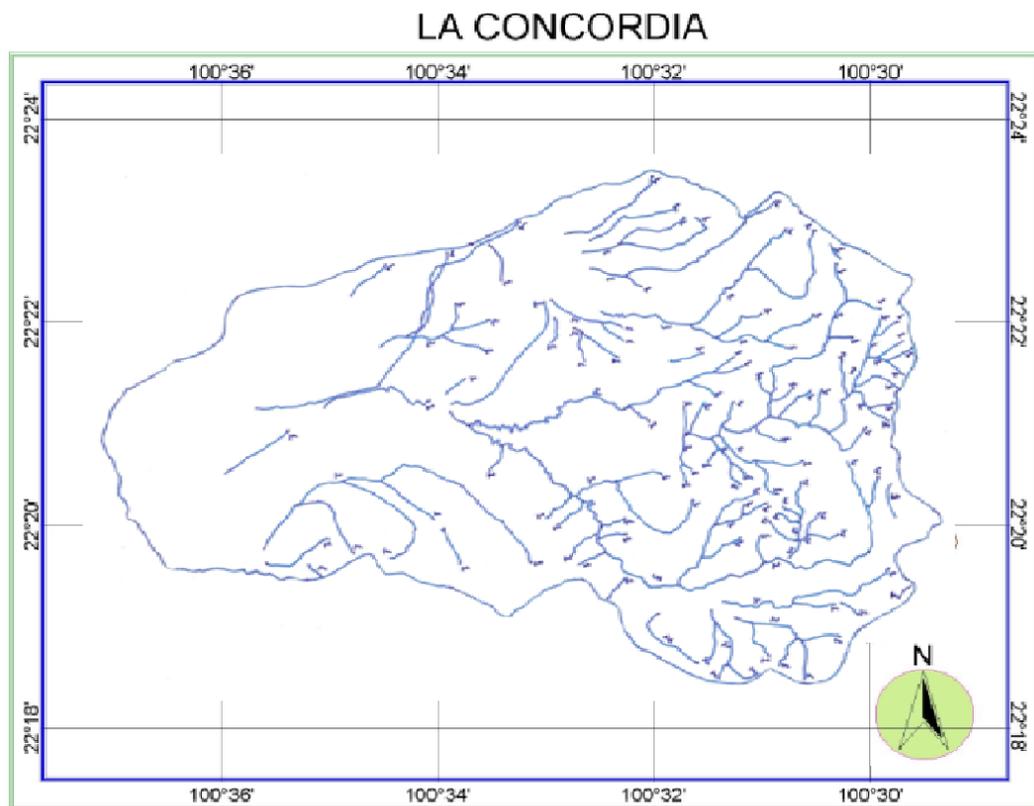


Figura 5. Red de drenaje de la microcuenca La Concordia. Fuente: Digitalización de la carta topográfica F14-A75 1:50 000 INEGI, 2005.

Geología

La geología de la microcuenca La Concordia está compuesta por rocas sedimentarias principalmente caliza, conglomerado, brecha y lutita arenisca; con rocas ígneas extrusiva acida, riolita y basalto y por la formación de suelos de tipo residual, aluvial y piamonte. La composición de cada una se describe a continuación:

Roca sedimentaria caliza (cz). Esta ocupa la mayor parte de la superficie de la microcuenca. Son rocas de origen químico u organogeno compuestas por lo menos de un 50% de carbonato de calcio. Las calizas generalmente se forman en los mares cálidos y pocos profundos, en aquellas zonas donde los aportes detríticos no son importantes. Estas se caracterizan por ser rocas de aspecto pétreo (duro), efervescer fuertemente con ácido clorhídrico en frío al 10 % y presentar fracturas más o menos concoides. Así mismo es común que tengan fósiles, aunque éstos no sean visibles a simple vista (microfósiles).

Roca sedimentaria conglomerado (cg). Dentro de la superficie de la microcuenca la roca conglomerada ocupa el tercer lugar, estas son rocas formadas por consolidación de cantos, guijarros o gravas, de fragmentos superiores a 4 mm, (si los granos son entre 2 y 4 mm. se denomina *microconglomerado*), englobados por una matriz arenosa o arcillosa y con un cemento de grano fino que los une (caliza o silíceo).

Roca sedimentaria brecha (bs). Roca detrítica compuesta aproximadamente por un 50% de fragmentos angulares de roca de mayor tamaño a 2 mm unidos por un cemento natural. Las brechas se generan principalmente, por procesos de meteorización física como el hielo-deshielo (crioclástia), cambios de temperatura (termoclastia), rotura por raíces (bioclástica) y una erosión y un transporte prácticamente nulos. El principal agente de transporte es la fuerza de la gravedad, aunque también pueden estar asociadas a cursos fluviales y a glaciares (tillitas), en las laderas de montañas donde existen escarpes de rocas, se acumulan los fragmentos de éstas originando canchales, que al cementarse dan lugar a las brechas.

Roca sedimentaria lutita-arenisca (lu-ar). Las lutitas son rocas detríticas de grano muy fino (las arcillas tienen menos de 0,002 mm.). Están cementadas por precipitación química, y su porosidad puede llegar a ser inferior al 10% cuando se produce la compactación de limos y arcillas; mientras que las rocas areniscas son rocas

sedimentarias consistentes en granos de arena cementados por material arcilloso, calcáreo, por sílice y otros. Según el dominio del tamaño se clasifican en finas, de 0.1 a 0.25 mm; medianas, de 0.25 a 0.5; gruesas, de 0.5 a 2 mm; y por su composición mineralógica pueden ser mono y poliminerales; también pueden ser areniscas de cuarzo, arcosas y grauvacas (Lugo Hubp, 1989).

Roca ígnea extrusiva acida (Igea). Son rocas volcánicas de composición ácida, en general son de color claro, conformadas por el enfriamiento de lavas ricas en sílice sobre la superficie terrestre.

Roca ígnea riolita (R). Tiene el cuarto lugar en cuanto a superficie, es una roca volcánica de color gris a rojizo con textura de granos finos y a veces también vidrio con una composición química muy parecida al granito, se origina partir del magma de la misma estructura química que el granito al ponerse en contacto con la superficie terrestre, la riolita sale durante erupciones volcánicas a temperaturas de 700 a 850 °C.

Roca ígnea basalto (B). Roca de composición básica y color oscuro, consistentes principalmente en plagioclasas básicas, augita y con frecuencia olivino. Generalmente es una roca compacta y porosa, presenta estructuras de derrame y forma mesas de lava, con extensiones de cientos o miles de kilómetros cuadrados (Lugo Hubp, 1989).

Suelo residual (re). Son producto del intemperismo removidos y depositados en las laderas y al pie de las mismas. La remoción se produce por escurrimientos de origen pluvial en las laderas y por corrientes generalmente permanentes. Su composición varía de gravas a arcillas; con buena estratificación, paralela a las laderas, de las partículas más gruesas, y deficientes en las finas (Lugo Hubp, 1989).

Suelo aluvial (al). Son depósitos sedimentarios formados por corrientes fluviales en el cauce y llanura de inundación de los valles fluviales, se caracterizan por tener una menor clasificación de sedimentos areno-limosos, ocupando el segundo lugar en cuanto a superficie en la microcuenca (Lugo Hubp, 1989).

Suelo piamonte (pi). Los piamonte son sedimentos acumulados al pie de las montañas en su pendiente final debido a avalanchas, deslizamientos, etc. Contienen materiales de todos tipos y tamaño de granos, incluyendo vegetación, troncos y materia orgánica fina. Son suelos sumamente erráticos, haciendo que su compresibilidad sea muy variable y se

tenga que determinar con gran detalle, lo mismo ocurre con la resistencia al esfuerzo cortante.

Fisiografía

La Concordia se localiza dentro de la subprovincia de sierras y llanuras occidentales la cual comprende el occidente de la mitad sur de la Sierra Madre Oriental, sus elementos orográficos son sierras orientadas de norte a sur con formación de llanos en las cuales predomina la roca caliza. Las pendientes de la microcuenca para la parte alta son de 20%, en la parte media es de 5% mientras que en la parte baja es del 2%.

La altura sobre el nivel del mar a la que se encuentra la microcuenca La Concordia va desde los 1500 m en la parte más baja a los 2000 m en la parte más alta (Rodríguez, 2007).

Suelos

En la microcuenca La Concordia, predominan las unidades de suelos de tipo Litosol los cuales se encuentran asociados con suelos tipo Rendzina con una textura media que se extienden desde la parte baja de la microcuenca con pendientes menores al 5% hasta la parte más alta con pendientes mayores al 20%, en segundo lugar predominan los suelos Chernozem asociado con suelos de tipo Castañozem háplico con textura media los cuales se extienden en la parte baja de la microcuenca con pendientes menores al 5%, en tercer lugar predominan los suelos tipo Phaeozem con asociaciones de litosol de textura media los cuales se extienden en la parte baja y media de la microcuenca con pendientes menores al 8% principalmente y por último los suelos de menor presencia en la microcuenca son del tipo Vertisol y Rednzina. En el cuadro 14 se muestran las superficies que abarcan cada tipo de suelo en el área de estudio.

Cuadro 14. Unidades de suelos presentes en la microcuenca La Concordia.

Descripción	Unidad de Suelo	Área (ha)	Porcentaje
Litosol	I	5661.11	65.3
Chernozem	C	1394.38	16.1
Phaeozem háplico	Hn	1014.34	11.7
Rendzinas	E	318.65	3.6
Vertisol	V	268.96	3.1

Características de las unidades de suelo

Litosol textura media (I/2). Ocupan una superficie de 5661.11 ha, lo que representa un 65.39 % del área total de la microcuenca. Se caracterizan por tener una profundidad menor a los 10 cm, asentados sobre un estrato duro como roca, tepetate o caliche. Su fertilidad natural y la susceptibilidad a la erosión es muy variable, el uso de estos suelos depende principalmente de la vegetación que los cubre. En la microcuenca La Concordia el principal uso que se tiene en este tipo de suelo es el pastoreo de ganado bovino y caprino, y en algunas ocasiones se llevan a cabo actividades agrícolas como el cultivo de maíz y nopal. Esta unidad cuenta con una textura media (Gómez, 2011).

Litosol + Rendzina textura media (I+E/2a-c). En esta unidad de la microcuenca predominan los suelos Litosol asociados con suelos Rendzina; estos últimos se caracterizan por presentarse en climas semiáridos, tropicales o templados. Tienen una capa superficial abundante de materia orgánica y muy fértil que descansa sobre roca caliza o materiales ricos en cal. Generalmente las rendzinas son suelos arcillosos y poco profundos por debajo de los 25 cm. Estos son utilizados con fines de explotación pecuaria con rendimientos bajos a moderados, pero con gran peligro de erosión en laderas y lomas (Gómez, 2011). Esta unidad cuenta con una textura media que va desde la parte baja de la microcuenca con una pendiente menor al 8% hasta la parte más alta con pendientes superiores al 20%.

Castañozem + Chernozem textura media (Kh + Ch/2a). Los suelos castañozem tienen una capa superficial de color pardo, y su textura es de migajón arcillosa y arcillosa. Son suelos profundos que descansan sobre furas capas de arcilla con contenidos bajos de

materia orgánica y acumulación de carbonatos de calcio en el subsuelo, presentan baja susceptibilidad a la erosión, y son de regiones semiáridas. Los suelos chernozem son de color negro oscuro debido al alto contenido de materia orgánica, se presentan en relieve suavemente ondulado y la vegetación es herbácea de tipo estepa, se asocian a regiones con clima continental, es decir, con inviernos fríos y veranos cálidos. Su elevada fertilidad natural y su favorable topografía los convierte en suelos excelentes para la agricultura.

Phaeozem + Litosol textura media (Hh + I/2a). Se pueden presentar en cualquier tipo de relieve o clima, excepto en regiones tropicales lluviosas o muy desérticas. Se caracteriza por tener una capa superficial suave, oscura y rica en materia orgánica y en nutrientes son de profundidad muy variables. Cuando son profundos se encuentran generalmente en terrenos planos y se utilizan para la agricultura de riego y temporal, aunque también pueden utilizarse para pastoreo o ganadería con buenos resultados. El uso óptimo de estos suelos en muchas ocasiones depende de otras características del terreno y sobre todo de la disponibilidad de agua para riego (Gómez, 2011). Estas unidades de suelo cuentan con textura media en lugares planos a ondulados con pendientes menores al 8%. Vertisol textura fina (V/3a). Son suelos en donde hay un alto contenido de arcilla expansiva conocida como montmorillonita que forma profundas grietas en las estaciones secas, su vegetación generalmente son pastizales o bosques pastizados, cuando se cuenta con agua para riego son buenas tierras para el cultivo de algodón, trigo, sorgo, arroz y maíz. Esta unidad cuenta con textura fina en terrenos que van de planos a ondulados.

Rendzina (E/2a). Se caracterizan por presentarse en climas semiáridos, tropicales o templados. Tienen una capa superficial abundante de materia orgánica y muy fértil que descansa sobre roca caliza o materiales ricos en cal. Generalmente las rendzinas son suelos arcillosos y poco profundos por debajo de los 25 cm. Estos son utilizados con fines de explotación pecuaria con rendimientos bajos a moderados, pero con gran peligro de erosión en laderas y lomas (Gómez, 2011).

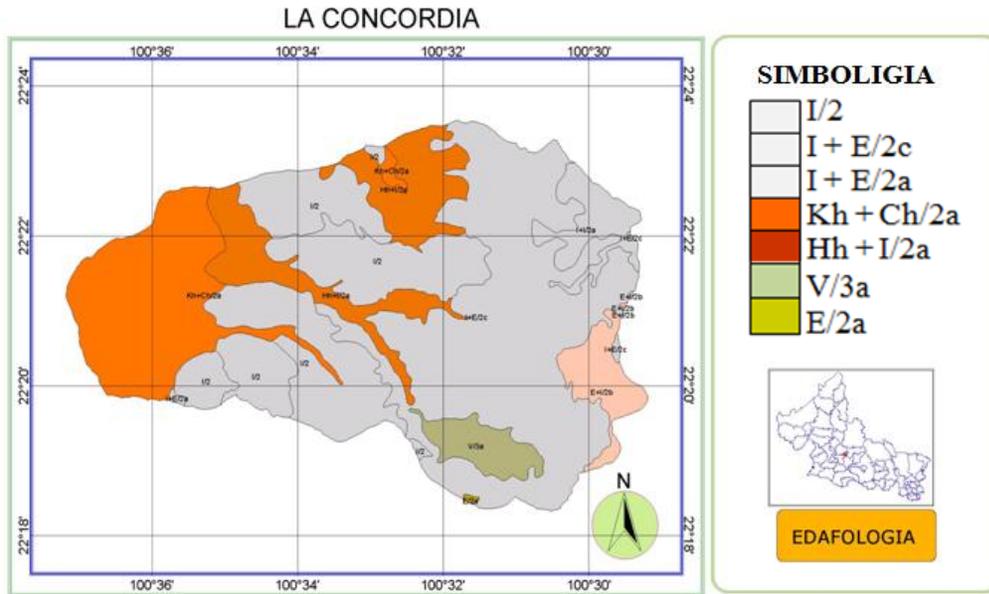


Figura 6. Tipos de suelo en la microcuenca La Concordia. Fuente: Digitalización de la carta edafológica F14-A75 1:50000 INEGI, 1978, realizada en INIFAP 2007.

Caracterización de la Vegetación y Uso del Suelo

Flora

En la microcuenca La concordia el tipo de vegetación se distribuye de la siguiente manera: en la parte alta de la microcuenca se encuentra vegetación como Bosque Natural Latifoliado (*Quercus spp.*, *Crataegus Mexicana*) en asociación con vegetación de tipo chaparral y palmar (*Yuca carnerosana- Yuca filifera*), además de pastizal natural con matorral espinoso (*Prosopis spp*, *Acacia spp*, *Myrtillocactus spp*). La parte media y baja está cubierta principalmente por vegetación de matorral subinerme (*Larrea tridentata*, *Agave spp.*) y nopalera (*Opuntia streptacantha*) (Rodríguez, 2007). Las especies de vegetación más destacadas en la microcuenca se muestran en el cuadro 15.

Fauna

La fauna de la microcuenca se caracteriza por la presencia de pequeños mamíferos, reptiles y aves. De las cuales algunas se han ido extinguiendo, principalmente aquellas que los pobladores utilizan con un fin medicinal, alimenticio y de comercio. En el

cuadro 16, se muestran las principales especies que componen la fauna de la microcuenca La Concordia.

Cuadro 15. Vegetación actual y su uso potencial en la microcuenca La Concordia.

Nombre Común	Nombre Científico	Uso Potencial
Mezquite	<i>Prosopis spp</i>	Leña y puertas
Huizache	<i>Acacia spp</i>	Leña
Guapilla china	<i>Hechita glomerata</i>	Artesanías
Nopales	<i>Opuntia spp</i>	Alimento y forraje
Navajita banderilla	<i>Bouteloua curtipendula</i>	Forraje
Navajita velluda	<i>Bouteloua hirsuta</i>	Forraje
Pajitas	<i>Setaria paniculata</i>	Forraje
Panizo aserrín	<i>Panicum hallii</i>	Forraje
Lechuguilla	<i>Agave lechuguilla</i>	Forraje
Sotol	<i>Dasyilirion texanum</i>	Ornamenta
Biznaga colorada	<i>Ferocactus pringlei</i>	Ornamenta
Granjeno	<i>Celtis pallida</i>	Ornamenta
Gobernadora	<i>Larrea tridentata</i>	Medicinal
Biznaga dulce	<i>Echinocactus visnaga</i>	Alimenticio y ornamenta
Encino	<i>Quercus spp</i>	Madera
Palma loca	<i>Yuca carnerosana</i>	Alimento y construcción
Palma china	<i>Yuca filifera</i>	Construcción
Tejocote	<i>Crataegus Mexicana</i>	Alimento
Garambullo	<i>Myrtillocactus spp</i>	Alimento

Fuente: Fuente: PRPC, La Concordia, 2007.

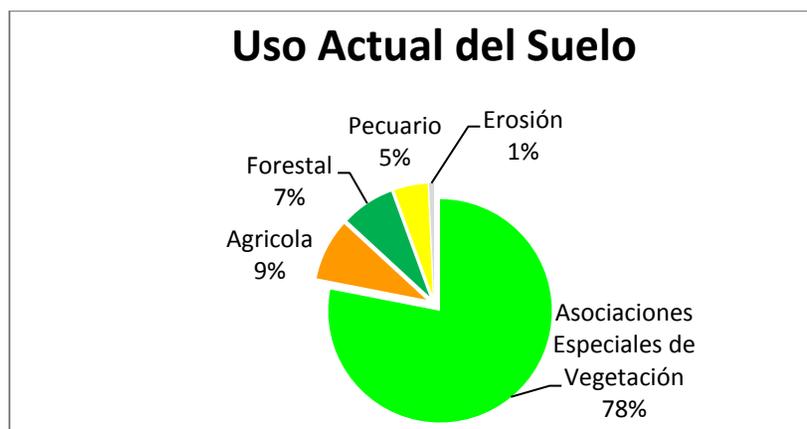


Figura 7. Gráfica de uso actual de suelo en la microcuenca La Concordia.

Cuadro 16. Especies de fauna silvestre y su aprovechamiento en la microcuenca La Concordia.

Nombre común	Nombre científico	Uso Actual	Uso potencial
Liebre	<i>Lepus alleni</i>	Alimentación	Cadena Trófica
Conejo	<i>Sylvilagus audubonii</i>	Alimentación	Cadena Trófica
Rata de campo	<i>Perognathus spp</i>	Alimentación	Cadena Trófica
Ardilla	<i>Ammospurmoophilus</i>	Ninguno	Cadena Trófica
Tejón	<i>Taxidea taxus</i>	Ninguno	Cadena Trófica
Zorrillo	<i>Mephitis mephitis</i>	Ninguno	Cadena Trófica
Armadillo	<i>Priodontes maximus</i>	Alimentación	Cadena Trófica
Tlacuache	<i>Didalphis Virginia</i>	Ninguno	Cadena Trófica
Víbora (de cascabel)	<i>Sistrus</i>	Alim. y medicina	Cadena Trófica
Huilota	<i>Zenaida macroura</i>	Alimento	Cadena Trófica
Cenzontle	<i>Mimus polyglottos</i>	Mascota	Cadena Trófica
Cardenal	<i>Cardinales cardinali</i>	Mascota	Cadena Trófica
Codorniz	<i>Coturnix coturnix</i>	Alimentación	Cadena Trófica
Paloma ala blanca	<i>Columba livia</i>	Alimento	Cadena Trófica
Águila	<i>Aquila clirysaetus</i>	Ninguno	Cadena Trófica
Halcón	<i>Falco mexicanus</i>	Ninguno	Cadena Trófica

Fuente: PRPC, La Concordia, 2007.

Uso Actual del Suelo

El uso que se le da a la tierra son prácticas de importancia ecológica y económica que inciden directamente en la conformación del paisaje natural y de la región, por lo que la delimitación del uso actual del suelo es un reflejo de las actividades actuales, estas tienen un carácter de importancia social en la toma de decisiones, en prácticas de conservación y planeación de los recursos naturales, el conocimiento da como resultado un control en el mejoramiento de suelo, agua y vegetación.

En la microcuenca La Concordia el uso actual del suelo está dado de la siguiente manera: a) Asociaciones especiales de vegetación, b) Uso agrícola, c) Uso forestal, d) Uso pecuario, e) Desprovisto de vegetación, lo cual se puede apreciar en la figura 7 y 8.

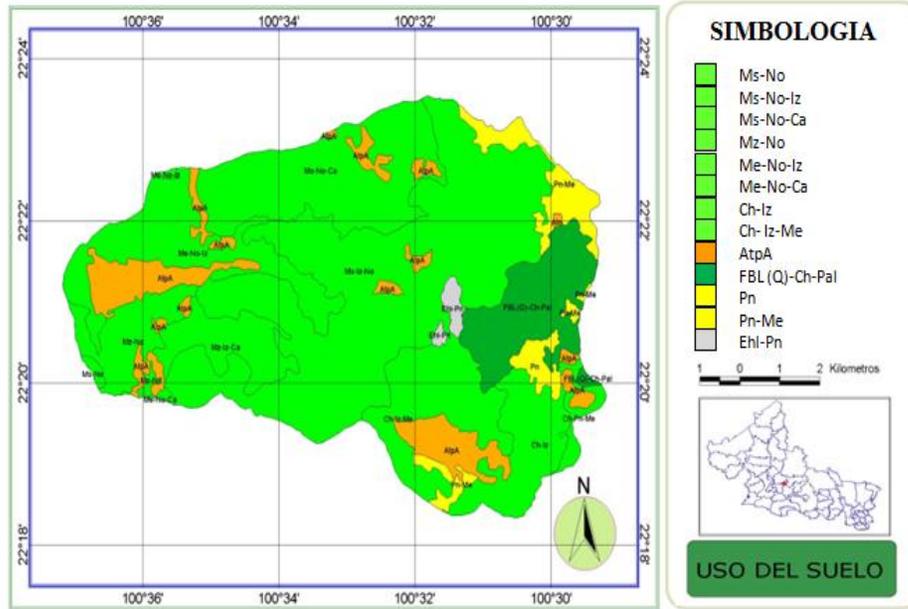


Figura 8. Tipo de vegetación y uso actual del suelo en la microcuenca La Concordia.
 Fuente: Digitalización de la carta F14-75 uso del suelo 1:50000 INEGI, 1978, realizada en INIFAP 2007.

Asociaciones especiales de vegetación

En la microcuenca La Concordia las asociaciones especiales de vegetación ocupan la mayor parte del territorio con una superficie total de 6748.54 ha, que representan el 79.9% de la superficie de la microcuenca. Las asociaciones especiales de vegetación se describen en el cuadro 17.

Chaparral (Ch): Este tipo de vegetación está constituido por una asociación generalmente densa, de arbustos resistentes al fuego, que se desarrolla sobre todo en laderas de cerros por arriba del nivel de los matorrales de zonas áridas y semiáridas de Pastizales Naturales y en ocasiones mezclada con los Bosques de Pino y Encino. Está formada por especies arbustivas de *Quercus* spp. (Encinillo, Charrasquillo), *Adenostoma* spp. (Chamizos), *Arctostaphylos* spp. (Manzanita), *Cercocarpus* spp. (Rosa de castilla), etcétera (INEGI, 2009).

Cardonal (Ca): Agrupación de plantas crasas, con altura a veces de 5 a 10 metros; generalmente se encuentran en zonas de clima cálido, semicálido y templado, con grados de humedad árido y semiárido. Se incluyen aquí las agrupaciones de las siguientes especies: *Myrtillocactus geometrizans* (Garambullo), *Stenocereus* spp. y *Pachycereus*

spp. (Órganos, Candelabros y Cardones), *Cephalocereus senilis* (Viejito, Viejo), *Neobuxbaumia tetetzo* (Teteches), etcétera (INEGI, 2009).

Cuadro 17. Asociaciones especiales de vegetación en la microcuenca La Concordia.

Tipo de Vegetación	Descripción	Superficie (ha)	% en la Microcuenca
Ch-Iz	Chaparral-Izotal	485.45	5.6
Ch- Iz-Me	Chaparral-Izotal-Matorral espinoso	635.27	7.33
Ch-Pn-Me	Chaparral-Pastizal natural-Matorral espinoso	87.67	1.01
Me-No	Matorral espinoso-Nopalera	6.13	.07
Me-No-Ca	Matorral espinoso-Nopalera-Cardonal	10.72	.12
Me-No-Iz	Matorral espinoso-Nopalera-Izotal	737.38	8.51
Ms-Iz-No	Matorral subinerme-Izotal- Nopalera	2942.49	33.98
Ms-No	Matorral subinerme-Nopalera	20.15	.23
Ms-No-Ca	Matorral subinerme-Nopalera-Cardonal	1097.78	12.68
Ms-No-Iz	Matorral subinerme-Nopalera-Izotal	8.77	.10
Mz-Iz-Ca	Mezquital-Izotal- Cardonal	361.51	4.17
Mz-No	Mezquital-Nopalera	355.22	4.10
	TOTAL	6748.54	79.9

Izotal (Iz): Agrupación de plantas del género *Yucca*, conocidas como Izotes en el sur de México y Palmas en el norte; se encuentran en las zonas áridas y semiáridas. Constituyen asociaciones importantes como las de *Yucca filifera*, *Y. decipiens* (Palma china), *Yucca carnerosana* (Palma Samandoca), *Yucca periculosa* (Izote), etc. Esta fisonomía se presenta además de en Matorrales, en algunos Pastizales Naturales (INEGI, 2009).

Matorral espinoso (Me): Formado por más del 70 % de plantas espinosas. Entre los matorrales de este tipo son frecuentes los de *Acacia farnesiana* (Huizache), *Prosopis spp.* (Mezquite), *Mimosa spp.* (Uña de Gato), *Acacia amentacea*, *Acacia farnesiana*, *Acacia vernicosa* (Chaparro prieto) (INEGI, 2009).

Matorral subinerme (Ms): Comunidad compuesta por plantas espinosas e inermes, cuya proporción de unas y otras es mayor de 30% y menor de 70% (INEGI, 2009).

Mezquital (Mz): Comunidad vegetal dominada principalmente por mezquites (*Prosopis spp.*). Son árboles espinosos de 5 a 10 m de altura en condiciones de humedad, pero en condiciones de aridez se desarrolla como arbusto (INEGI, 2009).

Nopalera (No): Asociación de plantas comúnmente conocidas como nopales, o sea plantas del género *Opuntia*, que presentan sus tallos planos; en general se encuentran en las zonas áridas y semiáridas del país. Es muy importante su aprovechamiento de frutos y tallos para consumo humano (INEGI, 2009).

Uso Agrícola

En la microcuenca La Concordia el uso agrícola corresponde al segundo lugar en cuanto a la superficie total de la microcuenca abarcando 760.15 ha, lo cual representa el 8.77% del área, en donde los principales sistemas de producción se basan en agricultura de temporal sembrando maíz, sorgo, alfalfa, frijol y calabaza. En el cuadro 18 se describe el tipo de uso agrícola presente en la microcuenca La Concordia.

Cuadro 18. Tipo de uso agrícola en la microcuenca La Concordia.

Tipo de Vegetación	Descripción	Superficie (ha)	% en la microcuenca
AtpA	Agricultura de temporal permanente para cultivos anuales.	753.7	8.7
Atn	Agricultura de Temporal Nómada	6.45	0.07

Agricultura de temporal permanente para cultivos anuales (AtpA): Tipo de agricultura de todos aquellos terrenos en donde el ciclo vegetativo de los cultivos que se siembran depende del agua de lluvia en donde se establecen principalmente cultivos anuales cuyas variedades prosperan con poca precipitación, por lo que su éxito depende de la capacidad del suelo para retener el agua. Pueden ser áreas de monocultivo o de policultivo y pueden combinarse con pastizales o bien estar mezcladas con zonas de riego, lo que conforma un mosaico complejo, difícil de separar, pero que generalmente presenta dominancia de los cultivos cuyo crecimiento depende del agua de lluvia (INEGI, 2009).

Agricultura de temporal nómada (Atn): Se dé nomina agricultura de temporal nómada por que no siempre se siembra en el mismo sitio.

Uso Forestal

El ámbito forestal ocupa el tercer lugar en cuanto al uso de suelo y vegetación en la microcuenca La Concordia, el cual cuenta con una superficie de 655.24 ha ocupando un 0.72% de la superficie total de la microcuenca; dicha superficie es destinada principalmente a la explotación forestal en sus diversas formas, aunque en algunas ocasiones también son destinadas al uso pecuario sobre todo cuando se tienen asociaciones especiales con pastizal o chaparral.

Se denomina bosque a las comunidades con presencia predominante de árboles con una cubierta de copa de más del 10 por ciento de la zona y una superficie superior a 0.5 ha, y se considera un bosque natural cuando este depende del clima, del suelo de una región sin haber influido sensiblemente otros factores para su establecimiento (INEGI, 2009). En el cuadro 19 se muestra el tipo de uso forestal en la microcuenca La Concordia.

Cuadro 19. Tipo de uso forestal en la microcuenca La Concordia.

Tipo de Vegetación	Descripción	Superficie (ha)	% en la Microcuenca
FBL(Q)-Ch-Pal	Bosque natural Latifoliado con asociación de chaparral y palmar.	655.24	7.56

Bosque natural Latifoliado (encino) asociados con chaparral y palmar (FBL (Q) -Ch-Pal): Los bosques de encino representan el otro tipo importante de vegetación templada de México, su distribución abarca prácticamente desde el nivel del mar, hasta los 3 100 m, sin embargo, la mayoría de estas zonas se ubican entre los 1 200 y 2 800 msnm. Estos bosques han sido muy explotados con fines forestales para la extracción de madera para la elaboración de carbón y tablas para el uso doméstico, lo cual provoca que este tipo de vegetación tienda a fases secundarias las que a su vez sean incorporadas a la actividad agrícola y pecuaria (INEGI, 2009).

Uso Pecuario

La microcuenca La Concordia cuenta 429.96 ha de pastizal dedicadas al uso pecuario por lo que ocupa un 4.84% de la superficie total situándose el cuarto lugar en cuanto al uso actual en esta microcuenca. Dicha superficie está constituida por pastizal natural

principalmente de la especie navajita en asociación con mezquital, no cuenta con divisiones por lo que el ganado anda a libre pastoreo acelerando la erosión del terreno y reduciendo la productividad de la zona, las principales especies ganaderas son los bovinos y caprinos. En el cuadro 20 se describe el tipo de uso pecuario y de vegetación para esta microcuenca.

Cuadro 20. Tipo de uso pecuario en la microcuenca La Concordia.

Tipo de Vegetación	Descripción	Superficie (ha)	% en la Microcuenca
Pn	Pastizal natural	96.34	.99
Pn-Me	Pastizal natural en asociación con matorral espinoso	333.62	3.85

Pastizal natural (Pn): Es considerado principalmente como un producto natural de la interacción del clima, suelo y biota de una región. Es una comunidad dominada por especies de gramíneas, en ocasiones acompañadas por hierbas y arbustos de diferentes familias. Se desarrolla de preferencia en suelos medianamente profundos de mesetas, fondos de valles y laderas poco inclinadas, son generalmente de altura media, de 20 a 70 cm, aunque a causa del intenso pastoreo se mantienen casi siempre más abajo. Por sus características este tipo de vegetación es el más explotado desde el punto de vista pecuario a base de ganado vacuno y caprino, lo que ha provocado que la mayoría de estas comunidades estén muy perturbados y en algunos casos hayan sido sustituidas por diversos arbustos y/o hierbas (INEGI, 2009).

Desprovisto de Vegetación

Una pequeña parte de la microcuenca La Concordia se encuentra afectada por la erosión hídrica, ya que carece de cobertura vegetal y prácticas agronómicas que permitan disminuir dicha afectación.

Cuadro 21. Área desprovista de vegetación en la microcuenca La Concordia.

Tipo de vegetación	Descripción	Superficie (ha)	% en la microcuenca
Ehl-Pn	Erosión hídrica en pastizal natural	62.75	0.72

Uso Potencial del Suelo

El uso potencial de la tierra hace referencia a la producción agropecuaria y forestal y se considera como un indicador que engloba, por un lado, las condiciones ambientales que caracterizan al terreno y, por el otro, el tipo de utilización agrícola, pecuario y forestal, que puede dársele, así como el grado en que los requerimientos técnicos y biológicos de cada tipo de utilización puedan satisfacerse mediante el conjunto de condiciones ambientales del terreno (INEGI, 2005).

Dicha información nos permite explotar el uso de la tierra de mejor manera, obteniendo y aprovechando los recursos que esta nos ofrece, con el fin de obtener productos y subproductos sin modificar o alterar el ecosistema.

En el cuadro 22 se muestran las clases de uso del suelo actuales en la microcuenca La Concordia, así como, una breve descripción de ellas.

Cuadro 22. Uso potencial de las tierras en la microcuenca La Concordia.

Clase de capacidad de uso del suelo	Descripción	Superficie (ha)	% de la Microcuenca
IV/c	Arable: tierras aptas para cultivos permanentes y semipermanentes limitadas por el clima.	2404.71	27.77
IV/sc	Arable: tierras aptas para cultivos permanentes y semipermanentes, limitada por suelo y clima.	114.16	1.31
VI/s	No arable: tierras aptas para la actividad ganadera, limitada por suelo.	124.40	1.43
VII/s	No arable: tierra apta para el manejo del bosque natural, además de protección, limitada por suelo.	1684.24	19.45
VIII	No arable: estas tierras no son aptas para ninguna actividad, solo para protección de recursos ecológicos.	4329.46	50.01

El uso potencial para la microcuenca La Concordia se representa en la figura 9, sobre la cual se describen el conjunto de las condiciones que el hombre tiene que enfrentar para aprovechar mejor el suelo y sus recursos en el desarrollo de la agricultura, la ganadería y/o el aspecto forestal.

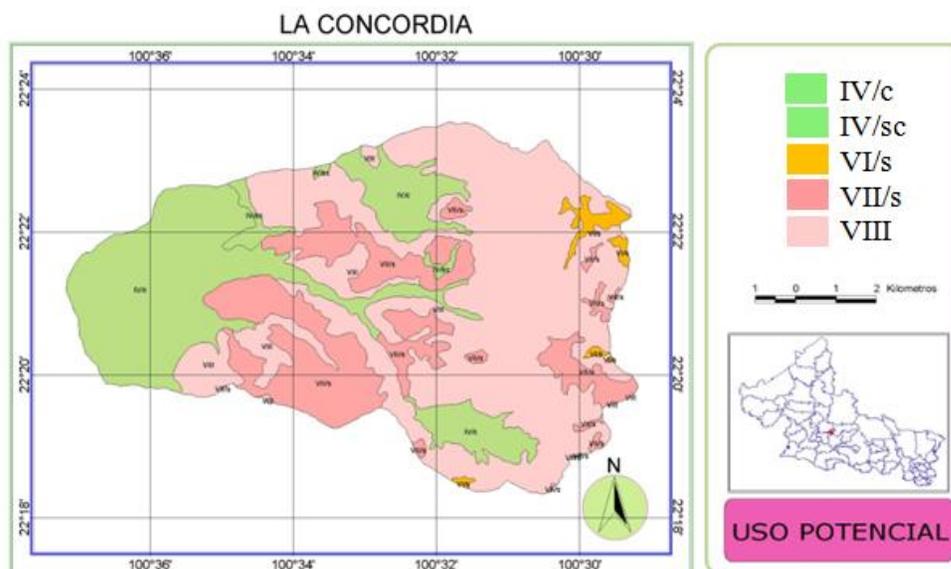


Figura 9. Uso potencial de suelo en la microcuenca La Concordia. Fuente: Digitalización de la carta F14-A75 uso potencial de suelo 1:50000 INEGI, 1978, realizada en INIFAP, 2007.

Unidad de clase IV/c

Estas tierras son aptas para la producción de cultivos permanentes o semipermanentes. Los cultivos anuales sólo se pueden desarrollar en forma ocasional y con prácticas muy intensas de manejo y conservación de suelos, esto debido a las muy severas limitaciones que presentan estos suelos para ser usados en este tipo de cultivos de corto período vegetativo. También se permite utilizar los terrenos de esta clase en ganadería, producción forestal y protección. Requiere un manejo muy cuidadoso (ACP, 2002).

Restricciones

Limitado por clima (c). En él 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 dos primeras condiciones.

Unidad de clase IV/sc

Estas tierras son aptas para la producción de cultivos permanentes o semipermanentes. Los cultivos anuales sólo se pueden desarrollar en forma ocasional y con prácticas muy intensas de manejo y conservación de suelos, esto debido a las muy severas limitaciones que presentan estos suelos para ser usados en este tipo de cultivos

de corto período vegetativo. También se permite utilizar los terrenos de esta clase en ganadería, producción forestal y protección. Requiere un manejo muy cuidadoso (ACP, 2002).

Restricciones

Limitado por suelo (s). De este factor se considera la profundidad efectiva y la pedregosidad.

Limitado por clima (c). En él 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 dos primeras condiciones.

Unidad de clase VI/s

Los terrenos de esta clase son aptos para la actividad forestal (plantaciones forestales). También se pueden establecer plantaciones de cultivos permanentes arbóreos tales como los frutales, aunque estos últimos requieren prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos (terrazas individuales, canales de desviación, etc.) Son aptos para pastos. Otras actividades permitidas en esta clase son el manejo del bosque natural y la protección. Presentan limitaciones severas (ACP, 2002).

Restricciones

Limitado por suelo (s). De este factor se considera la profundidad efectiva y la pedregosidad.

Unidad de clase VII/s

Esta clase es apta para el manejo del bosque natural, además de protección. Las limitaciones son tan severas que ni siquiera las plantaciones forestales son recomendables en los terrenos de esta clase. Cuando existe bosque en estos terrenos se deben proteger para provocar el reingreso de la cobertura forestal mediante la regeneración natural, En algunos casos y no como regla general es posible establecer plantaciones forestales con relativo éxito y también pastos (ACP, 2002).

Restricciones

Limitado por suelo (s). De este factor se considera la profundidad efectiva y la pedregosidad.

Unidad de clase VIII

Las tierras de esta clase presentan limitaciones tan severas que no son aptas para ninguna actividad económica directa del uso del suelo, de modo tal que sólo se pueden dedicar para la protección de los recursos naturales (suelos, bosques, agua, fauna, paisaje) (ACP, 2002).

Erosión Potencial

La erosión potencial hace referencia a la erosión que se produciría si se elimina completamente la vegetación del territorio sin afectar al resto de los parámetros de los que depende, como la pendiente, la susceptibilidad del suelo a la erosión u otros.

La erosión potencial predominante en la microcuenca es de la clase alta con riesgo de pérdida de suelo de 50 a 200 t ha⁻¹ en 29.49% (2545.75 ha), en segundo lugar le sigue la erosión moderada con una pérdida de suelo de 10 a 50 t ha⁻¹ en 28.07% (2423.75), en tercer lugar se encuentra la erosión potencial muy alta con pérdidas de suelo que por lo general son mayores a 200 t ha⁻¹ con un 22.03% (1902 ha), mientras que la erosión ligera se presenta en un 20.39% (1760.25 ha) de la superficie total de la microcuenca, lo anterior se puede apreciar en el cuadro 23 y en la figura 10.

Cuadro 23. Clase de erosión potencial en la microcuenca La Concordia.

Clase de Erosión	Superficie (ha)	% en la microcuenca
Ligera (0-10 t ha ⁻¹)	1760.25	20.39
Moderada (10-50 t ha ⁻¹)	2423.75	28.07
Alta (50-200 t ha ⁻¹)	2545.75	29.49
Muy alta (> 200 t ha ⁻¹)	1902	22.03

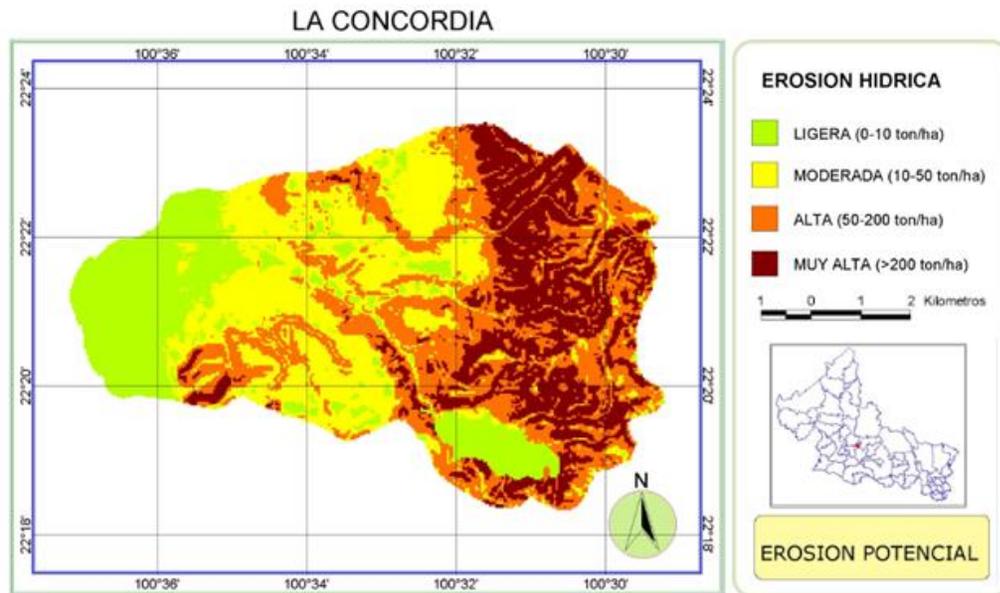


Figura 10. Erosión potencial en la microcuenca La Concordia. Fuente: Digitalización de la carta F14-A75 erosión potencial del suelo 1:50000 INEGI, 1978, realizada en INIFAP, 2007.

Prácticas Vegetativas y Agronómicas Recomendadas

La microcuenca La Concordia se ve gravemente afectada por los efectos de la erosión hídrica, por lo que es de fundamental importancia llevar a cabo obras y prácticas que nos permitan atenuar este proceso.

Una de estas son las prácticas vegetativas de conservación de suelos ya que están basadas en el eficiente papel de la cobertura vegetal para controlar la erosión, tanto en la fase de desprendimiento como en la de transporte, ya sea por erosión hídrica o eólica. Estas prácticas consisten en establecer y/o mantener el terreno cubierto con vegetación lo más densa y durante el mayor tiempo posible (Becerra, 2005).

Debido a la diversidad en densidad y morfología, las plantas difieren en su efectividad para proteger el suelo; así, los cultivos de escarda son generalmente los menos efectivos para ello y los que mayores problemas de erosión causan (Becerra, 2005).

La acción de la vegetación en el control de la erosión actúa en dos frentes; por un lado el follaje reduce la energía de impacto de las gotas de lluvia, y por el otro las raíces, tallos herbáceos y residuos sobre el terreno impiden o reducen el arrastre del suelo causado por el escurrimiento superficial y/o el viento (Becerra, 2005).

En La Concordia se cuenta con 200 ha de riego, en las cuales se recomienda además del uso eficiente del agua realizar las siguientes prácticas vegetativas:

- Rotación de cultivos
- Abonos verdes
- Incorporación de materia orgánica
- Asociaciones de cultivos
- Cultivos en fajas
- Cultivos de cobertera

En las tierras de temporal que abarcan 560 ha, además de las prácticas anteriores que sea posible establecer de acuerdo a las condiciones de los productores, es necesario establecer prácticas complementarias las siguientes:

- asociación de cultivos
- surcado al contorno
- prácticas agronómicas y mecánicas para la conservación del suelo.

Rotación de cultivos: Esta práctica se define como la sucesión de cultivos diferentes, en ciclos continuos, sobre un área de terreno determinada (Delgado, 1987).

Los objetivos de una rotación de cultivos son:

- Lograr la ocupación máxima del suelo en espacio y tiempo.
- Mantener una cobertura permanente (disminuir riesgos de erosión).
- Mantener y mejorar la fertilidad del suelo.
- Ayudar a prevenir incidencia de plagas y enfermedades.
- Reducir efectos negativos del clima o fluctuación en los precios de productos.

Abonos verdes: Esta práctica consiste en sembrar un determinado cultivo en un terreno con la finalidad de incorporarlo al suelo en la época más propicia, la que comúnmente es al inicio de floración (Becerra, 2005).

Con la práctica de abonos verdes se pretende:

- Agregar materia orgánica al suelo ($10-18 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).
- Mantener y mejorar su fertilidad.
- Aumentar la capacidad de retención de humedad.
- Disminuir los escurrimientos superficiales.

- Reducir erosión.

Incorporación de abonos orgánicos: Esta práctica se refiere a la incorporación de materiales de origen orgánico que nos ayudan a favorecer numerosas propiedades físicas y químicas del suelo (Delgado, 1987). Los productos más comunes a incorporarse son:

- Residuos de cosechas.
- Estiércoles de varias fuentes.
- Residuos del procesamiento industrial de productos agrícolas.

Asociaciones de cultivos: Esta práctica introduce la biodiversidad en el espacio, mediante el cultivo de dos o más especies diferentes en la misma parcela, de forma que se beneficien mutuamente o de forma que se beneficie una sin verse afectada la otra.

Los diferentes cultivos pueden sembrarse mezclados o separarse por líneas o grupo de líneas, de forma que sea más sencilla la recolección (Delgado, 1987).

Cultivo en fajas: Consiste en establecer cultivos de escarda y cultivos tupidos en fajas alternas alineadas al contorno (erosión hídrica), o bien en sentido perpendicular a la dirección dominante del viento (erosión eólica), con el propósito de controlar la erosión (Becerra, 2005).

El ancho de las fajas varía en función de la pendiente y el riesgo de erosión, en el cuadro 24 se indica el ancho de las fajas con diversos porcentajes de pendiente tanto para erosión hídrica como eólica (Becerra, 2005).

Cuadro 24. Ancho de fajas (en metros) recomendado para sistemas de cultivo en fajas.

Erosión Hídrica	Ancho	Erosión Eólica	Ancho
2-5% de pendiente	30 m	Suelo arenoso	6 m
6-9%	25 m	Arena migajosa	7 m
10-14%	20 m	Migajón arenoso	30 m
15-20%	15 m	Migajón	75 m
		Migajón limoso	85 m
		Migajón arcilloso	105 m

Fuente: Morgan, 1985.

Cultivo en contorno: Esta es una práctica común en suelos con ligeras pendientes, que consiste en labrar el terreno, hacer surcos y sembrar el cultivo en dirección perpendicular a la pendiente, siguiendo aproximadamente las curvas de nivel (Delgado, 1987).

Los principales objetivos de elaborar el cultivo en contorno son:

- Reducir la velocidad de escurrimiento superficial
- Aumentar la infiltración
- Reducir la erosión
- Evitar la formación de surco y cárcavas

Cobertura con residuos vegetales: Consiste en el cubrimiento de la superficie del terreno con los residuos de cosecha, tales como la paja de trigo y cebada, tallos de maíz, hojarasca, etc.

El efecto de esta práctica sobre el control de la erosión se muestra en el cuadro 25.

Cuadro 25. Efecto de la cobertura con residuos de cosecha en la pérdida de suelo y el escurrimiento superficial bajo lluvia simulada.

Cantidad de residuos (t ha⁻¹)	Superficie cubierta (%)	Escurrecimiento superficial (cm)	Pérdidas de suelo (t ha⁻¹)
0.0	0	7.2	27.6
0.6	40	6.4	7.2
1.1	60	4.0	3.2
2.2	87	0.8	0.7
4.4	98	0.2	0
8.8	100	0.0	0

Fuente: Santos, 1995.

Las prácticas agronómicas se consideran todas aquellas labores culturales, prácticas o técnicas aplicadas comúnmente a los cultivos, pero que directa o indirectamente inciden en la conservación del suelo, de hecho, cualquier práctica que favorezca el desarrollo de una buena cobertura vegetal podría considerarse como tal (Becerra, 2005).

Las recomendaciones de las diversas prácticas agronómicas incluyen:

- Preparación del terreno (haciendo el barbecho dos o tres meses antes de la siembra, inmediatamente antes de sembrar, el rastreo, la nivelación y el trazo de riego)
- Época de siembra
- Variedades mejoradas
- Densidad de siembra
- Control de plagas y enfermedades
- Control de malas hierbas
- Mejoradores químicos

Desde el punto de vista de conservación de suelos las prácticas agronómicas más importantes son:

- Labranza
- Estercoladuras
- Fertilización
- Uso y conservación del agua

Labranza: Esta práctica es definida como cualquier manipulación mecánica del terreno que altere la estructura y/o resistencia del mismo con el objetivo de proporcionar y mantener en el suelo las condiciones óptimas para la germinación y desarrollo de las plantas (SARH, 1991).

La labranza se clasifica bajo diferentes esquemas:

- a) Labranza primaria, secundaria, de cultivo y de post cosecha
 - b) Labranza convencional, mínima y cero labranza
 - c) Labranza óptima y reducida
 - d) Labranza de conservación
- Cero labranza: No se disturba el suelo antes de la siembra. Esta se realiza en forma directa y solo se prepara una franja no mayor a 7 cm de ancho. El control de malezas es por medio de herbicidas.
 - 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 el suelo.
 - Labranza en franjas: Se labora únicamente 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 punta en “v” del tipo pata de ganso. El control de malezas se realiza combinando herbicidas y escardas.

Para fines de conservación de suelos, generalmente será más conveniente aquel sistema de labranza que implique el menor disturbio posible de la estructura natural del

suelo y/o favorezca la mayor cobertura de protección superficial sobre el terreno. En este sentido los mejores sistemas de labranza son los de: labranza mínima, labranza cero y labranza de conservación. (Becerra, 2005).

Estercoladuras: La aplicación de estiércol es una práctica muy benéfica para los terrenos de cultivo, especialmente de los de zonas áridas y semiáridas que generalmente son pobres en materia orgánica, la dosis mínima requerida es de 10 toneladas por hectárea de estiércol de ovicaprinos para elevar el contenido de materia orgánica.

La calidad del estiércol es muy variable. De acuerdo con su riqueza nutritiva se consideran como mas importantes los guanos (de aves y murciélagos), luego los estiércoles de ovicaprinos y finalmente los voluminosos, como los de bovinos, equinos y porcinos. Para fines prácticos puede establecerse la equivalencia de 1:10:15, ósea, una tonelada de guano equivalente a diez toneladas de estiércol de ovicaprinos y a quince de bovinos, equinos y porcinos.

No se recomienda sembrar inmediatamente después de las estercoladuras, ya que se aumentan los niveles de toxicidad por el exceso de CO₂ (Torres, 1984).

Fertilización: un desarrollo vigoroso de los cultivos definitivamente protegerá mejor al suelo de la erosión que los cultivos raquíuticos, de lo cual se deduce la importancia que tiene mantener la fertilidad del suelo en buenas condiciones. Para ello, dada la constante extracción de nutrientes del suelo por los cultivos, es necesario reponerlos con la aplicación de fertilizantes se ha determinado como nutrimentos esenciales para los cultivos a los 16 elementos siguientes:

- a) C, O, H (muy importantes abundan en la atmosfera)
- b) N, P, K, Ca, Mg, S (macroelementos)
- c) Mn, Fe, B, Zn, Cu, Cl, Mb (microelementos)

De la relación anterior, en la agricultura convencional se ha generalizado la aplicación de los macroelementos primarios (N, P, K) y solo en casos específicos se aplican los otros elementos.

Para hacer una recomendación adecuada de fertilización es necesario realizar un diagnostico nutrimental con base en análisis de suelo, del follaje y pruebas en campo (Becerra, 2005).

Uso y conservación del agua: Junto con el suelo, el agua es el factor fundamental para la producción agrícola; por lo tanto, su buen uso y aprovechamiento son aspectos de gran importancia, tanto para optimizar el uso de este recurso limitado como también para evitar procesos de deterioro del suelo, buscando la conservación productiva de este.

Cuando la agricultura depende sólo de la precipitación, es necesario conocer las diversas características de la lluvia, de esta manera se puede planear el periodo de establecimiento de los cultivos.

Cuando la agricultura es de temporal generalmente se presentan las mayores pérdidas de suelo por erosión ya que al inicio de la temporada de lluvias el terreno se encuentra sin cobertura.

Es en la agricultura de riego es donde se tiene la oportunidad de hacer una adecuada planeación del establecimiento de los cultivos permitiéndonos proteger al suelo contra los agentes erosivos.

En síntesis la ventaja del buen uso y manejo del agua se deriva de los siguientes aspectos:

- a) Al mantener mojado el suelo se reduce la posibilidad de erosión eólica
- b) Con el riego adecuado se propicia el desarrollo de una cobertura vegetal que protege al suelo de ambos agentes de la erosión (Becerra, 2005).

Otra práctica recomendada para la parte alta de la microcuenca es la reforestación de bosques naturales con una especie nativa, en este caso se recomienda el encino (*Quercus spp*), ya que por su mayor adaptabilidad y rápida colonización que una especie introducida nos va a permitir reducir los riesgos de erosión del suelo además de conservar la diversidad genética de la región (CP, 2009).

Algunas consideraciones que se deben de tener en cuenta al realizar la reforestación son:

- Todas las plantas serán apuntaladas con estacas para sostenerlas y procurar un desarrollo recto
- Antes de hacer las cepas para las plantas se deberán retirar raíces, malezas, desperdicios o materiales indeseables que afecten la plantación de la vegetación
- Las plantas deberán ser regadas inmediatamente después de su plantación y durante el período de establecimiento.

- Los cuidados de las plantas durante ese período deben incluir revegetación, riego, ajuste de estacas, fertilización, control de plagas y enfermedades

El impacto medioambiental que esta práctica tendrá en la microcuenca se verá reflejado: en el mejoramiento de la biodiversidad, mejoramiento de la estructura y fertilidad de suelo, recarga de mantos acuíferos por infiltración de agua y principalmente el mejoramiento de la calidad de vida humana con la disponibilidad de madera para leña y productos secundarios.

Prácticas Mecánicas

Becerra en 2005, define que las prácticas mecánicas de conservación consisten en el movimiento del suelo y/o el material subyacente, realizados con propósitos de conservación de suelo y agua en terrenos con pendiente. Para su construcción se utilizan implementos agrícolas, maquinaria especial o mano de obra. Dichas prácticas tienen como objetivo principal:

- Reducir la erosión hídrica
- Reducir la magnitud y velocidad de los escurrimientos superficiales
- Favorecer la infiltración, e incrementar con ello la humedad disponible
- Desalojar los excedentes de agua a velocidades no erosivas
- Reducir la carga de sedimentos de los escurrimientos superficiales

Antes de diseñar las estructuras utilizadas en la conservación del suelo y agua, especialmente las prácticas mecánicas, se debe tener información sobre la época de lluvias y de los escurrimientos que se presentan en el área de la microcuenca. Para el diseño de las terrazas de formación paulatina, individuales o de banco, canales de desvío y otras estructuras usuales. Para resolver los problemas de erosión, es necesario estimar los escurrimientos máximos a diferentes periodos de retorno, tomando en cuenta la intensidad-duración de la precipitación, así como el tamaño y características de la microcuenca (CP, 1977).

La parte baja del área de estudio es utilizada con fines agrícolas, la mayor parte de esta es dedicada a la producción de temporal, aunque también se cuenta con una pequeña área de riego el cual es aplicado por medio de gravedad, por lo que las recomendaciones son las siguientes:

En la zona donde se tiene riego se recomienda el levantamiento de bordos con la finalidad de captar y aprovechar el agua lluvia, revestimiento de canales con concreto para evitar la pérdida de agua por medio de infiltración, nivelación de tierras con la finalidad de distribuir el agua de forma homogénea sobre el terreno evitando el arrastre de partículas y la formación de surcos.

En cuanto a la zona de temporal se recomienda llevar a cabo la práctica de surcado al contorno, terrazas de formación sucesiva.

Surcado al contorno: El surcado al contorno es una operación de labranza para el establecimiento de cultivos, que se realiza de forma perpendicular a la pendiente natural del terreno y siguiendo las curvas de nivel (CP, 2009).



Figura 11. Surcado al contorno. Fuente: CP, 2009

El Colegio de Postgraduados recomienda realizar esta práctica en terrenos dedicados a la agricultura con pendientes que van del 2 al 10%, en caso de que la pendiente sea mayor al 10% se recomienda combinarlo con otras prácticas.

No es recomendable para zonas con altas precipitaciones o donde los terrenos son muy arcillosos o descansan sobre un estrato impermeable, ya que en estas condiciones los excesos de agua pueden perjudicar el desarrollo de los cultivos. Los objetivos que tiene esta práctica son:

- Reducir la erosión laminar y en canalillos
- Reducir el transporte de sedimentos y otros contaminantes del agua
- Reducir la velocidad del escurrimiento superficial

- Promover la infiltración de agua en el suelo, y aumentar la humedad disponible para el crecimiento de las plantas
- Reducir los riesgos de formación de cárcavas y canalillos en terrenos con pendiente

El procedimiento para la localización y trazo del surcado al contorno es el siguiente (CP, 1977):

1. En el área de trabajo se localiza la línea de pendiente máxima y se marca con una estaca su punto medio.
2. A partir del punto señalado con la estaca inicial se marca la línea guía o curva de nivel por medio de estacas.
3. Posteriormente se trazan los surcos paralelos a la línea guía, hacia arriba y hacia abajo hasta cubrir toda el área.
4. En el caso de terrenos poco uniformes deben marcarse dos o más líneas guías de acuerdo al procedimiento descrito.

La separación que debe de existir entre cada línea guía está dada en función de la pendiente, como se muestra en el cuadro 26.

Cuadro 26. Distancia a que deben de trazarse las líneas guías en cultivos a nivel, según la pendiente del terreno.

Práctica mecánica	Pendiente media del terreno (%)	Distancia entre líneas guías (m)
Surcado al contorno	1-3	50
Surcado al contorno	3-5	40
Surcado al contorno	6-8	30
Complementada con otra práctica	8-10	20
Complementada con otra práctica	10-12	15
Complementada con otra práctica	12-15	10

Fuente: CP, 2008.

En cuanto a eficiencia se ha evaluado que permite reducir la erosión en 12% (Trueba, 1981).

Terrazas de formación sucesiva: Son terraplenes que se forman por el movimiento del suelo entre los bordos de tierra. Éstos detienen el suelo que proviene del área entre terrazas, construyendo un canal de desagüe aguas abajo del bordo, como se muestra en

la figura 11. Los objetivos y beneficios que se buscan con esta obra son los siguientes (CONAFOR, 2008):

Objetivos:

- Controlar la erosión laminar
- Interceptar los escurrimientos superficiales
- Propiciar la formación de terrazas
- Auxiliar a la reforestación en el incremento de la supervivencia de especies vegetales

Beneficios:

- Retienen suelo
- Favorecen una mayor retención de humedad
- Favorecen el desarrollo de especies forestales y vegetación natural
- Disminuyen la longitud de la pendiente y por tanto la erosión del suelo



Figura 12. Terrazas de formación sucesiva o paulatina. Fuente: CONAFOR, 2008.

Para realizar la construcción de terrazas de formación sucesiva se deben de seguir los siguientes pasos:

1. Medir la pendiente del terreno
2. Determinar el intervalo vertical y horizontal
3. Construir las terrazas de formación sucesiva

4. Compactar el bordo
5. Plantar especies forestales sobre el bordo

La pendiente es el grado de inclinación que presenta un terreno; una forma de conocer su valor es obteniendo el porcentaje de desnivel entre dos puntos, mediante el uso de equipo y aparatos topográficos. Una forma sencilla de estimar la pendiente de un terreno es a través del uso de aparatos de construcción manual, como el aparato “A” o el nivel de manguera, o bien con nivel de mano (CONAFOR, 2007).

Para medir la pendiente por medio del aparato “A” se siguen los siguientes pasos:

1. Hay que colocar el aparato “A” en el sentido de la pendiente.
2. Luego, hay que levantar poco a poco el extremo del aparato que se encuentra aguas abajo, hasta que la plomada marque el centro.
3. Se debe poner una vara, caña o palo recto cerca del extremo que se alzó.
4. Con un lápiz, hay que marcar sobre la vara la altura exacta a la que llegó el extremo del aparato “A”.
5. Tomar la cinta métrica y medir la altura en centímetros. El valor obtenido se divide entre 200 centímetros (distancia de la apertura del aparato) y se multiplica por cien. El resultado es la medida de la pendiente.
6. Si se realizan varias mediciones, se debe obtener un dato promedio que represente la pendiente del terreno, a partir de todas las lecturas realizadas. El promedio se obtiene sumando los valores de las mediciones efectuadas y esa cantidad se divide entre la cantidad de lecturas realizadas.

Una vez que se ha determinado la pendiente del terreno se procede a definir la distancia entre terrazas. El espaciamiento entre terrazas se calcula mediante la siguiente fórmula (BECERRA, 2009):

$$IV = \left(2 + \frac{P}{3 \text{ ó } 4} \right) \times 0.305$$

Donde:

IV = intervalo vertical (m).

P = pendiente del terreno (%).

3 = si la precipitación es menor de 1,200 mm de lluvia al año.

4 = si la precipitación es mayor de 1,200 mm de lluvia anuales.

0.305 = factor de corrección de unidades.

En el caso de la microcuenca La Concordia el intervalo vertical para la zona agrícola quedaría de la siguiente manera:

$$IV = \left(2 + \frac{8}{3}\right) \times 0.305$$

$$IV = \underline{\underline{1.42 \text{ m}}}$$

El intervalo vertical horizontal se calcula por medio de la fórmula que a continuación se describe:

$$IH = \frac{IV}{P} \times 100$$

En donde:

IH = intervalo horizontal (m).

P = pendiente del terreno (%).

100 = factor de conversión.

IV = intervalo vertical (m).

El intervalo horizontal para el área de estudio es el siguiente:

$$IH = \frac{1.42}{8} \times 100$$

$$IH = \underline{\underline{17.79 \text{ m}}}$$

Por consiguiente las terrazas de formación sucesiva para la parte baja de la microcuenca quedarán a un intervalo vertical de 1.42 m y un espaciamiento de 18 m entre terraza y terraza.

Una vez que se cuenta con el espaciamiento que abra entre terrazas se prosigue a ajustar su valor al ancho de la maquinaria a utilizar, con la finalidad de que no queden partes del terreno sin laboreo. El procedimiento es el siguiente:

Intervalo horizontal ajustado para un tractor con implemento de 4 surcos con una separación de 0.8 m entre cada uno.

$$\text{Ancho de implemento} = 4 \times 0.8 = \underline{\underline{3.2 \text{ m}}}$$

$$\text{Número de vueltas} = 17.79 / 3.2 = 5.5 \text{ vueltas} = \underline{\underline{5 \text{ vueltas}}}$$

$$IH_{\text{aj}} = \# \text{ de vueltas} \times \text{Ancho implemento}$$

$$IH_{\text{aj}} = 5 \times 3.2 = \underline{\underline{16 \text{ m}}}$$

A esta distancia se harán los surcos para evitar que parte del terreno quede sin laborearse.

Los metros lineales de terraza por hectárea se obtienen a partir de la siguiente fórmula:

$$m T ha^{-1} = 100 \times 100 / IH_{aj}$$

$$m T ha^{-1} = 100 \times 100 / 16.37$$

$$m T ha^{-1} = \underline{\underline{610.87 m}}$$

Una vez realizados los cálculos anteriores se procede a estimar la capacidad de almacenamiento de la terraza en litros por metro lineal con base al escurrimiento esperado, para lo cual se tiene que obtener el valor de “C” (coeficiente de escurrimiento) de la siguiente manera.

Cuadro 27. Valores del coeficiente “C” para el cálculo del escurrimiento.

Tipo de Vegetación	Topografía	Textura del suelo		
		Gruesa	Media	Fina
Bosque	Plano (0-5% pendiente)	0.10	0.30	0.40
	Ondulado (6-10% de pendiente)	0.25	0.35	0.50
	Escarpado(11-30% de pendiente)	0.30	0.50	0.60
Pastizales	Plano (0-5% pendiente)	0.10	0.30	0.40
	Ondulado (6-10% de pendiente)	0.16	0.36	0.55
	Escarpado(11-30% de pendiente)	0.22	0.42	0.60
Terrenos	Plano (0-5% pendiente)	0.30	0.50	0.60
Cultivados	Ondulado (6-10% de pendiente)	0.40	0.60	0.70
	Escarpado(11-30% de pendiente)	0.52	0.72	0.82

Fuente: Loredo *et. al.*, 2005.

A través del cuadro 27 y la información de uso actual de suelo se calcula el promedio ponderado que se muestra en el cuadro en 28 donde las superficies para cada condición se presentan en la columna 2; en la columna 3 se coloca el valor del coeficiente C obtenido en el cuadro 27; en la columna cuatro se obtiene el producto de la columna 2 por la 3 y en la columna cinco se obtiene el valor ponderado del coeficiente “C” para la microcuenca.

Cuadro 28. Cálculo del coeficiente de escurrimiento ponderado “C”.

Condiciones de la microcuenca	Superficie (ha) (col 1)	Coefficiente de escurrimiento (col 2)	col x col2	Valor de (C)
Bosque				
Escarpado de textura media	655.24	0.42	275.20	
Terreno cultivado				
Plano y ligeramente ondulado con textura media	6.45	0.33	2.12	
Plano y ligeramente ondulado con textura media	753.70	0.33	248.72	
Pastizales				
Escarpado de textura media	485.45	0.42	203.88	
Escarpado de textura media	87.67	0.42	36.82	
Escarpado de textura media	62.75	0.42	26.35	
Escarpado de textura media	635.25	0.42	266.80	
Plano de textura media	6.13	0.30	1.83	
Plano de textura media	10.72	0.30	3.21	
Plano de textura media	737.38	0.30	221.21	
Ondulado ligeramente escarpado	2942.49	0.39	1147.57	
Plano de textura media	20.15	0.30	6.04	
Plano de textura media	8.77	0.30	2.63	
Plano ligeramente ondulado de textura media	361.51	0.33	119.29	
Plano ligeramente ondulado de textura media	1097.78	0.33	362.26	
Plano de textura media	355.22	0.30	106.56	
Escarpado de textura media	96.34	0.42	40.46	
Escarpado de textura media	333.62	0.42	140.12	
TOTAL	8656.62		3211.07	0.37

Una vez que se tiene el valor de “C” se determina la capacidad de almacenamiento de la terraza en litros por metro lineal con base al escurrimiento esperado de la siguiente manera:

$$A = E \times Fe \times 10$$

Donde:

A= Capacidad de almacenamiento (Lm^{-1})

E= Espaciamiento entre terrazas (m)

Fe= CL

C= Coeficiente de escurrimiento (ponderado)

L= Lluvia máxima en 24 hrs (cm)

10 = Factor de ajuste de unidades

$$A = E \times C \times L \times 10$$

$$A = 16.37 \text{ m} \times 0.37 \times 12.9 \times 10$$

$$A = \underline{\underline{781.34 Lm^{-1}}}$$

A partir de este valor se selecciona en el cuadro 29 las dimensiones del bordo considerando la pendiente del terreno a fin de evitar el desbordamiento y ruptura del bordo.

Cuadro 29. Dimensiones y capacidad de almacenamiento de las terrazas de base angosta, cuando el material de préstamo se obtiene de las partes aguas arriba y aguas abajo (cm).

Pendiente %	H	B	H1	H2	Y1	Y2	Capacidad de almacenamiento Lm ⁻¹		
5	40	80	8	10	200	160	1307		
		90	10	10	180	180	1308		
		100	10	10	200	200	1309		
	45	90	10	12	202	169	1654		
		100	12	12	187	187	1655		
		110	12	14	206	177	1657		
	50	100	12	14	208	179	2042		
		110	14	16	196	172	2043		
		120	14	16	214	187	2045		
10	40	80	8	10	200	160	659		
		90	10	12	180	150	660		
		100	10	12	200	167	661		
	45	90	10	12	202	169	834		
		100	12	14	187	161	835		
		110	12	14	206	177	837		
	50	100	12	14	208	179	1029		
			110	14	16	196	172	1031	
			120	16	18	187	167	1032	
			45	90	10	12	202	169	560
				100	12	14	187	161	562
				110	14	16	177	155	563
50	100	12	14	208	179	692			
	110	14	16	196	172	693			
	120	16	18	187	167	695			
	55	110	16	18	189	168	837		
		120	18	20	183	165	839		
		130	18	20	199	179	841		
20	45	90	10	12	202	169	424		
		100	12	14	187	161	425		
		110	14	16	177	155	427		
	50	100	14	16	179	156	523		
		110	14	16	196	172	525		
		120	16	18	187	167	526		
	55	110	16	18	189	168	633		
		120	18	20	183	165	635		
		130	18	20	199	176	636		

Fuente: Loredó, *et.al.* 2005 (H = Altura de bordo; B = Base de bordo; H1= Profundidad de corte aguas arriba; H2= Profundidad de corte aguas abajo; Y1= Longitud de corte aguas arriba; Y2= Longitud de corte aguas abajo; Lm⁻¹ = Litros por metro lineal de bordo).

Para una pendiente del 8% se obtiene un bordo con una capacidad de almacenamiento de 1029 litros por metro lineal, el cual es muy superior a los 781.34 Lm⁻¹ esperados dándonos un margen de seguridad contra ruptura muy aceptable.

Las dimensiones que tendrán los bordos se muestran en el cuadro 30.

Cuadro 30. Especificaciones de construcción (dimensiones del bordo de terraza)

Literal	Significado	Valor estimado
CA	Capacidad de almacenamiento del bordo	1029 Lm ⁻¹
H	Altura del bordo	0.50m
B	Base del bordo	1.0m
H ₁	Profundidad de corte aguas arriba	0.12m
Y ₁	Longitud de corte aguas arriba	2.08m
H ₂	Profundidad de corte aguas abajo	0.14m
Y ₂	Longitud de corte aguas abajo	1.79m

Fuente: Loredo *et. al.*, 2005

El proceso de construcción de las terrazas es el siguiente:

1. Se hace el levantamiento topográfico del terreno con las curvas a nivel de acuerdo al intervalo horizontal calculado. En el gabinete se ajustan las curvas para hacer las terrazas paralelas entre sí.
2. De acuerdo al plano de curvas a nivel ya ajustadas, éstas se marcan en el campo con cal o con estacas.
3. Se procede al levantamiento del bordo con maquinaria. Esto consiste en la remoción del suelo sobre la curva a nivel ya corregida con arado de discos o con bordero, formando un bordo con una altura de 50 cm. El material de préstamo se toma aguas arriba y aguas abajo con una base de 1.20 cm.
4. Afinado de la terraza: consiste en la conformación y semicompactación del bordo para darle forma trapezoidal respetando las alturas de los diseños calculados. Generalmente se le dan 15 cm de corona a los bordos; el afinado de la terraza se hace con mano de obra (Loredo *et. al.*, 2005).

En las zonas agrícolas de la microcuenca se recomienda combinar las terrazas de formación sucesiva con la práctica de plantación de barreras vivas con nopal o maguey, los cuales se sembrarán sobre los bordos de las terrazas, con el propósito de controlar la

erosión generada por el uso de maquinaria agrícola. Los beneficios que genera esta práctica son:

- Retienen la tierra que arrastra el agua, dejando pasar solamente el agua que corre.
- Proporcionan beneficios en pastos, leña, alimento para animales y humanos y funcionan para el mejoramiento del suelo.
- Evita, a largo plazo, la pérdida de fertilidad de los suelos.

Además de los beneficios anteriores, el maguey y el nopal son capaces de generar ingresos extras a los productores, por parte del maguey se puede obtener pita, henequén, mezcal o forraje y del nopal se obtiene la venta de tuna, nopal en verdura y la producción de grana cochinilla (*Dactylopius coccus*) (CP, 2009).

La parte alta de la microcuenca se ve afectada por un grado de erosión muy alto ($>200 \text{ t ha}^{-1}$), por lo que es importante poner en práctica obras de conservación que nos permitan reducir este efecto, algunas de las obras más apropiadas son: tinajas ciegas o zanjas trincheras, barreras de piedra en curvas a nivel y la formación de presas para el control de la erosión en cárcavas.

Tinajas ciegas: El Colegio de Postgraduados en 2009 define esta obra como zanjas rectangulares de 2 m de longitud, 0.5 m de base y 0.5 m de profundidad, y un volumen de captación de agua de 0.5 m^3 por tina como se muestra en la figura 12, las tinajas ciegas deben de ser construidas siguiendo las curvas de nivel, que captan la escorrentía y conservan la humedad para los árboles o plantaciones forestales. Las tinajas pueden construirse en forma continua a través de toda la ladera, sobre distancias más cortas, o para plantas individuales. Se recomienda dejar entre tina y tina una distancia de 0.80 m, con la finalidad de tener un control más eficiente de los escurrimientos.

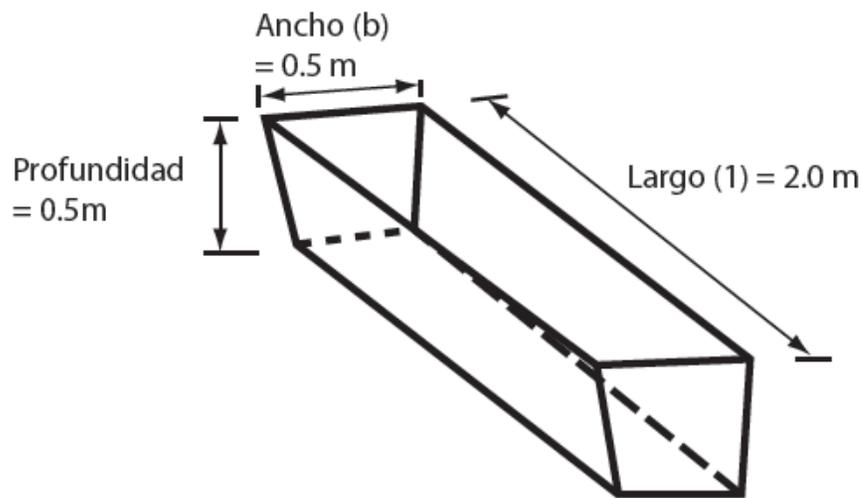


Figura 13. Dimensiones y diseño de las tinajas ciegas. Fuente: CP, 2009.

Esta obra se recomienda principalmente para regiones áridas o semiáridas donde la precipitación no es muy alta, en las laderas desprovistas de vegetación de una cuenca hidrográfica donde se planea realizar una reforestación, en regiones donde es necesario favorecer la infiltración del agua en el suelo y la recarga de mantos acuíferos, para el control de avenidas que generen problemas de inundaciones y/o la acumulación de sedimento en las partes bajas de una cuenca y para el desarrollo de huertos en terrenos de ladera.

Los principales objetivos que tiene esta práctica son:

- Control de la erosión hídrica para evitar riesgos de erosión severa que produzcan mayores pérdidas de suelo y arrastre a las partes bajas de la cuenca.
- Control de los escurrimientos en forma ordenada disminuyendo el riesgo de avenidas que generen inundaciones con las consiguientes pérdidas económicas.
- Almacenamiento de agua para la recarga que permita aportar cantidad y calidad a los mantos acuíferos.
- Favorecer la infiltración y almacenamiento de agua en el suelo para el uso de las plantas o de los cultivos forestales.
- Controlar la erosión en laderas con cobertura vegetal deteriorada que requieren repoblación.

Antes de diseñar un sistema de tinas ciegas se debe determinar la pendiente media del sitio donde se van a construir, levantar información de campo con las características del sitio (tipo de suelo, tipo y densidad de vegetación, topografía, pedregosidad y uso actual del suelo), estimar el espaciamiento vertical y horizontal con el procedimiento que describe Becerra en 2009, estimar el escurrimiento máximo que se tiene en el sitio con objeto de que las tinas no sufran rompimientos y estimar escurrimiento medio para el cálculo de llenado de la tina. Una vez recopilada la información anterior el procedimiento para el diseño de las tinas ciegas es el siguiente:

- Con base a los escurrimientos se proponen las dimensiones de las tinas ciegas y se calculan los espaciamientos considerando la pendiente del terreno y lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno de al menos 5 años.
- Se dibujan el diseño tipo de la tina y el plano del sitio para ubicar y trazar las líneas guías de acuerdo con el espaciamiento horizontal.

Para la obtención del intervalo horizontal, primero se debe obtener el intervalo vertical el cual se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$IV = \left(2 + \frac{P}{3 \text{ ó } 4} \right) \times 0.305$$

Donde:

IV = intervalo vertical (m).

P = pendiente del terreno (%).

3 = si la precipitación es menor de 1,200 mm de lluvia al año.

4 = si la precipitación es mayor de 1,200 mm de lluvia anuales.

0.305 = factor de corrección de unidades.

$$IV = \left(2 + \frac{8}{3} \right) \times 0.305$$

$$IV = \underline{\underline{1.42 \text{ m}}}$$

Una vez que se obtiene el intervalo vertical, este dato es usado para calcular el intervalo horizontal aplicándolo en la fórmula que se muestra a continuación:

$$IH = \frac{IV}{P} \times 100$$

En donde:

IH = intervalo horizontal (m).

P = pendiente del terreno (%).

100 = factor de conversión.

IV = intervalo vertical (m).

El intervalo horizontal para el área de estudio es el siguiente:

$$IH = \frac{1.42}{8} \times 100$$

$$\mathbf{IH=17.79\ m}$$

De acuerdo a la medida y el volumen de las tinas ciegas se concluye que se tendrían 5 líneas por hectárea, en las cuales habrá 35 tinas por línea teniendo un total de 175 tinas ciegas por hectárea y $87.5\ m^3$ de volumen excavado.

$$100 / 2.8 = \mathbf{35.7\ tinas\ ciegas}$$

$$5 \times 35 = \mathbf{175\ tinas\ ciegas\ ha^{-1}}$$

$$175 \times 0.5m^3 = \mathbf{87.5\ m^3ha^{-1}}$$

Barreras de piedra en curvas a nivel: Las barreras de piedra son un conjunto de rocas colocadas de manera lineal en curvas a nivel y de manera perpendicular a la pendiente para retener suelo en zonas con presencia de erosión. Se deben implementar en terrenos con presencia de erosión hídrica laminar, es decir, donde exista evidencia de arrastre de partículas de suelo en forma de capas en la superficie, debido a la escasa cubierta vegetal y a la inclinación del terreno. Normalmente se utiliza una sección cuadrangular de 30 centímetros x 30 centímetros, las cuales van a servir para disminuir la velocidad de escurrimientos en terrenos de ladera, coadyuvar al establecimiento de la vegetación forestal, retener suelo en zonas con erosión laminar y propiciar la infiltración de agua (CONAFOR, 2008).



Figura 14. Barreras de piedra en curvas a nivel. Fuente: CONAFOR, 2008.

Los beneficios que genera esta obra son:

- Aumentan la cantidad de agua infiltrada.
- Disminuyen la erosión hídrica laminar.
- Favorecen la disponibilidad de agua para vegetación forestal.
- Mejoran la calidad del agua.

El proceso de construcción de las barreras de piedra en curvas a nivel es el siguiente:

1. Se inician los trabajos en la parte más alta de la zona, para lo cual se debe recoger, acarrear y distribuir la piedra a lo largo de las curvas a nivel previamente trazadas.
2. Se abre una zanja de 10 centímetros de profundidad para cimentar y dar estabilidad a la barrera.
3. Luego, se procede a colocar las rocas de tal manera que se forme una barrera cuadrangular de 30 centímetros de alto por 30 centímetros de grosor.
4. El suelo producto de la excavación de la zanja se arrima a la barrera de piedras para rellenar los huecos que quedan al realizar el acomodo. Los residuos de materiales vegetales también pueden incorporarse a la barrera.
5. Las rocas se deben colocar de tal modo que las caras más planas queden hacia afuera, principalmente las que van a estar en contacto con los sedimentos

6. Para estimar la cantidad total de sedimentos se procede a determinar la pendiente del terreno, la cual, junto con la altura de la barrera y aplicando la fórmula de pendiente, sirve para establecer la distancia horizontal a la cual llegarán los azolves cuando la barrera alcance su máxima capacidad de retención para lo cual fue diseñada.
7. Se forma un triángulo rectángulo, al que se le debe calcular el área. Esta cantidad se multiplica por la densidad aparente y se obtiene así el peso del suelo retenido por cada metro lineal de barrera.

En el cuadro 31 se muestran los valores de densidad aparente correspondientes para cada textura de suelo.

Cuadro 31. Textura del suelo y densidad aparente.

Textura del suelo y densidad aparente	
Textura del suelo	Densidad aparente (gramos cm⁻³)
Arena	1.6
Franco arenoso	1.5
Franco	1.4
Franco limoso	1.3
Franco arcilloso	1.2
Arcilloso	1.1

Fuente: CONAFOR, 2008.

Para el control de la erosión en cárcavas se recomienda realizar obras como son las presas, las cuales se pueden construir de diferentes materiales según sea la disponibilidad de estos y la profundidad y pendiente de la cárcava. Las presas de troncos, ramas, geocostales y llantas se recomiendan para cárcavas pequeñas y angostas, donde por lo general las pendientes son menores al 35% y donde la altura total de la estructura no excede los 1.5 m y el área de aporte de los escurrimientos es menor a las 10 hectáreas.

Cuando las características de la cárcava sobrepasan las dimensiones antes mencionadas se recomienda la construcción de esta a partir de materiales más resistentes como es el caso de la presa de alambre electrosoldado o ciclónica, la presa de gaviones y presa de mampostería.

Presa de alambre electrosoldado o ciclónica: Son estructuras intermedias en cuanto a su uso y costo, por lo que representan una alternativa viable en lugares donde las presas de piedra acomodada no resisten los embates de la escorrentía o donde las presas de gaviones se consideran muy costosas para el tamaño de las cárcavas.

Las presas de alambre electrosoldado son útiles para controlar la erosión, reducir la velocidad de la escorrentía, impedir el crecimiento de las cárcavas y retener azolves.

Se recomienda construirlas a una altura entre 1.20 y 3 metros. Se distribuyen con el criterio de doble espaciamiento, es decir, al doble de distanciamiento de pie a cabeza y el empotramiento se debe hacer con medidas promedio de 40 a 50 centímetros a los lados y cimentarse en el fondo, pero si el suelo es muy arenoso, se debe empotrar hasta el piso firme o hasta 70 centímetros para que el agua no derribe la obra. La corona quedara al nivel original del suelo si la presa se construye a la altura de la profundidad de la cárcava, mientras que el vertedor deberá de medir un tercio del ancho de la presa y una cuarta parte de su altura y ser ubicado donde pasa la corriente principal para evitar que el agua destruya la presa. Una vez realizadas las obras anteriores se construirá el delantal, el cual se forma aguas abajo acomodando piedra que formen una calzada para amortiguar la caída de agua desalojada por el vertedor.



Figura 15. Presa de alambre o malla electrosoldada. Fuente: CONAFOR, 2007.

El proceso de construcción es siguiente:

1. Se mide el ancho de la cárcava y, de acuerdo con esta medida, se excava a los lados y hacia el fondo para empotrar la presa.
2. Se define el largo de los cajones.
3. Se cosen las orillas de la malla para obtener un cajón completo, dejando un lado sin coser el cual servirá como tapa del cajón y se cosera una vez que sea llenado con piedras.
4. El cajón vacío se coloca dentro de la zanja excavada al fondo de la cárcava y se rellena con piedras; el acomodo de las piedras debe ser de tal forma que las caras más planas queden a los costados del cajón.
5. Al momento de llenar los cajones, hay que colocar tensores a la mitad de la altura del cajón, así como a lo ancho, esto es, cada 50 centímetros aproximadamente.
6. Una vez que se ha llenado el cajón, se procede a coser la tapa para cerrarlo.
7. Se debe de dejar un espacio del ancho de la presa en el tercio medio o por donde pase la corriente principal con la finalidad de que sirva como vertedor.
8. Después de colocar todos los cajones, se debe construir un delantal el cual disipara la energía causada por la caída del agua.

Una vez realizadas las obras anteriores es importante conservarlas en buen estado, pues de no hacerlo se corre el riesgo de que las obras fallen en su objetivo o terminen por destruirse con el paso del tiempo por falta de mantenimiento; es por eso que se recomienda concientizar y capacitar a los productores del área de estudio sobre la importancia de cuidar y mantener las obras realizadas con la finalidad de que se logren los propósitos a corto y largo plazo.

Recomendaciones para el Manejo de Pastizales

En la microcuenca gran parte del territorio es ocupada por asociaciones especiales de vegetación y pastizal natural (7,178.5 ha) donde el manejo de la cubierta vegetal es una excelente opción para reducir la erosión, además de ayudar a aumentar la producción del sitio al mejorar aspectos como textura y cantidad de materia orgánica del suelo.

La actividad pecuaria es la actividad principal para los productores de la microcuenca La Concordia, aun cuando la mayoría de ellos la combinan con actividades agrícolas. El 83% del área de la microcuenca es apta para la ganadería teniendo como principal limitante el mal estado de los pastizales y las áreas de asociaciones especiales de vegetación, debido a que no se cuenta con un manejo adecuado del ganado.

Las principales especies ganaderas explotadas en el área son los bovinos generalmente criollos y los caprinos encastados con la raza Nubia de los cuales se obtienen subproductos como son: la leche, quesos, cabrito, etc.

El manejo que se le da al ganado es muy limitado ya que se carece de asistencia técnica o asesoramiento. En general el ganado se mantiene en el agostaderos durante los meses de junio a enero a libre pastoreo disponiendo de todo el forraje en la zona, únicamente durante la temporada de estiaje es cuando algunos productores complementan la alimentación de estos a base de raciones proteico-energéticas que ellos mismos elaboran a base de pollinaza, rastrojo, alfalfa, mezquite, melaza, maíz, sorgo, maguey y nopal chamuscado.

En cuanto a la producción de forraje las principales especies de gramíneas que se tienen en el área son: Navajita banderilla (*Bouteloua curtipendula*), Navajita velluda (*Bouteloua hirsuta*), Pajitas (*Setaria paniculata*), (*Setaria macrostachya*), Panizo aserrín ó Vasey (*Panicum hallii*); mismas que se encuentran muy degradadas o con una escasa cobertura sobre el terreno, debido generalmente a la falta de actividades u obras que permitan el rebrote y germinación de las gramíneas, de esta manera podrían incrementar la cobertura de especies forrajeras y por consecuencia la producción del sitio.

Por lo anterior descrito se puede observar que uno de los principales generadores de erosión en la zona es el mal manejo de la actividad pecuaria, ya que al sobrepastorear los agostaderos se reduce la cobertura vegetal teniendo como consecuencia una mayor erosión dada por distintos factores entre los que destacan el impacto de la gota de lluvia directamente sobre el suelo y el arrastre de partículas a mayor velocidad tanto por el agua como por el viento.

Según la Secretaria de Agricultura y Ganadería, a través de la Comisión Técnico Consultiva para la determinación regional de los coeficientes de agostadero del estado de San Luis Potosí, la microcuenca La Concordia del municipio de Armadillo de los

Infante se encuentra representada por el sitio Dgn 62, el cual esta descrito como matorral crasirosulifolio espinoso localizado en la región boreal central, en la planicie occidental, en las serranías meridionales; en las llanura de rio verde y sierra madre oriental; ocupando parte de los municipios de Guadalcázar, Cedral, Vanegas, Matehuala, Guadalupe, Ciudad del Maíz, Alaquines, La Paz, Charcas, Catorce, Villa Hidalgo, Venado, San Luis Potosí, Moctezuma, Cerritos, Salinas y Santo Domingo; se encuentra adyacente a los siguientes tipos de vegetación: pastizal mediano arbosufrutescente, al matorral crasicauale, al matorral inerme parvifolio, al bosque esclerófilo, al matorral alto subinerme, al bosque aciculifolio, al pastizal amacollado abierto y al pastizal halófito abierto. La vegetación se compone de las siguientes especies: Lechuguilla (*Agave lechuguilla*), Sotol (*Dasyilirion texanum*), Guapilla (*Hechtia glomerata*), Espadin (*Agave suriata*), Biznaga burra (*Echinocactus palmeri*), Biznaga colorada (*Ferocactus pringlei*), Biznaga de dulce (*Echinocactus visnaga*), Palo de tarugo (*Bernardia myricaefolia*), Quebradora (*Lippia alba*), Granjeno (*Celtis padilla*), Nopales (*Opuntia spp*), Navajita banderilla (*Bouteloua curtipendula*), Navajita velluda (*Bouteloua hirsuta*), Pajitas (*Setaria paniculata*), (*Setaria macrostachya*), Panizo aserrín ó Vasey (*Panicum hallii*).

Este sitio bajo una condición buena y en años de precipitación normal tiene una producción de forraje utilizable de 220 kg por hectárea con base a materia seca.

Considerando que el área de estudio tienen un nivel de erosión muy fuerte en su parte más alta la cual no es usada para la agricultura si no con fines pecuarios, es necesario realizar la delimitación y rotación de potreros además de una buena planeación de la carga animal, ya que a través de estas prácticas permitimos mantener y mejorar la condición de los pastizales y de la vegetación existente, permitiéndonos tener sistemas de producción sostenibles aumentando la producción animal si deteriorar el ambiente.

En las áreas de agostadero donde su condición es muy pobre, se recomienda aplicar técnicas de rehabilitación y resiembra de pastizales y gramíneas además de establecer arbustivas forrajeras con el apoyo de estructuras de retención de humedad. Es necesario considerar la propagación con especies nativas, con la finalidad de que tengan mayores ventajas de adaptación al sitio, dichas especies deben de cumplir con las siguientes características (Beltrán *et al.*, 2005):

- Adaptadas al sitio

- Tolerante a la sequia
- Productividad alta
- Valor nutritivo alto
- De fácil establecimiento
- Agresiva (no invasora)
- Resistente al pastoreo
- Buena aceptabilidad por el ganado

Según (Beltrán *et al.*, 2005) las especies más aptas para esta práctica que han mostrado ser sobresalientes para aumentar la producción de forraje en las zonas áridas y semiáridas se presentan en el cuadro 32.

Cuadro 32. Principales especies recomendadas para la rehabilitación de agostaderos de zonas áridas y semiáridas.

Tipo	Origen	Nombre común	Nombre científico
Gramínea	Nativa	Banderilla	<i>Bouteloua curtipendula</i>
Gramínea	Nativa	Navajita	<i>Bouteloua gracilis</i>
Gramínea	Nativa	Gigante	<i>Leptochloa dubia</i>
Gramínea	Nativa	Tempranero	<i>Setaria machrostachya</i>
Gramínea	Introducida	Buffel	<i>Cenchrus ciliaris</i>
Gramínea	Introducida	Klein	<i>Panicum coloratum</i>
Gramínea	Introducida	Llorón	<i>Eragrostis curvula</i>
Gramínea	Introducida	Rhodes	<i>Chloris gayana</i>
Gramínea	Introducida	Garrapata	<i>Eragrostis superba</i>
Arbustiva	Nativa	Chamizo	<i>Atriplex canescens</i>
Arbustiva	Nativa	Guajillo	<i>Acacia berlandieri</i>
Arbustiva	Nativa	Ramoncillo	<i>Dalea tuberculata</i>
Arbustiva	Nativa	Vara dulce	<i>Eysenhartia polystachya</i>
Arbustiva	Nativa	Mariola	<i>Parthenium incanum</i>
Arbustiva	Introducida	Numularia	<i>Atriplex nummularia</i>
Arbustiva	Introducida	Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i>
Arbórea	Introducida	Morera	<i>Morus alba</i>
Arbórea	Nativa	Mezquite	<i>Prosopis sp</i>

Fuente: Beltrán *et al.*, 2005.

Con base a lo antes mencionado se asume que se necesitan implementar obras y prácticas que permitan restaurar y mejorar la condición del sitio como son: construcción de cercos perimetrales, división de potreros, distribución de saladeros y bebederos, ajuste de la carga animal, rotación de potreros y rehabilitación de pastizales.

Cercos perimetrales de potreros: Son cercas de protección que permiten evitar el libre tránsito del ganado en el agostadero, construidas a base de alambre de púas sujeto a postes.

Su objetivo principal es delimitar los agostaderos para impedir el sobrepastoreo, así como también evitar el pastoreo y pisoteo de los animales en áreas reforestadas, bordos de almacenamiento y áreas de recarga de manantiales. Para la instalación de un cerco perimetral se necesita contar con un plano para tomar los límites de la propiedad, localizar los bordos, vados, caminos, arroyos y áreas reforestadas.

Para el caso del ganado bovino los cercos se construyen con 1.5m de altura con una separación entre poste y poste de 2 a 3 m, se utilizan 5 hilos de alambre de púas galvanizado con un espaciamiento ente ellos de 30 cm (CP, 2009).

Cercos para división de potreros: Son construidos generalmente de alambres de púas, aunque en ocasiones pueden ser de algún otro material como piedras o palos según sea su disposición en el lugar; se construyen con la finalidad de delimitar potreros para con esto poder ajustar la carga animal e implementar programas de rotación de potreros.

Para la construcción de las divisiones se debe tomar en cuenta el número total de hectáreas, condición del pastizal o agostadero, distribución del agua, pendiente y la especie que se explotara; la construcción es la misma a la de los cercos perimetrales.

Distribución de saladeros y bebederos: Esta práctica se utiliza para distribuir el ganado de manera uniforme sobre el agostadero, ya que estos sirven para atraer el ganado a áreas que no hayan sido pastoreadas, solo hay que cuidar que el agua no se encuentre muy retirada, sino el ganado dejara de beber agua y como consecuencia se tendrá la pérdida de peso. El Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, recomienda que las distancias entre bebederos sean de: 400 a 800 m en zonas montañosas, de 600 a 1,200 m en lomeríos y de 1,200 a 1,600 m en terrenos planos (UGRNL).

Ajuste de la carga animal: Es una práctica fundamental para el manejo sustentable de las tierras de pastoreo, la cual consiste en estimar el número de unidades animal que puede soportar un sitio o explotación de acuerdo a la disponibilidad de recursos forrajeros.

La utilización de una adecuada carga animal en el agostadero permite la recuperación de la vegetación, favorece la cosecha de agua lluvia, contribuye a reducir la erosión, mejora la productividad del ganado, disminuye costos de producción y reduce los costos por concepto de suplementos alimenticios ya que se dispone de forraje de calidad.

La carga animal hace referencia al número de cabezas de ganado que pastorean en una superficie determinada sin considerar la época del año y los daños a la vegetación, es por eso que se debe estimar la capacidad de carga animal en praderas y pastizales con el fin de que exista un equilibrio entre la producción de forraje y la explotación del sitio. Para poder estimar la capacidad de carga animal se debe de contar con la siguiente información:

- Número de potreros
- Tipos de vegetación
- Superficie por potrero y tipo de vegetación existente
- Total del forraje disponible en la explotación
- Factor de uso de las principales especies forrajeras
- Forraje utilizable
- Composición del hato (vacas, vaquillas, becerras, becerros, toros)
- Especie y número de animales (bovinos, ovinos, caprinos)
- Peso promedio de los animales
- Consumo diario de forraje por tipo animal
- Requerimiento total de forraje por el ganado

A continuación se hace referencia al procedimiento para estimar la capacidad de carga en un predio:

1. Estimar la disponibilidad de forraje.
2. Estimar consumo voluntario de forraje
3. Estimar las equivalencias de unidad animal
4. Determinar el tiempo de pastoreo

Disponibilidad de forraje: Para determinar la cantidad de forraje disponible en un predio ganadero se deben conocer los límites del predio, número y superficie de los

potreros y la distribución de la vegetación, una vez que se cuenta con los datos básicos se procede a estimar el forraje disponible de la siguiente manera.

1. Se toman muestras mediante el uso de cuadrantes de 1m², los cuales se distribuyen al azar en el área seleccionada.
2. El forraje dentro del cuadrante se corta al ras de suelo, sin dañar la planta.
3. La recolección de muestras se debe hacer en temporada de lluvias y de sequía, con la finalidad de tener un panorama general de la distribución del forraje a través del año.
4. El forraje colectado se coloca en bolsas de papel y se pone a secar, ya sea al aire libre o mediante el uso de hornos.
5. Una vez que se hayan secado las muestras, se pesan y se obtiene el peso promedio, el cual se multiplica por 10,000 m² que corresponden a una hectárea y se divide entre mil para estimar la producción de forraje en Kg de MS ha⁻¹.
6. A la producción total de forraje estimada se le aplica el factor de uso, el cual va a depender de la condición del pastizal.

Consumo voluntario de forraje: La estimación del consumo de forraje por unidad se obtiene al multiplicar el peso vivo del animal por 3%.

Equivalencias de unidad animal: Se refiere al ajuste que se requiere para estimar adecuadamente los requerimientos de forraje diario de las diferentes especies. En el cuadro 33 se muestran las equivalencias de unidad animal para las diferentes especies.

Cuadro 33. Equivalencias en unidades animal para varias especies en diferentes etapas de producción.

Tipo de ganado	Unidad animal
Vaca de 450 kg de peso con su cría al pie	1.00
Toro adulto mayor de dos años de edad	1.25
Cría destetada de 8 a 12 meses de edad	0.60
Novillo y novillona de 12 a 24 meses de edad	0.75
Oveja con cría	0.20
Cabra con cabrito	0.17
Cordero o cabrito destetado de hasta seis meses de edad	0.12
Sementales ovinos o caprinos	0.26
5 colmenas	1.0

Fuente: PROGAN, 2010

Tiempo de pastoreo: hace referencia al tiempo de permanencia del ganado en el agostadero o potrero, el pastoreo continuo considera los 12 meses del año.

El cálculo aproximado para la capacidad de carga de la microcuenca La Concordia se muestra a continuación:

Datos:

Sitio = Dgn 62

Superficie = 7,178.5 ha

Producción de forraje utilizable Con base a MS = 220 kg ha⁻¹

Porcentaje de consumo animal = 3% P.V

Procedimiento:

$$(7178.5 \text{ ha}) (220 \text{ kg ha}^{-1}) = 1,579,270 \text{ kg MS}$$

$$(450 \text{ kg PV}) (3\%) (365) = 4,927.5 \text{ kg UA}^{-1} \text{ año}^{-1}$$

$$(1,579,270 \text{ kg MS}) / (4,927.5 \text{ kg UA}^{-1} \text{ año}^{-1}) = \mathbf{320.5 \text{ UA en } 7178.5 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}}$$

$$(7178.5 \text{ ha}) / (320.5 \text{ UA}) = 22.39 \text{ ha}^{-1} \text{ UA}^{-1}$$

En el cuadro 34 se presentan los resultados obtenidos anteriormente.

Cuadro 34. Resultados de estimación de carga animal.

Concepto	Sitio
Superficie (Hectáreas)	7178.5
Forraje utilizable (kg de MS) en el sitio	1,579,270
Consumo de (kgMS UA ⁻¹ año ⁻¹)	4,927.5
Capacidad de Carga Animal (UA año ⁻¹)	320.5
Coefficiente de Agostadero (ha UA ⁻¹ año ⁻¹)	22.39

Con base a las equivalencias que propone el PROGAN en 2010 se muestra el ajuste para las diferentes especies en la microcuenca La Concordia (Cuadro 35).

Cuadro 35. Ajuste de las unidades animal para la microcuenca La Concordia.

Tipo de ganado	UA	Ajuste de UA para el sitio
Vaca de 450 kg de peso con su cría al pie	1.00	320
Toro adulto mayor de dos años de edad	1.25	256
Cría destetada de 8 a 12 meses de edad	0.60	533.3
Novillo y novillona de 12 a 24 meses de edad	0.75	426.6
Oveja con cría	0.20	1600
Cabra con cabrito	0.17	1882.35
Cordero o cabrito destetado de hasta 6 meses de edad	0.12	2666.66
Sementales ovinos o caprinos	0.26	1230.76
1 colmena	0.20	1600

Con base a los cálculos de ajuste de carga animal para el área de la microcuenca destinada a la actividad pecuaria se procede a diseñar un sistema de rotación de potreros el cual Beltrán, *et. al.* en 2005 lo definen como: un sistema de pastoreo basado en alternar el uso con el descanso del agostadero, orientando las estrategias para obtener la máxima producción animal por hectárea, cuidando al mismo tiempo, conservar los recursos naturales

El pastoreo rotacional permite controlar la carga animal y se basa en:

- Dividir el agostadero en varios potreros.
- Respetar la Capacidad de Carga Animal recomendada para cada potrero.
- Respetar el tiempo óptimo de permanencia del ganado en cada potrero.
- Pastorear todo el hato o rebaño en un solo potrero a un mismo tiempo.

Esto permite que la vegetación tenga un periodo de recuperación entre ciclos de pastoreo, se induce la resiembra natural, se estimula la producción de forraje, y se mantiene la producción animal a través de los años.

Para poder implementar un sistema de pastoreo rotacional es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Circular el agostadero
2. Determinar el número de potreros en que se dividirá el agostadero. (El número de potreros en que se debe dividir un agostadero depende de las características particulares de los distintos sitios.)

3. Determinar la capacidad de carga de cada potrero.
4. Determinar el tiempo óptimo de pastoreo de cada uno.

Todas estas prácticas en conjunto nos permiten mejorar las condiciones del agostadero obteniendo una mayor producción del sitio sin que esto repercuta en la conservación de los recursos naturales.

DISCUSIÓN

Con la descripción de la microcuenca La Concordia de Armadillo de los Infante, S.L.P., se puede observar que esta afronta graves problemas de erosión hídrica, siendo estos irreversibles en el corto plazo, en su mayoría se debe a la pérdida de cobertura vegetal y mal manejo del suelo.

En cuanto a las características sociodemográficas la microcuenca La Concordia cuenta con 1434 habitantes, de los cuales 470 se encuentran económicamente activos representando 32.77% de la población total, el 69.66% de la población total tiene algún grado de escolaridad aunque por lo general este es bajo. La alimentación de la población se basa en los productos primarios como maíz, frijol, huevo, tortilla y derivados de leche ya que el bajo nivel económico no les permite consumir carnes muy a menudo. En la microcuenca se tienen necesidades de servicios médicos muy altas ya que se carece casi totalmente de estos debido a que únicamente hay una casa de salud a la cual casi no asiste el personal responsable por lo que en caso de alguna enfermedad el afectado se debe de trasladar a la cabecera municipal ocasionando gastos en la economía de las familias, la población de la microcuenca cuenta con los servicios básicos de agua y luz, pero en su mayoría carecen de un sistema de drenaje.

El clima que se tiene es subtipo semiseco – semicálido, con una temperatura media anual mayor a 18 °C y una precipitación total anual de 400 a 700 mm concentrándose en el verano mientras que en invierno el porcentaje de precipitación es de 5 y 10.2 %.

La microcuenca la concordia es de tipo endorreica o lacustre, teniendo una red de drenaje efímera y un modelo de drenaje de tipo dendrítico.

En cuanto a la geología de la microcuenca está compuesta por rocas sedimentarias principalmente caliza, conglomerado, brecha y lutita arenisca; con rocas ígneas extrusiva acida, riolita y basalto y por la formación de suelos de tipo residual, aluvial y piamonte.

Las partes más elevadas de la microcuenca se encuentra al este con 2000 msnm, disminuyendo al oeste hasta los 1500 msnm, los suelos que predominan en la microcuenca son: litosol con 65.3%, chernozem con 16.1%, phaeozem con el 11.7%,

Rendzina con 3.6% y en último lugar los suelos vertisol con 3.1%, por lo que la explotación agrícola en la microcuenca se ve limitado por los tipos de suelo.

El uso potencial que se le puede dar a las tierras de la microcuenca va de la clase I en las tierras de riego y de la clase IV al VII en las tierras que no cuentan con riego. De acuerdo a lo anterior las recomendaciones de manejo son las siguientes:

Tierras de riego, abarcan una superficie de 200 ha comprendiendo 2.31 %, de la superficie de la microcuenca. En esas condiciones se requiere uso eficiente del agua de riego, manejo de la nutrición vegetal prácticas como cultivo de cobertera, abonos verdes, cultivos en fajas, entre otros.

Clase IV, abarcan una superficie de 2518.87 hectáreas comprendiendo un 29% de la superficie total; las cuales son destinadas a la agricultura de temporal, con limitaciones por suelo y clima, para las cuales se recomienda seleccionar los cultivos a establecer de acuerdo a los requerimientos que ofrece la zona, implementar labranza de conservación para evitar un mayor deterioro del terreno y llevar a cabo otras prácticas vegetativas como la rotación de cultivos, incorporación de materia orgánica y cultivos en contorno, así como la fertilización química anual con la finalidad de mejorar las características del suelo y obtener mayores rendimientos. Debido a que la mayoría de los productores combinan actividades agrícolas y ganaderas se recomienda que estas tierras se dediquen a la producción de forrajes mediante una reconversión productiva (Loredo *et al.*, 1998).

Clase VI, ocupa el 1.43% de la superficie de la microcuenca con 124.40 hectáreas; son terrenos aptos para la actividad pecuaria ya que presenta fuertes limitaciones para la agricultura principalmente por el suelo, en esta área se recomienda la delimitación de potreros con la finalidad de ajustar la carga animal a una capacidad aceptable para que de esa forma se diseñe un sistema de rotación de potreros para mejorar las condiciones de la zona y permitir la resiembra natural de las gramíneas por medio del pisoteo del ganado.

Clase VII, ocupa una superficie de 1684.24 hectáreas las cuales representan un 19.45% del área de la microcuenca, estos terrenos tienen serias limitaciones por el suelo principalmente, por lo que se recomienda llevar a cabo una resiembra con pastos nativos de la zona en combinación con algunas prácticas mecánicas como la de bordos a nivel

con la finalidad de retener mayor humedad e incrementar la cobertura y reducir el riesgo a la erosión.

Clase VIII, esta clase de suelo es la de mayor predominancia en la microcuenca, la cual abarca 4329.46 hectáreas representando el 50% de la superficie total; estas tierras ocupan la mayor parte de la microcuenca, representadas en gran parte por tierras muy escabrosas (pendientes muy fuertes), por lo que son terrenos no aptos para alguna actividad económica directa del suelo, por lo que solo se pueden dedicar a la conservación de los recursos naturales (suelo, agua, flora y fauna). En esta área se recomienda llevar a cabo las obras mecánicas en conjunto con la vegetativas para el control de la erosión, una de ellas es la reforestación de zonas boscosas con encino en conjunto con tinajas ciegas para ayudar a la retención de humedad, así como la reforestación con maguey, nopal y gramíneas nativas de la zona en curvas a nivel con barreras de piedra para evitar la erosión del suelo por arrastre de partículas.

En general la microcuenca La Concordia tiene severas afectaciones por erosión hídrica, las cuales se deben principalmente a la falta de conocimiento de los sistemas de producción que nos permiten mejorar las condiciones de la zona por medio de la conservación, es por eso que es de vital importancia capacitar a los pobladores y hacerles ver la importancia que tienen estas prácticas así como también las ventajas que obtendrán al realizarlas, de esta forma se tendrán mejores resultados al momento de implementar las obras y prácticas de conservación generando un mejor nivel de vida a los habitantes de la microcuenca además de mayores ingresos representados por la mayor productividad de las tierras.

CONCLUSIONES

La microcuenca La Concordia presenta un clima de subtipo semiseco – semicálido, teniendo muy marcado el temporal de lluvias lo cual favorece el proceso de erosión. Es por eso que se deben de realizar obras de conservación a través de prácticas vegetativas., agronómicas y mecánicas que permitan obtener el mayor provecho posible del agua proveniente de la parte alta de la microcuenca; de esta forma y con el paso del tiempo se atenuara el grado de afectación por la erosión haciendo los suelos más fértiles y aptos para la agricultura y ganadería teniendo como consecuencia mayores rendimientos sobre la producción.

Las principales prácticas y obras vegetativas, agronómicas y mecánicas recomendadas para la microcuenca La Concordia son las siguientes:

- ✓ Las prácticas vegetativas nos van a permitir mejorar las condiciones del suelo como son textura, capacidad de infiltración y cantidad de materia orgánica, lo cual es favorable ya que nos permite mejorar la producción del sitio obteniendo mejores cosechas lo que representa mayores ingresos económico. Las prácticas vegetativas recomendadas son: Rotación de cultivos, abonos verdes, incorporación de materia orgánica, asociaciones de cultivos, cultivo en fajas, cultivo en contorno y cultivos de cobertera. En las tierras de temporal se requiere reconvertir las áreas a uso pecuario mediante el establecimiento y manejo de forrajes de corte.
- ✓ Las prácticas agronómicas son técnicas que se aplican directamente sobre los cultivos pero que inciden benéficamente en la conservación de los recursos naturales, principalmente el agua y suelo, las principales prácticas agronómicas son: Labranza, estercoladuras, fertilización y uso y conservación del agua.
- ✓ Las prácticas mecánicas son aquellas realizadas directamente por el hombre por medio de maquinaria agrícola o con implementos especiales con el propósito de conservar el suelo y agua en terrenos muy afectados o con pendientes muy fuertes que no permitan reducir la erosión por medio de prácticas vegetativas ó agronómicas. Las prácticas recomendadas de acuerdo a las características de la

zona son las siguientes: Surcado al contorno, terrazas de formación sucesiva, barreras de piedras en curvas a nivel y presas filtrantes.

- ✓ Debido a que la mayor parte de la superficie de la microcuenca se destina al pastoreo es indispensable establecer un programa de manejo de pastizales, para lo cual se obtuvo un programa de manejo para cuatro potreros ya establecidos a fin de manejar una carga animal de 320 unidades.
- ✓ Es recomendable realizar acciones como resiembra de pastizales, revegetación, surcado al contorno y presas filtrantes para las tierras de agostadero y forestales.

Todas las prácticas antes mencionadas pueden ser realizadas por los habitantes de la microcuenca con la finalidad de generar empleos y mejorar la calidad de vida.

LITERATURA CITADA

- ACP. 2002. Recopilación y Presentación de Datos Socioeconómicos de la Región Occidental de la Cuenca del Canal de Panamá. Contrato No. 53299.
- Becerra Moreno, A. 2005. Escorrentía, erosión y conservación de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México.
- Beltran 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 de suelo y agua en zonas áridas y semiáridas. INIFAP-CIRNE-Campo exp. San Luis. No. 1. San Luis Potosí, S.L.P. México.
- 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. 2009. Catalogo de obras y prácticas de conservación de suelo y agua. Montecillos, Texcoco, Ed. De México.
- Colegio de postgraduados de Chapingo. 1997. Manual de conservación del suelo y agua. Instructivo. SARH-SPP. Chapingo, México.
- CONAFOR. 2007. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas.
- CONAFOR. 2008. Obras para el control de erosión laminar.
- 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.
- Delgado, Fernando. (1987). Prácticas Agronómicas de Conservación de Suelos SC- 63. CIDIAT. Mérida. Venezuela.
- FAO, 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma.
- Figuroa, S. B., Amante O. A., Cortes T. H. G., Pimentel L. J., Osuna C. E. S., 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.

- García J. F., Fuentes M. O. Gracia S. J., “Erosión en laderas”, Cuaderno de Investigación No. 24, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, noviembre de 1995.
- Gómez Sánchez L.A. 2011. Riesgo a la erosión hídrica y prácticas de manejo en la microcuenca garrochitas panalillo II. Facultad de Agronomía. UASLP. San Luis Potosí, SLP. México.}
- Hernández, M. 2010. Cálculo de la tasa de erosión hídrica y propuesta de obras de conservación de suelo en la línea de tendido eléctrico la ventosa-juile, Oaxaca. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México.
- INEGI. 2007. Cartas F14A-75, Edafología 1:50 000.
- INEGI. 2007. Cartas F14A-75, Uso del Suelo 1:50 000.
- INEGI. 2007. Cartas F14A-75, Uso potencial 1:50 000.
- INEGI. 2005. Guía para la interpretación de cartografía. Uso potencial del suelo.
- INEGI. 2009. Guía para la interpretación de cartografía uso de suelo y vegetación. Ed. INEGI. Serie III.
- INEGI. 2010. Censo de población y vivienda 2010.
- INIFAP. 2011. Manual de capacitación. Ajuste de carga animal en tierras de pastoreo. Cuajimalpa, D.F. México.
- Kirkby, M.J. y R.P.C. Morgan. 1984. Erosión del suelo. John Wiley & Sons.
- 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.
- Loredo, O. C. 2011. Manejo de cuencas hidrológicas. Apuntes del curso de Manejo de cuencas hidrológicas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Loredo, O. C. y Beltrán L., F. Moreno S. y M. Casiano D. 2007. Predicción de riesgo a la erosión hídrica a nivel microcuenca. Folleto Técnico No. 29. INIFAP-CIRNE-Campo Exp. San Luis. San Luis Potosí, S.L.P. México.

- Loredo, O. C. y Beltrán L. S. 2005 Prácticas agronómicas y vegetativas. 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.
- Loredo Osti C., Beltrán L. J.L. Sarreon T. y M. C. Domínguez. 2005. Prácticas mecánicas para el control de la erosión hídrica. In: 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.
- Lugo Hubp, J.I., 1989. Diccionario geomorfológico con equivalentes de los términos de uso más común en Alemán, Francés, Ingles y Ruso: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía; Coordinación de ciencias.
- Medina G.G., Díaz P.G., Loredo O. C., Serrano A. V., Cano G. M., 2005. Estadísticas climatológicas básicas del Estado de San Luis Potosí (Periodo 1961-2001) Libro Técnico No 2. INIFAP-CIRNE-Campo Exp. San Luis. San Luis Potosí, S.L.P. México. 48 - 49 p.
- Morgan, R.P.C. 1985. Soil erosion and conservation. Long man.
- Morgan, R.P.C. 1997. Erosión y conservación del suelo. Ed. Mundi prensa Madrid-Barcelona-México.
- Peralta A.J.M. Agentes erosivos y tipos de erosión. INIA – Carillanca. Temuco, Chile.
- PROGAN. 2010. Guía PROGAN para cumplir los compromisos de los beneficiarios. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Estado de Quintana Roo. Coordinación General de Ganadería. México, D.F.
- Ruiz, F.J.L. 1995. Land evaluation for sustentainable agricultura for México. Ed. Universidad Autónoma Chapingo. SARH.
- Rodríguez, M. I. 2007. Plan rector de la microcuenca La Concordia, Armadillo de los Infante, en el estado de San Luis Potosi. FIRCO.
- Santos L., E 1995. Cuantificación de la erosión hídrica bajo diferentes coberturas vegetales en un andosol de Pátzcuaro, Mich. Tesis de Licenciatura. Departamento de suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México.

- SARH. 1991. Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. Colegio de post graduados/CREZAS.116pp.
- Soria, C.J.C. 2006. Uso y conservación de suelo y agua. Apuntes de curso de verano de conservación del suelo y agua. Ed. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Trueba, C., A. 1981. Evaluación de la eficiencia de cuatro prácticas mecánicas para reducir las pérdidas de suelo y nutrimentos por erosión hídrica en terrenos agrícolas de temporal. DGCSA-SARH. México.
- Torres R.E. 1981. Manual de conservación de suelos agrícolas. La erosión del suelo.1a impresión. Ed. Diana.
- Torres R.E. 1984. Manual de conservación de suelos agrícolas. 2a impresión. Ed. Diana. México.
- UGRNL. Manejo de pastizales y suplementacion animal.
- Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses-a Guide to Conservation Planning-USDA; Agriculture Handbook 537. Sci. and Educ. Admin. USDA washington, D.D.
- Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1965. Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains. USDA Arg. Handbook 282.

ANEXOS

Anexo 1. Simbología del Factor de Erosionabilidad (K) en función de la unidad de suelo y su textura superficial.

Símbolo	Nombre
A	Acrisol
Af	Acrisol férrico
Ag	Acrisol gléyico
Ah	Acrisol húmico
Ao	Acrisol órtico
Ap	Acrisol plíntico
B	Cambisol
B(c, d, e, k)	Cambisol (crómico, dístrico, éutrico, cálcico)
Bf	Cambisol férrico
Bg	Cambisol gléyico
Bh	Cambisol húmico
Bk	Cambisol cálcico
B (v, x)	Cambisol (vértico, xérico)
C (h, k, l)	Chernozem (háplico, cálcico y lúvico)
D (d, g, e)	Podzoluvisol (dístrico, gléyico, éutrico)
E	Rendzina
F(a,h,p,o)	Ferrasol (ácrico, húmico, plíntico, ócrico)
G	Gleysol
Gc	Gleysol calcárico
G (d,e)	Gleysol dístrico éutrico
G (h,m)	Gleysol húmico, mólico
G (p,x)	Gleysol plíntico, gélico
Gv	Gleysol vértico
H(c,g,h,l)	Feozem calcárico gléyico, haplico, lúvico
I	Litosol
J	Fluvisol
Jc	Fluvisol calcárico
Jd	Fluvisol dístrico
Je	Fluvisol éutrico
Jt	Fluvisol tiónico
Jp	Fluvisol plíntico
K (h,k,l)	Fluvisol (húmico, cálcico, lúvico)
L	Luvisol
La	Luvisol álbico
Lc	Luvisol crómico

Símbolo	Nombre
A	Acrisol
Lf	Luvisol férrico
Lg	Luvisol gléyico
Lk	Luvisol cálcico
Lo	Luvisol órtico
Lp	Luvisol plíntico
Lv	Luvisol vértico
M (a,g)	Greysem (ácrico, gléyico)
N (d,e,h)	Nitosol (dístrico, éutrico, húmico)
O (d,e,x)	Histosol (dístrico, éutrico, gélico)
P	Podzol
Pf	Podzol férrico
Pg	Podzol gléyico
Ph	Podzol húmico
Po	Podzol órtico
Pp	Podzol plácico
Q (a,c,f,l)	Arenosol (álbico, cámbico, ferrálico, lúvico)
R	Regosol
Re	Regosol éutrico
Rc	Regosol calcárico
Rd	Regosol dístrico
Rx	Regosol gélico
S	Solonetz
Sg	Solonetz gléyico
Sm	Solonetz mólico
So	Solonetz órtico
T	Andosol
Th	Andosol húmico
Tm	Andosol mólico
To	Andosol ócrico
Tv	Andosol vítrico
U	Ranker
V (c,p)	Vertisol (crómico, pélico)
W	Planosol
Wd	Planosol dístrico
We	Planosol éutrico
Wh	Planosol húmico
Wm	Planosol mólico
Wx	Planosol gélico
X(k,h,l,g)	Xerosol (cálcico, haplico, lúvico, gipsico)
Y(h,k,l,g,t)	Yermosol (haplico, cálcico, lúvico, gípsico, takírico)

Símbolo	Nombre
A	Acrisol
Z	Solonchak
Zg	Solonchak gléyico
Zm	Solonchak mólico
Zo	Solonchak órtico
Zt	Solonchak takírigo