



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores
Iztacala

EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA DEGRADACIÓN DE
TIERRAS EN LA MICROCUENCA "LA MUÑECA" EN EL ALTO
MEZQUITAL, IXMIQUILPAN, HIDALGO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G A

P R E S E N T A:

NOEMÍ DEL CARMEN VÁZQUEZ MIRANDA

DIRECTOR DE TESIS. M. EN C. FRANCISCO LÓPEZ GALINDO



TLATNEPANTLA, ESTADO DE MEXICO 2012.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	Paginas
RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	3
2. JUSTIFICACIÓN	4
3. ANTECEDENTES	5
4. OBJETIVOS	6
4.1 General	
4.2 Particulares	
5. MARCO TEÓRICO	7
5.1 Importancia de las Zonas áridas, Desertificación y Degradación de Tierras.	7
5.1.2 Evaluación de las Tierras	9
5.1.3 Planeación del uso de Tierras	10
5.2 Definición, Componentes e Importancia de las Cuencas Hidrográficas como unidades de planeación territorial	11
5.2.1 Evaluación de las Cuencas	13
Características a evaluar en una cuenca	13
5.2.2 Las cuencas como unidad de planeación	14
5.2.3 Unidades Territoriales de Planeación	15
5.3 Manejo Integral y Ordenamiento de Cuencas como herramienta para el Desarrollo Sustentable	16
5.4 Programas de manejo Integral de Cuencas en las Zonas Áridas	17

6. Metodología	19
6.1 Descripción del área de estudio	19
6.1.1 Localización geográfica y política	19
6.1.2 Fisiografía	20
6.1.3 Geología	21
6.1.4 Edafología	21
6.1.5 Clima	22
6.1.6 Hidrología	22
6.1.7 Vegetación	22
6.1.8 Fauna	23
6.1.9 Componente Socioeconómico- Cultural	24
6.2 Etapas de la investigación	26
6.2.1 Primera Etapa: Gabinete Uno	26
6.2.2 Segunda Etapa: Trabajo de Campo	27
6.2.3 Tercera Etapa: Trabajo de Laboratorio	27
6.2.4 Cuarta Etapa: Gabinete Dos	28
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
7.1 Regionalización hidrológica y características sobresalientes	29
7.1.2 Delimitación de la microcuenca y su red de avenamiento	32
7.2 Caracterización de la cuenca	34
7.2.1 Características climáticas	34
7.2.1.2 Clasificación climática de acuerdo con Köppen modificado por García.	34

7.2.1.3 Clasificación climática por el Sistema Thornthwaite.	37
7.3 Evaluación morfométrica de la microcuenca	42
Litología	46
Características químicas del agua superficial.	50
Características físico-químicas del suelo.	51
7.4 Caracterización de los diferentes usos del suelo	62
7.4.1 Tipos de Vegetación	62
7.5 Degradación de Tierras	69
7.5.2 Perdida de Suelo	69
7.5.3 Zonificación de la degradación de suelo de acuerdo a World Overview of Conservation Approaches and Technologies (Wocatt)	70
7.5.3.1 Erosión Hídrica (W)	70
7.5.3.2 Deterioro físico del suelo (P)	72
7.5.3.3 Degradación Biológica (B)	72
7.6 Técnicas Locales de Conservación de Agua.	70
8. CONCLUSIONES	78
9. SUGERENCIAS	80
10. ANEXOS	116
10.1. Formulario	116
Anexo 2. Morfometría	116
Anexo 3. Criterios utilizados en análisis físico-químicos del suelo	119
Anexo 4. Metodología de pérdida de suelos	120
Anexo 5. Sistema de Evaluación “World Overview of Conservation Approaches and Technologies (Wocatt, 2007)”	122
	110

11. Literatura Citada	125
------------------------------	------------

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

CUADROS

1. Regionalización Hídrica de la microcuenca La Muñeca	29
2. Índices Climáticos anuales de la Estación 00013074 Ixmiquilpan, (DGE)	39
3. Índices Climáticos anuales de la Estación 00013013 Ixmiquilpan, (SMN)	40
4. Parámetros Morfométricos	42
5. Resultados del análisis químico del agua del manantial del Naxthey.	50
6. Parámetros Físicos del Suelo.	55
7. Parámetros Químicos del suelo.	58
8. Continuación de parámetros Químicos del Suelo.	59
9. Degradación Física y Química del Suelo.	61
10. Rangos aplicados a la degradación de Suelo	61
11. Valores de pérdida de suelo por erosión calculada para cada Sistema Ecogeográfico, en los que se encuentra inmersa la zona de investigación, aplicando el criterio de SEDESOL (1993).	69
12. Distancias de línea guía en cultivos.	87
13. Sistemas de Manejo de Escurrimiento	99
14. Valores del coeficiente de escurrimiento (C) utilizados para calcular los escurrimientos máximos.	103
15. Dimensiones de la presa de Gaviones.	112
16. Determinación de la capacidad de vertedores en litros/ segundo.	113

17. Dimensiones de las cortinas de Mampostería.	114
18. Simbología del mapa de uso de suelo.	116
19. Clases del Coeficiente de Compacidad según Sánchez 1987	117
20. Criterios de densidad de corriente	119
21. Criterios Densidad Aparente	119
22. Criterios densidad real	119
23. Criterios Porosidad	119
24. Criterios materia organica	120
25. Criterios de capacidad de intercambio catiónico	120
FIGURAS	
1. Ubicación de la Microcuenca La Muñeca	20
2. Región Hidrológica de la Microcuenca La Muñeca.	29
3. Delimitación del Área de estudio y sus rasgos hídricológico.	33
4. Diagrama Ombrotérmico de la Estación 00013074 Ixmiquilpan, (DGE)	36
5. Diagrama Ombrotérmico de la Estación 00013013 Ixmiquilpan, (SMN)	36
6. Valores de los Índices climáticos anuales de la estación 00013074 Ixmiquilpan, (DGE).	41
7. Valores de los Índices climáticos anuales de la Estación 00013013 Ixmiquilpan, (SMN).	41
8. Clasificación de tierras de la microcuenca en función del valor de la pendiente.	45
9. Litología	49
10. ubicación de recolección de muestras de suelo	52

11. Grafica de porcentajes del uso de Suelo de la microcuenca (Ha)	62
12. usos de suelo de la microcuenca	68
13. Tipos y grados de Degradación de Tierras	74
14. Grafica del área por tipo de Degradación	75
15. Grafica de pastel del porcentaje de Degradación	75
16. Mosaico Fotográfico de Prácticas locales captación de agua	76
17. Mosaico Fotográfico Practicas locales captación de agua	77
18. Practicas Mecánicas de conservación de agua y suelo	81
19. Sección transversal de Terraza de Bancos Alternos	82
20. Terraza de Base Angosta, sección transversal.	83
21. Terraza de Zingg, sección trasversal	84
22. Trazo de línea guía para Surcado al Contorno	86
23. Trazo de línea guía en terrenos no uniformes	88
24. Fotografía de surcado al contorno en cultivos	88
25. Fotografía de equipos usados en técnica de contreo	90
26. Surco transversal para cálculo de retención en cultivos	90
27. Fotografía de abonos verdes utilizados en la zona	92
28. Cortinas Rompevientos	94
29. Cortinas rompevientos locales	94
30. Barreras Vivas de Agave Lechuguilla	95
31. Sistemas de flujo continuo con bordos dispersores	100
32. Bordería inter- parcelaria de entarquinamiento.	102
33. Fotografia de Zanja tipo Trinchera.	105

34. Mosaico fotográfico de cárcavas halladas en la zona	106
35. Cabeceo de Cárcavas.	107
36. Fotografía de represa en un cauce de la zona de estudio.	108

RESUMEN

Las tierras de zonas áridas cubren una gran parte del mundo desarrollado y del mundo en desarrollo. De los problemas que más aqueja a estas regiones, en todo el mundo, es la desertificación, tomada como el proceso de degradación de la tierra en estas zonas. Una de las opciones para llevar a cabo la evaluación y búsqueda de alternativas para mejorar las condiciones adversas de las zonas áridas es mediante la planeación del manejo sustentable de las tierras, tomando como unidad de planeación territorial a la cuenca, cuyo propósito central es reunir las condiciones indispensables para la generación de satisfactores que sufraguen las necesidades de la población, aseguren la salvaguarda de los recursos mediante un enfoque holístico que integre todos los factores ambientales, sociales y económicos, en un proceso participativo de evaluación, planificación, ordenamiento y uso adecuado de los recursos naturales. Por lo que el objetivo de este trabajo fue realizar una evaluación de estado actual de degradación de Tierras de la Microcuenca La Muñeca ubicada en el Alto Mezquital. El proceso de investigación incluyó la caracterización de la cuenca, su evaluación morfométrica, determinación del uso de suelo, aplicación del sistema de evaluación de degradación elaborada por WOCATT y su representación gráfica.

Los resultados indican que se trata de una microcuenca con una área de 25.383km², de forma alargada y de tercer nivel, con materiales ígneos y sedimentarios consolidados impermeables, con escurrimientos primarios y secundarios intermitentes, un coeficiente de escurrimiento medio anual de 1327.22 millares de m³, presentando un relieve plano a pronunciado, con pendientes de 10 al 70%, de acuerdo al sistema Thornthwait tiene un clima Seco semicálido. Los parámetros fisicoquímicos realizados al suelo, indican la presencia de suelos francos arenosos y franco arcillo arenosos; las categorías de materia orgánica muestran la heterogeneidad de los suelos, ya que van de suelos extremadamente pobres a suelos extremadamente ricos; con niveles bajos en sales, es decir, suelos neutros o ligeramente alcalinos de pH de 7 a 8, coincidiendo con los resultados de CIC, ECC y %sales. Los usos de suelo dominantes son: Matorral Inerme de *Flourensía Resinosa* (MIF). Matorral Espinoso Deciduo de *Fouquieria splendens* (MED-FE) y Agricultura de Temporal.

El total del área afectada por algún tipo de degradación es 25.37 km², la Biológica afecta un 58.30%, seguida por la degradación hídrica con un 27.87% y en menor proporción la degradación física con 13.83% del total de la microcuenca. El estado en el que se encuentra la microcuenca apunta al fortalecimiento de las estrategias de restauración y conservación de los recursos naturales que llevan a cabo los pobladores, con el fin de mitigar la degradación de tierras, mediante la planeación y manejo integral de la cuenca y así enaltecer su calidad de vida.

1. INTRODUCCIÓN

Las tierras áridas cubren una gran parte del mundo; en estas tierras existe un potencial natural y cultural para el desarrollo sustentable. A pesar de ese potencial existente, estas zonas han sufrido un acelerado proceso de degradación social y ambiental durante las últimas décadas (Foro Boliviano sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 1994).

Se estima que un 70 por ciento de las tierras secas del mundo se encuentran afectadas por la Desertificación; La Desertificación se entiende como: “la degradación de la tierra en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas que resultan de varios factores incluyendo las variaciones climáticas y las actividades humanas.” Todos los integrantes de Convención de Lucha contra la Desertificación (CLD), firmado en 1997 en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), tienen la obligación de “adoptar un enfoque integrado que se ocupe de los aspectos físicos, biológicos y socioeconómicos del proceso de desertificación y sequía. (FAO, 2007).

La desertificación forma parte de un problema de orden nacional que es la degradación de suelos en usos agropecuarios y forestales en tierras secas y montañosas principalmente. La desertificación es ante todo un problema del desarrollo sostenible, es una cuestión de pobreza y bienestar humano, así como de la preservación del medio ambiente (SEMARNAT, 2002).

Por otra parte, la evaluación de tierras, formalmente, es definida como la evaluación del funcionamiento de la tierra cuando es usada con un objetivo específico, implicando la ejecución y la interpretación de revisiones y estudios de formas de tierra, suelos, vegetación, clima y otros aspectos de tierra para identificar y hacer una comparación de las clases prometedoras de empleo de tierra en términos o condiciones aplicables a los objetivos de su evaluación (FAO, 2001).

La evaluación de la tierra es un eslabón vital en la cadena que conduce a la gestión sostenible de los recursos de la tierra que sirve para reflejar preocupaciones e intereses comunes relacionados con el cambio de clima,

diversidad biológica y desertificación. Los bienes y los servicios de la tierra que son relacionados con sus múltiples funciones o ventajas así como el mantenimiento de su empleo tienen que ser dirigidos. Los nuevos instrumentos para conducir la evaluación de tierra se han hecho disponibles y la necesidad de un acercamiento participativo ha sido reconocida a nivel mundial por la FAO (2007).

Las políticas de uso de tierra que no consideran el papel multifuncional de la tierra o el impacto de los usuarios sobre las tierras, no pueden responder a los desafíos de la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de base de los recursos. Sin embargo, para llegar a ambos objetivos de producción y conservación, es necesario un enfoque holístico que integre todos los factores ambientales, sociales y económicos en un proceso participativo de evaluación, planificación, ordenamiento y manejo de los recursos básicos. (FAO, 1996)

Considerar a las cuencas como unidad de trabajo en todo lo relativo a los problemas hidrológicos, de conservación del suelo y del aprovechamiento de las aguas, como factores del desarrollo integral de estas unidades y adoptar medidas completas para la conservación y mejora del suelo y uso racional del mismo, con el fin prevenir y luchar contra la desertificación (Grupo TRAGSA, 2003).

2. JUSTIFICACIÓN

El estudio de los procesos y factores que inciden en la degradación de los suelos, así como, de la búsqueda de alternativas para contrarrestarlos son temas de gran relevancia e impacto en las investigaciones actuales. Así como el desarrollo y la aplicación general de una metodología para evaluar y cuantificar la naturaleza, extensión, severidad, impacto y causas que generan la degradación de tierras en las zonas áridas y las soluciones para corregir esa situación. La evaluación integra los factores biofísicos y las fuerzas socio-económicas que los generan. Con el propósito de contribuir al estudio de dichos procesos, en el presente trabajo se describe la forma en que inciden los factores causales y efectos de la degradación del suelo, en una cuenca del Alto Mezquital, Hidalgo.

3. ANTECEDENTES

Se han realizado múltiples trabajos en torno al tema citado y al área de investigación de ellos los más importantes se citan a continuación:

- Ceja (2008), presentó una revisión general de la degradación de los suelos, analizando algunos factores asociados al deterioro de los suelos y la pobreza a lo largo del territorio mexicano durante los últimos años.
- Hernández (2005), evaluó el estado actual de la degradación de tierras de la Cuenca de Zapotitlán de las Salinas comparando los procesos de degradación a través de un periodo de 30 años.
- Fernández (2008), realizó un listado herpetológico y etnoherpetológico del Alto Mezquital, Hidalgo.
- García (2005), indujo la restauración de matorrales semiáridos del Valle del Mezquital con plantas nativas de los suelos de la zona.
- Randell (2005), realizó un modelo de restauración ecológica en la microcuenca “El Porvenir”, Santiago de Anaya, Hidalgo.
- Pérez- Ramírez- Vázquez y Ortiz (ND/2001), describieron los impactos causados a la parte centro-oriental del Distrito de riego 03, uso de suelo agrícola de alta producción, ubicado en el Valle del Mezquital, Hidalgo.
- Romero (1995), realizó un estudio caso del control de la contaminación del agua en el Valle del Mezquital.
- Granados- López- Hernández (2004), estudiaron la agricultura de escurrimiento utilizada por la cultura ñahañhu- otomí y describieron los agrohabitats del Valle del Mezquital.
- López- Muñoz- Hernández y Soler (1999), realizaron un Programa de manejo integral de recursos e investigación participativa en el Alto Mezquital.
- López (2003), elaboró un Programa Piloto para la Conservación de suelos y el Centro de desarrollo rural, El Dexthi, Hidalgo, México.

- López- Muñoz- Hernández y Soler (1999), igualmente presentaron el caso Dexthi –San Juanico, Valle del Mezquital, Hidalgo, México dentro del programa de Experiencias locales de lucha contra la desertificación en zonas semiáridas pobres de América Latina y el Caribe.
- López (2001), realizó Evaluación de Recursos y Planificación Ecológica del Uso del Suelo, en los Municipios de Cardonal, Tasquillo y Norte de Ixmiquilpan, Estado de Hidalgo.
- Mateos (2011), elaboró una evaluación del estado actual de cuatro microcuencas ubicadas en el poblado El Dexthi- San Juanico, Ixmiquilpan Hidalgo.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL:

- ☆ Evaluar el estado actual de la degradación de tierras existente en la microcuenca “La Muñeca”, en el Alto Mezquital, Hidalgo.

4.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- ☆ Delimitar, identificar y caracterizar los elementos físico-geográficos, bióticos y productivos pertenecientes a la microcuenca.
- ☆ Definir los tipos de degradación actual de tierras de la microcuenca aplicando como criterio el sistema LADA y WOCAT (2007).
- ☆ Evaluar el estado actual de degradación del suelo a partir del análisis de sus parámetros físicos y químicos.
- ☆ Realizar cartografía temática detallada del estado de degradación de suelos de la microcuenca, con el empleo de de Sistemas de Información Geográfica.

5. Marco Teórico

5.1 Importancia de las Zonas áridas, Desertificación y Degradación de Tierras

Las tierras áridas cubren una gran parte del mundo desarrollado y del mundo en desarrollo. En ellas viven y trabajan más de 2 000 millones de personas. Tienen lluvias escasas y altamente variables, con importantes fluctuaciones de un año a otro y entre décadas (FAO, 2002). Si bien mantienen ciertas peculiaridades que las diferencian de otros ecosistemas, existe igualmente una gran diversidad dentro de esta categoría. Las zonas áridas y semiáridas presentan un potencial natural y cultural para el desarrollo sustentable (Foro Boliviano sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 1994).

A pesar de ese potencial existente, estas zonas han sufrido un acelerado proceso de degradación social y ambiental durante las últimas décadas (Foro Boliviano sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 1994), cuyas causas principales son: las variaciones climáticas, la utilización de las tierras y las actividades agrícolas, que se han vuelto inapropiadas como resultado del incremento de la densidad de población (FAO, 2007).

Las tierras secas, es decir, las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas se encuentran entre los ecosistemas más frágiles del mundo. Estas cubren alrededor del 30% de las tierras emergidas en el mundo. Se estima que un 70% de las tierras secas del mundo se encuentran afectadas por la desertificación. En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) de 1997, se firmó la Convención de Lucha contra la Desertificación (CLD) en los países afectados por sequía grave o desertificación. Todos los integrantes de CLD tienen la obligación de “adoptar un enfoque integrado que se ocupa de los aspectos físicos, biológicos y socioeconómicos del proceso de Desertificación y sequía (FAO, 2007).

Según PNUMA, más de 100 países presentan riesgo de desertificación; en algunas regiones de Latinoamérica conocen el problema, el cual se agrava rápidamente con la sobreexplotación forestal. Y en América del Norte del total

de las tierras agrícolas en las zonas secas el 74% están afectadas por algún tipo de degradación (De Santa Olla, 2000)

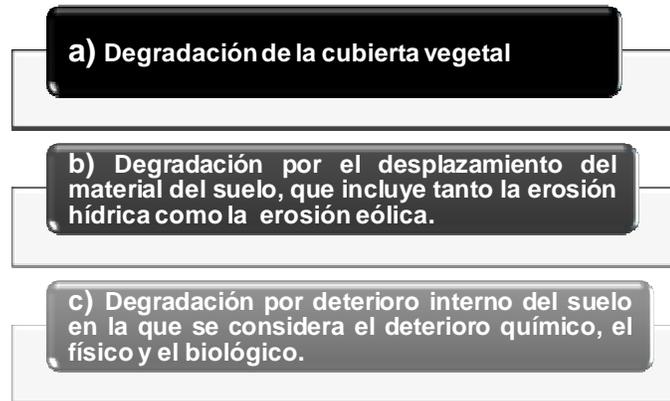
La desertificación, forma parte de un problema de orden nacional, que es la degradación de suelos en usos agropecuarios y forestales, en tierras secas y montañosas, principalmente. Es ante todo un problema del desarrollo sostenible. Una cuestión de pobreza y bienestar humano, así como de la preservación del medio ambiente (SEMARNAT, 2002).

La desertificación debe contemplarse como una ruptura del frágil equilibrio que permitió el desarrollo de la fauna, de la flora y del ser humano en las zonas áridas, semiáridas y secas subhúmedas. Esta ruptura del equilibrio desencadena una serie de procesos autodestructivos en los que intervienen todos los elementos que antes favorecían los procesos vitales. Así pues, la vulnerabilidad de los suelos a la erosión eólica e hídrica, la reducción del nivel de las capas freáticas, la menor regeneración natural de las plantas herbáceas y leñosas, y el empobrecimiento químico de los suelos son las consecuencias inmediatas de la desertificación y, al mismo tiempo, causas de la agudización de este fenómeno (FAO, 1993).

PNUMA indica que el término desertificación puede ser utilizado en toda su extensión con el término “degradación de tierras”; este último entonces se define como el conjunto de procesos físico, químico y biológicos que influyen en las regiones húmedas, subhúmedas, áridas y semiáridas provocando la disminución y pérdida de la productividad de estos, y en consecuencia la de su capacidad actual y potencial para sostener en un nivel adecuado y permanente a los organismos de interés que sobre ellos se encuentran y que es causada y acelerada por las actividades humanas en combinación con la acción de elementos climáticos, lo cual conduce a la pérdida estructural y funcional de los ecosistemas, transformándolos en ambientes menos confortables para la vida (Zarate, 1994).

En el estudio de la degradación de la tierra es necesario conocer y considerar los diversos tipos que comprende este proceso, ya que así se podrá lograr una visión integral del mismo.

Los procesos de degradación de la tierra se pueden clasificar de acuerdo a Oldeman (1988) en tres categorías:



5.1.2 Evaluación de las Tierras

Por otra parte, la Evaluación de Tierras, formalmente, es definida como la evaluación del funcionamiento de la tierra cuando es usada con un objetivo específico, implicando la ejecución y la interpretación de revisiones y estudios de suelos, vegetación, clima y otros aspectos de tierra para identificar y hacer una comparación de las clases prometedoras de empleo de tierra en términos o condiciones aplicables a los objetivos de su evaluación (FAO, 2001).

La evaluación de la tierra es un eslabón vital en la cadena que conduce a la gestión sostenible de los recursos de la tierra que sirve para reflejar preocupaciones e intereses comunes relacionados con el cambio de clima, diversidad biológica y desertificación. Los bienes y los servicios de la tierra que son relacionados con sus múltiples funciones o ventajas así como el mantenimiento de su empleo tienen que ser dirigidos. Los nuevos instrumentos para conducir la evaluación de tierra se han hecho disponibles y la necesidad de un acercamiento participativo ha sido reconocida a nivel mundial por la FAO (2007).

La FAO ha dedicado una atención considerable al desarrollo de procedimientos para inventariar, evaluar y planificar los recursos de tierras, tanto a nivel global, como en regiones y países concretos a través de sus programas de campo. La finalización del mapa de suelos del mundo a escala 1:5 000 000, junto con un

sistema de clasificación de suelos normalizado, supuso un estímulo para la evaluación global y comparativa de los recursos de tierras.

Esto debe seguir un enfoque estructurado a nivel global, sobre la base de datos y conocimientos adecuados, confiables, actualizados y vinculados con las estrategias y los acuerdos internacionales apropiados. El producto que faltaría para alcanzar esta meta es una visión global en donde toma lugar la degradación de la tierra, su intensidad, y como los usuarios de ésta hacen frente a este problema través de un manejo sustentable de la tierra (FAO, 1996).

El proyecto sobre la Evaluación de la Degradación de Tierras en Zonas Áridas (LADA) busca establecer e implementar una metodología comprensiva para la evaluación y el mapeo de la degradación de la tierra. La Evaluación del LADA es desarrollada en 3 escalas espaciales (local, nacional y global), y considera el estado, las fuerzas motrices y los impactos. Finalmente, el LADA proporcionará una mejor comprensión del fenómeno de la degradación, y dará los indicios sobre las respuestas apropiada en todas las escalas (WOCAT-LADA, 2007).

En México, el suelo ha sido un patrimonio subestimado, un recurso que hemos dilapidado y cuya pérdida, de continuar, pone en peligro nuestra viabilidad como nación. La falta de atención y regulación de su uso se refleja en altos niveles de degradación y las repercusiones sociales, económicas y ambientales, aunque graves, no han sido valoradas en su totalidad. 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 tan sólo 23% del territorio nacional cuenta con suelos que mantienen actividades productivas sustentables o sin degradación aparente (Cuevas et Al, 2004).

5.1.3 Planeación del uso de Tierras

La FAO define la planeación del uso de las tierras como la estimación sistemática del potencial del agua y la tierra, así como alternativas para el uso de la misma y las condiciones económico y social en orden a seleccionar y adaptar las mejores opciones para su uso. El propósito central de la planeación del uso de la tierra es seleccionar y poner en práctica los usos que mejor satisfarán las

necesidades de la población y al mismo tiempo salvaguardando estos recursos para el futuro. (Venegas, 2007). La fuerza conducente en la planificación es el anhelo al cambio, el deseo de un manejo mejorado o la necesidad de diferentes modelos de uso de la tierra dictados por las circunstancias cambiantes.

Un enfoque integrado en el manejo de tierras necesita incentivar los intereses de los usuarios para cumplir de la mejor manera el propósito central, apoyado sobre la planificación participativa.

Como se menciona anteriormente existen variantes en lo que a Planificación se refiere, dentro de la Planificación del Uso del territorio encontramos algunas vertientes correspondientes a esta línea, que aportan algunas bases para la comprensión de esta (FAO, 1992).

- a) el manejo de los recursos naturales:
- b) el desarrollo rural

5.2 Definición, Componentes e Importancia de las Cuencas Hidrográficas como unidades de planeación territorial

Las cuencas constituyen *unidades naturales* de planificación, desarrollo, conservación, y administración de los recursos de agua, de los suelos de los bosques ya que en ellas es posible determinar y medir los diferentes usos que se le da a cada una de sus partes (Dirección General de Aguas, 1973).

Conceptos básicos

- ◇ Una cuenca es un sistema natural dinámico compuesto de elementos, biológicos, físico y antrópicos que reaccionan dialécticamente entre sí, creando por lo tanto un conjunto único e inseparable en permanente cambio, en otras palabras es el territorio en el que las aguas convergen hacia los puntos más bajos de la superficie del mismo y se une en una corriente resultante o río principal que las evacuan hacia un lago, un mar u océano; se considera que una cuenca es un territorio mayor a 50 mil hectáreas, la subcuenca cubre una superficie de seis mil a 50 mil hectáreas y las microcuencas entre tres mil y seis mil hectáreas y

cuando las condiciones orográficas lo permiten, hay microcuencas menores a tres mil hectáreas (Escobar, 2007).

La cuenca hidrográfica, además de cómo unidad hidrológica, ha sido también descrita y utilizada como unidad fisico-biológica y en ocasiones, como unidad socioeconómica-política para la ordenación y planificación de los recursos naturales (Grupo TRAGSA, 2003).

- ◇ Componentes de una cuenca de acuerdo con Sánchez (1987):
 - a) El parteaguas
 - b) Las vertientes
 - c) El valle o cuenca baja
 - d) La red de avenamiento o drenaje
- ◇ El Parteaguas: es la línea altimétrica de mayor elevación, que delimita orográficamente a cuencas vecinas, marca las variaciones de la conducción del drenaje superficial que por efectos de la pendiente confluyen hacia la parte baja de las vertientes.
- ◇ Vertientes: son áreas de transporte y captación, conforman la zona más estratégica de la cuenca, dado que en ellas la susceptibilidad del fenómeno de erosión es altamente significativo y el mantenimiento de una cubierta vegetal protectora de calidad es indispensable para el equilibrio de los valles.
- ◇ Cuenca baja o valle: es la zona con menor altitud y donde por lo general se encuentran los cultivos agrícolas y los asentamientos humanos, es en esta zona donde las corrientes tributarias han formado un río o arroyo de regular caudal y divaga en las planicies de leve pendiente. Aunque hay cuencas donde en lugar de haber ríos presentan lagos o lagunas.
- ◇ Red de avenamiento o drenaje: es la disposición de cauces y escurrimientos por donde de manera superficial y aparente corre el agua excedente, producto de la precipitación hacia un depósito natural o

artificial. La red consta de una corriente principal y un sistema de corrientes tributarias de menor importancia.

Dentro de la cuenca como unidad geográfica, sus componentes se relacionan entre si a través de una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, por lo que debe considerarse como unidad básica para la plantación del uso manejo y conservación de sus recursos a fin de preservar su potencial de producción manteniendo un equilibrio entre el aprovechamiento y conservación de los mismos (SARH, 1988).

Uno de los principales recursos naturales en las cuencas es el agua, como elemento básico para la vida y elemento integrador de todas las acciones a realizar por los seres humanos. Por lo tanto, en las cuencas donde el agua es escasa, las actividades que se pueden desarrollar también son limitadas, así mismo la base de la conservación del resto de los recursos naturales y desarrollo humano en una cuenca es muy dependiente de la disponibilidad del agua en cantidad y calidad en correspondencia con la densidad poblacional, como la integración de ésta, en el manejo de la cuenca como proveedora del recurso (Cajina, 2006).

5.2.1 Evaluación de las cuencas

La cuenca es la unidad básica de atención para su manejo y planeación, en donde es posible interactuar directamente con los habitantes locales, mediante la planeación participativa, con el fin de mejorar y recuperar, en la medida de lo posible, los recursos que se han depredado y a la vez plantear a la población de esta área geográfica alternativas que mejoren su calidad de vida.

Características a evaluar en una cuenca

Sánchez, (1987) menciona que cuatro aspectos deben analizarse en una cuenca, para darle un interés práctico:

- 1) Régimen climático: es necesario hacer una exhaustiva colección de datos de las estadísticas climáticas en los sensores existentes, representativos de las condiciones prevalecientes dentro del parteaguas establecido, es decir, la cantidad media de precipitación y

su distribución temporal, de la temperatura y la evaporación que nos dan luz para un efectivo balance de humedad y otras variables ambientales.

- 2) Caracterización física e hidrográfica: una vez conocido el parteaguas, es necesario conocer la fisiografía de la cuenca, su altura, pendiente promedio. Igualmente se jerarquizan sus relaciones de drenaje para saber la distribución de la red de avenamiento a lo largo de la cuenca.
- 3) Cobertura vegetal y uso del suelo: la existencia de vegetación nativa en cuanto a su tipo y densidad es un aspecto de vital importancia, ya que de ella y sus prácticas dependerá cuantitativamente la existencia de la corriente de agua en cuanto volumen y calidad.
- 4) Levantamiento de suelos: en el estudio de la cuenca ocupa un lugar preponderante; las diferentes unidades edáficas y su representación en planos para conocer su ocurrencia espacial y sus propiedades hidrológicas, requiere de la cartografía y el levantamiento de suelos.

5.2.2 Las cuencas como unidad de planeación

La gestión integrada de cuencas surge como una de las posibles opciones para articular la participación de los usuarios de los recursos naturales político-administrativas, debido a su dependencia común a un sistema hídrico compartido, a los caminos y vías de acceso y al hecho de que deben enfrentar peligros comunes (Rickards, 2007).

El manejo integral de cuencas tiene como objetivo manejar, aprovechar y conservar los recursos naturales en las cuencas hidrográficas en función de las necesidades humanas, buscando un balance entre equidad, sostenibilidad y desarrollo además, busca un equilibrio entre producción y conservación, de manera que se pueda producir conservando y conservar produciendo a corto, mediano y largo plazo. La unidad hidrológica se considera como el escenario biofísico y socioeconómico natural y lógico para la caracterización, diagnóstico, planificación, implementación, ejecución, seguimiento y evaluación del uso de los recursos naturales y el análisis (Cajina, 2006).

5.2.3 Unidades Territoriales de Planeación

El estudio y la planificación de la cuenca debe realizarse en cuatro niveles con un sistema orientado a los problemas existentes dentro de ella (FAO, 1992).

❖ Nivel nacional

A nivel nacional, suele ser suficiente un reconocimiento rápido con la ayuda de fotografías aéreas u otra técnica de teledetección, para determinar los principales problemas de cuencas hidrográficas y las áreas correspondientes, el estudio de la cuenca a este nivel puede aportar información suficiente para una clasificación simple de las cuencas hidrográficas de la nación.

La principal finalidad de esta clasificación general es determinar los siguientes temas importantes:

- 1.-Naturaleza de las cuencas: cuencas hidrográficas municipales, cuencas de bosques y tierras vírgenes, cuencas agrícolas, etc.
- 2.-Principales problemas y áreas críticas, es decir, problemas ocasionados por el hombre, su naturaleza, gravedad de los problemas, extensión de las áreas críticas.
- 3.-Ubicación de las cuencas

❖ Nivel regional o de distrito

El estudio a nivel regional o de distrito, se realiza ya sea de forma específica para un grupo de cuencas hidrográficas o conjunto con los planes regionales de desarrollo.

❖ Nivel de cuenca y subcuenca

A este nivel el estudio y planificación es más detallada, porque la cuenca es una unidad funcional que une en un sistema integral las áreas aguas arriba y las situadas aguas abajo y porque ves una unidad adecuada para la planificación y el análisis económico.

❖ Nivel de finca agrícola o comunidad.

La planificación de cada finca es necesaria si se dirige al desarrollo comunitario con el fin de mejorar la gestión de las fincas.

Para hacer un diagnóstico socioeconómico de las cuencas del país es necesario establecer una delimitación del estudio socioeconómico de las mismas, especificando qué municipios corresponden a cada cuenca. Incorporando así, criterios que responden más a una lógica de articulación social, política, económica y administrativa, que a criterios naturales.

Se reconoce que la situación más conveniente sería una coincidencia completa de los límites político administrativos con los físicos. Sin embargo, las fronteras estatales y municipales, pocas veces coinciden con los parteaguas naturales de las cuencas.

Aunado a lo anterior, las dinámicas económicas, sociales y políticas de la población asentada en las cuencas, han sido tradicionalmente estudiadas partiendo de la estructuración político administrativa del territorio, siendo el municipio, y en algunos casos la localidad, las unidades más desagregadas a las que se reporta la información social, demográfica y económica a nivel Nacional (*Sotelo; Jurado, 2006*).

La importancia de aplicación de trabajos con enfoque de cuencas radica en que se pueden cuantificar y evaluar los efectos de las diferentes actividades del hombre tales como: erosión, sedimentación, escurrimiento e infiltración. Es vital considerar que el agua es el elemento unificador de la cuenca; muchos de los fenómenos que se cuantifican en ella, tienen que ver con el fenómeno hídrico (*Cardoza, et. Al, 2007*).

5.3 Manejo Integral y Ordenamiento de Cuencas como herramienta para el Desarrollo Sustentable

El manejo integral de cuencas y microcuencas, es un proceso iterativo de decisiones sobre los usos y las modificaciones a los recursos naturales, este proceso provee la oportunidad de hacer un balance entre los diferentes usos de los recursos naturales y los impactos que éstos tienen en el largo plazo para la

sustentabilidad de los recursos. Implica la formulación y desarrollo de actividades que involucran a los recursos naturales y humanos inmersos en la cuenca (Cajina, 2006).

El Ordenamiento Territorial y/o Ecológico es una herramienta útil para la planeación y el desarrollo que permite abordar de manera sistemática los cambios de uso de suelo, gracias a la evaluación de los componentes naturales, económicos y sociales de la zona en estudio. Se requiere del trabajo conjunto de autoridades, instituciones gubernamentales y pobladores para la gestión de los recursos con base a las necesidades e intereses manifestados (De Alba, 2007).

Para realizar cualquier proceso participativo de planeación, gestión y acción, es esencial atender, entender y respetar los objetivos, los intereses, las oportunidades, la problemática, las demandas y las necesidades de los habitantes que viven en el ámbito territorial de las cuencas. Y a la vez considerar como premisa la aptitud y el potencial que el territorio tiene (Casillas, 2007).

Basta una acción ligada al uso, manejo y degradación de Tierras (vulnerabilidad) de una cierta envergadura, para que se suscite un impacto medible (riesgo) a corto o mediano plazo, sobre el suelo; el balance de biomasa y la cobertura vegetal; la cantidad y la calidad del agua; la fauna, entre otras variables.

El considerar el concepto de vulnerabilidad en las cuencas hidrográficas, se debe a que la mayoría de los desastres se desarrollan dentro de una ellas (Alatorre, 2007).

5.4 Programas de manejo Integral de Cuencas en las Zonas Áridas

Para la operación estatal del Programa Nacional de Microcuencas ha sido necesario establecer una coordinación institucional con las instancias federales y estatales, académicas y no gubernamentales (Escobar, 2007). A través de la elaboración de programas y proyectos como los siguientes:

- Programa Integral de Agricultura Sustentable y Reversión Productiva en Zonas de Siniestralidad Recurrente (PIASRE) de La

Comisión Nacional de las Zonas Áridas (CONAZA), en su calidad de Agente técnico de la **SAGARPA** en El caso del Valle de Santo Domingo en Baja California Sur.

- Reversión productiva como estrategia para conservar recursos naturales y luchar contra la pobreza el C. Secretario de la SAGARPA en Atlixac, Región de la Montaña, Gro y el PIASRE Programa Integral de Agricultura Sustentable y Reversión Productiva en Zonas de Siniestralidad Recurrente de la Comisión Nacional de las Zonas Áridas(CONAZA) , en su calidad de Agente técnico de la **SAGARPA**.
- Modelos de Inversión y Reversión en Zonas Áridas (MIRZA) el caso Ejido Viboritas, Guadalupe, Zacatecas, promovido por el PIASRE Programa Integral de Agricultura Sustentable y Reversión Productiva en Zonas de Siniestralidad Recurrente de la Comisión Nacional de las Zonas Áridas (CONAZA), en su calidad de Agente técnico de la **SAGARPA**.
- Planificación y manejo integrado de cuencas hidrográficas en zonas áridas y semiáridas de América Latina (Rodríguez, 1996).
- Plan de desarrollo urbano Navajas-Galeras (PDUNG), Estudio para el ordenamiento ecológico regional del corredor Galeras-Cadereyta (EOERGC), Plan rector de planeación y conservación para la microcuenca de Galeras (PRPCG), Querétaro, México (De Alba, 2007).
- Programa nacional de microcuencas en el Estado de Hidalgo (Escobar, 2007).
- Participación campesina para el manejo de los suelos de la Subcuenca del río San Marcos, Puebla (Castelán Et Al, 2007).

- Educación ambiental en traspatios agroforestales con arbustivas nativas: espacios para amortiguar la desertificación iniciado por INIFAP (Terrones, Et Al, 2007).
- El diagnóstico socioambiental como herramienta para orientar política pública en la gestión de riesgos hidrometeorológicos en la región semiárida del Alto Mezquital en Hidalgo y el Centro-Oeste de Querétaro; apoyado por SEMARNAT-CONACYT (Landa, 2007).

Vivir de manera sustentable, depende la aceptación del compromiso de buscar la armonía entre sociedad y naturaleza, de que la sociedad adopte estilos de vida respeten los límites de los recursos y de instrumentos para lograrlo (Ortiz, 2007).

6. METODOLOGIA

6.1 DESCRIPCION DEL ÁREA DE ESTUDIO

6.1.1 Localización geográfica y política

La cuenca se localiza en la región denominada Alto Mezquital, (López, 2001), específicamente en el Municipio de Ixmiquilpan, Hidalgo, ubicada entre los paralelos 20° 33' 10.3" y 20° 39' 15.1" de Latitud Norte y los meridianos 99° 15' 06.8", 99° 13' 10.3" de Longitud Oeste, con un rango de altitud de 1800 a 2700 msnm (INEGI, 1982). Abarcando una superficie aproximada de 25.382 km². Comprende las comunidades de Boxhuada, Dexthi, La Palma, Cantamaye, Arbolado, Naxthey, Xasni, El Meje, Las Emes y La Lagunita. Figura 1

Políticamente, forma parte del municipio de Ixmiquilpan, en la zona conocida como Valle del Mezquital, que se encuentra en la porción central del Estado de Hidalgo. El cual está dividido en tres partes: Valle de Ixmiquilpan, Valle de Actopan y al noreste, la llanura que comprende parte de los municipios del Cardonal y de Ixmiquilpan, en el Alto Mezquital. (Aldasoro, 2000).

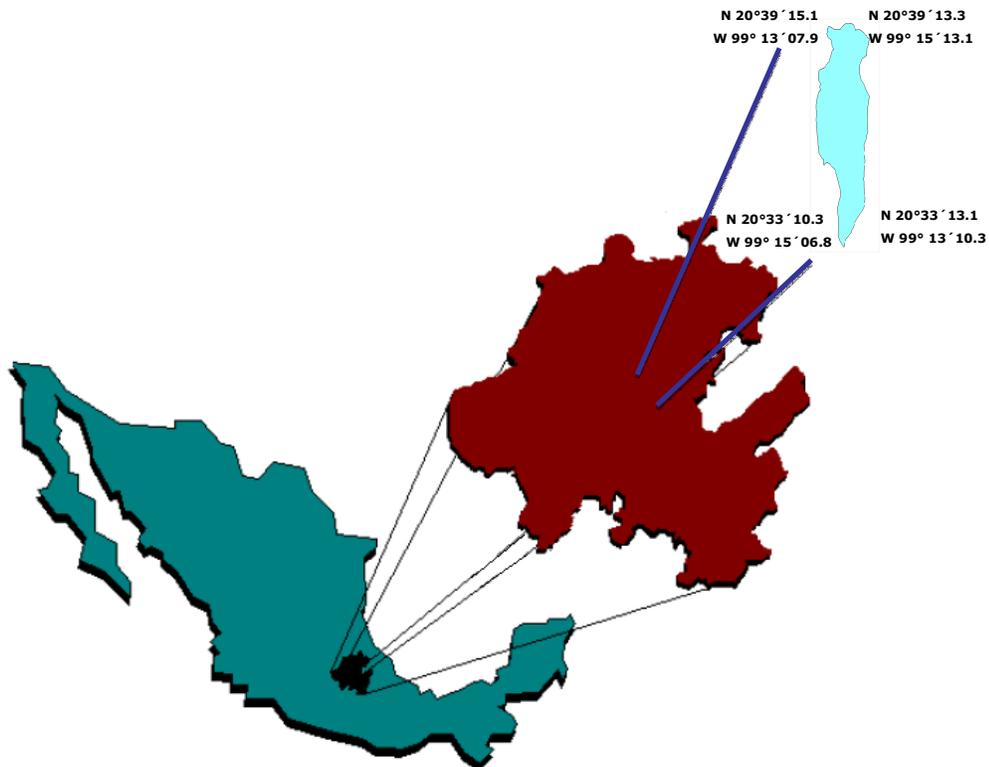


Figura 1. Ubicación de la Microcuenca La Muñeca

6.1.2 Fisiografía

El área de estudio pertenece a las provincias fisiográficas del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Oriental. La porción norte se caracteriza por ser una zona montañosa considerada estibación del Eje Neovolcánico, aunque comparte algunos elementos de la Sierra Madre Oriental; incluye la región conocida como Sierra de Juárez y en ella destacan los cerros Juárez, La Palma, El Cerrote, El León, Xithe, La muñeca, Xinthé y Santuario, que forman el parteaguas y límites de las cuencas y barrancas más importantes. Hacia la base sur de la Sierra de Juárez, descienden un conjunto de formas acordonadas formadas por rocas sedimentarias que conforman un sistema de mesas y barrancas. La porción

central y sur del área de estudio, se encuentra formada por pequeños valles interrumpidos por algunas elevaciones (Fernández, 2008).

Según la Secretaria de Desarrollo Social (SEDESOL), el poblado se encuentra en la Provincia Ecológica No. 52, llanuras y sierras de Querétaro e Hidalgo, que abarcan los Sistemas Ecogeográficos Cardonal-Dexthi (No.23), Ixmiquilpan-Alfajayucan (No. 38) y Sierra Juárez (NE) En esta provincia la Sierra contra fuerte Juárez, se localiza hacia el Norte y es una estibación de la Sierra de Pachuca, de origen volcánico, que se caracteriza por su irregular relieve, con pendientes pronunciadas, que generan condiciones de escarpe, taludes y declives. Hacia el Oeste se ubica la Sierra Xinthé también de origen ígneo (rocas como andesitas, riolitas y basaltos) y que sirve de límite natural del Valle de Tasquillo, parte de esta sierra se disecta en su porción norte por el Río Tula formando cañones y acantilados (Aldasoro, 2000).

6.1.3 Geología

La zona presenta rocas volcano-sedimentarias del Cenozoico específicamente del dominio del Terciario Superior, areniscas, conglomerados y algunas capas de lutitas arenosas que datan del mismo periodo (Delgado, 2000). La mayor parte de la región tiene materiales geológicos de la Formación Tarango que se constituye de rocas vulcano-sedimentarias, depósitos aluviales y rocas calcáreas acumuladas durante el relleno de amplios valles en la parte centro del país. Esta unidad se formó por el transporte de corrientes de aguas superficiales, mismas que acumularon gravas, arenas, limos y arcillas en lagos someros, abarcando extensiones considerables. Su espesor aproximado es de 400 m (Estado de Hidalgo, 2001). Así como sedimentos calizos y materiales aluviales, cuyos depósitos se distribuyen irregularmente en la zona asociándose a ríos y escurrimientos, así como las zonas de laderas (López, 2001).

6.1.4 Edafología

De acuerdo a el INEGI (1981 y 1982) en la zona se encuentran unidades de suelo de tipo Rendzinas asociadas a Litosoles constituyendo suelos de textura media, con fase física petrocálcica y Rendzina asociada a Feozem calcárico de textura media y fase física lítica. Los informes técnicos de López y Muñoz (1986,

87 y 88) se tiene que los suelos de la zona son jóvenes y poco desarrollados, siendo los factores que han influido en su formación el clima, el sustrato geológico y el relieve (Delgado, 2000).

6.1.5 Clima

El tipo de clima localizado en las partes media y bajas de la cuenca, pertenecen a una zona árida, es un BSohw" (w) (e)g, correspondiente a un semiseco estepario con temperaturas mayores a los 18° C, con el mes más seco en invierno y el más caliente antes del solsticio de verano. La temperatura media anual es de 18° C y su precipitación anual fluctúa entre los 400 y 450 mm, con lluvias de verano. En los meses más calurosos se registran temperaturas hasta de 36° C y en los más fríos hasta -2° C (López, 2001).

6.1.6 Hidrología

La zona de estudio pertenece a la Región Hidrológica 26 del Alto Pánuco, Cuenca del Río Tula, el cual tiene sus orígenes en el cerro La Bufa, donde se le conoce como río Tepeji, fluye de Sur a Norte, hasta que sus escurrimientos son controlados por la presa Taxhimay, toma una dirección nornoroeste, pasa por las inmediaciones de la población del mismo nombre y poco después es controlado por la presa Requena. Aguas abajo recibe aportaciones del río Salto, que a su vez recibe importantes volúmenes de aguas residuales provenientes del Emisor Central del drenaje profundo de la ciudad de México.

El río Tula sigue su cauce y descarga en el vaso de almacenamiento de la presa Endhó, para su posterior aprovechamiento en el Distrito de Riego No. 100, donde se riegan más de 24 000 ha mediante la distribución de unos 400 mm³/año de aguas superficiales. En este tramo el río Tula recibe aportaciones, por su margen izquierda, de sus tributarios, los ríos Tlautla y Rosas. Poco después cambia rumbo al noreste para llegar a Mixquiahuala y Progreso de Obregón, y otra vez cambiar de rumbo hacia el norte, pasar por Chilcuautla, Tlacotlapilco e Ixmiquilpan hasta su confluencia con el río Actopan. Prosigue su curso y recibe a sus tributarios el río Alfajayucan por su margen izquierda y luego al Río San Juan, sitio donde cambia de nombre a río Moctezuma.

6.1.7 Vegetación

La región de estudio está situada en una zona de transición con gran variedad de ecosistemas, climas y relieves, por lo que puede ser considerada como un corredor biológico con numerosas especies vegetales (Landa, 2007).

Por lo que las variantes altitudinales, fisiográficas de sustrato y suelo que influyen de manera decisiva en el establecimiento de variadas formas de vida y desarrollo de una gran riqueza específica, generando mosaicos vegetacionales que representan un gran potencial de recursos para la zona (López, 2001).

La vegetación que integra la porción árida y la zona de riego del área de estudio presenta diferentes tipos de matorral, además de la presencia de Bosque de galería y vegetación riparia, y zonas de agricultura de temporal y de riego, en tanto que para la zona templada, se observan Bosque de *Juniperus*, Bosque de Pino-Encino y zonas de agricultura de temporal (Fernández, 2008).

Encontrando así 8 tipos de vegetación tales como:

- *Bosque bajo de enebro (Juniperus)*
- *Bosque de Juniperus con Cupressus*
- *Matorral inerme*
- *Matorral inerme con M. espinoso*
- *Matorral inerme con M. crasicaule*
- *Matorral crasicaule*
- *Matorral espinoso*
- *Matorral crasorosulifolio*
- *Matorral alto subinerme o submontano*

6.1.8 Fauna

En lo que respecta a los insectos se tienen los datos de Aldasoro (2000), quien registra en la comunidad del Dexthi, San Juanico, perteneciente al Municipio de Ixmiquilpan, 14 órdenes, 50 familias y 58 géneros.

Para el caso de la avifauna del Alto Mezquital se presenta una enorme riqueza de especies, Pantaleón (en prensa), registra un total de 70 especies, agrupadas en 10 ordenes. Con respecto a los mamíferos, López (2001) enlista 32 especies para los municipios de Cardonal, Ixmiquilpan y Tasquillo.

Por último Fernández encontró un total de 48 especies herpetofauna en la porción estudiada del Alto Mezquital, de las cuales 11 (23%) corresponden al grupo de los anfibios y 37 (77%) a los reptiles. (Fernández, 2008)

Pseudoeurycea belli, *P. cephalica*, *Chiropetrotriton* sp, *Lithobates spectabilis*, *Hyla eximia*, *Anaxyrus punctatus*, *Hyla arenicolor*, *Spea multiplicata* (Anfibios). *Kinosternon hirtipes*, *Phrynosoma orbiculare*, *Sceloporus grammicus*, *S. scalaris*, *S. parvus*, *S. jarrovi*, *S. spinosus*, *S. torquatus*, *Barisia imbricata*, *Gerrhonotus infernalis*, *Aspidoscelis gularis*, *Plestiodon lynxe* (Reptiles). *Leptotyphlops myopicus*, *Conopsis lineata*, *Geophis semiannulatus*, *Storeria hidalgoensis*, *Salvadora lineata*, *Thamnophis cyrtopsis*, *Drymarchon melanurus*, *Pituophis deppei*, *Diadophis punctatus*, *Masticophis shotti*, *Tantilla bocourti*, *Thamnophis melanogaster*, *Hypsiglena torquata*, *Pantherophis guttata*, *Trimorphodon tau*, *Crotalus aquilus*, *C. atrox*, *C. molossus*, *Micrurus fulvius*, *Lampropeltis triangulum*, *Tropidodipsas sartorii* (Sepientes).

Los animales silvestres más abundantes para el área de estudio son: *Callipepla californica* (codorniz), *Columba livia*, *Columba passerina*, *Zenaida asiatica*, *Zenaida macroura* (paloma), *Accipiter striatus*, *Accipiter cooperi* (gavilanes), *Buteo magnirostris* (águilas), *Cathartes aura* (zopilotes), *Corvus imparatus* (cuervo), *Procyon lotor* (mapache), *Dasyus novemcinctus* (armadillo), *Spilogale gracilis* (zorrillos), *Lepus californicus*, *Lepus callotis*, *Sylvilagus auduboni* (liebre/conejos), *Plecotus austriacus*, *Myotis velifer*, *Myotis yumanensis*, *Myotis californicus*, *Plecotus mexicanus*, *Eptesiscus fuscus*, *Lasiurus ega*, *Lasiurus cinerus* (murciélagos), *Felis silvestris* (gato montes), *Canis letrans* (coyote), *Didelphis virginiana*, *Didelphis marsupialis* (tlacuaches), *Sorex saussurei* (musarañas) estos últimos asociados a los cultivos.

6.1.9 Componente Socioeconómico- Cultural

A continuación se da una breve reseña de los antecedentes históricos, económicos, sociales y demográficos del alto Mezquital registrados por la CNI (2011).

En su gran mayoría la población del Valle del Mezquital es descendiente de los grupos Hñahñus que antes de la llegada de los conquistadores españoles habitaban en zonas del altiplano en México, la mayoría de la literatura otorga el nombre de Otomíes pero los pobladores del Valle prefieren usar el término Hñahñus.

Los hñahñus forman parte de la familia lingüística otomí- pame, además incluye a otras 6 lenguas: el pame del norte, el pame del sur, el mazahua, el matlalzinca, el chichimeca y el ocuilteca.

Se cree que el origen de los otomíes viene de aproximadamente entre 4000 y 1000 a.C. Aunque, no se sabe a ciencia cierta. Después del colapso de la ciudad, entre 1050 y 1250 d.C., otomíes y nahuas se dispersaron hasta ocupar amplias zonas de la cuenca de México. La región se repobló rápidamente.

Poco después, la región del Valle del Mezquital fue conquistada por los españoles hacia 1520. Los conquistadores utilizaron dos estrategias para desarticular el sistema político y social mexicana y establecer su propio control.

La economía en el Valle del Mezquital después de la Conquista giró alrededor de tres actividades: agricultura, ganadería y minería.

Si bien la región se caracteriza por ser un vasto valle árido y seco, existen sistemas de riego que permiten a algunas comunidades sembrar hortalizas, dicho sistema emplea las aguas residuales de la Ciudad de México. El uso de estas aguas data de fines del siglo pasado, cuando en 1856 se inició la construcción del Gran Canal del Desagüe, cuyo objetivo fue evacuar las aguas generadas por las precipitaciones pluviales del Valle de México hacia el Valle del Mezquital. Esto motivó que en el año de 1904 se iniciara la creación y operación del Distrito de Riego de Tula, que transformó tierras de cultivo de temporal en áreas de riego. Inicialmente se cultivaba maíz y frijol principalmente, obteniendo grandes producciones por la materia orgánica que acarrean las aguas negras,

posteriormente se introdujeron nuevos cultivos comerciales como la alfalfa y las hortalizas para vender así como un poco de maíz para el autoconsumo.

El maguey, por su parte, también forma parte de la economía básica a nivel familiar. De sus hojas se obtiene la fibra de ixtle para elaborar estropajos, ayates y lazos, además del pulque para autoconsumo y venta.

El crecimiento demográfico sigue siendo uno de los principales problemas del Valle del Mezquital, donde municipios como Tasquillo y Cardonal, registraron un crecimiento poblacional del 50% aproximado en un lapso de 20 años; no así para el caso Ixmiquilpan en donde el problema es más drástico, ya que su población se duplicó durante ese mismo período. El crecimiento demográfico incontrolado es uno de los principales obstáculos del desarrollo integral de un pueblo, ya que genera múltiples problemas vinculados con la capacidad de un gobierno para satisfacer todas las demandas y reclamos legítimos a los que toda sociedad tiene derecho tales como: alimentación, salud, educación, vivienda, trabajo, diversión y esparcimiento, entre otros.

Es importante señalar que en la actualidad en algunas comunidades la población femenina casi es equivalente o supera a la masculina, esto lo podemos atribuir al intenso proceso de emigración que se manifiesta en la zona. Cabe resaltar que la actividad económica no ha tenido cambios significativos después de la conquista española, es decir aun es común las actividades agrícolas, ganaderas y mineras principalmente (CDI, 2011).

La distribución de la población en el Alto Mezquital es muy heterogénea y dispersa, la falta de planeación y el crecimiento sin control han derivado que muchos asentamientos humanos no cuenten con los mínimos servicios indispensables. Más del 90% de la población carece de sistemas de alcantarillado; el servicio de agua potable es también insuficiente, lo mismo que la electrificación y sobre todo el alumbrado público; de igual forma sucede con los servicios de salud. Por otra parte, las poblaciones medianas de cerca de 800 habitantes cuentan con servicios educativos a nivel básico (López, 2001).

6.2 Etapas de la Investigación

6.2.1 Primera etapa: Gabinete uno

Esta etapa inició con el planteamiento de los objetivos y estrategias para la realización del trabajo.

Posteriormente, con la ayuda bibliográfica y cartográfica y por medio de la fotointerpretación sobre fotografías aéreas pancromáticas de contacto, blanco y negro, ortofotografías, escala 1:20,000 y 1:75,000 e imágenes satelitales LANDSAT TM. Escala 1:250,000 se delimitó a detalle la unidad de trabajo la Cuenca Hidrológica (Hernández, 2005).

Se realizó una caracterización y valoración previa de los elementos geográficos y ecológicos de la zona para posteriormente definir las estrategias, métodos y factores a evaluar en campo (López, 1999)

Con el mapa base del área se identificaron los componentes físico-geográficos y bióticos, tales como clima, vegetación, uso de suelo e hidrológica, así como la red de avenamiento de la zona, aplicando los criterios de INEGI (1981).

Finalmente se realizó la morfometría de la cuenca, aplicando el criterio de Valtierra (2007) y Sánchez (1987) los parámetros obtenidos fueron área de microcuenca (A), coeficiente de compacidad (Kc), elevación máxima, elevación mínima, elevación media, pendiente %, longitud de la cuenca (L), longitud del cauce (Lc), relación elongación (Re), índice forma (Kf), densidad de corriente (F) y densidad de drenaje (Dd).

6.2.2 Segunda etapa: Trabajo de Campo

Se llevaron a cabo diversas salidas a campo con el fin de realizar una verificación directa y confirmar lo realizado en la fotointerpretación preliminar y conocer de manera tangible los componentes con los que cuenta la cuenca, se realizó la evaluación ambiental, toma de datos y muestras de la parte superficial del suelo de forma aleatoria, así como aplicación de criterios cualitativos para determinar el tipo y grado de severidad de la degradación de tierras aplicando los criterios de GLASOD (1988) y WOCAT-LADA (2007), además de observar el estado actual de la degradación de las tierras y de esta forma poder empezar su evaluación.

6.2.3 Tercera etapa: Trabajo de Laboratorio

Dentro de etapa se procesaron datos e información diversa, así como la valoración de los parámetros físicos-químicos a las muestras de suelo colectadas en las salidas a campo con el fin de ampliar la información de suelos que incluyeron las siguientes determinaciones analíticas:

Parámetros físicos:

- ❖ Color del suelo por la técnica de comparación de tablas de color (Munsell,1975)
- ❖ Textura por el método del hidrómetro (Bouyocus, 1962).
- ❖ Densidad aparente, con el método volumétrico (Baver, 1963).
- ❖ Densidad real, por el método del Picnómetro (Aguilera, 1985).
- ❖ Estructura, porosidad y consistencia con métodos cualitativos (Cuanalo, 1981)

Parámetros Químicos:

- ❖ pH, empleando el método del potenciómetro (Bates, 1954; Willard, Merrit y Dean, 1958).
- ❖ Materia orgánica por método de oxidación con ácido crómico y ácido sulfúrico (Walkey y Black, 1947).
- ❖ Capacidad de intercambio catiónico con el método volumétrico del Versenato (Schollenberger y Simon, 1945).
- ❖ Calcio y magnesio intercambiables por el método volumétrico del Versenato (Cheng y Bray; Cheng y Kurtz, 1960).

Todas las técnicas analíticas fueron tomadas del manual de prácticas en Edafología de Muñoz, et al (2000).

6.2.4 Cuarta etapa: gabinete dos

Se definieron los tipos y grados de degradación de tierras de la cuenca tomando en cuenta como criterio los sistemas “Global Assessment of the Curren

Status of Human-Induced Soil Degradation (GLASOD)” (Oldeman. 1988) y el sistema WOCAT- LADA (2007) para posibilitar la realización de mapas de la degradación de la tierra y el desarrollo de mecanismos para el manejo sustentable de la tierra y de esta manera formar un híbrido de estos sistemas.

Dado que los procesos de degradación del suelo son complejos, con varias interrelaciones entre los factores y propiedades y que el uso de un solo índice no puede dar cuenta de toda esta complejidad, el estado de degradación está mejor representada por un índice para cada proceso de degradación. Se eligieron y aplicaron los índices de degradación Química (CDI) y Biológica (BDI) propuestos por la FAO-PNUMA-UNESCO (1980), utilizados por Paz y Et. Al (2006)

En esta etapa se realizó la cartografía de la zona de estudio aplicando los SIG Arc View 3.2 y Arc Gis 10.0, destacando los de uso de suelo, geología, igualmente la carta correspondiente a la degradación actual de las tierras de la cuenca, así como la delimitación y su red hídrica.

Por ultimo se obtuvo la pérdida de suelo mediante la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE y RUSLE)

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Regionalización hidrológica y características sobresalientes

La regionalización hidrológica de la microcuenca investigada se presenta el cuadro 1 y su ubicación espacial se esquematiza en la figura 2.

Cuadro 1. Regionalización hidrológica de la zona de investigación

Región Hidrológica	Cuenca	Subcuenca	Precipitación	temperatura
Número 26 Panuco	D (R. Moctezuma)	J (R. Tula)	400ml/año	14 °C

Fuente: INEGI (1992)

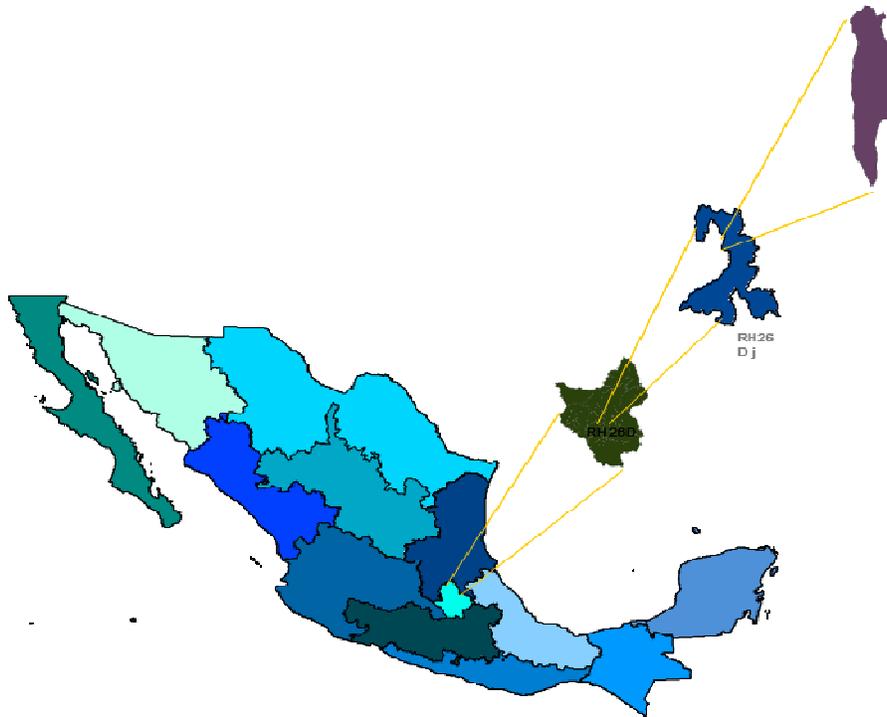


Fig 2. Región hidrológica de la microcuenca “La Muñeca”.

La Región Hidrológica 26 del Alto Pánuco, específicamente la Subcuenca del río Tula presenta un flujo en dirección de Sur a Norte; los escurrimientos se originan en el Estado de México, los primeros movimientos de agua son controlados por la presa Taxhimay, de donde toman una dirección nornoroeste y poco después son controlados por la presa Requena. Aguas abajo recibe aportaciones del río El Salto, que a su vez incorpora importantes volúmenes de aguas residuales provenientes del Emisor Central del Drenaje Profundo de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), con un caudal de entre 45 a 195 m³/s (Landa, 2009); sin embargo, otros caudales llegan a incorporarse al del río Tula, como el del drenaje de la ciudad de Tepeji del Río de Ocampo, así como de su zona industrial, también se adicionan descargas de la ciudad de Tula de Allende y de las factorías que conforman su parque industrial y de

grandes empresas como la Refinería Miguel Hidalgo de PEMEX y de la Termoeléctrica de Tula (Pérez, A Et al, N/D, 2001).

El río Tula sigue su cauce y descarga en el vaso de almacenamiento de la presa Endhó, para su posterior aprovechamiento en el Distrito de Riego No. 100, donde se riegan más de 24 000 ha mediante la distribución de unos 400 mm³/año de aguas superficiales. En este tramo el río Tula recibe aportaciones, por su margen izquierdo, de sus tributarios, los ríos Tlautla y Rosas. Poco después cambia rumbo al noreste para llegar a Mixquiahuala y Progreso de Obregón, y otra vez cambiar de rumbo hacia el norte, pasar por Chilcuautla, Tlacotalpilco e Ixmiquilpan hasta su confluencia con el río Actopan. Prosigue su curso y recibe a sus tributarios el río Alfajayucan por su margen izquierda y luego al río San Juan, sitio donde cambia de nombre a río Moctezuma.

La red hidrológica regional carece de corrientes perennes en abundancia, el río más importante de la zona lo constituye el Tula, el cual es la única corriente superficial que cruza la región en su porción occidental, donde sus aguas se utilizan para riego.

Las corrientes permanentes de esta región hidrológica son los ríos Toliman, Moctezuma, San Francisco, Ñado, San Juan, Alfajayucan, Rosas, Tula, Amajac, Tulancingo-Venados, Santiago, El Águila, Huazalingo, Atlapexco, Contzintla, Tizapan, Mimiaguaco y Calabozo; la dirección de estos escurrimientos es tanto noreste como noroeste.

Por otra parte, el acuífero Valle de Mezquital ha disminuido su disponibilidad en un 54% en los últimos cuatro años, a pesar de que recibe importantes descargas de agua residual del ZMVM. En Ixmiquilpan la disponibilidad ha aumentado (100% en los últimos 4 años) por las mismas descargas, infiltraciones y escurrimientos del agua residual proveniente del riego de la ZMVM (Landa, 2009).

De acuerdo a INEGI (1994) la hidrografía de la zona se conforma por un sistema de escurrimientos de tercer y segundo orden que penetran y descargan en la planicie del río Tula.

Las estaciones hidrométricas que registran máximos volúmenes escurridos anuales son las de Boquillas-Tecolotes e Ixmiquilpan sobre el río Tula con 355 y 327 millones de metros cúbicos; La microcuenca se encuentra en la estación hidrométrica número 11 (Ixmiquilpan) dentro de los afluentes del río Tula.

Las unidades de escurrimiento que presenta la cuenca van de 5-10% y de 10-20% respectivamente donde por lo general son superficies medianamente permeables en la parte alta, es decir en la cabecera de la cuenca, otras con menor permeabilidad en zonas secas, en la parte media y baja de la microcuenca y algunas donde la infiltración es importante pero que carecen de vegetación con lluvias menores de 700 mm.

7.1.2. Delimitación de la microcuenca y su red de avenamiento

La figura 3 muestra la delimitación de la microcuenca y sus rasgos hidrográficos. Se reconocieron los escurrimientos superficiales, que en su conjunto conforman la red de avenamiento de la microcuenca, dando como resultado una red de tipo dendrítica con escurrimientos de 1er, 2do y 3er orden, donde las ramas tributarias confluyen con los ríos del orden inmediato inferior. Al mismo tiempo se determinó el valor del coeficiente de Escurrimiento Medio Anual que correspondió a 1327.22 millares de m³ es decir, el volumen de agua que se puede almacenar o retener por la microcuenca.

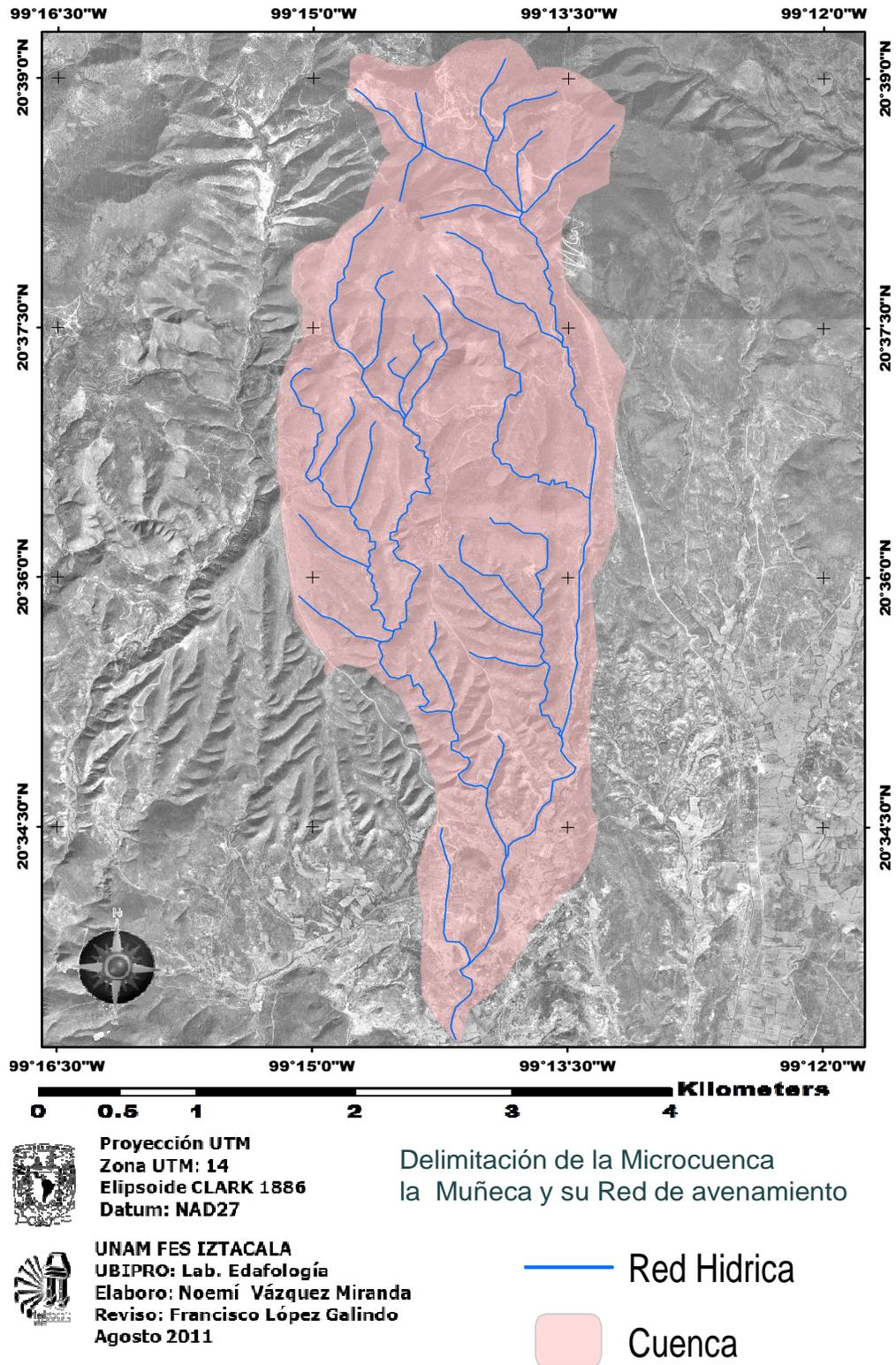


Fig. 3 Delimitación del Área de estudio y sus rasgos hidrológicos.

7.2 Caracterización de la cuenca

Esta fase incluye la parte descriptiva de la microcuenca efectuada a mayor detalle.

7.2.1 Características climáticas

Debido a la situación de la república Mexicana con respecto a la zona subtropical de alta presión, y a la orientación general de sus principales sierras, existen en nuestro país, especialmente en la parte central, amplias regiones con climas áridos BS (García, 1973). Dicha condición la presenta la zona estudiada.

El parteaguas principal del Estado de Hidalgo que se extiende por las elevaciones más altas de la Sierra Madre Oriental, divide los climas húmedos (ladera de barlovento) de los climas Secos (ladera de sotavento), precisamente donde se localiza la microcuenca. La disminución gradual de la altitud genera un pequeño aumento de la temperatura media anual de 14°C en las mayores elevaciones, a 16 ó 20°C en las menores, y modifica de la misma manera, la cantidad de humedad en el ambiente, originando climas templados de escasa humedad en las porciones elevadas, y climas Semisecos y Secos en las porciones bajas como en la Barranca de Metztitlán y el Altiplano Volcánico predominan precipitaciones inferiores a los 600 mm anuales a sotavento de la Sierra Madre, condición que permite el predominio de climas Semisecos (Gobierno del Estado de Hidalgo, 2001).

7.2.1.2 Clasificación Climática de acuerdo con Köppen modificado por García

La clasificación climática de la Microcuenca La Muñeca en base al sistema Köppen modificado por García (1973), a partir del análisis de los registros de 29 años de las estaciones presentes en la zona, señala la existencia de dos tipos de climas los cuales se describen a continuación:

- Estación climática 00013013 Ixmiquilpan (SMN), (Parte centro y sur de la microcuenca):

Grupo: clima seco: **B**

Subgrupo: **k'**

Tipo Climático: **w**

Subtipo: **So**

Variantes:

*Canícula: (sequía de medio verano) w''

*Extremosa oscilación térmica 8°C

*mes más caliente Mayo, antes del solsticio de verano: **g** en el hemisferio norte.

Tipo de clima: BSokw''(e)g

Descripción: Seco semicalido con precipitación media anual de 345.5 mm., distribuida principalmente en los meses de junio a septiembre y con presencia de canícula en julio y agosto. Su lluvia invernal es de 7. Su temperatura media anual TEA 17.65°C, predominando en el invierno temperaturas medias de 13 y 14°C. Es un clima extremo ya que entre el mes más caliente y el mes más frío existe una diferencia de 8°C. La figura 4 muestra el diagrama ombrotérmico correspondiente.

- Estación climática 00013074 Ixmiquilpan (DGE), (Parte alta de la Microcuenca):

Grupo: clima seco: **B**

Subgrupo: **k'**

Tipo: **w**

Subtipo: **S1**

Variantes:

*mes más caliente Mayo, antes del solsticio de verano: **g** en el hemisferio norte.

*Oscilación Térmica: **(i)**

Tipo de clima: BS1kw(i)g

Descripción: Seco semiárido con precipitación media anual de 497.2 mm., distribuida principalmente en los meses de junio a septiembre y con presencia de canícula en julio y agosto. Su lluvia invernal es de 6.2. Con TE A 17.65°C, predominando en el invierno temperaturas medias de 13 y 14°C. Es un clima isotermal ya que entre el mes más caliente y el mes más frío existe una diferencia menor a 5°C. La figura 5 esquematiza el climograma correspondiente.

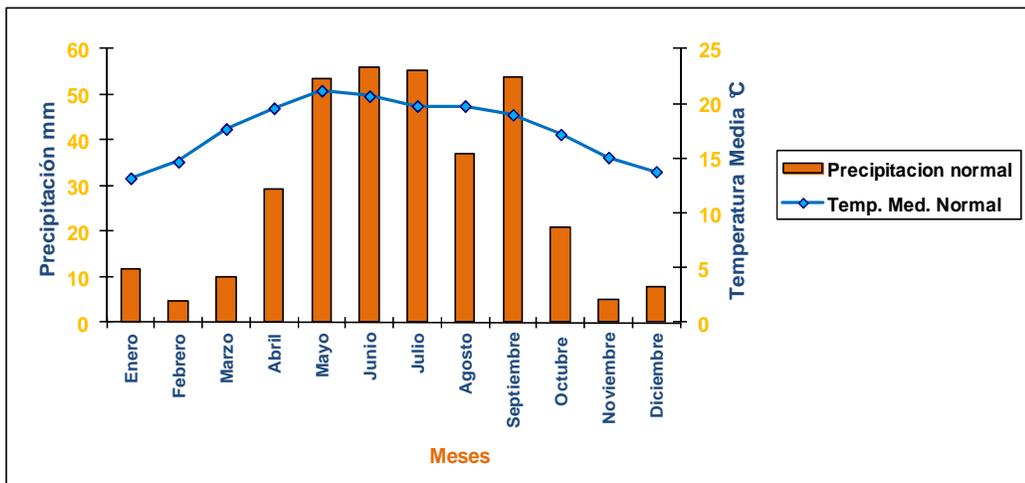


Figura 4. Diagrama ombrotérmico de la Estación 00013074 Ixmiquilpan, (DGE) tomado de

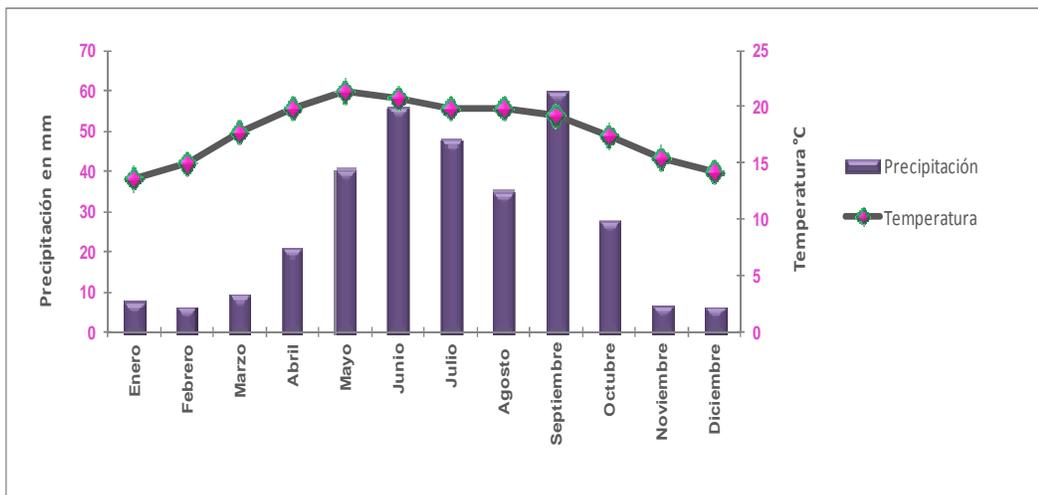


Figura 5. Diagrama ombrotérmico de la Estación 00013013 Ixmiquilpan, (SMN) tomado de Mateos, 2011.

Complementando lo anterior, López (2001) menciona que para las partes altas, en donde se localiza la cabecera de la microcuenca y retomando los datos de la estación del poblado de Santuario, localizado a la misma altitud y latitud en relación a la zona de estudio, se presenta un clima del tipo C(m)b(i')g, que equivale a un templado húmedo con lluvias de verano, temperatura media anual entre 12° y 18°C, siendo la del mes más frío de -3 °C, la del mes más caliente superior a 18°C. La precipitación mínima anual es de 625 y máxima de 925 mm, la media anual es de 725 mm. La época de heladas se presenta desde octubre hasta febrero. Es de considerar lo anterior debido a que la microcuenca en su parte mas alta reúne condiciones que se apegan mas a este tipo de clima como lo es la presencia de bosque de *Pinus gregii*, *P. cembroides*, *Juniperus flacida* y algunas especies de encinos.

7.2.1.3 Clasificación climática por el sistema Thornthwaite.

Otro sistema utilizado para clasificación y caracterización climática de cualquier zona es el sistema de clasificación climática de Thornthwaite, ya que considera factores que están directamente relacionados con el suelo y el desarrollo de vegetales; dichos factores comprenden: la evaporación, evapotranspiración, transpiración, el agua disponible en el suelo y el índice de aridez; en vez de medias mensuales de parámetros meteorológicos (Almorox, 2003).

Retomando el análisis climático realizado por Mateos (2011) aplicando el segundo sistema de Thornthwaite, para las estaciones de Ixmiquilpan revelan que la microcuenca presenta un clima con categoría de humedad (PG) de seco semicálido, con un régimen de humedad (SA) de pequeña a nula demasía de agua; la categoría de temperatura (TD) corresponde a templado-frío y con un régimen de temperatura (VF) de alta concentración de calor. Presenta un índice calor (ICA) de 81.73 a 83.07, que indica una alta incidencia de calor; con una evapotranspiración potencial (EPA) de 82.24 a 83.0cm, y evapotranspiración real (ER) de 32.68 a 34.55. La radiación incrementa los valores de evapotranspiración en relación a la precipitación. La deficiencia de agua (DEA) varía de 37.64 a 50.32; con una demasía de agua (DAA) de 0.0. El índice de humedad (IH) es de 0.0, el índice pluvial (IP) va de -27.46 a -36.37, con un índice de aridez (IA) de 57.5 a 60.62, lo cual demuestra que existe una mayor

evapotranspiración en relación a la precipitación, lo que trae como consecuencia una demasía de agua de 0.0, y un índice de aridez elevado, lo que explica una tendencia a la aridización de la zona y al mismo tiempo la necesidad de humedad suficiente para el desarrollo de plantas.

Los cuadros 2 y 3 presentan los datos a detalle y los valores obtenidos al aplicar el sistema; de igual forma, las figuras 5 y 6, señalan el comportamiento de los índices: de humedad, pluvial, aridez y concentración térmica calculados para las dos estaciones meteorológicas.

Cuadro 2. Muestra los Índices Climáticos anuales de la Estación 00013074 Ixmiquilpan. (DGE). Tomado de Mateos 2011.

Clasificación Climática de Acuerdo al Sistema de Thornthwaite	
Estación Meteorológica: 00013013 IXMIQUILPAN, (SMN)	Periodo de Observación: 1971-2000
Localización: Ixmiquilpan, Hidalgo	
LATITUD: 20°29'00" N. LONGITUD: 099°13'00" W. AL TURA: 1,745.0 MSNM.	

CONCEPTO	M E S E S												Valor medio ó Anual
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Tem. Med (TE)	13,6	15	17,7	19,8	21,3	20,8	19,9	19,8	19,2	17,4	15,5	14,2	TEA 17.9
Precip. Med (PR)	0,8	0,65	0,98	2,11	4,07	5,6	4,81	3,52	5,99	2,78	0,71	0,66	PRA 32.68
Índice de Calor (IC)	4,549	5,277	6,779	8,034	8,973	8,656	8,095	8,034	7,668	6,606	5,545	4,857	ICA 83.07
Evapotransp. Sin corregir (EV)	3,955	4,735	6,416	7,882	9,013	8,629	7,956	7,882	7,449	6,218	5,028	4,281	
Factor de Corrección (FC)	0,95	0,9	1,03	1,05	1,13	1,11	1,14	1,11	1,02	1	0,93	0,94	
Evapotransp. Pot. Corre. (EP)	3,757	4,261	6,608	8,276	10,18	9,578	9,069	8,749	7,598	6,218	4,676	4,025	EPA 83.00
Movimiento de Humedad (MH)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Humedad Almacenada (HA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	HAA 0
Demasía de Agua (DA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	DAA 0
Evapotransp. Real (ER)	0,8	0,65	0,98	2,11	4,07	5,6	4,81	3,52	5,99	2,78	0,71	0,66	ERA 32.68
Deficiencia de Agua (DE)	2,957	3,611	5,628	6,166	6,115	3,978	4,259	5,229	1,608	3,438	3,966	3,365	DEA 50.32
Relación Pluvial (RP)	-0,787	-0,847	-0,852	-0,745	-0,6	-0,415	-0,47	-0,598	-0,212	-0,553	-0,848	-0,836	

Índice de Humedad (IH): 0

Índice Pluvial (IP): -36.3764

Índice de Aridez (IA): 60.6273

Concentración Térmica (CT): 74.6972

F O R M U L A

Concepto	Clave	Descripción
Categoría de Humedad	PG	Seco semicalido
Régimen de Humedad	SA	Pequeña o nula demasía de agua
Categoría de Temperatura	TD	Templado- Frio
Régimen de Temperatura	VF	Alta concentración de Calor

Cuadro 3. Parámetros e índices climáticos anuales de la Estación 00013013 Ixmiquilpan, (DGE); realizado por Mateos 2011.

Clasificación Climática de Acuerdo al Sistema de Thornthwaite	
Estación Meteorológica: 00013074 IXMIQUILPAN, (DGE)	Periodo de Observación: 1971-2000
Localización: Ixmiquilpan, Hidalgo	
LATITUD: 20°29'00" N. LONGITUD: 099°13'00" W. AL TURA: 1,700.0 MSNM.	

CONCEPTO	M E S E S												Valor medio ó Anual
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Tem. Med (TE)	13,2	14,7	17,7	19,6	21,2	20,7	19,8	19,8	19	17,2	15,1	13,8	TEA 17.65
Precip. Med (PR)	1,18	0,49	1	2,92	5,36	5,58	5,53	3,71	5,38	2,09	0,52	0,79	PRA 34.55
Índice de Calor (IC)	4,38	5,11	6,77	7,91	8,9	8,59	8,03	8,03	7,54	6,49	5,33	4,65	ICA 81.73
Evapotransp. Sin corregir (EV)	3,81	4,62	6,47	7,792	8,98	8,602	7,937	7,9373	7,366	6,151	4,86	4,129	
Factor de Corrección (FC)	0,95	0,9	1,03	1,05	1,13	1,11	1,14	1,11	1,02	1	0,93	0,94	
Evapotransp. Pot. Corregida. (EP)	3,62	4,16	6,66	8,18	10,15	9,55	9,05	8,81	7,51	6,15	4,52	3,88	EPA 82.24
Movimiento de Humedad (MH)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Humedad Almacenada (HA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	HAA 0
Demasía de Agua (DA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	DAA 0
Evapotransp. Real (ER)	1,18	0,49	1	2,92	5,36	5,58	5,53	3,71	5,38	2,09	0,52	0,79	ERA 34.55
Deficiencia de Agua (DE)	2,44	3,67	5,66	0,00	0,00	3,97	3,52	5,10	2,13	4,06	4,00	3,09	DEA 37.643
Relación Pluvial (RP)	-0,67	-0,88	-0,85	-0,64	-0,47	-0,42	-0,39	-0,58	-0,28	-0,66	-0,88	-0,80	

Índice de Humedad (IH): 0
Índice de Aridez (IA): 57.5

Índice Pluvial (IP): -27.46
Concentración Térmica (CT): 34.95

F O R M U L A		
Concepto	Clave	Descripción
Categoría de Humedad	PG	Semiseco
Régimen de Humedad	SA	Pequeña o nula demasía de agua
Categoría de Temperatura	TD	Templado- Frio
Régimen de Temperatura	VF	Alta concentración de Calor

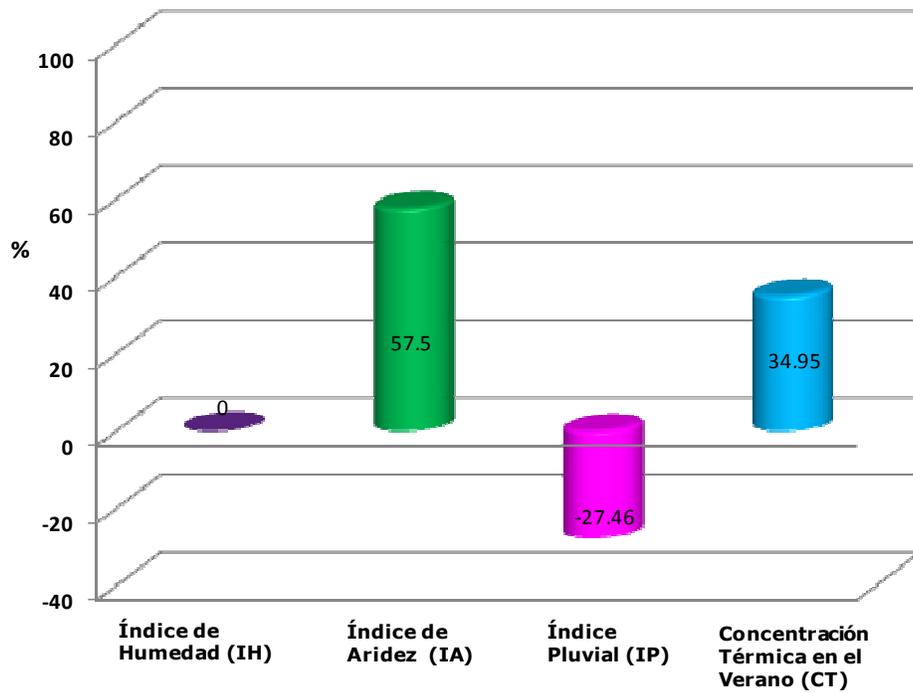


Figura 6. Valores de los índices climáticos anuales de la estación 00013074 Ixmiquilpan, (DGE). Tomado de Mateos 2011.

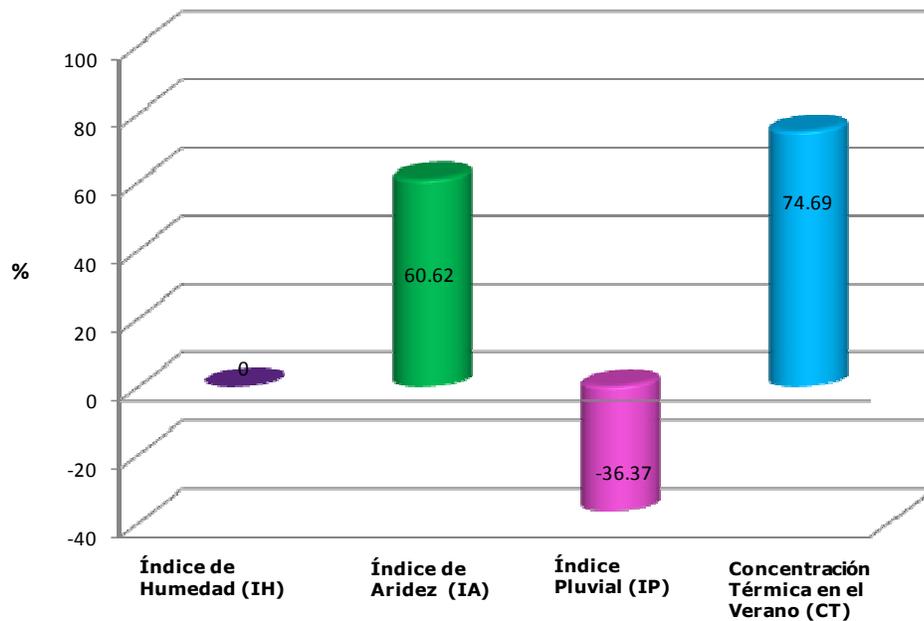


Figura 7. Valores de los índices Climáticos anuales de la Estación 00013013 Ixmiquilpan, (SMN). Tomado de Mateos 2011.

7.3 Evaluación morfométrica de la microcuenca

La morfología comprende el estudio de las formas superficiales y, en ese sentido, la geomorfología estudia y pretende cuantificar determinados rasgos propios de la superficie terrestre. En todo plan de manejo de una cuenca hidrológica, uno de los primeros pasos para su elaboración es el diagnóstico físico de esta unidad territorial a partir de sus características morfométricas (Campos Aranda, 1998).

A la fecha se ha comprobado que algunos índices y características tienen influencia en la respuesta hidrológica de la misma, y por ello son punto de partida de los análisis hidrológicos que se realicen en la cuenca (Valtierra, 2007). De entre todas las variables morfométricas, se seleccionaron doce de ellos para su análisis, por ser las de mayor empleo. El cuadro 4 muestra el valor de los parámetros seleccionados.

Cuadro 4. Valores de los Parámetros Morfométricos evaluados.

Parámetro	Resultado
Área de microcuenca (A)	25.382km²
Coefficiente de compacidad (Kc)	1.97
Elevación máxima	2840 msnm
Elevación mínima	1760 msnm
Elevación media	2300 msnm
Pendiente %	12.013%
Longitud de la cuenca (L)	10.1342 Km.
Longitud del cauce (Lc)	12.2430 Km.
Relación elongación (Re)	0.89 Km.
Índice forma (If) o (Kf)	0.31
Densidad de corriente (F)	1.328 Km-2
Densidad de drenaje (Dd)	0.4823 km/km²

La relación existente entre el área y la hidrológica de la cuenca es fundamental, ya que, no se podría conocer la aportación de agua en un periodo determinado de tiempo. Igualmente, conocida la medida de la superficie, podremos saber la cantidad de agua de precipitación recogida en la cuenca en un momento o periodo de tiempo concreto.

El área de la cuenca (A) determinada fue de 25.382 km² es la característica geomorfológica más importante. El conocimiento del parámetro A de una cuenca sirvió además del cálculo de otras variables morfométricas, para establecer una primera clasificación entre cuencas de acuerdo a su tamaño, y acuerdo con las dimensiones y con Valtierra (2007) los valores < 25 km² clasifican a la cuenca como una microcuenca.

La variable índice de forma (kf) indica que la cuenca es alargada, debido a que el valor obtenido es menor a la unidad; coeficiente de compacidad (kc), tuvo el valor mayores a 1.75 (ver anexo1, cuadro19) lo que corresponde a la clase 3 (K3) , que indican que la forma de la cuenca va de oval-oblonga a rectangular oblonga, esto nos indica que la respuesta hidrológica es mas lenta debido a que el valor se encuentra alejado de la unidad; cosa contraria si los valores estuvieran cercanos a la unidad y con una forma redonda ya que estas concentran mas el agua(Porta; López, 2005) ; según Jardí (1985) menciona que los valores inferiores a 1 en la variable relación elongación Re, implicara formas alargadas. En otras palabras, el Kc nos indica la relación entre el Perímetro de la cuenca con el de un círculo, señalando si una cuenca es alargada siguiendo los criterios de Sánchez (1987) este parámetro confirman los datos arrojados por el kf y la Re. En cuanto a los resultados observados al realizar la red de avenamiento y relacionándola con la densidad de corriente (F) indican que son de clase muy débil, en tanto que los resultados de la densidad de drenaje (Dd) comparados con el cuadro 20 del anexo 1 indican que es una cuenca pobremente drenada.

Además la microcuenca cuenta con una pendiente media de 10%, ubicada en la clase T3, y el relieve se encuentra moderadamente inclinado, esto también se complementa al observar la fig. 8, ya que muestra las categorías de terrenos

de acuerdo al porcentaje de pendiente presente en la microcuenca, obtenidos de acuerdo al criterio de Velasco (1983). Donde las clases de pendientes que prevalecen en la zona son T6, seguida de la T4, posteriormente se encuentra la clase T5 y al final la T7, las clases de pendientes de la zona en general, nos indica que no es apta para el uso agrícola, pero si para fines de conservación de la biodiversidad y son terrenos con alta susceptibilidad a los procesos de degradación de tierras.

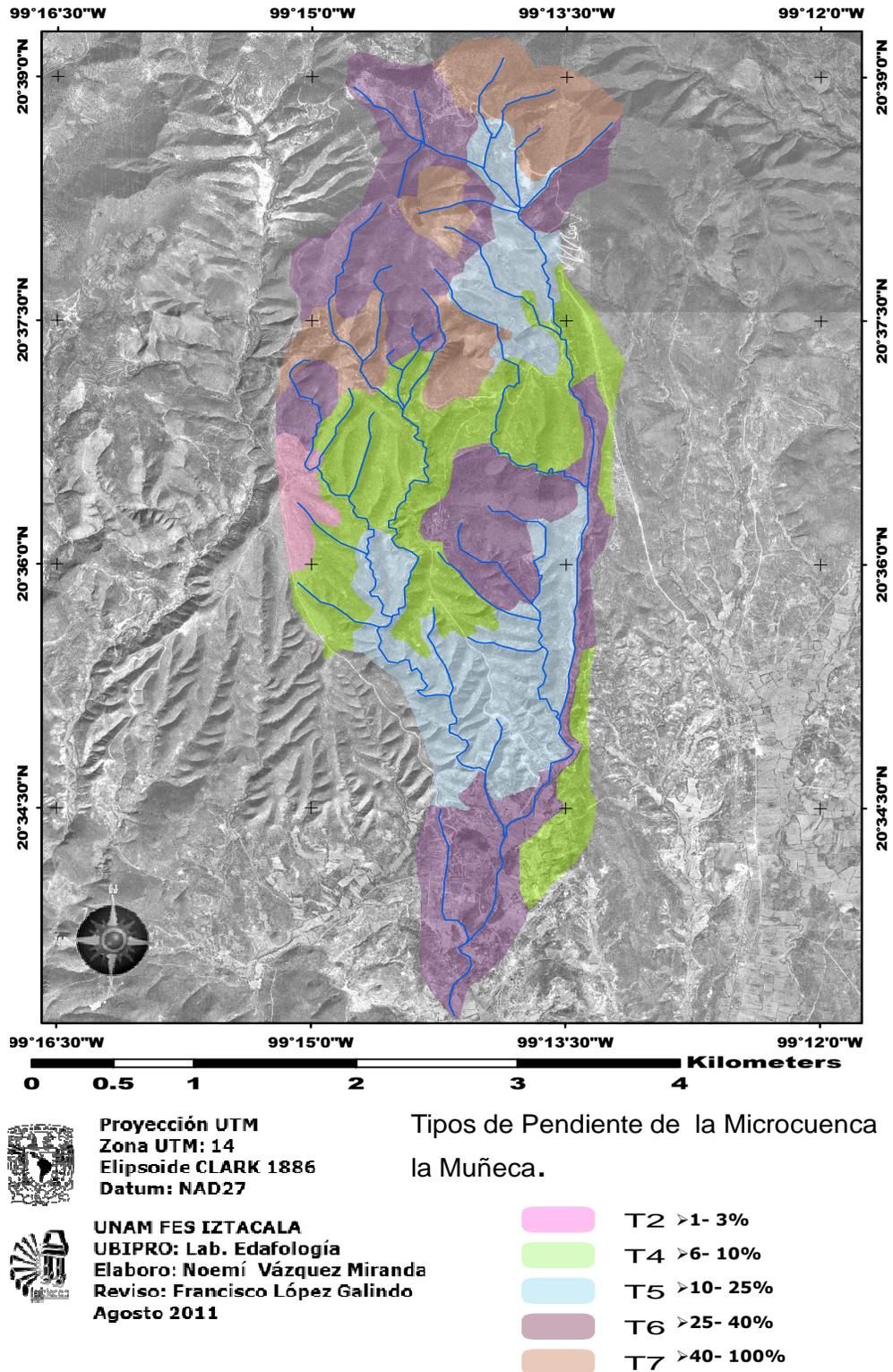


Figura 8. Clasificación de tierras de la microcuenca en función del valor de la pendiente.

Por otra parte, el componente litológico de la cuenca lo conforman los diversos tipos de sustratos rocosos que se encuentran en la zona, su importancia radica en que estos dan forma y configuración a la cuenca y continuamente influyen en el comportamiento del ciclo hidrológico, participando de forma directa en la infiltración, escurrimiento, permeabilidad, distribución, captación y retención de agua, tanto superficial como subterránea.

La cuenca presenta básicamente tres tipos de unidades geohidrológicas, “referidas a la agrupación de rocas o materiales granulares, cuya característica común es que pueden o no funcionar como acuíferos” (INEGI, 1983), la primer unidad geohidrológica identificada se encuentra formando parte de la cabecera de cuenca y divisoria de aguas, se caracteriza por ser material consolidado con posibilidades bajas de contener agua económicamente explotable. Sin embargo, por su origen ígneo riolítico-andesítico, se encuentra altamente fracturado de tal manera que en los momentos de precipitación a través de las fisuras existe escurrimiento, que aguas abajo pueden surgir como pequeños manantiales, pero los volúmenes son muy bajos y su existencia depende mucho de la época del año. Este sitio lo conforma el Cerro de la Muñeca y el C. Retumbante; aunque se encuentra aislado aquí se incluye el domo riolítico del poblado de Naxthey.

La segunda unidad está formada por materiales no consolidados con posibilidades medias, debido a su origen, tobas ácidas derivadas de andesitas con una granulometría de arenas gruesas y medias, con poros grandes, que permiten la infiltración, son muy permeables, se les localiza formando pie montes y en la zona se encuentran también en la cabecera de la cuenca al norte del poblado del Meje y parte de las Emes. Un problema que presentan es su alta susceptibilidad de conformarse en sitios de alto riesgo por presentarse derrumbes continuos y movimiento de materiales por lo abrupto de sus pendientes.

La tercera unidad presenta materiales mixtos consolidados y no consolidados con posibilidades medias y corresponden a la zona donde se presentan materiales rocosos de areniscas, calizas y lutitas y hacia la parte más baja de la cuenca conglomerados, en conjunto permiten la infiltración, son porosos y/o el

agua diluye la roca por su naturaleza salina. Los sitios que presentan esta condición son: Arbolado, Xaxni, Cantamayé, Dexthí San Juanico y La Palma.

La perforación de un pozo en la zona del Dexthí-San Juanico a 238 m de profundidad indicó la presencia de manto freático, pero el gasto medido fue muy bajo de 4 a 10 litros por segundo, y no alcanza a cubrir las necesidades del poblado. Ante esta situación de forma artesanal la gente de la región realiza perforaciones de poca profundidad de 20 a 50m, según sean las posibilidades, en los sitios cercanos a los lechos de los ríos para favorecer la recarga de los mantos en la época de lluvias. Una evaluación rápida de pH y salinidad, mostró valores de 7.5 a 8.0 de pH y de 1.5 a 2.0 % de salinidad, de forma cualitativa se identificó la presencia de carbonatos y cloruros, pero sus concentraciones hacen tolerable el agua. Los sólidos en suspensión fueron muy bajos. De tal forma que el consumo doméstico se realiza una vez que se filtra y se efectúa la cloración del líquido.

Por otra parte, la litología determinada en la zona y siguiendo el criterio de INEGI (1983), para el caso de aguas superficiales, se encontró la presencia de dos Unidades de Escurrimiento Superficial (UES) de la precipitación media anual, que se refieren al conjunto de rocas o materiales que permiten el flujo laminar superficial del agua, en mayor a menor grado, y con esto, pueden o no favorecer los escurrimientos superficiales y en consecuencia la formación de arroyos y ríos. La primera UES determinada corresponde a la parte alta de la cuenca, en la región de los cerros La Muñeca y Retumbante y los poblados El Mege y Las Emes. Donde se presentan temperaturas entre 14 y 16°C y una precipitación media anual que va de 600 a 800 mm, la presencia de laderas y pendientes mayores del 60% hacen que se presente un Coeficiente de Escurrimiento Superficial (CES) de 10 a 20%, que indica un flujo rápido del agua superficial, lo que implica el desplazamiento de materiales y por ende la degradación de suelos por efecto del agua por lo que requiere de construcción de obras para su retención, además influye en que se presente alta probabilidad de erosión de los sitios mencionados. La disección del relieve es muy alta.

La segunda UES, constituye la mayor parte de la cuenca y se caracteriza por presentar rocas y materiales que permiten un flujo de agua de escurrimiento

menor al anterior, los sitios incluidos son los poblados: Arbolado, Naxthey, Cantamayé, Xaxni, Dexthí –San Juanico y La Palma. Donde se presenta un intervalo de temperatura entre 16 y 18°C y una precipitación media de 400 a 600 mm. El CES se encuentra entre 5 a 10%, lo que indica que el poder de retención de agua de escurrimiento es mayor, los niveles de erosión y movimiento de materiales es mas bajo. Los materiales geológicos y la pendiente, mencionados anteriormente favorecen el retardo del escurrimiento y con esto la posibilidad de construir obras de captación de agua con mejores posibilidades de éxito.

Tal como se ha comprobado en la zona, la construcción de presas de piedra acomodada, bordos, jagueyes, zanjas y cisternas ayuda de forma directa a la captación de agua proveniente de la precipitación pluvial. Una forma indirecta de aprovechar el agua de escurrimiento es la creación de terrazas, en sitios de depósito de sedimentos acumulados por erosión, en las pequeñas microcuencas de primer orden, donde se practica agricultura de temporal donde el agua retenida por el suelo es aprovechada por cultivos de maíz, frijol, calabaza, haba, cebada y frutales como higos, granadas, limones y otros tipos como maguey.

Casos muy aislados son los sitios donde se presentan sedimentos no consolidados de origen aluvial y de texturas finas que retienen el agua de escurrimiento de forma eficiente, con un CES de 0-5%, formando pequeños cuerpos de agua, que son empleados para irrigación a pequeña escala, abrevaderos para ganado caprino y/o en épocas de sequía son empleados para cultivos de ciclos de vida muy cortos, avena y haba.

La figura 9, muestra la litología superficial presente en la zona de investigación

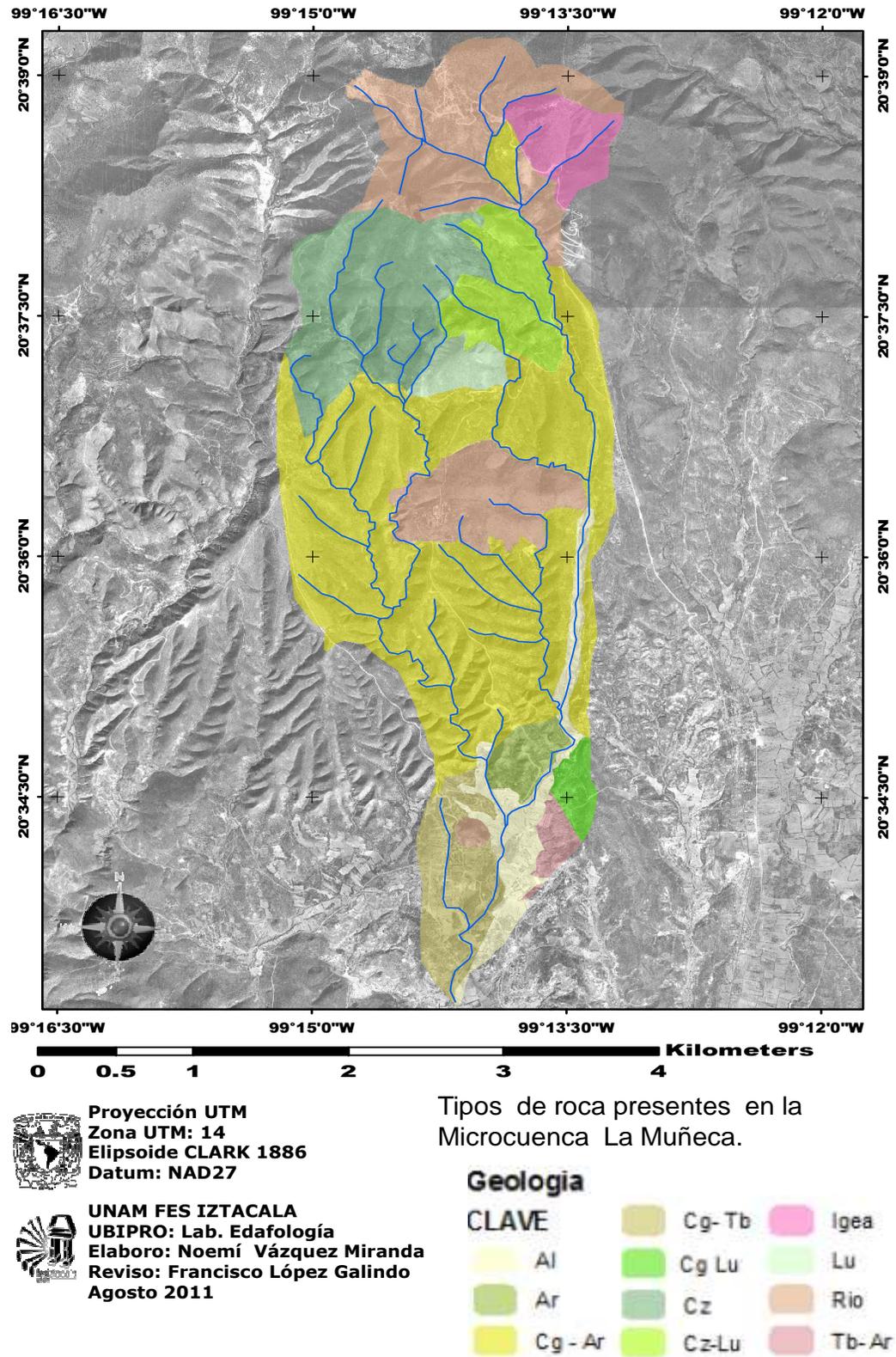


Figura 9. Litología

Características químicas del agua superficial

En la zona de trabajo INEGI (1983) realizó el muestreo de agua de un manantial localizado en el poblado de Naxthey, determinando los análisis químicos correspondientes y los resultados se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Resultados del análisis químico del agua del manantial del Naxthey.

Parámetro	Resultado
Número	47
Obra	manantial
Fecha	14-02-1982
Ca mg/L	30
Mg mg/L	10.7
Na mg/L	10.6
K mg/L	0.4
Dureza CaCO ₃	123.0
Relación de Adsorción de Sodio	0.14
pH	7.8
CE milimhos/cm.	0.26
SO ₄ mg/L	11.0
HCO ₃ mg/L	134.2
Cl mg/L	7.1
TOTAL SÓLIDOS	203
DISUELTOS mg/L	

Fuente: INEGI (1983)

Los resultados indican que los valores de los cationes se encuentran en rangos de medios tolerables, el valor de la dureza la califica como poco dura, por estar entre 75-150 mg/L, de pH poco alcalino, de conductividad baja, los aniones se encuentran en cantidades medias a tolerables, la cantidad de sólidos disueltos totales es de 203, ubicándose en el rango de menos de 525 mg/L, por lo que corresponde a la categoría de agua dulce. Es agua de salinidad media, que puede usarse siempre y cuando haya un grado de moderado de lavado, en casi todos los casos no existe necesidad de aplicar controles de salinidad, como se ha estado haciendo hasta el momento con cultivos plantas nativas medianamente tolerantes a la salinidad por ejemplo: *salanum rostratum*, *picris echioides*, *bidens odorata*, *medicago sativa*, *erodium cicutarium*, *euphorbia indivisa*, *avena sativa*, *nicotiana glauca*, *leonotis nepetifolia*, *salvia hirsuta*, *argemone ochroleuca*, *tithonia tubaeformis*, *heliotropium curassavicum*, *lepidium virginicum*, *taraxacum officinale*, *sphaeralcea angustifolia*, *gomphrena parviceps*; además de la producción de especies igualmente tolerantes como *brassica oleracea variedad italica*, *brassica oleracea variedad botrytis* las cuales pueden usarse sin correr riesgo de producir salinidad en los sitios donde aplique como riego. Finalmente, se recomienda para uso doméstico, su conservación requiere de la construcción de obras de captación.

Características físico-químicas del suelo.

La poca importancia que el hombre le ha dado al recurso suelo ha desencadenado la necesidad de un manejo racional de este, a través del estudio de las propiedades de cada tipo de suelo, conociendo las interrelaciones que se dan dentro de el y que involucran una serie de procesos físicoquímicos ligados íntimamente a la fertilidad edáfica y así valorar del estado de cada uno de ellos, determinar el uso mas adecuado que se le puede dar a cada uno y la elección de los mejores métodos para su conservación. Debido a esto se hizo un estudio de algunas de estas propiedades en este trabajo obteniendo los resultados ilustrados en los cuadros 6, 7 y 8 respectivamente.

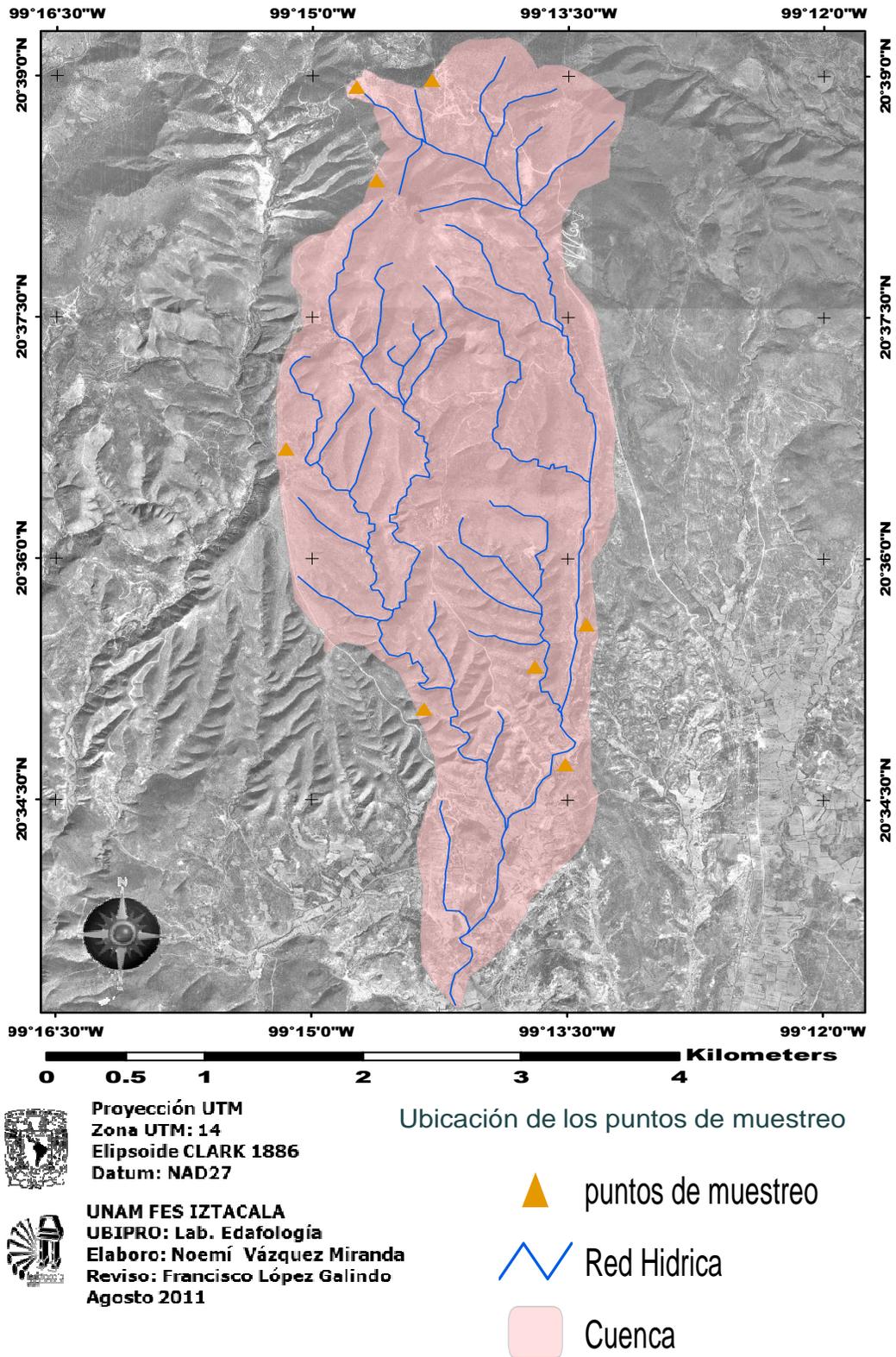


Figura 10. Ubicación de los puntos muestreados

El cuadro 6 muestra los resultados de las propiedades físicas del suelo obtenidas para los sitios de interés.

Donde la densidad aparente en su mayoría se encuentran valores medios y minoritariamente bajos solo reportándose estos en las partes altas de la cuenca y reportando valores altos, en dos sitios de acuerdo a los criterios del cuadro ; así como los valores de densidad real con categorías medias y altas y solo algunos son bajos; en los suelos arcillosos y orgánicos, ricos en coloides generalmente tienen alta porosidad, alrededor del 60% debido a que las cargas de estos coloides generan un acomodo de partículas con mucho espacio libre. En contraste los suelos arenosos tienen bajos niveles de porosidad, debido a la baja capacidad reactiva de sus partículas y sus valores aproximados son del 40% de porosidad (Narro, 1994). Las muestras arrojaron resultados medios a altos, debido a que nuestros suelos son francos, presentando propiedades de ambos, las arcillas generan con sus cargas la atracción de las partículas, incluidas las arenas y limos, las arenas por lo tanto confieren el espacio del poro gracias a su tamaño, así genera una porosidad alta y media en las muestras.

Se sabe que las propiedades referidas a la textura de suelo como limo, arena, arcilla indican la clase textural, En suelos franco arenoso, la proporción de partículas va de 20- 35% de arcillas, 28% de limos y 45% o mas de arenas(Ortiz y Ortiz, 1980).

El suelo franco arcillo-arenoso se distingue por ser un suelo en que predomina la arena y la arcilla. En el cual existen grano individuales que pueden verse y sentirse y verse con facilidad. En un contenido de arcillas de 20-25% se provee de las cualidades deseadas para la aeración, capacidad de retención de agua y de elementos nutritivos (Cairo- Fundora, 1994).

El tipo textural franco arenoso, contiene un porcentaje mayor a 50 de arenas por lo que se dice que presenta mucha arena pero suficiente limo y arcilla para conferir cohesión. Al igual que la textura franco arcillo arenosa, los granos individuales pueden verse y sentirse con facilidad, ya que tienen una moldura que resisten a la manipulación, pero se rompen fácilmente.

Los suelos que presentan una porción mayor de arenas suelen ser de índole abierta, y poseen buen drenaje, aeración y por lo general sueltas, desmenuzables y fáciles de manejar en operaciones de labranza (Tamhane, Motiramani y Bali 1979).

Los suelos de los sitios evaluados presentaron una textura media fina a media gruesa (franco arenosa) son suelos de medio potencial de escurrimiento. Ya que estos suelos presentan velocidades medias de infiltración, en condiciones de saturación, y su drenaje varía de medio a lento al igual que su permeabilidad (Aguilera, 1989).

Cuadro 6. Propiedades Físicas del suelo

sitio	Color seco	Color húmedo	Densidad aparente(g/cm3)	Densidad real (g/cm3)	Porosidad %	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase textural
Dext-1A	10YR 5/2 pardo grisáceo	10YR 3/3 pardo oscuro	1.23	3.27	33.64	68	20	12	Franco arenoso
Dext-1B	10Y/R 7/2 gris claro	10YR 5/3 pardo	1.23	2.69	45.75	56	32	12	Franco arenoso
Dext-2A	10YR 7/3 pardo muy palido	10YR 5/4 pardo amarillento	1.33	2.38	55.81	60.4	28	11.6	Franco arenoso
Dext-3A	10YR 7/2 gris claro	10YR 4/3 pardo	1.12	2.51	44.71	66	22	12	Franco arenoso
Dext-3	10Y/R 7/2 gris claro	10YR 4/2 pardo grisáceo oscuro	1.22	2.79	43.68	74.4	16	9.6	Franco arenoso
Dext-4	10YR 5/2 pardo grisáceo	10 YR 3/2 pardo grisáceo oscuro	0.98	3.09	31.73	52.8	30	17.2	Franco arenoso
Dext-5	10YR 6/3 pardo palido	10 YR 4/4 pardo amarillento oscuro	1.19	3.01	39.53	68.8	16	15.2	Franco arenoso
Dext-6	10YR 6/2 gris pardusco claro	10YR 3/3 pardo oscuro	1.21	2.60	46.44	64.4	22	13.6	Franco arenoso
Dext-7	10YR 6/2 gris pardusco claro	10YR 5/3 pardo	1.16	2.75	42.32	52.8	30	17.2	Franco arenoso
Dext-8	10YR 6/3 pardo palido	10YR 4/2 pardo grisáceo oscuro	1.17	2.70	43.35	54.8	30	15.2	Franco arenoso
Dext-9	10 YR 3/2 pardo grisáceo oscuro	10YR 2/1 negro	0.919	2.55	36.12	46.8	38	15.2	Franco
Loc 1 CN	10YR 5/2 pardo grisáceo	10YR 2/2 pardo muy oscuro	1.15	2.21	47	78	9.8	12.2	Franco arenoso
Sitio 1 lechuguillas	10YR 5/2 pardo grisáceo	10YR 2/1 negro	1.29	2.14	39	61.6	38	0.4	Franco arenoso
Sitio 2 ocotillo	10YR 4/1 gris oscuro	10YR 2/2 pardo muy oscuro	1.07	2.24	52.13	62	22	16	Franco arenoso
Sitio 3 agaves	10YR 4/1 gris oscuro	10YR 3/1 gris muy oscuro	1.02	2.56	39.81	66	14	20	Franco arenoso
Dext-1R	10YR 7/4 pardo muy pálido	10YR 4/4 pardo amarillento oscuro	1.06	2.21	49.82	51.6	28	20.4	Franco arcillo arenoso
Dext-2R	10YR 6/2 gris pardusco claro	10YR 3/3 pardo oscuro	1.13	2.36	52.12	75.6	14	10.4	Franco arenoso
Bosque	10YR 4/2 pardo grisáceo oscuro	10 YR 3/2 pardo grisáceo oscuro	0.82	1.86	44.02	44.4	26.8	28.8	Franco arcilloso
Baldomero1	10YR 6/2 gris pardusco claro	10YR 4/3 pardo	1.00	2.26	44.39	43.2	22	34.8	Franco arcilloso
Baldomero2	10YR 6/2 gris pardusco claro	10YR 4/2 pardo grisáceo oscuro	1.15	2.35	49.06	48.4	20.8	30.8	Franco arcillo arenoso
Sitio1VA	10YR 5/3 pardo	10 YR 3/2 pardo grisáceo oscuro	1.26	2.28	55	66.8	17.6	15.6	Franco arenoso
Sitio2VE	10YR 5/2 pardo grisáceo	10YR 4/2 pardo grisáceo oscuro	1.39	2.4	57.7	74.8	13.6	11.6	Franco arenoso
Aurelio P1	10YR 5/4 pardo amarillento	10YR 4/2 pardo grisáceo oscuro	1.27	2.34	54.04	54.8	23.6	21.6	Franco arcillo arenoso
Aurelio P2	10YR 6/2 gris pardusco claro	10YR 4/3 pardo	1.13	2.28	49.67	37.2	37.2	25.6	Franco arcilloso
0-35cm A1	10YR 4/1 gris oscuro	10YR 2/2 pardo muy oscuro	1.10	2.09	52.36	73.2	15.2	11.6	Franco arenoso

El cuadro 7 contiene los parámetros Químicos evaluados para los sitios. Resultando que es difícil conservar la materia orgánica del suelo bajo un clima árido y semiárido a causa de la continua temperatura elevada. Además el suministro de residuos orgánicos es limitado y la mayor parte de estos se oxidan con rapidez (Tamhane, 1979).

Los resultados de Materia Orgánica del suelo muestran la heterogeneidad de los suelos, ya que van de suelos extremadamente pobres a suelos extremadamente ricos en materiales orgánicos; toda carga de M.O depende de pH, la interacción catiónica de la materia orgánica y de los silicatos laminares se incrementa conforme aumenta el pH. (Bohn, 1993) En los suelos neutros o ligeramente alcalinos de pH de 7 a 8 la humificación es rápida, pues los compuestos obtenidos son neutralizados pronto y floculados. En suelos muy calcáreos la humificación se hace más despacio. (Gaucher, 1971). Además la capacidad de intercambio catiónico contribuye en un 45% en suelos con pH de 8. (Bohn, 1993). La Materia orgánica cuando se encuentra en cantidades importantes contribuye sensiblemente a la C.I.C. y está fuertemente influida por el pH (León, 1984).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) puede ser alterada por diversos factores, aunque los mas importantes son: el tamaño de las partículas, temperatura, medio externo y la alteración de las posiciones de cambio (Ortiz, 1980), en las zonas áridas y semiáridas puede haber otros suelos totalmente saturados de bases, pero el catión dominante es el sodio como en los suelos alcalinos. Es muy conveniente que un suelo tenga una CIC alto, por que eso significa que dicho suelo este bien dotado con la clase adecuada de coloides que pueden adsorber e intercambiar los cationes requeridos en forma de elementos nutritivos. Este suelo tendrá una mayor estabilidad en lo concerniente a la fertilidad. Los resultados muestran que los sitios tienen valores que permiten catalogarlos de medios a muy altos de acuerdo a los criterios usados por Muñoz et al (2000), predominando los niveles medios con un 72% del total de las muestras analizadas.

Por ultimo el cuadro 8 muestra algunas características químicas del suelo, cuyos resultados arrojan que los suelos de la microcuenca no han sido degradados por

efecto de la salinidad, ya que lo obtenido para cada muestra son valores muy bajos para todos los casos, con lo que se comprueba lo arrojado en los resultados de pH por lo que se demuestra que los suelos son de tipo neutro.

Evaluación del estado actual de la degradación de Tierras en la microcuenca la Muñeca en el Alto Mezquital, Ixmiquilpan, Hidalgo.

Cuadro 7. Propiedades Químicas del suelo

sitio	Materia organica (%)	pH real	C.I.C.T.(Cmol+/Kg)	Ca(Cmol+/Kg)	Mg (Cmol+/Kg)	Na (Cmol+/kg)	K (Cmol+/kg)
Dext-1A	8.28	7.66	30.69	17.4	4.64	7.6	1.05
Dext-1B	3.45	7.72	21.57	12.06	2.08	5.7	1.73
Dext-2A	1.73	8.52	17.1	8.12	1.62	6.4	0.96
Dext-3A	2.32	8.19	56.64	12.35	41.17	1.82	1.3
Dext-3	3.45	7.37	17.7	12.06	2.78	1.9	0.96
Dext-4	7.59	7.55	26.91	13.22	5.33	7.1	1.26
Dext-5	1.73	7.56	18.7	11.6	2.08	3	2.02
Dext-6	0.863	7.66	22.01	8.12	9.28	2.95	1.66
Dext-7	2.59	7.66	20.19	9.04	7.88	1.8	1.47
Dext-8	2.59	7.16	25.61	8.81	12.52	2.2	2.08
Dext-9	8.28	7.41	26.64	15.54	7.65	2.17	1.28
Loc 1 CN	5.71	7.55	20.49	14.61	3.94	1.36	0.58
Sitio 1 lechuguillas	2.53	7.64	20.86	12.99	4.64	1.97	1.26
Sitio 2 ocotillo	6.30	7.67	67.82	45.03	20.78	1.34	0.67
Sitio 3 agaves	4.72	7.73	89.25	66.66	20.53	1.36	0.7
Dext-1R	3.38	7.48	108.97	95.17	11.37	1.95	0.48
Dext-2R	3.10	8.08	77.96	68.34	7.1	1.67	0.85
Bosque	3.00	6.97	30.01	20.81	8.47	0.52	0.21
Baldomero1	1.71	8.08	26.78	13.79	10.89	0.54	1.56
Baldomero2	1.45	7.96	24.14	16.94	5.8	0.54	0.86
Sitio1VA	2.35	8.05	25.78	21.78	2.9	0.52	0.58
Sitio2VE	0.15	8.36	22.62	19.36	1.93	0.78	0.55
Aurelio P1	2.49	7.91	27.68	22.02	4.35	0.49	0.82
Aurelio P2	0.41	7.8	27.5	15.43	10.65	0.5	0.92
0-35cm A1	24.12	7.81	26.69	20.81	4.6	0.67	0.61

Evaluación del estado actual de la degradación de Tierras en la microcuenca la Muñeca en el Alto Mezquital, Ixmiquilpan, Hidalgo.

Cuadro 8. Continuación de Propiedades Químicas del suelo

sitio	Ecc (dS/m)	Sales (dS/m)	TDS (mg/L)	HS (%)
Dext-1A	0.202	0.1563	141	74.08
Dext-1B	0.138	0.1055	95.9	45.98
Dext-2A	0.315	0.2484	226	34.90
Dext-3A	0.117	0.0903	81.4	38.00
Dext-3	0.137	0.1059	95.2	43.37
Dext-4	0.182	0.1413	127.1	72.81
Dext-5	0.192	0.1523	137.4	34.85
Dext-6	0.145	0.1122	101.2	29.69
Dext-7	0.158	0.1231	111.1	42.34
Dext-8	0.217	0.1656	150	41.64
Dext-9	0.217	0.1189	105.7	77.19
Loc 1 CN	0.178	0.1273	129.06	57.37
Sitio 1 lechuguillas	0.197	0.1527	135.5	36.94
Sitio 2 ocotillo	0.243	0.1781	163	63.65
Sitio 3 agaves	0.221	0.1625	149	54.56
Dext-1R	0.13	0.1027	93	48.09
Dext-2R	0.17	0.1313	118	41.32
Bosque	0.15	0.1166	104.9	48.60
Baldomero1	0.23	0.1703	158	42.34
Baldomero2	0.201	0.155	137.6	39.21
Sitio1VA	0.119	0.0903	81.6	38.99
Sitio2VE	0.149	0.1152	103	23.74
Aurelio P1	0.264	0.2031	186	42.59
Aurelio P2	0.231	0.1734	161	32.87
0-35cm A1	0.222	0.1641	149	169.88

A continuación se muestran los resultados de los índices de degradación Química (CDI) y Biológica (BDI):

Los valores resultantes de la aplicación del índice de degradación química mostrados en la tabla 9, y de acuerdo con los criterios utilizados por Paz Et. Al (2006) y expuestos en el cuadro 10, indican que los suelos de la microcuenca se encuentran afectados por este tipo de degradación con 44% de grados muy altos y el resto de los sitios con una degradación moderada.

La degradación biológica se relaciona con la incidencia del clima sobre los procesos que inciden en mineralización de la materia orgánica y el agotamiento de su contenido así como la rapidez en que esta se presenta o por efecto de la erosión del suelo. El índice propuesto considera el contenido de materia orgánica por sí sola como el principal factor de degradación biológica; los datos revelados en el cuadro 9 y comparados con los criterios del cuadro 10 muestran que del total de las muestras analizadas, el 44% está en niveles bajos, seguido con un 40% de las zonas con valores muy bajos, 8% altos en lugares donde se ha utilizado el suelo con fines agrícolas, 4% de moderados y otro 4% con grados muy altos de degradación en zonas donde la vegetación es escasa.

Cuadro 9. Índices de Degradación Química y Biológica de Suelo

Sitio	CDI	BDI
Dext-1A	0.2542	0.1208
Dext-1B	0.2682	0.2899
Dext-2A	0.3829	0.5797
Dext-3A	0.0332	0.4310
Dext-3	0.1119	0.2899
Dext-4	0.2705	0.1318
Dext-5	0.1653	0.5797
Dext-6	0.1367	1.1587
Dext-7	0.0936	0.3865
Dext-8	0.0907	0.3865
Dext-9	0.0899	0.1208
Loc 1 CN	0.0731	0.1751
Sitio 1 lechuguillas	0.0991	0.3953
Sitio 2 ocotillo	0.0228	0.1587
Sitio 3 agaves	0.0171	0.2119
Dext-1R	0.0187	0.2958
Dext-2R	0.0226	0.3224
Bosque	0.0206	0.3333
Baldomero1	0.0251	0.5844
Baldomero2	0.0268	0.6892
Sitio1VA	0.0226	0.4248
Sitio2VE	0.0366	6.4935
Aurelio P1	0.0232	0.4018
Aurelio P2	0.0219	2.4155
0-35cm A1	0.0442	0.0415

Cuadro 10. Criterios aplicados para evaluar la degradación de suelo

Grado de degradación	Índice de degradación biológica	Índice de degradación química
Muy bajo	0 - 0.3	0 – 0.0081
Bajo	0.3 – 0.6	0.0081 – 0.021
Moderado	0.6 – 1.0	0.021 – 0.046
Alto	1.0 – 2.5	0.046 – 0.085
Muy alto	≥ 2.5	≥ 0.085

7.4 Caracterización de los diferentes usos del suelo

De acuerdo a Neri (2000) otra característica importante para conocer las condiciones higrológicas de una cuenca es el reconocimiento de los diferentes tipos de vegetación, coberturas y terrenos donde se realizan diferentes actividades antrópicas. Es por tal motivo que a continuación se brinda una descripción del uso de suelo que presenta la microcuenca.

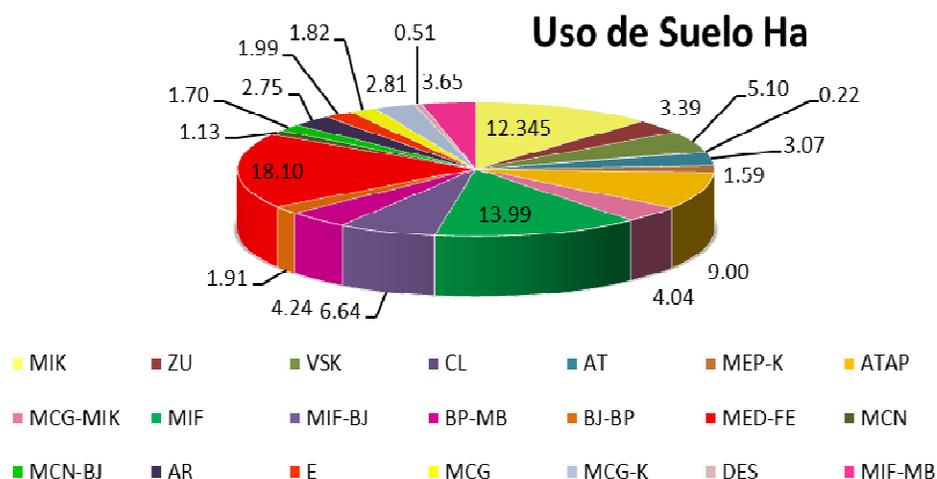


Fig 11. Superficie (%) por uso del suelo de la microcuenca

7.4.1 Tipos de Vegetación

La cuenca estudiada presenta mosaicos de vegetación correspondientes a bosques que se encuentran en zona de transición climática y matorrales característicos de zonas secas, además de agricultura de temporal de cultivos básicos, agricultura de riego sistemas agroforestales sobre todo de cultivos de fibras. El deterioro ambiental también se expresa en la biota al presentarse vegetación de sucesión secundaria. A continuación se describen los principales tipos de vegetación y usos del suelo determinados para la zona.

Vegetación de zonas templadas y transición climática

Bosque de Enebro (*Juniperus*)

Se distribuye entre los 2600 y 2800 msnm en laderas sedimentarias e ígneas, con pendientes del 55 %, de relieves irregulares. En general, se sitúan en las vertientes de sotavento de la Sierra Juárez. Para la zona de estudio se localiza en la cabecera de la cuenca en el cerro Dendri y los poblados del Meje y la porción norte de la comunidad Las Emes. Ocupa una superficie de 48.33 ha. Es fuente importante de recursos energéticos, elementos para construcción y forrajeros. El problema más importante es su degradación por tala y su eliminación por extracción de cantera andesítica y materiales de piemonte, provocando pérdida de suelos en grados severos. La especie dominante es *Juniperus flaccida* codominante con *Pinus cembroides*, *Sophora secundiflora*, *Mimosa biuncifera*, *Cassia crotalarioides*, *Casimiroa pubescens*, *Berberis ilicina*, *Agave americana*, *Opuntia stenopetala*, *Amelanquier denticulata*, *Quercus mexicana*, *Quercus sp.* y *Acacia sp.* Hacia las partes más elevadas se le encuentra asociado con encinares y le acompañan especies como: *Bouvardia ternifolia*, *B. longiflora*, *Selaginella lepidophylla*, *Villadia parviflora*, *Echeveria bifida*, *Baccharis conferta*, *Tillandsia recurvata* y *Cheilanthes sp.*. En partes más bajas se mezclan con *Prosopis laevigata*, *Mimosa biuncifera*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Jatropha dioica*, *Ferocactus latispinus*, *Croton morifolius*, *C. ehrenbergii*, *Echinocereus cinerascens*, *Agave americana*, *A. crassispina*, y anuales como *Asclepias linaria*, *Eupatorium spinosarum* y *Brongniartia discolor*. Esta vegetación se puede presentar asociada a bosque de encino, de piñonero y zonas de transición a matorrales de tipo crasicale de *Myrtillocactus geométrizans*. Se localiza al norte del Cerro de la Muñeca y el Meje. En esta se práctica actividad forestal pero a nivel de explotación doméstica y al mismo tiempo, puede complementarse con actividad ganadera de bovinos y ovinos. Es importante destacar que por estar en contacto con afloramientos rocosos altamente fisurados se convierten en zonas de escurrimiento o de aparición de pequeños manantiales cuyo flujo alimenta los escurrimientos primarios.

Vegetación de condiciones semiáridas

Matorral inerme de *Flourensia resinosa*

Esta agrupación se caracteriza por presentar como especies dominantes en más de 70 % arbustos sin espinas de hojas perennes o caducas. González-Quintero (1968), la clasifica como matorral calcícola.

➤ Matorral inerme de *Flourensia resinosa*

Se distribuye en la parte centro Norte del área, a una altitud de 2200 a 2400 msnm, en laderas y pequeñas planicies; incluye a los poblados de Las Emes, Arbolado, Xhaxni y Cantamayé. Tiene una superficie cerca de 600 ha, siendo la mayor extensión de terreno cubierto. La zona es un agostadero, por los múltiples recursos forrajeros con que cuenta y se complementa con elementos alimenticios, medicinales y energéticos. Aquí se incluye al tipo de vegetación caracterizada por estar formada por más del 70 % de plantas sin espinas (INEGI, 1985), con dominancia de *Flourensia resinosa*, asociada con *Opuntia stenopetala*, *Karwinskia humboldtiana*, *Opuntia tunicata*, *O. imbricata*, *O. microdasys*, *O. leptocaulis*, *Celtis pallida*, y *Prosopis laevigata*. Otras especies identificadas para este sitio fueron: *Hechtia podantha*, *Mammillaria sp*, *Jatropha dioica*, *Mimosa sp*, *Ferocactus latispinus*, *Croton marifolius*, *Echinocereus cinerascens*, *Echinocactus platyacanthus*, *Ephedra compacta*, *Eupatorium espinosarum*, *Croton ehrenbergii*, *Lippia sp.*, *Yucca filifera*, *Asclepias linaria*, *Koeberlinia spinosa*.

Matorral crasicaule de *Opuntia* y *Muyrtillocactus*

Su distribución es muy diversa, encontrándose desde los 1800 a 2400 msnm; en crestas, laderas, declives y barrancas; con pendientes inclinadas (10 % al 15 %) a muy pronunciadas (30 % a 50 %). El empleo dado a esta vegetación es variado distinguiéndose el alimenticio y forrajero, sobresaliendo el uso de las cactáceas. Esta vegetación se encuentra ampliamente distribuida en la zona de las Eme's. abarcando un total de cerca de 200 ha.

Las especies dominantes son *Opuntia streptacantha*, *O. cantabrigiensis*, *O. robusta*, *O. cochineria*, *O. imbricata*, *O. leptocaulis*, *O. tunicata*, *O. stenopetala*, asociados con *Myrtillocactus geometrizans*, *Prosopis laevigata*, *Stenocereus marginatus*, *Mimosa sp*, *Agave crassispina*, *Karwinskia*

humboldtiana y *Aloe barbadensis*. Existen otros elementos acompañantes como: *Hechtia podantha*, *Tillandsia recurvata*, *Jatropha dioica*, *Ferocactus latispinus*, *Croton morifolius*, *C. ehrenbergii*, *Echinocereus cinerascens*, *Leucophyllum ambiguum*, *Calochortus barbatus*, *Eupatorium espinosarum*, *Flourensia resinosa*, *Acacia turtuosa*, *Brongniartia discolor*, *Yucca filifera*, *Asclepias linaria*, *Mammillaria sp*, *Sanvitalia procumbens* y *Selaginella lepidophylla*. En este Matorral se diferenciaron asociaciones de Crassicaule de *Opuntia* y de *Myrtillocactus geometrizans*. Esta vegetación en la época de lluvias amortigua de forma importante el proceso de erosión porque cubre casi en su totalidad el suelo, sin embargo en la época se sequía y por estar en zonas de piemonte se convierten en áreas de riesgo por movimiento de materiales.

Matorral espinoso de *Prosopis laevigata* o Mezquital

El matorral espinoso o mezquital está formado por más del 70 % de plantas espinosas, donde el dominante fisonómico es el mezquite (*Prosopis laevigata*), conjuntamente con *Acacia shaffneri*. Se desarrolla en la zona de formación de terrazas aluviales o en el fondo de las barrancas. Esta vegetación se distingue por es la que en cierta forma regula la temperatura y humedad ambiental, además en la zona es de gran importancia por las multifunciones que tiene, en especial en la conservación de suelos y distribución de agua de escorrentía. La presencia de este matorral se manifiesta de mejor forma en Arbolado, Xahasni, Dexthí –San Juanico y la Palma. Sobre una superficie de 40 ha.

Se encuentra asociado a otras especies como: *Celtis pallida*, *Acacia turtuosa*, *Karwinskia humboldtiana* y *Koeberlinia spinosa*. Otros elementos encontrados en este tipo de vegetación son *Myrtillocactus geometrizans*, *Opuntia imbricata*, *O. streptacantha*, *Yucca filifera*, *Echinocereus cinerascens*, *Ferocactus latispinus*, *Jatropha dioica*, *Lippia graveolens*, *Mimosa biuncifera*, *Opuntia cantabrigiensis* y *O. tunicata*.

En el estrato herbáceo se encuentran *Andropogon barbinodis*, *Artemisia ludoviciana*, *Bidens pilosa*, *Boerhaavia erecta*, *Eragrostis sp*, *Sanvitalia procumbens*, *tillandsia recurvata* y *Phoradendron brachystachyum* (muérdago), que parasita a *Prosopis*.

Matorral espinoso deciduo de *Fouquieria splendens*

Este se denomina de esa forma por estar representado por especies caducifolias como *Fouquieria splendens*, algunas mimosas, *Karwinskia humboldtiana*. Se encuentra en la parte central de la cuenca ocupando las laderas de planicies y piedemontes, formados por areniscas y conglomerados, zonas de barrancas, en sitios muy empinados con pendientes de más del 60%, de acuerdo a la estación del año, se tiene que en épocas de lluvias, cubren cerca del 80% de su área de distribución, pero en secas su cobertura se reduce a cerca del 15 a 20%, haciendo con esto que esos sitios presentes severos casos de pérdida de suelos. La superficie ocupada es de 460 ha. Los usos principales que de les da es la actividad pecuaria de caprinos y la recolección de productos silvestres.

Las principales especies del sitio son: *Croton morifolius*, *Echinocactus platyacanthus*, *Agave lechuguilla*, *A. striata*, *A. difformis*, *Celtis pallida*, *Acacia turtuosa*, *Karwinskia humboldtiana* y *Koeberlinia spinosa*. Otros elementos encontrados en este tipo de vegetación son *Myrtillocactus geometrizans*, *Opuntia imbricata*, *O. streptacantha*, *Yucca filifera*, *Echinocereus cinerascens*, *Ferocactus latispinus*, *Jatropha dioica*, *Lippia graveolens*, *Mimosa biuncifera*, *Opuntia cantabrigiensis* y *O. tunicata*.

En el estrato herbáceo se encuentran *Andropogon barbinodis*, *Artemisia ludoviciana*, *Bidens pilosa*, *Boerhaavia erecta*, *Eragrostis sp*, *Sanvitalia procumbens*, *tillandsia recurvata* y *Phoradendron brachystachyum* (muérdago), que parasita a *Prosopis*.

Finalmente, en las partes más bajas de la cuenca se presentan sitios de **Vegetación de sucesión secundaria**, donde domina *Karwinskia humboldtiana*, asociada a *Myrtillocactus geometrizans*, *Opuntia imbricata*, *O. streptacantha*, *Yucca filifera*, *Echinocereus cinerascens*, *Ferocactus latispinus*, *Jatropha dioica*, *Lippia graveolens*, *Mimosa biuncifera*, *Opuntia cantabrigiensis* y *O. tunicata*. Se puede decir que tiene un papel fundamental en la recuperación de áreas degradadas y en la generación de cobertura y aumento de biomasa y con esto recuperar áreas baldías o cárcavas, para su posterior utilización como sitios de forrajeo. La superficie beneficiada es de 129.5 ha.

De igual forma, se encontró que el área productiva de agricultura de temporal se practica en una superficie de 210 ha, el riego se realiza en 70 ha, las plantaciones de lechuguilla en 5.56 ha, se tiene que los asentamientos o zonas urbanas se presentan en un área de 87 ha, complementándose con afloramientos rocoso, zonas de erosión severa y desmontes en 63.5 ha.

La distribución de la vegetación se puede observar en la figura 12.

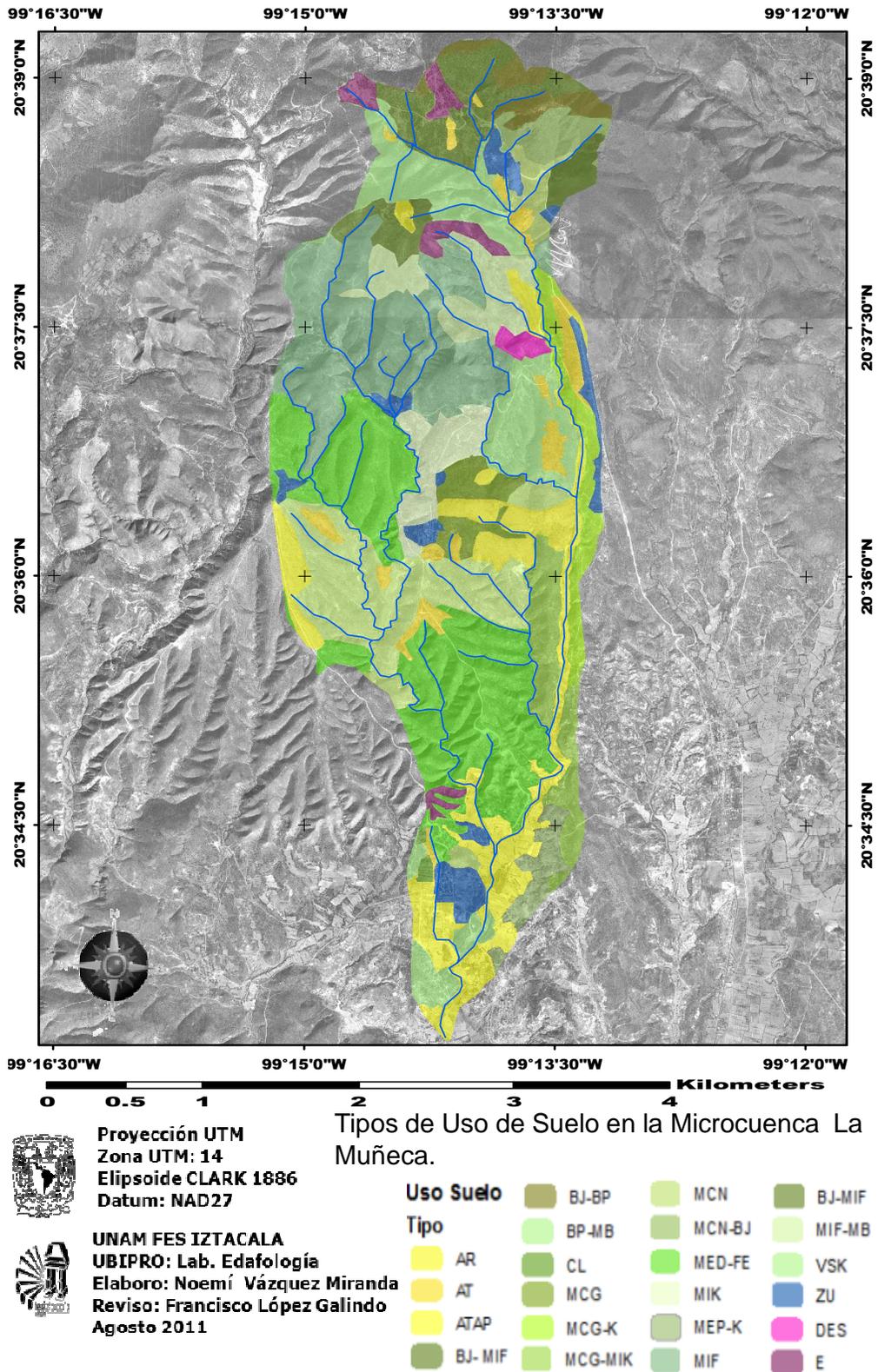


Fig 12. Muestra usos de suelo de la microcuenca

7.5 Degradación de Tierras

La microcuenca la Muñeca cuenta con una extensión aproximada de 25.382km², en la que se manifiestan diferentes tipos de alteración y diferentes niveles de degradación de tierras, afectando a los micros y los macro ecosistemas de la región del Alto Mezquital.

7.5.2 Pérdida de suelo

El cuadro siguiente muestra los niveles de pérdida de suelo obtenidos para los sistemas ecogeográficos que forman parte de la zona de trabajo derivados mediante la aplicación de la USLE y su variante RUSLE, los cuales consideran como primordiales los primeros tres factores (anexo 3).

Cuadro 11. Valores de pérdida de suelo por erosión calculada para cada Sistema Ecogeográfico, en los que se encuentra inmersa la zona de investigación, aplicando el criterio de SEDESOL (1993).

SISTEMA ECO-GEOGRÁFICO	EROSIÓN HÍDRICA TON / HA / AÑO	EROSIÓN HÍDRICA GRADO	EROSIÓN EÓLICA TON/HA / AÑO	EROSIÓN EÓLICA GRADO
CARDONAL-DEXTHI	17.33	MODERADA	100.58	ALTA
SIERRA JUÁREZ	82.48	ALTA	4.90	BAJA
IXMIQUILPAN-ALFAJAYUCAN	3.44	LIGERA	29.49	LIGERA
TOTAL/ANUAL	103.25	MODERADA	134.97	MODERADA

Los valores indican que los efectos de la erosión se manifiesta en sus dos tipos, erosión hídrica y eólica; así tenemos que la hídrica se presenta con mayor efecto sobre el sistema ecogeográfico Sierra Juárez con una pérdida de 82.48 ton/ha/año, considerada como Alta, debido, entre otras cosas a la irregularidad del relieve y sus pendientes pronunciadas, así como su cobertura natural que abarca principalmente matorral disperso; siguiéndole el sistema Cardonal-Dexthí, con 17.33 ton/ha/año, que corresponde a planicies y pie de montes de menor inclinación, pero con cobertura de vegetación desde cerrada, como el lado del matorral inerme de *Flourenzia resinosa* a dispersa como se presenta en el matorral espinoso deciduo, y en menor, proporción el sistema Ixmiquilpan – Alfajayucan que pierde 3.44 ton/ha/año, los valores bajos se explican debido a que es una zona de valle, donde se práctica agricultura de temporal y de riego permanente, con sistemas de conservación de suelos, terrazas, con barreras físicas y biológicas y cultivos de cobertura como el alfalfa, pastos y hortalizas, que protegen de manera importante al suelo. En este sentido, los mayores niveles de pérdida de suelo coinciden con las partes de la cabecera de cuenca, donde los procesos denudativos son intensos, además de ser los lugares donde los factores meteorológicos influyen más en la zona, e incluso coincide con la formación de ecotonos y cambio de clima, de semiárido a templado.

7.5.3 Zonificación de la degradación de suelo con el criterio Wocatt.

La mayoría de los tipos de degradación identificados en el área de estudio se encuentran asociados a otro tipo de degradación como se observa en la Fig. 13.

7.5.3.1 Erosión Hídrica (W)

Es uno de los procesos degradatorios primarios, a partir de este, se desencadena la desertificación, además de ser uno de los más severos. El área de la cuenca presenta 7.064 km² afectada por erosión hídrica (W) con niveles que van de fuertes (3) a extremas (4) y se manifiestan a lo largo de la cuenca, y en mayor proporción en la parte alta de la cuenca, es decir, en la cabecera.

La zona de estudio presenta erosión hídrica en varias modalidades destacándose en mayor proporción la **pérdida de las capas superficiales del suelo (Wt)**, también conocida como erosión de la superficie, se debe a la

eliminación del horizonte superficial de suelo o erosión por capas, que es un proceso más o menos uniforme y que lleva al empobrecimiento de los suelos; se encuentra principalmente en terrenos con pendientes de clase T2, T4, T5, T6, T7 y rocas o sustrato del tipo de las riolitas, aluviones, lutitas, areniscas, calizas e ígneas extrusivas, así como en lugares donde se asocian dos tipos de roca como lutitas y areniscas, calizas y lutitas, conglomerados y areniscas (vea fig. 9). Este tipo de degradación se presenta en zonas con varios tipos de coberturas vegetales y usos del suelo como: MIK, ZU, At, MIF, ATAP, AR, E, MCG-K, DES, MIF-BJ, BP-MB, BJ-BP, MED-FE, MCN-BJ, MIF-MB, MEP-K.

La segunda modalidad corresponde al desarrollo de incisiones profundas por debajo del subsuelo debido a la concentración de escorrentías lo que implica un desplazamiento irregular de materiales del suelo con la modificación evidente del terreno llegando a formar cárcavas y barrancos, de ahí su nombre, **Erosión por cárcavas/barrancos (Wg)** (Hernández, 2005). Se encuentra asociado a terrenos con pendientes tipo T4, T5, T6, T7; en sitios con litología de tobas basálticas, riolitas, areniscas, lutitas, aluviones, calizas, conglomerados con tobas basálticas, conglomerados con areniscas, calizas con lutitas; en terrenos con coberturas y usos del suelo variados e incluyen a: ZU, MIF, ATAP, E, DES, VSK, MEK, MCN, MCG-MIK, MIF-BJ, BP-MB, MED-FE, MEP-K.

La tercera modalidad de erosión hídrica encontrada se refiere a **Movimiento de Masas (Wm)** que se manifiesta claramente con el corrimiento de tierras y materiales del área; es decir, se debe al movimiento de masas. Se localiza en lugares con pendientes de clases T4 y T6, en rocas altamente meteorizadas, como tobas andesíticas en la cabecera de cuenca, piedemontes del Meje, derrumbes cerca de Orizabita, y en lugares donde se encuentran las terrazas aluviales y areneros en el fondo de barrancas o zonas de erosión de materiales de origen lacustre, algunas areniscas con conglomerados, arcillas y diatomitas. Especialmente donde las coberturas vegetales y usos del suelo incluyen a: ATAP y MEP-K.

En los lugares donde se tienen terrenos de clase T7 se pueden encontrar problemas severos de degradación por erosión hídrica y la pérdida de cobertura vegetal, dando como resultado afloramientos rocosos.

7.5.3.2 Deterioro físico del suelo (P)

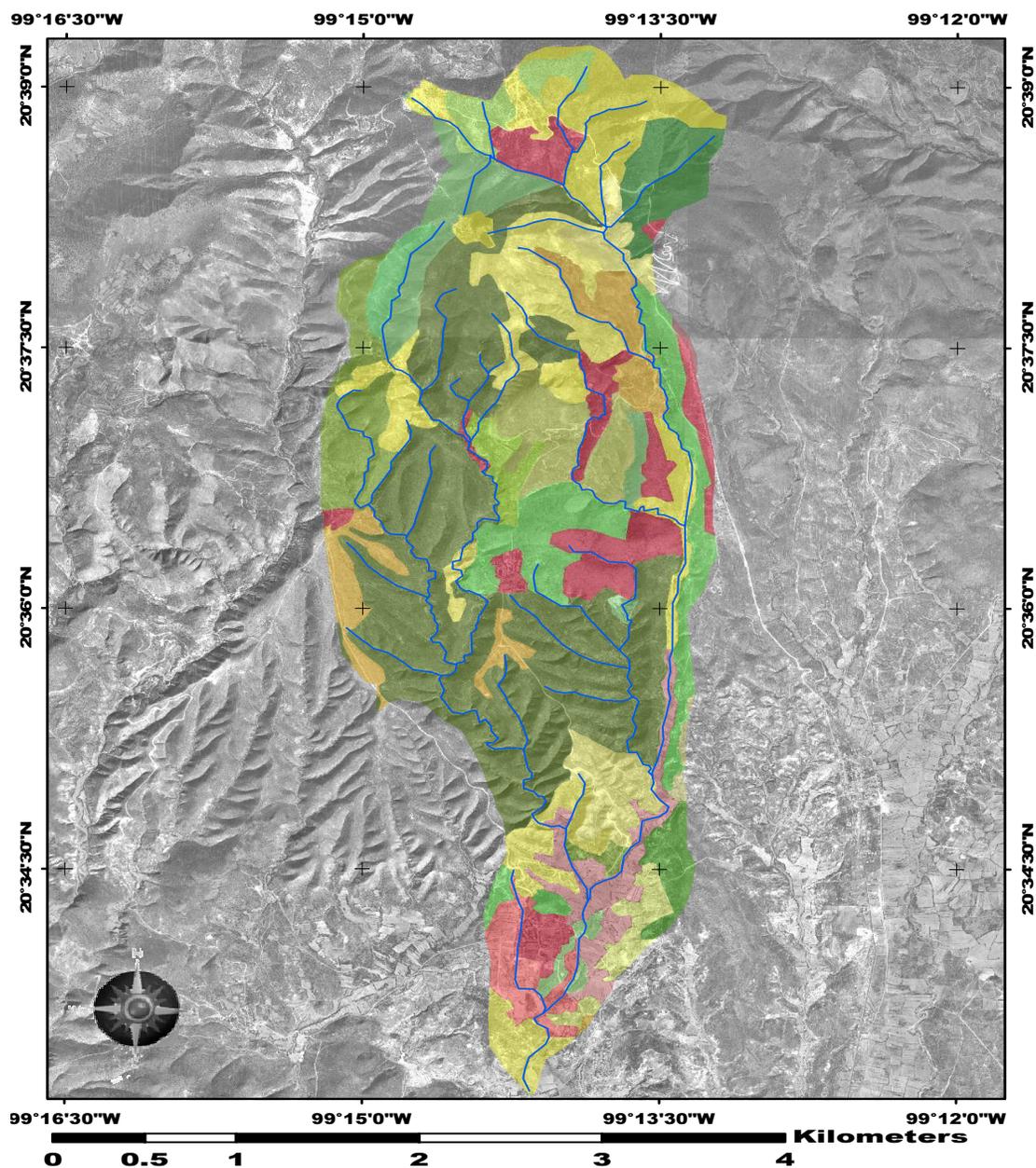
Este tipo de degradación se localiza en las partes medias y bajas de la cuenca en una superficie de 3.09 km² y grados que van de moderados (2) a extremos (4), representado solo por la **Pérdida de las funciones bio-productivas (Pu)** debido a otras actividades, provocados por algunos cambios en el uso del suelo, por ejemplo, actividades de construcción, introducción de caminos y la minería; que repercuten en las funciones bio-productivas del suelo y, por lo tanto, un efecto de degradación. Este tipo de degradación se encuentra en terrenos con rocas de tipo riolitas, aluviones, areniscas, ígneas extrusivas, así como en zonas con asociación de rocas como caliza- lutitas, conglomerados-areniscas, conglomerados- tobas basálticas; también presenta pendientes de tipo T2, T4, T5, T6, T7 y en terrenos con usos de suelo como ZU, VSK, CL, AT, ATAP, AR, MCG, MEK, DES, MIF, MIF-BJ. Este proceso influye de forma alarmante sobre todo en los lugares donde los materiales son ligeros o poco cementados contribuyendo a la formación de zonas de alto riesgo. El manejo de estos sitios requiere de la incorporación no solo de mejoradores de suelo sino también de la aplicación de técnicas de conservación.

7.5.3.3 Degradación Biológica (B)

La degradación biológica (B) se identifica como el desbalance de la actividad biológica y microbiológica o pérdida de los contenidos significativos de la materia orgánica en la capa superficial del suelo esta afecta 14.777 km² de la microcuenca, encontrándose a lo largo de esta con valores de moderada(2) a extrema(4). Se definieron 5 diferentes clases y se describen a continuación:

1. Degradación biológica por **Variación de la cobertura vegetal (Bc)** lo que propicia el aumento de los suelos desnudos, por pérdida de cobertura, se encuentra principalmente en zonas con un uso de suelo como: MIK, ZU, AR, MEK, MCN, MIF, MEP-K, MCG-MIK, MIF-BJ, BP-MB, BJ-BP, MED-FE, MCN-BJ, MIF-MB; y en rocas de tipo caliza, riolita, aluvión, areniscas, ígneas extrusivas, además de zonas que cuentan con dos tipos de rocas como calizas- lutitas, conglomerados – areniscas; igualmente, se presenta en terrenos con clases de pendiente T2, T4, T5, T6, T7.

2. Degradación por **Pérdida de hábitats (Bh)** ejemplificados por las tierras de barbecho, sistemas mixtos, y los límites en los campos agrícolas que contribuyen a la disminución de la diversidad vegetal. Asociado a terrenos con clases de pendiente T4, T5, T6, T7; conjuntamente se asocia con rocas de tipo riolita, caliza, ígnea extrusiva, Conglomerados-areniscas, Conglomerados- Tobas Basálticas. Además de presentarse en zonas con vegetación y uso del suelo como: MIK, ZU, VS, CL, AT, AR, E, MEK, MCG, MCN, MIF, MCG-MIK, MCG-K, MIF-BJ, BP-MB, MED-FE y MCN-BJ. De hecho todas las actividades productivas y de introducción de caminos favorece este tipo de deterioro.
3. Deterioro causado por la reducción de la producción vegetal por diferentes usos de suelo, es decir, la **disminución de biomasa (Bq)**; se localiza en terrenos con rocas de tipo caliza, lutita, conglomerados-arenisca; a la par se encuentra en zonas con pendientes clases T4, T6 y T7 y en lugares con uso de suelo como MEK, MIF y MCG-MIK.
4. El siguiente contribuye a la pérdida de especies naturales, tipos de tierras, pastos perennes palatables, propagación de especies invasivas, de especies y malezas, y se conoce como deterioro por **disminución de la diversidad/ calidad y composición de las especies (Bs)**; este tipo de degradación se encuentra en zonas con rocas de tipo riolitas y en pendientes de tipo T6 y T7; así como en usos de suelo como AT, E, MIF-BJ, BJ-BP.
5. Deterioro por **Pérdida de vida del suelo (Bl)** llevando a la disminución de los macro-organismos (lombrices y termitas) y micro-organismos (bacterias y hongos) del suelo en cantidad y calidad; se halla en terrenos con usos de suelo como ATAP y VSK y con pendientes de clase T6; así como terrenos con litología tipo Aluvión, Conglomerados con Tobas Basálticas. De hecho este proceso puede ir asociado a todo tipo de degradación que implique pérdida de suelos y coberturas, e inducción de procesos como salinidad o inundación.



Proyección UTM
Zona UTM: 14
Elipsoide CLARK 1886
Datum: NAD27



UNAM FES IZTACALA
UBIPRO: Lab. Edafología
Elaboro: Noemí Vázquez Miranda
Reviso: Francisco López Galindo
Agosto 2011

Tipos y grados de Degradación en la Microcuenca la Muñeca.

Degradación		TIPO_GRADO	
	Bh/3		Bi/3
	Bc-Bh/3		Bq-Wt/4
	Bc-Bq/2		Bs/3
	Bc/2		Pu-Bq/3
	Bc/3		Pu/2
	Bc/4		Pu/3
	Bh/2		Pu/4
			Wg-Bq/3
			Wg-Wm/4
			Wg/3
			Wg/4
			Wt/3
			Wt/4

Figura 13. Se muestra los tipos y grados de degradación de tierras.

La figura 14 muestra las superficies afectadas de acuerdo al tipo de degradación hídrica, física o biológica, analizadas. La figura 15 detalla las superficies afectadas de acuerdo a todos los tipos de degradación encontradas.

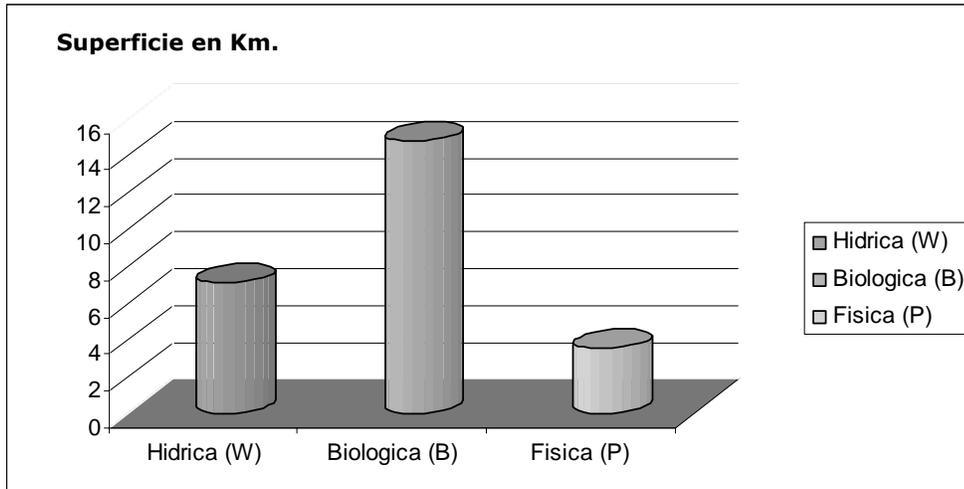


Figura 14. Muestra el área por tipo de degradación (km)

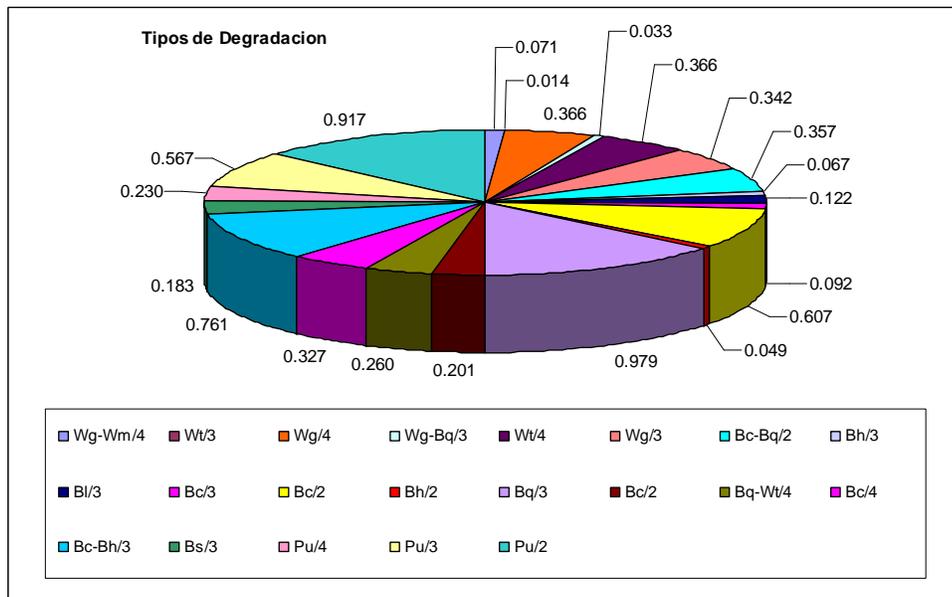


Fig 15. Porcentaje por tipo de Degradación que afecta a la Microcuenca

Varios tipos de actividades humanas y causas naturales pueden conducir a la degradación de la tierra.

Técnicas locales de conservación de agua

La figura 16 ejemplifica las prácticas de conservación de agua locales como la construcción de represas de piedra acomodada en la parte media y baja de la cuenca, fabricación de piletas y cisternas en las casas, además de la implementación de captadores de agua o sabanas de plástico hechos a base de geomembranas impermeables construidos en la parte media-baja de la microcuenca.



Fig. 15. Muestra las técnicas locales de captación de agua

El mosaico fotográfico que a continuación se muestra, ilustra las técnicas realizadas a lo largo de la microcuenca con el fin de captar agua por medio de jagüeyes, canales, pequeños bordos, terrazas, así como la construcción de sepas y....en la cabecera de la cuenca.



Fig 16. Muestra las técnicas locales de captación de agua

8. CONCLUSIONES

- ☆ El área total de la microcuenca La Muñeca es de 25.383km²
- ☆ Los parámetros morfométricos indican que se trata de una microcuenca, con forma alargada, con materiales ígneos y sedimentarios consolidados impermeables, con una pendiente medianamente inclinada, cobertura vegetal limitada.
- ☆ La red de avenamiento es del tipo dendrítica con escurrimientos de 1er y 2do orden, siendo estos muy débiles.
- ☆ El Escurrimiento Medio Anual en la microcuenca es de 1327.22 millares de m³, correspondiendo al volumen de agua que se puede almacenar.
- ☆ Los análisis climáticos indican que existe una escasez del recurso agua, así como el deterioro del recurso suelo y la importancia radica en el uso adecuado de ambos.
- ☆ La metodología aplicada en la evaluación de la degradación permite realizarla de forma rápida y concisa, además ayuda a realizar la zonificación del sitio de forma que se obtiene información fácil de manipular.
- ☆ La microcuenca se encuentra afectada por procesos de desertificación, que se manifiesta en los grados de deterioro físico del suelo, degradación hídrica y degradación biológica, presentes en la zona.
- ☆ El total del área de la microcuenca dañada con algún tipo de degradación es de 25.375km².
- ☆ La degradación provocada por el deterioro físico (Pu) de la Tierra afecta el 13.83%, esto no representa daños considerables a la zona y la pérdida de las función bio-productivas es pequeña y significativa, ya que solo se encuentra en áreas chicas de la parte media y baja de la cuenca.
- ☆ La degradación hídrica (W) es el proceso primario más severo, se manifiesta a lo largo de la cuenca con 27.87% del total del área

degradada, es decir, 7.04 km². Este tipo de degradación se encuentra en cada uno de los diferentes tipos de roca con los que conforman a la microcuenca.

- ☆ El tipo de degradación que causa mayor daño a la cuenca es causada por procesos biológicos, afectando a un 58.30%, debido a diversos factores entre los que se encuentran la reducción o disminución de biomasa, pérdida de especies naturales, tipos de tierras, pastos perennes palatables, incremento de especies invasivas y malezas.
- ☆ El estado de degradación presente en la microcuenca apunta a la necesidad de fortalecer estrategias de restauración y conservación de los recursos naturales, aprovechados por los pobladores con el fin de mitigar la degradación de tierras y al mismo tiempo, retener la humedad del suelo y frenar la evaporación mediante la planeación del manejo integral de los componentes del sitio y así enaltecer su calidad de vida.

9. SUGERENCIAS

Los resultados arrojados dentro de la investigación así como la participación de la población en la implementación de prácticas de conservación de suelo y agua fueron el punto de partida para de esta manera analizar los métodos más adecuados para la conservación y restauración de los recursos naturales en el Alto Mezquital y de esta manera mitigar los efectos de la desertificación.

Siguiendo el Manual de Conservación de suelos y agua, realizado por Colegio de Posgraduados (1991) a continuación se describen los mejor adecuados a las necesidades de la microcuenca:

La planeación del uso de la Tierra incluye la conservación de los suelos y agua, así mismo es necesario contar como aspecto básico en los programas de trabajo el plano de uso actual y el de capacidad de uso de la tierra, que permiten puntualizar la mejor utilización del recurso suelo, sin abatir, su capacidad productiva.

- ▽ Manejo de prácticas de conservación de suelo:
 - Implementación de prácticas mecánicas
 - Terrazas
 - Surcado al contorno
 - Contreo
 - Uso de prácticas vegetativas para control y disminución de erosión del suelo
 - Abonos verdes
 - Cultivos de cobertura
 - Cortinas Rompe viento
 - Barrera Vivas de agaves
 - Reforestaciones

▽ Manejo de prácticas de conservación de agua y suelo tales como:

- Manejo de escurrimientos superficiales
- Bordos, Zanjas y Canales de derivación de escurrimientos
- Control de cárcavas y represas de control de azolves

PRACTICAS MECANICAS

Son aquellas actividades que se efectúan con implementos agrícolas, equipo especial o mano de obra y consisten en realizar movimientos de tierra con la finalidad de disminuir los escurrimientos superficiales y así reducir la erosión en terrenos con pendiente. Figura 16 muestra algunos ejemplos de prácticas mecánicas.



Fig 18. Ejemplos de prácticas mecánicas

TERRAZAS

Las terrazas son los terraplenes formados entre los bordos de tierra, o la combinación de bordos y canales, construidos en sentido perpendicular a la pendiente del terreno.

Su objetivo es reducir la erosión del suelo; aumentar la infiltración del agua en el suelo para que pueda ser utilizada por los cultivos; disminuir el volumen de escurrimiento que llega a las construcciones aguas abajo; desalojar las excedencias de agua superficial a velocidades no erosivas; reducir el contenido de sedimentos en las aguas de escorrentía además de mejorar la superficie de los terrenos, acondicionándolos para las labores agrícolas.

Existen diferentes formas de catalogar las terrazas, ya sea por su condición de escurrimiento o a su sección transversal; esta última por tener una descripción más completa y la más adecuada para la zona de estudio:

- **Terrazas de Bancos alternos:** este tipo de terrazas consiste en la construcción de bancales espaciados a intervalos regulares, entre los cuales se deja el terreno natural sin movimiento de tierra; su finalidad es disminuir la velocidad de las aguas de lluvia, aumentar la infiltración del agua en el suelo, reducir la escorrentía superficial, retener los sedimentos removidos por el flujo hídrico, captar agua, recolectar suelo y nutrientes, mejorar las condiciones de humedad del suelo y permitir el desarrollo de la vegetación. Recomendada para terrenos de ladera con pendientes pronunciadas, en los que la disponibilidad de agua y los escurrimientos con alta capacidad erosiva. Las estructuras son colocadas en forma alterna, constan de terraplén y talud; el talud puede ser protegido con zampeado de piedra, generalmente vertical, o de tierra, con una inclinación de unos 30°. El ancho de los terraplenes y la altura del talud dependerán de la inclinación del terreno y la profundidad del suelo inestable. La longitud del bancal está limitada por los condicionantes de topografía y escurrimiento. Los taludes deben protegerse por medio de vegetación natural o en ciertos casos con muros de contención. Figura 17, ejemplifica la forma de hacer una terraza de bancos alternos.



Fig 19. Sección transversal de terraza de bancos alternos

- **Terrazas de Base Angosta o de formación sucesiva:** Son un conjunto de zanjas y bordos construidos a nivel o con desnivel, cuyo volumen de excavación se coloca aguas abajo para conformar el bordo de tierra. Tienen como propósito formar áreas con condiciones favorables para laborables agropecuarias y forestales, reducir la velocidad de los escurrimientos, incrementar la infiltración del agua y disminuir la erosión de los suelos al modificar la pendiente del terreno y la longitud de la misma, figura 18. Se establece en terrenos con pendiente natural entre el 5 y 15%. Con ella se busca conformar gradualmente la terraza, aprovechando la remoción de suelo que inducen las labores agrícolas y los factores que favorecen la erosión hídrica. Con el fin de frenar las partículas de suelo y formar fajas de terreno estable se forman bordos de tierra en la sección transversal los cuales no se cultivan y para incrementar su permanencia se cubren con vegetación permanente. Las dimensiones de este tipo de terrazas van de 1 a 2 m de ancho. Los bordos generalmente se conforman con una altura entre 0.4 - 0.6 m, base de 1.2 m y corona de 0.6 m. La zanja es de 0.4 m de ancho por 0.4 m de profundo y debe de tener el fondo a nivel, para evitar la concentración de escurrimiento en una determinado tramo. Como estructuras complementarias se utilizan barreras vivas con especies perenes y canales de desagüe.



Fig 20. Muestra una imagen de una terraza de base angosta y su de sección transversal.

- **Terrazas de Canal Amplio o de Zingg:** son canales amplios contruidos perpendiculares a la pendiente donde se desarrollan los cultivos o pastizales y que cuentan con una área de captación de lluvia aguas arriba del canal y que tienen una relación de área de escurrimiento y de siembra de más de 2:1; esto es, tiene una área de siembra por dos de escurrimiento; este tipo de terraza esta diseñada para ser utilizada en aquellas áreas donde la precipitación pluvial es muy escasa, su función es la de captar agua de lluvia para complementar las necesidades del cultivo que se establece en el canal amplio. Se implementan en pendientes suaves (0.5-5%); la sección es similar a la de bancos alternos o en lo relativo a la separación de estos, pero difiere en que el área de corte y relleno se encuentran en la misma sección. Las dimensiones de la terraza de canal amplio están en función de la relación área de captación/área de siembra, que considera que el agua captada más el agua de lluvia en la zona de cultivo debe ser equivalente al agua requerida para satisfacer las demandas hídricas del cultivo, figura 19. El volumen de agua que se produce en el área de captación depende de la precipitación media anual, la textura del suelo, las condiciones de cobertura vegetal y la pendiente del terreno. La anchura del canal varía dependiendo de la pendiente del terreno, la profundidad permisible de corte, anchura de la maquinaria, tipo de cultivo y precipitación pluvial de la zona. Como estructuras complementarias se

usa el establecimiento de pastizales, manejo de agostaderos, o áreas de captación.

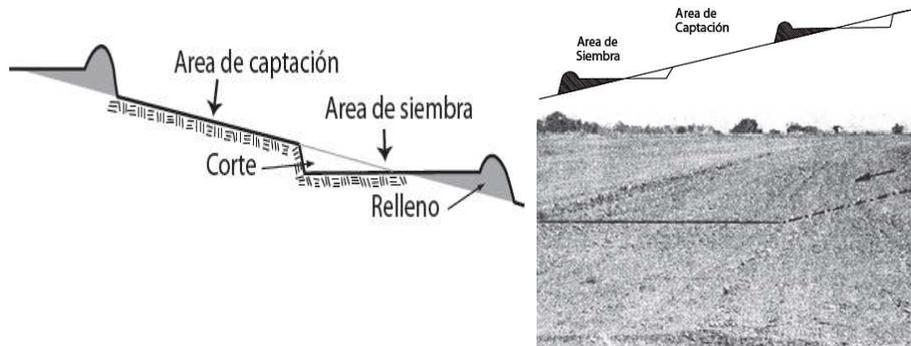


Fig 21. La imagen ejemplifica una terraza de Zingg y su de sección transversal.

Para que un sistema de terrazas sea efectivo debe usarse en combinación con otras prácticas, tales como: surcado al contorno, cultivos en fajas, rotación de cultivos y un manejo del suelo ajustado a su capacidad de uso; además, se requiere de un sistema completo de manejo del agua, que debe incluir cauces empastados, desagües subterráneos, drenes y estructuras de desviación de los excedentes que forman la escorrentía.

SURCADO AL CONTORNO

Son operaciones de labranza, siembra y otras operaciones de campo realizadas al contorno de la pendiente del terreno. Tiene como intención reducir la erosión laminar y en canalillos; reducir el transporte de sedimentos y otro 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.

Consiste en trazar surcos en forma perpendicular a la pendiente natural del terreno, siguiendo las curvas de nivel (figura 20).

El surcado al contorno es más efectivo en pendientes entre 2 y 10%.

Criterios aplicables a las condiciones de la zona de estudio:

1. Gradiente Máximo del surco: el grado máximo de pendiente en el surco no debe exceder el 2%, surcos mayores del 3% solo se permiten en longitudes no mayores a 50cm cercanas al cauce empastado bordo o salida estable. Para alcanzar la máxima eficiencia en el control de erosión, el surco debe trazarse lo más cercano a la curva de nivel. Cuando el surco alcanza el gradiente máximo de diseño, debe establecerse una nueva línea guía pendiente abajo del último surco al contorno u usarla como referencia para el siguiente patrón de contorno.
2. Longitud critica de pendiente: el trazo del surcado no debe hacerse en una pendiente mayor a la longitud critica de la pendiente, a menos que se combine con otras practicas que reduzcan la longitud de la pendiente por debajo de la longitud critica o reduzca las velocidades del flujo superficial.
3. Salidas estables: Los escurrimientos del surcado al contorno debe liberarse a salidas estables como: cauces empastados, bordos perimetrales, cuencas de control de agua y sedimentos, o salidas subterráneas para terrazas o derivadores.

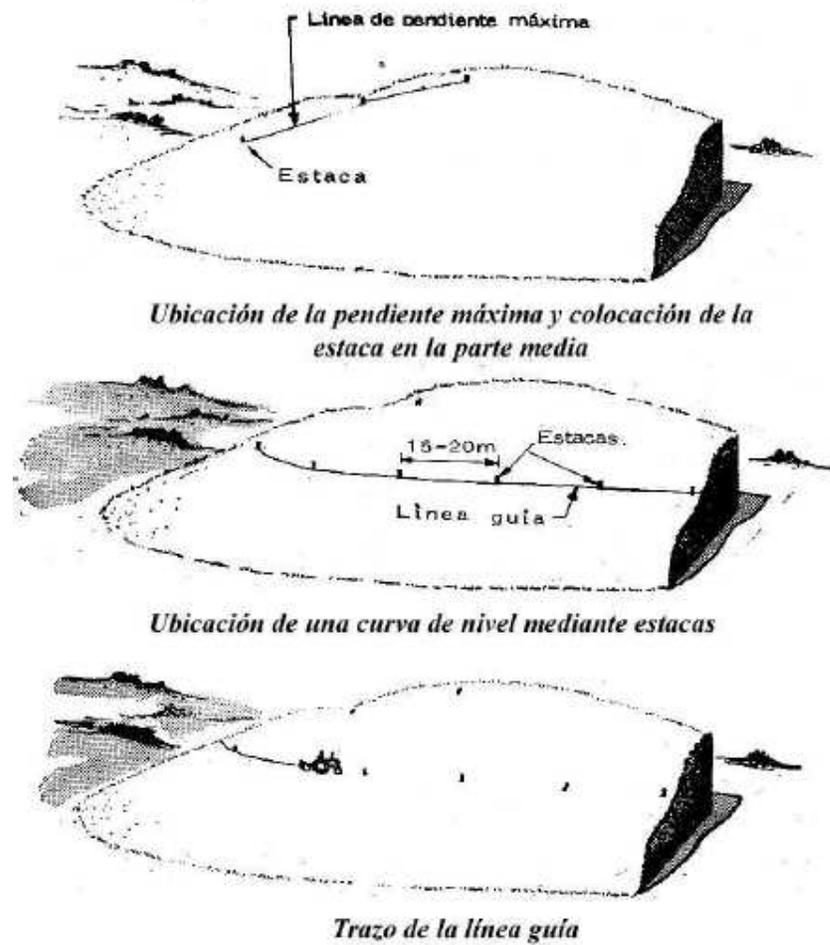


Fig 22. Localización y trazo de líneas guía .

Hay varios factores que afectan la eficacia del surcado al contorno para reducir la erosión del suelo. Estos componentes incluyen: la altura del surco, la pendiente del surcado, la pendiente del terreno el grupo hidrológico del suelo, la cubierta y la rugosidad, y la longitud crítica de la pendiente. La cobertura, la rugosidad y la altura del bordo y la aspereza, pueden ser influenciadas por el manejo y proporcionar más o menos ventaja dependiendo de diseño. El surcado al contorno puede necesitar la combinación con otras prácticas de conservación para alcanzar las metas de conservación en el del sistema de manejo de la conservación.

Para la ejecución de esta práctica, es conveniente señalar sobre el terreno las líneas a nivel (de cota o elevación previamente determinada), que sirvan de guía al establecer el surcado.

La localización y trazado de las líneas guías en terrenos con pendiente poco uniforme. En terrenos de pendiente no uniforme, las curvas de nivel no son paralelas, ya que tienden a acercarse cuando la pendiente aumenta y separarse cuando disminuye. Es recomendable establecer varias líneas guías para que los surcos se mantengan lo más paralelo posible entre sí y en dirección perpendicular a la pendiente.

Los pasos que se siguen en este procedimiento, se detallan a continuación:

Se localiza la línea de máxima pendiente del terreno y se divide en porciones de pendiente uniforme, las que se delimitan con estacas. A cada una de las porciones (A, B y C) se les determina la pendiente media.

Con la pendiente media de cada porción, se determina la separación que debe existir entre las líneas guías, de acuerdo con los datos que aparecen en el cuadro siguiente:

Distancias o que deben 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
(SC)	3-5	40
SC	6-8	30
Complementada	8-10	20
Con otra	10-12	15
Práctica	12-15	10

* Debe medirse sobre el terreno.

Cuadro 12. Distancias de línea guía en cultivos a nivel, según a la pendiente del terreno.

Con la distancia entre líneas guías para cada tramo y a partir del punto más alto, se marcan con estacas las separaciones de cada línea guía, en los diferentes tramos. Puede quedar una línea en cada tramo, esto es variable en función de la longitud y pendiente media de cada tramo.

A partir de los sitios señalados por cada estaca, se marca la línea guía, al dejar estacas cada 15 o 20 m. Para marcar la línea guía se utiliza cualquier instrumento de nivelación (nivel montado, de mano, caballete, etc.). Con los puntos localizados y con implementos de labranza de tracción mecánica o animal, se procede al trazo de los surcos que servirán como línea guía. A partir de las líneas guía, que son los trazos de referencia, se procede a surcar el terreno. Figura 21 muestra la forma de trazar líneas guía en pendientes no uniformes.

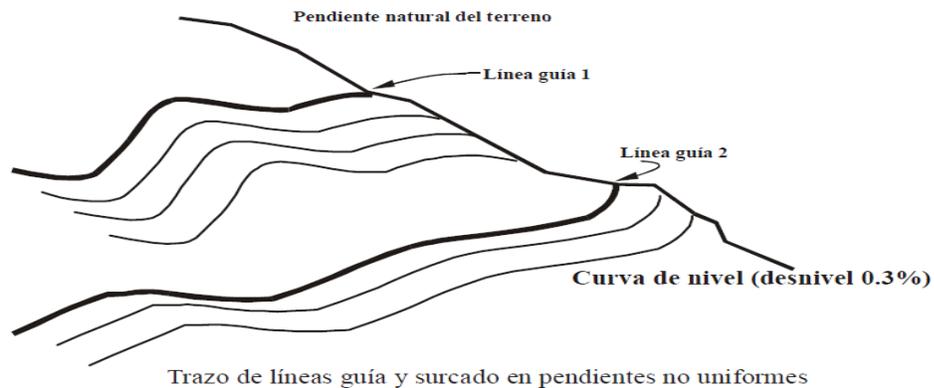


Fig 23. Muestra el trazo de líneas guía y surcado en pendientes no uniformes



Fig 24. Ejemplo de Surcado al contorno en cultivos

CONTREO

El Contreo es una práctica mecánica de labores culturales y de labranza, en la que se levantan montículos de tierra a intervalos regulares a través del surco, formando pequeñas áreas de captación, de tal manera que la lluvia es almacenada en estas depresiones, infiltrándose en el suelo antes de que

escurra o se evapore; es una de las formas de conservar y almacenar humedad en el suelo con técnicas de captación de lluvia in situ.

Algunas ventajas que ofrece:

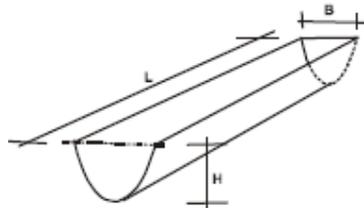
- ❖ El equipo puede ser adquirido por los productores que utilizan tractor o yunta.
- ❖ Se adapta a sembradoras y cultivadoras de tiro animal y mecánico, sin requerir pasos adicionales sobre el terreno.
- ❖ No implica gastos adicionales de combustible, mano de obra, maquinaria o uso de yuntas.
- ❖ Permite trabajar la totalidad de la superficie sembrada con cultivos en hilera y mantener la altura de las contras y surcos a su máximo nivel.
- ❖ Distribuye uniformemente el agua de la lluvia en el terreno.
- ❖ Permite el almacenamiento del agua de lluvia, aún en tormentas de alta intensidad (120 mm/h), evitando al máximo el escurrimiento superficial y la pérdida de suelo por erosión.
- ❖ Si la precipitación no es abundante durante el ciclo, se logra producir forraje o asegurar la producción de semilla para la siembra del siguiente ciclo.
- ❖ Es de bajo costo y tiene una buena rentabilidad.
- ❖ Cuando se utiliza en riego, mejora la distribución del agua en el terreno y reduce el número de riegos aplicados en el cultivo.

Existen diferentes formas de realizarlo pueden hacerse en forma manual con azadón, o mecánicamente utilizando equipos que se adapten al tractor o a la yunta y combinándose con otras labores agrícolas, siembra, fertilización o las labores de cultivo. Actualmente existe equipo para pileteo tanto para tracción mecánica como animal, figura 25.



Fig 25. Muestra equipo para realizar Contreo.

Antes de efectuarse esta labor es necesario calcular la capacidad de retención de las áreas de captación, ilustradas en figura 26.



L = Longitud de la contra
b = Ancho del surco
h = Profundidad de surco

Fig 26. Porción transversal de un surco para el cálculo de retención

Debido a que a lo largo de la microcuenca se encuentran zonas donde se realiza la agricultura se recomienda esta técnica, ya que su efectividad en el almacenamiento de humedad en el suelo y la reducción de la tasa de erosión, la ubica como una alternativa tecnológica accesible y con futuro.

PRACTICAS VEGETATIVAS

Son aquellas que consideran el desarrollo de plantas y cultivos, con el propósito de mejorar la capacidad productiva de terrenos. Estas prácticas permiten conservar el suelo y el agua terrenos que presentan problemas de deficiencia de humedad, erosión, topografía, texturas gruesas o finas y permeabilidades altas o bajas. Algunas de estas prácticas que se adecuan a las condiciones que presenta la microcuenca son:

Abonos Verdes

Los abonos verdes son plantas que preferentemente en estado de floración, se entierran en el suelo para mejorar la fertilidad, el contenido de carbono orgánico, las propiedades físico-químicas y biológicas, aumentar los contenidos de materia orgánica, la capacidad de retención de humedad y el deterioro de la estructura del suelo, así como la aportación de nutrientes (fundamentalmente nitrógeno) y la reducción de la erosión hídrica entre otros, como efectos desfavorables.

Como abono verde se puede utilizar cualquier planta herbácea, incluso la incorporación de las hierbas que crecen junto al cultivo, sin embargo, se prefieren plantas leguminosas (por su condición de fijar el N atmosférico mediante simbiosis con micorrizas) intercaladas con los cultivos principales. Se recomienda enterrar al abono verde hasta una profundidad máxima de 10 cm e iniciar el nuevo ciclo agrícola tres a cuatro semanas después.

Las modalidades para el uso de abonos verde son: 1) la asociación con cultivos anuales entre líneas (maíz asociado con veza, frijol café o nabo forrajero; el abono verde se siembra cuando el maíz ya está establecido (2 meses después y a una densidad de 50-55 kg/ha de semilla)) y se incorpora cuando se realice la cosecha del maíz). 2) La modalidad de intercalar el abono verde (trébol, veza, alfalfa, o chícharo) con árboles frutales de clima templado (durazno, manzana, pera, membrillo, etc.). En zonas tropicales, se utilizan como abonos verdes, kudzu, soya, frijol terciopelo, cacahuatillo, o canavalia, con especies maderables, café y palma de coco entre otros. 3) Otra variante de los abonos verdes es la práctica vegetativa de asociar cultivos como maíz, sorgo, y ajonjolí con leguminosas.

La incorporación de plantas e incluso algunos residuos de cosechas proporcionan al suelo ciertas propiedades deseables, algunas ya mencionadas; si bien el objetivo principal es mantener el nivel adecuado de la fertilidad, entonces deberá hacerse una selección de especies con ciertos requisitos que satisfagan esta última condición, a continuación se muestran ejemplos de abonos verdes utilizados en la zona.



Fig 27. Muestra las principales plantas usadas como abono verde.

Cultivos De Cobertura

Son especies vegetales cuyo objetivo principal es proteger al suelo de los efectos de la erosión hídrica y eólica en aquellas áreas donde ha desaparecido la vegetación o en periodos donde el suelo está libre del cultivo de importancia económica y pueden tener otros beneficios como: el mejoramiento de la calidad del suelo (fertilidad, mejor balance de los nutrientes disponible para las plantas y reduce las pérdidas de nutrientes, incrementa el contenido de materia orgánica del suelo, aumenta la infiltración del agua en el suelo, mejora la estructura y la actividad biológica, entre otros); reducir la incidencia de malezas, insectos y enfermedades en los cultivos, manejo de la fertilidad, disponibilidad de agua, diversificación del uso del suelo y hábitat de vida silvestre. Los beneficios económicos pueden incluir la producción de forraje o grano para complementar el ingreso de los productores o su valor como abono verde al ser incorporados al suelo.

Los cultivos de cobertura pueden establecerse solos o en combinación con otras especies; para seleccionar la especie o mezcla de especies el productor debe considerar, además del beneficio primario que requiere, las condiciones del sistema de producción como son el tipo de suelo, la disponibilidad de agua, la secuencia de cultivo y las prácticas culturales; sin soslayar la importancia de la producción de biomasa, el uso de nutrientes del cultivo de importancia económica y las cantidades que el cultivo de cobertura puede aportar, la disponibilidad de semilla y la compatibilidad con los equipos de siembra. Las

especies se pueden clasificar en: leguminosas (veza, frijol terciopelo, tréboles) pastos (ballico, rye grass), sorgo forrajero.

Los cultivos de cobertura pueden ser permanentes o periódicos, de acuerdo a las características de las especies cultivadas. El empleo de uno u otro tipo, varía según los objetivos del programa.

Cortinas Rompevientos

Es una práctica para el control de la erosión eólica, se usa en áreas agrícolas, pastizales, áreas desprovistas de vegetación y en zonas urbanas.

Consta de hileras de árboles o arbustos de diferentes alturas que forman una barrera, opuesta a la dirección predominante del viento, alta y densa que se constituye en un obstáculo al paso del viento. Se conocen también como barreras rompevientos, setos vivos o fajas de albergue, por refugiar a cierto tipo de fauna.

Sus principales objetivos son reducir el movimiento del suelo; conservar la humedad; reducir la velocidad del viento en parcelas con fines agropecuarios con el fin de reducir la acción mecánica del viento sobre cultivos, huertas, ganado y fauna silvestre; regular las condiciones del microclima; o Incrementar la belleza natural de un área.

Las cortinas se orientan generalmente de N-S o de E-W, paralela a los límites del terreno aunque puede haber ocasiones en que el arreglo circular algún otro pueden ser más efectivo. Su orientación debe ser perpendicularmente a la dirección predominante del viento.

Debe procurarse la formación de 4 a 10 hileras, figura 26, utilizando árboles y arbustos con una distribución que permita una forma trapezoidal, Debe ser lo más compacta posible, evitándose espaciamentos entre plantas que permitan infiltraciones de aire que formen corrientes turbulentas. La separación entre hileras y plantas depende del desarrollo de las especies y de la porosidad que se desee. Las separaciones más usuales para cortinas son de 1 a 2 m entre arbustos y de 2 a 3 m entre árboles

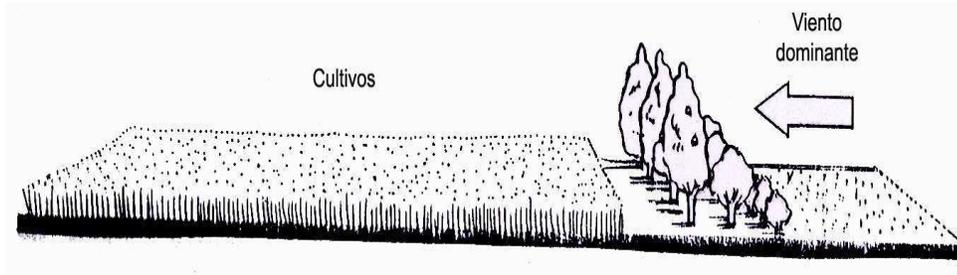


Fig 28. Ejemplo de cortinas rompevientos en cultivos y método usado en la zona



Fig 29. Cortina rompevientos de mezquite utilizada en la zona de estudio.

Es recomendable utilizar estructuras complementarias tal es como surcado de contorno, abonos verdes y caminos sacacosechas (INFRAESTRUCTURA).

Barreras vivas de Agaves

Por su alta capacidad de enraizamiento y adaptabilidad a condiciones de escasa precipitación, se utiliza para reducir la erosión hídrica, para estabilizar terraplenes de bordos o terrazas, y para apoyar la economía familiar con forraje y otros subproductos.

Debido a que los agaves requieren un clima semiseco con temperatura promedio de 18°C, y una altitud entre 1,500 y 2,400 msnm. Se adaptan en zonas de lomeríos y planicies, en suelos someros, con profundidades menores a 50 cm. Su crecimiento es muy lento, la maduración dura de 8 a 10 años y florecen sólo una vez emitiendo un largo tallo de casi 10 m de altura (ramificado o no) que nace del centro de la roseta. Después de desarrollar el fruto, la planta muere,

pero generalmente produce retoños en su base. La edad óptima de un agave para reproducirse es entre los 3 y los 5 años, con uno o dos hijuelos por año.

Para el establecimiento del agave se levantan bordos, en curvas a nivel, y en la parte baja del bordo, a donde se acumula el agua, se cavan las cepas. Para fijar la planta se apisona la tierra alrededor de las cepas, procurando que la planta quede enterrada en un 75% de su volumen. Si se proyecta el maguey como el cultivo principal, se plantará en hilera espaciadas de 4 a 5 m con separación entre plantas de 3 m. Si se establece como barreras vivas (asocia con algún cultivo anual), los bordos se separan de 15 a 30 m o más, pero manteniendo la distancia entre plantas de 2.5 m (1,000 plantas /ha). Se recomienda un abonado cada 4 o 5 años (entre diciembre y marzo), usando de 4 a 6 Kg/planta de estiércol, distribuidos alrededor de la planta y mezclados con los primeros 20 cm de suelo.

Cabe mencionar que este tipo de prácticas ya es usada por los pobladores en algunas zonas como:



Fig 30. Muestra plantaciones de *Agave Lechuguilla* y *Agave* utilizado como barreras vivas.

Reforestación Con Especies Nativas

Es una práctica vegetativa cuyo objeto es la regeneración de áreas altamente o totalmente deforestadas, con la plantación de especies nativas. Para así garantizar el éxito de una reforestación y disminuir los riesgos de erosión del suelo ya que las plantas nativas tienen mayor adaptabilidad y rápida colonización que una especie introducida. Además, este tipo de reforestación

contribuye a la conservación de la diversidad genética de la región, y preservar la identidad del sitio.

Para la etapa de plantación el material vegetativo se obtiene mediante plántulas producidas en viveros, esqueje, siembra directa de la semilla en el terreno, plantas madre, entre otros. Todas las plantas serán apuntaladas con estacas para sostenerlas y procurar un desarrollo recto. También 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.

Las practicas vegetativas han tomado mayor importancia dentro de la microcuenca La Muñeca, debido a la creciente necesidad de retener la humedad y disminuir la evaporación del suelo ya que algunas si no es que todas estas son utilizadas por los habitantes de la zonas agrícolas, las mas frecuentes son: abonos verdes y barreras rompevientos conformadas de plantas suculentas nativas de la zona entre las que destacan los agaves y sábilas.

PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE AGUA

En las zonas áridas y semiáridas la escasa y mala distribución de la lluvia genera fuertes limitantes para la producción de cultivos, es frecuente la pérdida de grandes superficies de tierras por efecto de la sequía. Los productores han generado estrategias que les permiten enfrentar las restricciones de estos ambientes, subsistir y obtener satisfactores, las prácticas de captación *in situ* del agua de lluvia y el aprovechamiento de escurrimientos superficiales, reducen el riesgo de pérdidas de las cosechas por sequía, al incorporar volúmenes adicionales de agua a las actividades agrícolas.

Por tal motivo es necesaria la realización de prácticas de conservación del agua disponible en estas zonas, con el fin de obtener beneficios tanto ecológicos como sociales y económicos.

A continuación se describen algunas de estas prácticas aplicadas y sugeridas a la zona de estudio:

MANEJO DE ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES

Los sistemas de manejo de escurrimientos son “formas especializadas de riego superficial acompañadas con estructuras de desviación y conducción de los escurrimientos de canales naturales o cauces establecidos y esparciendo el flujo en áreas relativamente niveladas. Se adecuan a las características de las regiones áridas y semiáridas, buscan coleccionar el escurrimiento, conducirlo y aplicarlo a terrenos de cultivos para aumentar la humedad aprovechable por los cultivos”.

Estos sistemas de aprovechamiento de escurrimientos llevan inmersos algunos de los elementos del enfoque de agricultura sostenible, que son:



En las áreas donde no se realiza un buen manejo de escurrimientos superficiales se han observado problemas como la erosión del suelo, pérdida de grandes volúmenes del agua, volúmenes difíciles de controlar dentro de la parcela, destrucción de bordos y estructuras de derivación y conducción, entre otros.

No es posible hacer una descripción detallada de los sistemas de producción existentes en las áreas con manejo de escurrimientos, debido a que cada uno de ellos se ha ajustado de manera notable a las condiciones peculiares de ubicación geomorfológica, tamaño del campo, materiales existentes en la localidad, cultivos prevalecientes y valores culturales.

Se aplica en áreas donde es posible derivar agua de las redes de drenaje naturales a zonas relativamente planas para su infiltración y retención hasta que sea utilizada por las plantas. Como en:

Cultivos. En las zonas áridas y semiáridas del país se han utilizado con gran éxito para producir cultivos básicos (principalmente maíz y frijol) y forrajes. El propósito de estos sistemas es aumentar la producción de forraje, heno o semilla.

Suelos. Son ideales los suelos profundos de textura media a moderadamente fina con subsuelos y sustratos moderadamente permeables. Los suelos de textura gruesa no son recomendables por las altas tasas de infiltración y la baja capacidad de almacenamiento de humedad para el mantenimiento y crecimiento del cultivo.

Topografía: El terreno puede ser nivelado y de pendientes suaves.

Clima: Es esencial que se presenten eventos de escurrimiento en los momentos en los que el suelo puede almacenar agua.

Es decir, la combinación de suelos, pendientes y cultivos deben ser de tal naturaleza que resista la aplicación de aguas de escorrentía sin socavaciones o pérdida por erosión.

Ventajas:

- Es un método relativamente barato para la aplicación de agua.
- Pueden redituarse en grandes beneficios con inversiones relativamente pequeñas.
- Los rendimientos obtenidos con estos sistemas son similares a los alcanzados en cultivos bajo riego.
- La acumulación de sedimentos favorece la formación de terrazas, el mejoramiento de los niveles de fertilidad del suelo, la capacidad de almacenamiento de humedad y el control de azolves.

Desventajas:

- Pueden no coincidir con las necesidades de agua por la planta o con la capacidad de almacenamiento de agua por el suelo o periodos de cultivo.
- Cuando los sistemas no se diseñan y manejan en forma adecuada, pueden provocar problemas severos de erosión del suelo, destrucción de estructuras, volúmenes difíciles de manejar al interior de la parcela, sedimentación excesiva, entre otros.

TIPOS DE SISTEMAS

Estos sistemas pueden dividirse por conveniencia, en **sistemas de flujo continuo** y **sistemas de entarquinamiento**. Los sistemas de flujo se caracterizan por manejar el escurrimiento entre zanjas y bordos con drenaje libre del área de riego. A diferencia de los sistemas de entarquinamiento que retienen el agua aplicada en el área de riego hasta que esta se infiltra, se almacena el escurrimiento entre bordos y únicamente empieza a descargar hasta que se ha aplicado la lámina deseada, se recomienda cuando las avenidas son grandes y pueden ser controladas. Estos dos sistemas se dividen en cinco subtipos:

<i>Tipo</i>	<i>Límite máximo de pendiente (%)</i>	<i>Gasto máximo (m³/s)</i>
<i>Flujo</i>		
<i>Bordos dispersores</i>	5	0.3
<i>Bordos conductores</i>	1.2	0.3
<i>Bordos con salidas continuas</i>	1.2	
<i>Entarquinamiento</i>		
<i>Control manual</i>	2	
<i>Control automático</i>	2	

Cuadro 13. Sistemas de Manejo de Escurrimientos

Sistema de flujo con bordos dispersores (Bordo derramador)

Este sistema distribuye el agua concentrada en un corto periodo de tiempo. Se construyen bordos y zanjas para conducir un volumen reducido de agua, la pendiente de la zanja varía de 0.3 o 0.4% en el extremo superior cercano a la fuente de agua a 0% en el extremo inferior. El agua se conduce por zanjas y se controla con bordos distribuidos estratégicamente de manera que pueda ser redistribuida lateralmente. Así, aunque el agua fluya en una sola dirección en el bordo de dispersión esta puede fluir en dos direcciones en el bordo de recuperación (figura 31).

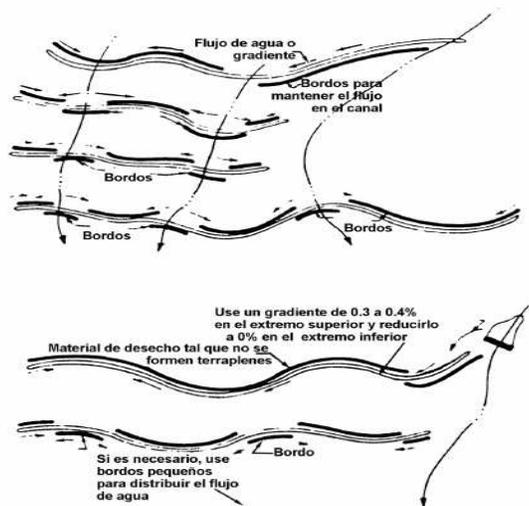


Fig 31. Sistemas de flujo continuo con bordos dispersores.

Criterios del diseño

Área de drenaje. El área que contribuya con escurrimientos o la relación de área de aporte área beneficiada para un sistema “seguro” de manejo de escorrentías debe ser tal que el volumen de agua derivada para satisfacer las necesidades del cultivo se presente en 8 de cada 10 años. Los sistemas con probabilidad menor se clasifican como “dudosos” y deben ser simples, poco costosos y satisfacer la demanda de volumen escurrido por lo menos en 1 de cada 2 años.

Obra de derivación.

- La obra de derivación debe ser automática y no requerir el control manual para derivar el agua, excepto en aquellos cauces que se esperen flujos con duraciones de más de 24 horas,
- La obra debe ser capaz de resistir la avenida máxima esperada.
- Se deben tener medidas de control que aseguren que solo entre la tasa de flujo deseada al sistema de conducción. Donde la corriente transporte una gran cantidad de sedimentos se debe evitar la entrada de los sedimentos gruesos del lecho del cauce al sistema.
- El sistema de entrada debe poder ajustarse para excluir el flujo cuando no se desee que entre en el área de cultivo.

Sistema de conducción. El sistema de conducción debe tener la capacidad de conducir con seguridad el flujo de diseño de la obra de derivación al área de esparcimiento.

Área de esparcimiento:

- Se debe localizar las zanjas, bordos, presas de derivación y demás estructuras de tal manera que esparzan el flujo sobre la superficie del suelo o la entarquinen dependiendo del sistema de manejo de escorrentías seleccionado.
- Todas las pendientes deben ser estables y con taludes que faciliten las operaciones agrícolas.
- Se debe nivelar o suavizar el terreno, remover las obstrucciones a fin de obtener la distribución más uniforme del agua y mejorar la eficiencia de las operaciones agrícolas.
- Si el agua se va a esparcir sobre el área, la lámina aplicada debe ser aproximadamente igual a la cantidad de agua que el suelo absorberá en un periodo de duración estimada de flujo. Para suelos con permeabilidad rápida o muy rápida esta lámina debe ser más de la necesaria para saturar la zona radicular.
- Si el agua se va a entarquinar en el área de esparcimiento, la lámina aplicada debe igualar aproximadamente la capacidad de retención de humedad del perfil del suelo en la zona de crecimiento radical.

Bordos para entarquinamiento:

- La lamina máxima de entarquinamiento con bordos es de un metro con excepción de canales o cárcavas con menos de 10 m de ancho donde se pueden permitir laminas de hasta 1.5 m. La anchura de corona mínima será de 90 cm. Los taludes laterales no deben ser mayores de 2:1.
- La zona donde se construirán los bordos debe limpiarse de vegetación y de cualquier otro material antes de poner el material de relleno.

- El bordo debe construirse con una altura tal que permita por lo menos el 5% de asentamientos.

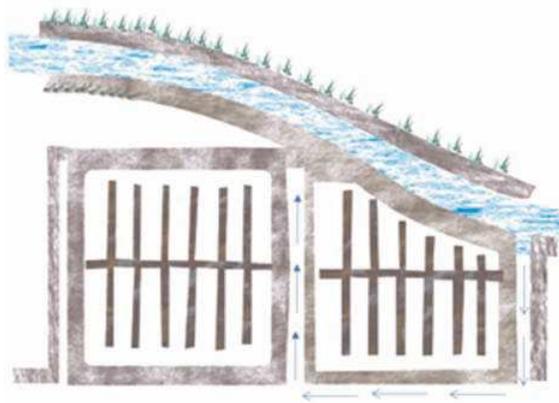


Fig 32. Bordería ínter- parcelaria de entarquinamiento.

ZANJAS

Sistema de canales sin desnivel construidos en laderas, los cuales tienen por objetivo captar el agua que escurre, evitando procesos erosivos de manto, permitiendo la infiltración del agua en el suelo. Utilizados tanto en zonas de escasa precipitación como en aquellas de mucha lluvia; se adapta a pendientes desde 5-40%. Por lo general se encuentran asociadas a la mayoría de bordos.

Para su construcción es necesario considerar una serie de factores y procedimientos, a fin de que dicho sistema tenga capacidad de controlar los escurrimientos máximos. Los pasos a seguir en el diseño del sistema de zanja y bordo son los siguientes:

- Calcular la pendiente media del terreno.
- Calcular el espaciamiento (E).
- Obtener el dato de lluvia máxima (L) en 24 horas para un período de retorno de cinco años.
- Obtener el valor del coeficiente de escurrimiento (C) indicado en el cuadro...
- Calcular la capacidad de almacenamiento del bordo en litros por metro lineal mediante la fórmula:

$$A = \frac{10 \cdot E \cdot C \cdot L}{100} \quad (34)$$

Donde:

A = Capacidad de almacenamiento (l/m)

E = Espaciamiento entre bordos (m)

C = Coeficiente de escurrimiento

L = Lluvia máxima en 24 horas (cm)

10 = Factor de ajuste de unidades

El espaciamiento E, se obtiene con las formulas:

$IV = \frac{IH}{P}$ donde: IH= Intervalo horizontal

$IH = \frac{IV \cdot P}{100}$ IV= intervalo vertical (m)

P = pendiente del terreno (%)

Y para obtener IV se necesita:

P

$IV = \frac{100}{P} \cdot (0.305)$

3 o 4

Topografía	Textura del suelo		
Vegetación	Gruesa	Media	Fina
Bosque			
Plano (0-5% pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (5-10% pendiente)	0.25	0.35	0.50
Escarpado (10-40% pendiente)	0.32	0.25	0.62
Pastizales			
Plano (0-5% pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (5-10% pendiente)	0.16	0.36	0.55
Escarpado (10-40% pendiente)	0.23	0.43	0.63
Terrenos cultivados o desnudados			
Plano (0-5% pendiente)	0.35	0.55	0.65
Ondulado (5-10% pendiente)	0.45	0.65	0.75
Escarpado (10-40% pendiente)	0.57	0.77	0.87

Cuadro 14. Valores del coeficiente de escurrimiento (C) utilizados para calcular los escurrimientos máximos.

Estos sistemas pueden dividirse por beneficio, en: Zanjas Trincheras o Tinas Ciegas, Zanjas a Nivel y Zanjas de Infiltración tipo Trinchera. Pero por las condiciones climáticas que presenta la microcuenca la que mas se adecúa es la ultima.

Zanjas de Infiltración tipo Trinchera

Consiste en un conjunto de zanjas discontinuas, perpendiculares a la pendiente del terreno y de una longitud igual al ancho de la parcela, diseñada para captar el agua escurrida de las partes altas y controlar la erosión laminar.

Es una variante del sistema zanja-bordo que consiste en la apertura (manualmente o con maquinaria) de zanjas de manera discontinua a través de un tabique divisor entre zanja y zanja. Son estructuras limitadas por la profundidad del suelo. Se recomienda su establecimiento en regiones semiáridas (<700mm) donde se requiera capturar agua para el desarrollo de especies vegetales que pueden establecerse en el fondo de la zanja si las condiciones de lluvia o humedad son limitantes. En ambiente más húmedos se siembra a lo largo del bordo una barrera viva, a modo de filtro, a 15 cm del borde superior.

Se adapta a terrenos con pendientes de 5 a 40 %, el bordo (10 -15 cm aguas abajo de la zanja) se debe compactar y mantener con vegetación para evitar que los escurrimientos se lleven el suelo. Se construyen de manera discontinua sobre una curva a nivel, se recomiendan una longitud de 2.5 m y separación entre ellas de 0.5 a 2.5 m.

La separación entre zanjas, se estima utilizando la ecuación para espaciamiento entre terrazas o determinando el volumen escurrido que se puede captar del área entre líneas de zanjas para llenarlas. La lámina escurrida se estima con el método racional modificado o con el método de las curvas numéricas utilizando la lluvia máxima de 75 mm en 24 horas para un periodo de retorno de 5 años en caso de no disponer de datos pluviométricos históricos de la de la zona.



Fig 33. Zanja tipo trinchera

CONTROL DE CÁRCAVAS Y REPRESAS DE CONTROL DE AZOLVES

Para lograr una eficiencia en el control de las cárcavas es necesario realizar un control integral de la cuenca que aporta los escurrimientos y azolves en la cárcava, mediante el uso de prácticas específicas de conservación de suelos, de acuerdo con el uso del terreno.

La rehabilitación y control de cárcavas considera dos principios básicos: la rehabilitación parcial y la rehabilitación total.

El control parcial es muy económico, se utiliza satisfactoriamente cuando el objetivo no es corregir la cárcava totalmente, sino que se utiliza como medida preventiva. Esta clase de solución es muy económica, pero este tipo de sistema no llega a recuperar el estado original de la cárcava, lo que implica que el problema de degradación persista. Además, el control parcial no controla el punto donde se origina la cárcava, es decir, no considera el control de la erosión remontante.

El segundo considera la restauración total de la cárcava bajo las siguientes consideraciones: la rehabilitación del sistema hidráulico mediante estructuras de control permanentes y/o creando nuevas condiciones hidráulicas para reducir el escurrimiento superficial mediante canales colectores, interceptores y de desviación, además de detener la erosión.

Los principios anteriores permiten seleccionar el orden de ejecución de obras. Cada cárcava es un caso particular, el orden de ejecución de obras debe iniciarse por donde sea más urgente, figura 34 muestra de forma general los problemas de cárcavas presentes en la zona.



Fig 34. Muestra algunas cárcavas presentes en la zona y las cuales necesitan rehabilitación.

Las etapas para el control y de la erosión en cárcavas son:

I. Cabeceo de torrenteras: procedimiento para detener la erosión remontante

1 Prevenir y detener la erosión remontante, mediante el cabeceo de torrenteras o cárcavas.

2 Reducir la velocidad de los escurrimientos superficiales que erosionan el fondo y los taludes de las cárcavas, mediante el uso de estructuras diseñadas para tal fin.

3 Rellenar y estabilizar la cárcava con los azolves captados por estructuras, y posteriormente tratar de que desarrolle la vegetación nativa de la zona.

(aguas arriba) de las cárcavas. Figura 33.

Procedimientos:

- A) utilización de zanjas desviadoras, bordos, algunas terrazas con el fin de dirigir los escurrimientos a otras zonas y evitar que la cárcava siga erosionándose.
- B) Construcción presas de piedra para evitar que la cárcava continué creciendo aguas arriba.

Para llevar a cabo lo anterior requiere:

- Suavizar los taludes de la cabeza de la cárcava, con el fin de dejar una pendiente pronunciada y proteger el suelo con un empedrado y así formar en esa porción una rápida.
- Construir una presa de piedra acomodada o de mampostería al pie de la rápida.



Fig 35. Ejemplo de cabeceo de cárcavas.

II. Estructuras para el control de azolves

Se utilizan presas construidas en forma perpendicular a la dirección de la corriente. Tienen la finalidad de disminuir la velocidad del agua y suavizar la pendiente de la cárcava por la sedimentación de azolves (figura 34); estas pueden ser permanentes y temporales de acuerdo con el material utilizado en su construcción.

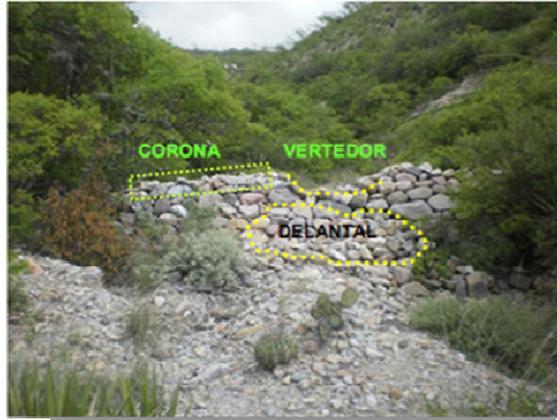


Fig 36. Fotografía de represa en un cauce de la zona de estudio, tomada de Mateos (2011),

a) Presas Temporales

Presas de Ramas

Presas de Malla de Alambre

Presas de Morillos

Presas de Gavión

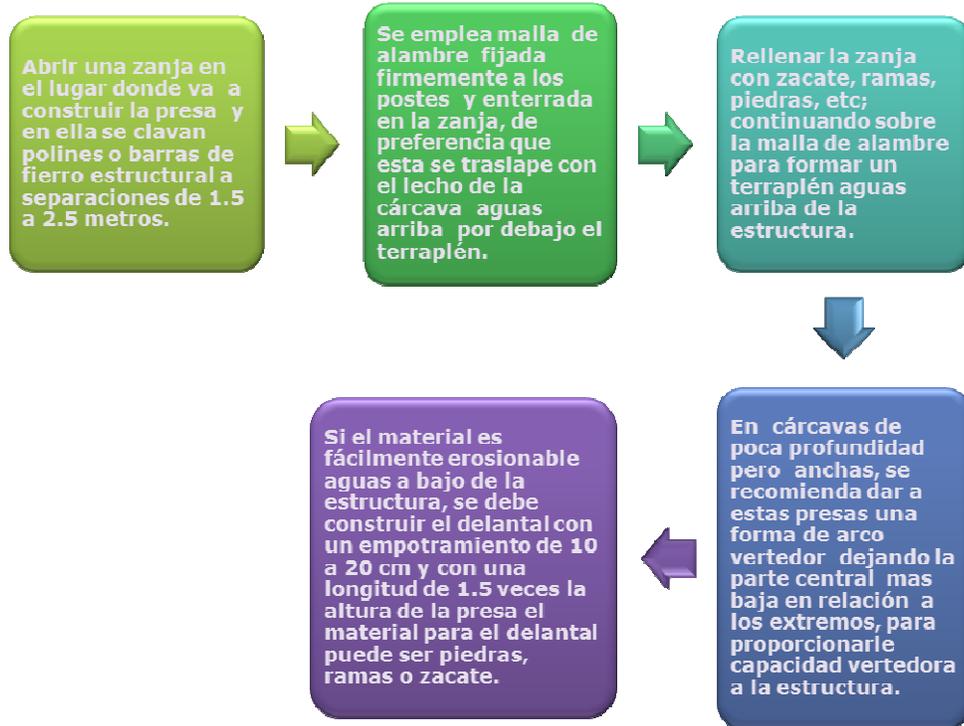
Presas de piedra acomodada

De las presas mencionadas en la parte superior, las que mejor se adecúan a las cárcavas presentes en la microcuenca son los tres últimos:

Presas de Malla de alambre:

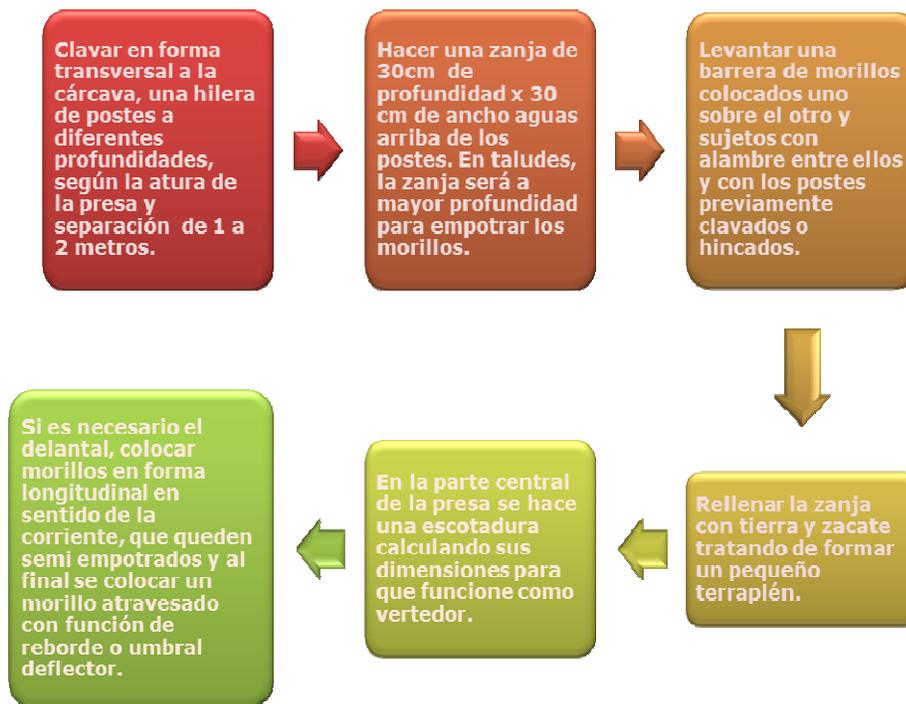
Estas se utilizan para controlar cárcavas pequeñas con área pequeña de captación y donde no exista suficiente vegetación arbórea, como es el caso de la zona de estudio.

Procedimiento de construcción:



Presas de Morillos: Se recomienda para cárcavas pequeñas o medianas en cuencas de drenaje pequeño y cuando en áreas circunvecinas existan arboles para la construcción.

Procedimiento:



Presas permanentes:

Son aquellas realizadas con material de construcción de larga duración. De las cuales destacan:

- A) Presas filtrantes de piedra acomodada
- B) Presa de gaviones
- C) Presas de mampostería

Presas Filtrantes de Piedra Acomodada

Se coloca transversalmente, en forma de barrera, al flujo del agua, son utilizadas para el control del crecimiento de cárcavas con pendientes moderadas.

Ya que permite retener sedimentos, incrementar la infiltración del cauce, además, disminuye la velocidad del agua, estabiliza lechos de cárcavas y mejoran la calidad del agua escurrida, puesto que captura sedimentos y materia orgánica.

Su construcción requiere piedras y rocas acomodadas que existan en el sitio y con herramientas manuales; se construyen formando una barda de aproximadamente 0.7m de ancho y aguas abajo deben terminar con un talud para dar mayor estabilidad. Se recomienda una altura máxima de 3m para presas de hasta 2m, la base será de 1.5 veces la altura del vertedor y para presas mayores de 2m la base será de 1.75 veces la altura. El vertedor suele ser de 1/3 de largo de la presa y la altura vertedora de 0.3 a 0.5m.

La construcción se hace partiendo de una zanja trapezoidal de 0.9m en el fondo de la cárcava, en los taludes se hace un empotramiento de 0.6m.

Presas de Gaviones

Son estructuras de gravedad formadas por gaviones y piedras que se recomiendan para controlar la erosión en cárcavas de cualquier tamaño con buenos resultados. El gavión se define como cajas o canastas formadas por malla de alambre de acero galvanizado, las cuales se rellenan de piedra con el objeto de formar el cuerpo de la obra que constituye la presa de control.

Se selecciona el tamaño del gavión, de acuerdo con las dimensiones de la presa.

Conce pto	Carga sobre el vertedor (cm)															
	30				80				130				180			
H ₁	20	30	40	50	20	30	40	50	20	30	40	50	20	30	40	50
H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L.b.	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
H ₂	50	50	50	50	10	10	10	10	15	15	15	15	20	20	20	20
L	30	30	40	40	60	60	70	70	70	80	90	10	10	11	12	13
P	50	50	50	50	50	50	50	50	10	10	10	10	10	10	10	10
E	50	50	50	50	50	50	50	50	10	10	10	10	10	10	10	10
D	50	10	15	15	50	10	15	15	50	10	15	15	50	10	15	15
B	15	20	30	40	15	20	30	40	15	20	30	40	15	20	30	40
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Acotaciones en cm

** Las dimensiones indicadas son mínimas y pueden modificarse las proporciones de la cimentación y el espesor del piso del tanque, de acuerdo con las condiciones geológicas del sitio en estudio*

Cuadro 15. Dimensiones de la presa de gaviones.

Una vez definido el tamaño y construyendo las plantillas de los gaviones, se llevan al campo y con alambre galvanizado de 2.4mm de diámetro se sujetan para construir el gavión. Para mantener el paralelismo entre las caras del gavión es recomendable el uso de tirantes tensores del mismo alambre.

Los gaviones se acomodan en la zanja y se llenan de piedras de diferentes diámetros; procurando rellenar las oquedades entre las piedras. Cada gavión debe quedar unido a otro con amarres de alambre.

Agua debajo de la presa debe construirse un delantal de dimensiones variables que amortigüe la caída de agua a través del vertedor.

El espaciamiento de cada presa esta en función de la pendiente del cauce y una pendiente de sedimentación.

Presas de Mampostería

Estas presas son de gran duración y se utilizan para cualquier tamaño de cárcavas. Además de cumplir con la doble función de retener azolves y almacenar agua por lo pueden construirse en la parte baja de de la cárcava preferentemente después de una serie de presas filtrantes con el fin de retener el agua libre de azolves para un posterior uso.

Con base en el escurrimiento máximo que puede circular en la cárcava y las características de esta, se determina la altura de la presa y las dimensiones del vertedor a partir del cuadro 16.

Longitud de cresta (m)	Carga sobre el vertedor (m)												
	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80
0.50	23	65	120	185	258	339	428	523	730	980	1 210	1 478	1 763
1.00	46	129	238	367	513	674	850	1 038	1 450	1 907	2 403	2 935	3 502
1.50	69	194	358	550	770	1 011	1 275	1 557	2 180	2 861	3 604	4 402	5 253
2.00	92	258	476	734	1 027	1 349	1 699	2 076	2 900	3 814	4 805	5 870	7 004
2.50	115	323	596	917	1 283	1 686	2 124	2 596	3 630	4 768	6 007	7 337	8 755
3.00	138	388	716	1 101	1 540	2 023	2 549	3 115	4 350	5 721	7 208	8 804	10 505
3.50	161	452	834	1 284	1 797	2 360	2 974	3 634	5 080	6 675	8 409	10 272	12 256
4.00	184	516	952	1 467	2 053	2 697	3 399	4 153	5 800	7 628	9 611	11 739	14 007
4.50	207	581	1 072	1 651	2 310	3 034	3 824	4 672	6 530	8 582	10 812	13 207	15 758
5.00	230	646	1 189	1 834	2 567	3 371	4 249	5 191	7 250	9 535	12 014	14 674	17 509
6.00	276	776	1 432	2 201	3 080	4 046	5 098	6 229	8 700	11 442	14 416	17 609	21 011
7.00	322	904	1 668	2 568	3 593	4 720	5 948	7 267	10 150	13 349	16 819	20 544	24 513
8.00	368	1 032	1 904	2 935	4 106	5 394	6 798	8 306	11 600	15 255	19 222	23 478	28 014
9.00	414	1 162	2 144	3 302	4 620	6 038	7 647	9 344	13 050	17 163	21 624	26 413	31 516
10.00	460	1 291	2 378	3 669	5 133	6 743	8 497	10 382	14 500	19 068	24 027	29 348	35 018

Fórmula empleada: $Q = CLH^{3/2}$ en donde:

- C = Coeficiente de descarga (1.45).
- L = Longitud de cresta (m).
- H = Carga sobre el vertedor (m).

VISTA FRONTAL DEL VERTEADOR

Cuadro 16. Determinación de la capacidad de vertedores en litros/ segundo.

Una vez determinadas las dimensiones de la cortina de mampostería que se obtienen con el cuadro 17.

Concepto	Carga sobre el vertedor															
	h máx. = 0.30 m				h máx. = 0.80 m				h máx. = 1.30 m				h máx. = 1.80 m			
H	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	2.00	2.00	2.00	2.00
H 1	2.00	3.00	4.00	5.00	2.00	3.00	4.00	5.00	2.00	3.00	4.00	5.00	2.00	3.00	4.00	5.00
H 2	3.30	3.40	4.50	5.60	2.30	3.40	4.50	5.60	2.30	3.40	4.50	5.60	2.40	3.50	4.60	5.70
H 3	1.30	1.40	2.00	2.10	1.30	1.40	2.00	2.10	1.80	1.90	2.50	2.60	1.90	2.00	2.60	2.70
H 4	0.30	0.40	0.50	0.60	0.30	0.40	0.50	0.60	0.40	0.40	0.50	0.60	0.40	0.50	0.60	0.70
H 5	0.50	0.50	1.00	1.00	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50	1.00	1.00	1.50	1.50
B 1	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
B 2	0.50	0.50	0.50	0.60	0.50	0.50	0.50	0.60	0.50	0.50	0.50	0.60	0.50	0.50	0.50	0.60
B 3	1.40	1.80	2.20	2.60	1.40	1.80	2.20	2.60	1.60	2.00	2.40	2.80	1.60	2.00	2.40	2.80
B 4	2.00	3.00	4.00	5.00	2.50	3.80	5.00	6.50	3.00	4.50	6.00	7.50	3.50	5.25	7.00	9.00
B 5	0.30	0.40	0.50	0.60	0.30	0.40	0.50	0.60	0.30	0.40	0.50	0.60	0.40	0.50	0.60	0.70
B 6	0.60	0.80	1.00	1.20	0.60	0.80	1.00	1.20	0.60	0.80	1.00	1.20	0.60	0.80	1.00	1.20
H 6	0.60	0.60	0.70	0.70	0.60	0.60	0.70	0.70	0.70	0.70	0.80	0.80	0.70	0.70	0.80	0.80
H 7	0.30	0.30	0.40	0.40	0.30	0.30	0.40	0.40	0.40	0.40	0.50	0.50	0.40	0.40	0.50	0.50

La dimensión B2 se puede variar de acuerdo al criterio del técnico.
Las profundidades de la cimentación (H6 y H7) dependen de las condiciones del material que se encuentre en el sitio de la obra.

Cuadro 17. Dimensiones de las cortinas de Mampostería.

Para la construcción debe seleccionarse piedra relativamente uniforme para un menor consumo de mortero, el cual debe hacerse en proporción 3:1 (arena-cemento).

Se debe construir un delantal de acuerdo con las dimensiones del cuadro...

Se abre una zanja perpendicular a la cárcava con las dimensiones:

$$\text{Ancho} = B_3 + B_4 + B_5 + B_6.$$

Descripción general: Requiere se verifiquen las condiciones topográficas, hidrológicas, geológicas y de mecánica de suelos. Las condiciones topográficas para tener una sección transversal estrecha para conformar la boquilla donde se ubique la presa, así como un valle aguas arriba como vaso de almacenamiento. Se buscará que al menos la relación entre el volumen de almacenamiento y el de obra sea de 10:1 para que su construcción sea costeable. Estructura impermeable perpendicular a la pendiente del terreno que se construye con mampostería de piedra natural braza (mínimo treinta kilogramos), labrada, y junteada con mortero (cemento-arena 1:3). Las piedras deberán estar limpias, sin rajaduras y humedecidas. Se descartarán las piedras redondeadas o cantos rodados sin fragmentar o fragmentos sedimentarios. Se colocarán en el desplante las piedras de mayores dimensiones en forma cuatropeda, de tal manera, que el junteo llene lo

mejor posible el hueco formado con las piedras adyacentes, usando suficiente mortero para que al asentar las piedras el exceso de mortero fluya por las juntas. Las juntas no serán mayores de cuatro (4) centímetros, ni menos de dos (2) centímetros de espesor. Las piedras se labrarán hasta lograr la forma que corresponda con la del sitio de asiento, seleccionando para las esquinas, extremos y paramentos, las de mejor forma y aspecto. Las mejores caras se aprovecharán para los paramentos y la corona. Las piedras se asentarán teniendo cuidado de no aflojar las ya colocadas. En caso de que una piedra se afloje, será retirada al igual que el mortero de las juntas, y se volverá a colocar con mortero nuevo, humedeciendo previamente el sitio de asiento. Se procurará el cuatrapeo de las juntas verticales y horizontales o inclinadas. Se procurará un repellado sobre cortina en la parte interior, mortero (cemento-arena 1:4) de 2 cm de espesor promedio.

10. Anexos

Anexo 1. Simbología del mapa de uso de suelo

Cuadro 18. Descripción de la simbología presente en la Figura 9.

Simbología	Fisonomía
MIk	Matorral Inerme de <i>Karwinskia</i>
ZU	Zona Urbana
VSk	Vegetación secundaria de <i>karwinskia</i>
CI	Cultivo de <i>Lechuguilla</i>
AT	Agricultura de Temporal
MEp-k	Matorral Espinoso de <i>Prosopis</i> con <i>Karwinskia</i>
ATAP	Agricultura de Temporal de anuales y Perenes
MC-MIk	Matorral Crasicaule de <i>Garambullo</i> - Matorral Inerme de <i>Karwinskia</i>
AR	Afloramiento Rocoso
E	Erosion
MCg	Matorral Crasicaule de <i>Garambullo</i>
MCg-MIk	Matorral Crasicaule de <i>Garambullo</i> con <i>Karwinskia</i>
DES	Desmonte
Mlf-MB	Matorral Inerme de <i>Flourensia</i> - Matorral Subinerme
Mif	Matorral Inerme de <i>Flourensia</i>
Mlf-Bj	Matorral Inerme - Bosque <i>Juniperus</i>
Bp-MS	Bosque de <i>Pino</i> - Matorral Subinerme
Bj-Bp	Bosque de <i>Juniperus</i> - Bosque de <i>Pino</i>
MED- fe	Matorral Espinoso deciduo- <i>Fouquieria splendens</i>
MCn	Matorral Crasicaule de <i>Nopal</i>
MCn-Bj	Matorral Crasicaule de <i>Nopal</i> - Bosque de <i>Juniperus</i>

10.1 Formulario

Anexo 2. Morfometría

El área, el perímetro y la longitud de los cauces de la cuenca son las características geomorfológicas más importantes dentro del estudio de una microcuenca, dichas variables se estimaron por medio del SIG Arc View 3.1.

- ◆ La Pendiente General

Alt A- alt B

$$P\% = \frac{\text{---}}{D(a-b)}$$

Donde:

P%= porcentaje de Pendiente

Alt A=altitud del punto A

Alt B= altitud del punto B

D(a-b)= distancia entre en punto A yB

◆ Coeficiente de compacidad

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

Kc= Coeficiente de Compacidad (adimensional)

P= Perímetro de la Cuenca (km)

A= Área de la Cuenca (km²)

Cuadro 19. Clases del Coeficiente de Compacidad según Sánchez 1987

1. Clase K₁: de 1.0-1.25, corresponde a formas casi redonda a oval-redonda
2. Clase K₂: 1.26-1.25, correspondiente a la forma oval redonda a oval-oblonga
3. Clase K₃:1.51-175 o mayor, corresponde a la forma oval oblonga a rectangular-oblonga.

◆ Índice de forma

$$If = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

If= índice de forma

A= Área de la Cuenca (km²)

L= Longitud del cauce principal

◆ Relación elongación

$$Re = \frac{Dc}{L}$$

Donde:

Re= relación elongación (adimensional)

Dc= Diámetro de un círculo de igual perímetro de la cuenca (Km), igual a $2r$

L= Longitud axial de la cuenca (Km)

◆ Densidad de corriente

$$Dc = \frac{Nc}{A}$$

Donde:

Dc= Densidad de Corrientes

Nc= numero de corrientes

A= Área de la Cuenca (km²)

◆ Densidad de cuenca

$$Dd = \frac{Lc}{A}$$

Donde:

Dd= densidad de drenaje

Lc= longitud total de las corrientes (km)

A= Área de la Cuenca (km²)

A partir de los valores de densidad de drenaje las cuencas se pueden clasificar atendiendo a los criterios:

Cuadro. 20 Criterios de densidad de corriente

Cuenca pobremente drenada: $Dd \leq 0.6 \text{ km/km}^2$
Cuenca bien drenada: $Dd > 3 \text{ km/km}$

Anexo3. Criterios utilizados en análisis físico-químicos del suelo (propuestos por los autores).

Cuadro 21. Criterios densidad aparente

Categoría	Valor (g/cm^3 o mg m^{-3})
Bajo	0.7- 0.9
Médio	1.0- 1.2
Alto	1.3- 1.4

Cuadro 22. Criterios densidad real

Categoría	Valor (g/cm^3 o mg m^{-3})
Bajo	2.20- 2.40
Médio	2.50- 2.75
Alto	2.8- 3.0

Cuadro 23. Criterios porosidad

Categoría	Valor (%)
Muy bajo	< 15
Bajo	15- 30
Medio	31- 50

Alto	51 -70
Muy alto	> 70

Cuadro 24. Criterios materia organica

Categoría	Valor (%)
Extremadamente pobre	< 0.6
Pobre	0.6 -1.2
Moderadamente pobre	1.3 -1.8
Medio	1.9 - 2.4
Moderadamente rico	2.5 – 5.0
Rico	5.1 – 14
Extremadamente rico	> 14

Cuadro 25. Criterios de capacidad de intercambio catiónico

Categoría	Valor (g/cm³ o mg m⁻³)
Bajo	<15
Médio	15 -30
Alto	31 -60
Muy alto	> 60

Anexo 4. Metodología Pérdida de Suelos

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

A	Es la pérdida de suelos calculada por unidad de superficie, expresada en las unidades seleccionadas para K y el período seleccionado para R, generalmente toneladas (t) hectárea (ha) ⁻¹ año ⁻¹ .
R	El factor lluvia y escurrimiento, es el número de unidades de índice de erosión pluvial (EI), más un factor para escurrimiento por derretimiento de nieve o aplicación de agua. El EI para una tormenta es el producto de la energía total de la tormenta (E) y su máxima intensidad en 30 minutos (I).
K	El factor susceptibilidad de erosión del suelo, es la tasa de pérdida de suelos por unidad EI para un suelo específico, medido en una porción de terreno estándar (22.13 m de largo, 9% pendiente, en barbecho y labranza continua).
L	El factor de largo de la pendiente, es la proporción de pérdida de suelos en el largo de la pendiente específica con respecto a un largo de pendiente estándar (22,13 m).
S	El factor de magnitud de la pendiente, es la proporción de pérdida de suelos de una superficie con una pendiente específica con respecto a aquella en la pendiente estándar de 9%, con todos los otros factores idénticos.
C	El factor cubierta y manejo, es la proporción de pérdida de suelo en una superficie con cubierta y manejo específico con respecto a una superficie idéntica en barbecho, con labranza continua.
P	El factor de prácticas de apoyo de conservación, es la proporción de pérdida de suelo con una práctica de apoyo como cultivo en contorno, barreras vivas, o cultivo en terrazas, con respecto a aquella labranza en el sentido de la pendiente.



$$R = \Sigma E x I_{30} m$$

E= energía cinética de la lluvia

I_{30} = intensidad máxima de la lluvia en 30 min.(falta)

K= poner fig 15.7

$$L = \frac{(X)^m}{22.13}$$

L=factor longitudinal (adimensional)

x=longitud le ladera (distancia desde inicio de la escorrentía hasta la depositación de sedimentos).

m= constante de la inclinación de la pendiente

S=

Anexo 5. Sistema de Evaluación “World Overview of Conservation Approaches and Technologies (Wocatt, 2007)”

Tipos de degradación de la tierra (Indicadores de Estado)

W: Erosión hídrica

Wt: Pérdida de las capas superficiales del suelo / erosión de la superficie:La pérdida de la capa superficial del suelo a través de la erosión hídrica es un proceso más o menos uniforme del removimiento de las capas superiores de éste, generalmente conocido como lavado superficial o erosión por capas. Como los nutrientes se encuentran normalmente concentrados en la capa superior del suelo, el proceso erosivo lleva a su empobrecimiento. La pérdida de la capa superficial del suelo es comúnmente precedida por la compactación y/o encostramiento, causando una disminución en la capacidad de infiltración del suelo, y llevando a acelerar la escorrentía y la erosión del suelo.

Wg: Erosión por cárcavas / barrancos: Desarrollo de incisiones profundas por debajo del subsuelo debido a la concentración de escorrentías.

Wm: Movimientos de masas: Ejemplos de este tipo de degradación son el corrimiento de tierras y los pantanos, los que ocurren localmente, pero que en general causan grandes daños.

B: Degradación biológica

Bc: Variación de la cobertura vegetal: Aumento del suelo desnudo / desprotegido.

Bh: Pérdida de hábitats: Disminución de la diversidad vegetal (tierras en barbecho, sistemas mixtos, límites en los campos).

Bq: Cantidad / disminución de la biomasa: Reducción de la producción vegetal para diferentes usos del suelo (por ej. en las tierras forestales a través de la tala, vegetación secundaria con una productividad reducida).

Bs: Calidad y composición de las especies / disminución de la diversidad: Pérdida de las especies naturales, tipos de tierras, pastos perennes palatables, propagación de las especies invasivas, de la tolerancia a la sal, no-palatabilidad, de especies y malezas.

Bl: Pérdida de la vida del suelo: Disminución de los macro-organismos (lombrices y termitas) y micro-organismos (bacterias y hongos) del suelo en cantidad y calidad.

P: Deterioro físico del suelo

Pu: Pérdida de las funciones bio-productivas debido a otras actividades: Algunos cambios en los usos del suelo (por ej. la construcción, la minería) pueden tener repercusiones sobre las funciones bio-productivas del suelo y, por lo tanto, un efecto de degradación.

Grado de la degradación de la tierra (Indicador de estado)

El grado es definido como la intensidad del proceso de degradación. Para la evaluación del grado de degradación, son utilizadas las siguientes categorías cualitativas. En caso de que un tipo de degradación tenga diferentes grados de degradación dentro del mismo sistema de uso de la tierra en la unidad de mapeo, éste puede ser dividido y colocado en dos listas separadas.

1 Leve: existen algunas indicaciones de degradación, pero el proceso aún se encuentra en una etapa inicial. Este puede ser fácilmente frenado y el daño puede ser reparado con un menor esfuerzo.

2 Moderado: la degradación es obvia, pero el control y la rehabilitación completa de la tierra aún es posible con un esfuerzo considerable.

3 Fuerte: signos evidentes de degradación. Los cambios en las propiedades de la tierra son significativas y de muy difícil restauración dentro de un límite de tiempo razonable.

4 Extrema: la degradación está más allá de la restauración.

11. LITERATURA CITADA

- ☆ Aguilera, H. R. 1989. Tratado de Edafología de México. Tomo I. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 221pp.

- ☆ Alatorre, N. (2007). *La Microcuenca como elemento de estudio de la vulnerabilidad ambiental. Centro de Estudios en Geografía Humana. El Colegio de Michoacán, A.C. 6pp.*

- ☆ Aldasoro, M. E. M. (2000). Etnoentomología de la comunidad HñaHñu, El Dexthi-San Juanico, Hidalgo. Tesis de Licenciatura. UNAM-FESI. México.

- ☆ Almorox, A, J. 2003. climatología aplicada al medio ambiente y agricultura. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Madrid. 201pp.

- ☆ Bohn, H; y col.1993. Química del suelo. Editorial Limusa. México. 370pp

- ☆ Cairo, P y Fundora. O.1994.edafología 2da edición. Editorial pueblo y educación. La Habana, Cuba. 476pp.

- ☆ Cajina, C. M. J. (2006). Alternativas de captación de agua para uso humano y productivo en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua. Tesis de Maestría. Turrialba Costa Rica. CATIE. 206pp.

- ☆ Campos, A. D. F. (1998). Procesos del ciclo hidrológico. Tercera reimpresión. Universidad Autónoma de San Luís Potosí. México. 57pp.

- ☆ Cardoza, V. R; et. Al. (2007). Manual de Conservación de Suelos. CONAFOR. México. 298pp.

- ☆ Casillas, G. J. A. (2007). Componente temático: Instrumentos metodológicos y conceptuales que fortalezcan la toma de decisiones en el manejo integral de cuencas. Metodología de Desarrollo Integral de Microcuencas. Congreso Nacional de Cuencas Hidrográficas. México. 6pp.

- ☆ Castelán, R; Ruiz, J, A; Tamariz, J, V. 2007. Participación campesina para el manejo de los suelos de la subcuenca de rio San Marcos, Puebla. Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 5pp.

- ☆ Ceja, M. M. C. (2008). Degradación de Suelos y Pobreza en México. Economía Informa. (Numero 350). México.

- ☆ Colegio de Postgraduados. (1991). Manual de conservación del Suelo y del Agua. SARH-SSP. Tercera edición. Chapingo, México. 248pp.

- ☆ CONAZA- SAGARPA. (2004). El caso del Valle de Santo Domingo en Baja California Sur. PIASRE Programa Integral de Agricultura Sustentable y Reconversión Productiva en Zonas de Siniestralidad Recurrente.

- ☆ CONAZA- SAGARPA. (N/D). Reconversión productiva como estrategia para conservar recursos naturales y luchar contra la pobreza en Atlixnac, Región de la Montaña, Guerrero. Programa Integral de Agricultura Sustentable y Reconversión Productiva en Zonas de Siniestralidad Recurrente.

- ☆ CONAZA- SAGARPA. 2006. Modelos de Inversión y Reconversión en Zonas Áridas (MIRZA), el caso Ejido Viboritas, Guadalupe, Zacatecas. Programa Integral de Agricultura Sustentable y Reconversión Productiva en Zonas de Siniestralidad Recurrente.

- ☆ COP. (2003). Memorias del Foro Internacional: Rehabilitación, Conservación y Manejo de Ecosistemas. México. 179pp.

- ☆ Cuevas, F, L; David Tejeda Sartorius; Jacinto Samuel García Carreón; Jesús Alejandro Guerrero Herrera; Juan Carlos González Olarte; Honorio Hernández Méndez; María de Lourdes Lira Quintero; Jorge Luis Nieves Frausto; Carlos Manuel Vázquez Martínez; Ramón Cardoza Vázquez. (2004). Protección, Restauración y Conservación de suelos. Manual de obras practicas. CONAFOR. Jalisco. 70pp.

- ☆ De Alba, C; Pineda, R. (2007). Ordenamiento Territorial Comunitario con Visión de Cuencas. Universidad Autónoma de Querétaro. 10pp.

- ☆ Delgado, D. M. D. R. (2000). Levantamiento Edafológico Semidetallado del territorio de la comunidad del Dexthí, Alto Mezquital, Hidalgo. Tesis de Licenciatura. Biología. UNAM-FESI. México.

- ☆ De Santa Olla, F. M. (2000). Agricultura y Desertificación. Ediciones Mundi Prensa. España. 343pp.

- ☆ Dirección general de aguas. (1973).

- ☆ Escobar, L.C. (2007). Breve semblanza del Programa Nacional de Microcuencas en el Estado de Hidalgo. Querétaro, México. 6pp.

- ☆ FAO. (1992). Manual de Campo para la Ordenación de Cuencas Hidrográficas. Estudio y Plantación de Cuencas Hidrográficas. Roma. 184pp.

- ☆ FAO. (1993). Desarrollo sostenible de tierras áridas y lucha contra la desertificación. Departamento de Montes. Roma.

- ☆ FAO. (1996). La metodología ZAE/SIRT de la FAO: herramientas para el manejo integrado y sostenible de los recursos de tierras. Santiago de Chile. 16pp.

- ☆ FAO. (2001). An overview of land evaluation and use planning at FAO. Roma. 16pp.

- ☆ FAO. (2002). Evaluación de la degradación de tierras en Zonas Áridas. LADA. Roma. 20pp.

- ☆ FAO. (2007). Land and Water Discussion. Land evaluation. Toward a revised framework. Roma. 24pp.

- ☆ FAO. (2007). Departamento forestal, Lucha contra la Desertificación. FAO. 2pp.

- ☆ Fernández, B. L. (2008). Anfibios y Reptiles del Alto Mezquital, Hidalgo. Tesis de licenciatura. Biología. UNAM-FESI. México.

- ☆ Foro Boliviano sobre Medio Ambiente y Desarrollo. (1994). Rio 92: los tratados alternativos y el resumen de la Agenda 21. Editor Foro Boliviano sobre Medio Ambiente y Desarrollo. 262 pp.

- ☆ Gaucher, G. 1971. Tratado de Pedología Agrícola: El suelo y sus características agronómicas. Ediciones Omega. Barcelona. 647pp.

- ☆ García, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). (segunda edición). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. 276pp.

- ☆ García, S. R. (2005). Restauración de la cubierta vegetal de los matorrales semiáridos del Valle de Mezquital, Hidalgo, México.

- ☆ González, Q, L. 1968. tipos de Vegetación del Valle del Mezquital. Instituto Nacional de Antropología e Historia.

- ☆ Gobierno del Estado de Hidalgo. (2001). Ordenamiento Territorial y Ecológico del Estado de Hidalgo. México.

- ☆ Granados, S; López, R; Hernández, H. (2004). Agricultura nhanñhu-otomí del Valle del Mezquital, Hidalgo. Tierra Latinoamericana. (vol. 22). México.

- ☆ Grupo Tragsa. (2003). La Ingeniería en Los Procesos de Desertificación. Ediciones Mundi- Prensa. Madrid. 1045 pp.

- ☆ Hernández. A. (2005). Evaluación del estado actual de la degradación de tierras de la cuenca de Zapotitlán de las Salinas Puebla. Tesis de Licenciatura. UNAM-FESI. México.

- ☆ INEGI. 1981. Carta Topografica, Tasquillo, F14C69, escala 1:50000. México. Mapa.

- ☆ INEGI.1982. Carta Topografica, Ixmiquilpan. F14C79, escala 1:250000. Mexico. Mapa.

- ☆ INEGI: 1983. Carta Hidrológica de Águas subterráneas, F14-11, escala 1:250000. México. Mapa.

- ☆ INEGI. 1985. Carta de Uso Potencial Ganadería. Hoja Pachuca F-14-11. Escala 1:250 000. México. Mapa.

- ☆ INEGI: 1992. Síntesis Geográfica del estado de Hidalgo. México. 134pp.

- ☆ INEGI: 1994. Cuaderno estadístico municipal Ixmiquilpan, Hidalgo. México.

- ☆ INEGI. (2009). Guía para la interpretación de cartografía uso de suelo y vegetación: escala 1:250000: (serie III). México.

- ☆ Jardí, M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. Revista de geografía. (Vol, XIX). Barcelona. 27pp.

- ☆ Landa, R, Neri, C. (2007). Diagnostico socioambiental como herramienta para orientar política publica en la gestión de riesgos hidrometereológicos en la región semiárida del Alto Mezquital Hidalgo y el centro-oeste de Querétaro.

Subsecretaría de planeación y política ambiental, SEMARNAT, Centro de Ciencias de la atmósfera, UNAM. México.

- ☆ León, R. (1984). Nueva edafología: regiones tropicales y áreas templadas de México. Grupo editorial Gaceta. 340pp.

- ☆ López, F. Muñoz, D. Hernández, M. Soler, A. (1999) Programa de manejo integral de recursos e investigación participativa en el Alto Mezquital Hidalgo. Centro piloto Dexthi Valle del Mezquital. Cuaderno de Investigación Interdisciplinaria en ciencias de la salud, la educación e el ambiente. (Vol II). ENEPI- UNAM.

- ☆ López, G. F. (2001). Evaluación de Recursos y planificación ecológica del uso del suelo, en los municipios de Cardonal, Tasquillo, Norte de Ixmiquilpan, Edo de Hidalgo. Tesis de Maestría. Ciencias. UNAM. 208 pp.

- ☆ López, G. F (2003). Proyecto Piloto para la conservación de suelos y el centro de desarrollo rural, El Dexthi, México.

- ☆ López, G. F. (2010). Manual de Percepción Remota. Análisis Topográfico y Evaluación Morfológica de una Zona. UNAM-FESI. México.

- ☆ Mateos, A. M. A. (2011). Evaluación del estado actual de 4 microcuencas ubicadas en el poblado El Dexthi-San Juanico, Ixmiquilpan Hidalgo. Tesis de Licenciatura. UNAM-FESI. México. 124pp.

- ☆ Muñoz, D; López, F; Hernández, M; Soler, A. (2000). Manual de prácticas de Edafología. UNAM- FESI. México.

- ☆ Narro, F. E. 1994. Física de Suelos: con enfoque agrícola. Trillas. México. 195pp.

- ☆ Oldeman. (1988). Global Assessment of the Current Status of Human-Induced Soil Degradation (GLASOD).

- ☆ Ortiz, V. B y Ortiz S.C.1980. Edafología. 3ra edición. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 483pp.

- ☆ Ortiz Ortiz Z. E; Sánchez Flores C. V; Galdámez E. V; Cabrera M. M; Hernández R. G; Gutiérrez J. I. González, E. E; Ibarra S. M., May Y. D; Roblero O. C. 2007. Programa de ordenamiento ecológico territorial de la subcuenca del río Zacatenco, Chiapas, México. Instituto de Historia Natural y Ecológica. Dirección de protección ambiental. 9pp.

- ☆ Paz, M. J., J. Sánchez, and F. Visconti. 2006. Combined use of GIS and environmental indicators for assessment of chemical, physical and biological soil degradation in Spanish Mediterranean Region. J. Environ. Manage. 79: 150-162.

- ☆ Pérez, G. Ramírez, C. Vázquez, K. Ortiz, S. (ND, 2001). Impactos al agro por los recursos hídricos en el Valle del Mezquital, Hidalgo. Instituto Mexicano del Petróleo. 11pp.

- ☆ Porta, C. J; Lopez, A. R. M. (2005). Agenda de campo de suelos: información de suelos para la agricultura y el medio ambiente. Mundi- Prensa. 541pp.

- ☆ Randell, J. (2005). Modelo de restauración ecológica en la microcuenca “El Porvenir”, Santiago de Anaya, Hidalgo, México.

- ☆ Rickards, G. J. (2007). La Evaluación de Impacto Ambiental en Microcuencas Bajo Manejo Comunitario. Maestría en Gestión Integrada de Cuencas. Universidad Autónoma de Querétaro. 8pp.

- ☆ Rodríguez, R. (1996). Programa Conjunto FAO/PNUMA de Control de la Desertificación en América Latina y el Caribe, Food and Agriculture Organization of the United Nations, United Nations Environment Programme. Planificación y manejo integrado de cuencas hidrográficas en zonas áridas y semiáridas de América Latina. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. 321pp.
- ☆ Romero, H. (1995). Estudio caso VII el Valle del Mezquital, México; control de la contaminación de agua. 12pp
- ☆ Sánchez, A. (1987). Conceptos Elementales de la Hidrología Forestal. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 149pp.
- ☆ Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). (1988). Diagnostico para el Manejo de Cuencas. Subsecretaria de Desarrollo y fomento Agropecuario y Forestal. Dirección General de Normatividad Agrícola. México. 103pp.
- ☆ SEDESOL-INE. 1993. Ordenamiento Ecologico General del Territorio Nacional. Secretariia de Desarrollo Social.
- ☆ SEMARNAT. (2002). Inventario Nacional de Suelos / con base en: Informes de CONAZA / SEDESOL, Plan de Acción para Combatir la Desertificación en México, (PACD-México, 1994), México; Diario Oficial de la Federación (D.O.F.) del 1 de junio de 1995 (Págs. 5 a la 36); Informes de Semarnat / PNUMA, 1999.
- ☆ SEMARNAP, (1999). La Evaluación de la Degradación del Suelo Causada por el Hombre. Inventario Nacional de Suelos, Dirección General de Restauración y Conservación de Suelos.
- ☆ SSP. Secretaria de Programación y Presupuesto. (1983). Carta Hidrológica de Aguas Superficiales. Pachuca F14-11. 1 mapa. Escala 1:250000. México.

- ☆ SSP. Secretaria de Programación y Presupuesto. (1983). Carta Geológica. Pachuca F14-11. 1 Mapa. Escala 1:250000. México

- ☆ Sotelo, E; Jurado, O. (2006). Criterios de asignación de municipios a las cuencas hidrográficas: el reto de la caracterización socioeconómica de una unidad natural. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT. Instituto de Geografía, UNAM. México. 9pp.

- ☆ Tamhane, V.R; Motiramani,P.D. y Bali, P.1979. Suelos su Química y fertilidad en Zonas Tropicales. Editorial Diana. México. 483pp.

- ☆ Terrones, R, T, R; Hernández, M, M, A; Ríos, R, S, A. (2007). Educación Ambiental en Traspacios Agroforestales con Arbustivas. Nativas: espacios para amortiguar la desertificación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Centro. Campo Experimental Bajío. Guanajuato. 10pp.

- ☆ Valtierra, J. G; Domínguez, M. A. (2007). Herramienta para la Caracterización Morfológica de Cuencas Hidrográficas. Centro Querétaro de Recursos Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro. México. 7pp.

- ☆ Velasco, H (1983). Uso y manejo del Suelo. Ed. Limusa. Mexico

- ☆ Venegas. R. (2007). Aptitud Territorial: una aproximación hacia la planeación y el ordenamiento del territorio. Mexicali, Baja California: Universidad Autónoma de Baja California. 221pp.

- ☆ WOCAT-LADA. (2007). Un Cuestionario para posibilitar la realización de Mapas de la Degradación de la Tierra y el Desarrollo de Mecanismos para el Manejo Sustentable de la Tierra. 41pp.

- ☆ Zarate, Z. R. (1994). Estado de la degradación de Tierra inducida por el hombre: un manual para su cartografía. Cuaderno de Edafología. Instituto de Recursos Naturales Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas. Estado de México. 79pp.

Paginas de Internet

- ❖ http://www.cdi.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=633:otomies-del-valle-del-mezquital-hnae-hnue-&catid=54:monografias-de-los-pueblos-indigenas&Itemid=62
- ❖ <http://www.conafor.gob.mx/portal/index.php/temas-forestales/suelos>
- ❖ <http://coedeh.hidalgo.gob.mx/index.php?opcion=com>