



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

"ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN
HÍDRICA, EN BIENES COMUNALES DE SAN MATEO MIMIAPAN,
PUEBLA"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

PRESENTA:

CERVANTES REBOLLEDO VIVIANA

DIRECTORA DE TESIS

M. en C. HERNÁNDEZ MORENO MAYRA MÓNICA

Los Reyes Iztacala, Edo. de México, 2019.





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.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. JUSTIFICACIÓN.....	10
3. OBJETIVOS	11
4. ANTECEDENTES	12
5. MARCO TEÓRICO.....	14
Parte 1. Erosión	14
Mecanismos, factores y formas de la Erosión Hídrica	14
Factores involucrados en la erosión hídrica (López, 2003)	15
Formas de erosión en superficie	17
Modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS)	18
Descripción de los factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS).	19
Modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada.....	22
Parte 2. Cuencas Hidrográficas	22
1) Definición	22
2) La cuenca hidrográfica como unidad funcional	23
6. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	25
Localización	25
Clima.....	25
Fisiografía	26
Geología	26
Hidrografía	27
Edafología.....	27
Vegetación y uso de suelo.....	28
Forma de Organización	28
Organizaciones gremiales	30
Organizaciones Religiosas	30
Comités de padres de Familia	30
Aspectos Culturales, Sociales y Económicos	31

Actividades productivas y problemáticas.....	31
7. MATERIALES Y MÉTODO	33
7.1. Planteamiento del Problema.....	33
7.2. Delimitación de las microcuencas.	33
7.2.1. Determinación de las áreas funcionales de la Cuenca.	33
7.2.2. Análisis Morfométrico de las Cuencas	34
7.3. Caracterización climática.	35
7.4. Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada (RUSLE).	35
8. RESULTADOS	39
8.1. Sistema de Información Geográfica de Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan, Puebla..	39
8.1.1. Caracterización hidrológica de las microcuencas	39
8.1.2. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS Y DELIMITACIÓN DE LAS ZONAS HIDROLÓGICAS FUNCIONALES.....	41
8.1.2.1 Microcuenca Mimiapan.	41
8.1.2.2. Microcuenca Mano del Buey.....	44
8.1.2.3. Microcuenca Atoyac.....	47
8.1.2.4. Microcuenca El Timbre.....	50
8.1.2.5. Microcuenca La Lobera	53
8.1.2.6. Microcuenca Agua Nanche	56
8.1.2.7. Microcuenca Ciruelo	59
8.2.1. Sistemas de caracterización climática de Köppen, modificado por García (1973)	62
8.3. ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO.....	66
8.3.1. Factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE)	66
Clase Textural	67
8.3.2. ANÁLISIS DE LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO	69
8.4. EROSIÓN POTENCIAL DEL SUELO EN LAS ZONAS HIDROLÓGICAS FUNCIONALES DE LAS MICROCUENCAS.....	71
8.4.1. Análisis de pérdida de suelo de las microcuencas por Zona Hidrológica Funcional.	71
8.4.1.1. Análisis de Pérdida de Suelo en la Microcuenca Mimiapan.	72
8.4.1.2. Análisis de Pérdida de Suelo en la Microcuenca Mano del Buey.....	72

8.4.1.3. Análisis de Pérdida de Suelo en la Microcuenca Atoyac.....	72
8.4.1.4. Análisis de Pérdida de Suelo en la Microcuenca El Timbre.....	73
8.4.1.5. Análisis de Pérdida de Suelo en la Microcuenca La Lobera.	73
8.4.1.6. Análisis de Pérdida de Suelo en la Microcuenca Agua Nanche.	74
8.4.1.7. Análisis de Pérdida de Suelo en la Microcuenca Ciruelo.	74
9. DISCUSIÓN.....	76
9.1 CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS MICROCUENCAS.....	76
9.2 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE KÖPPEN, MODIFICADO POR GARCÍA (1973).....	77
9.3. ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO.....	78
9.4. EROSIÓN POTENCIAL DEL SUELO EN LAS ZONAS HIDROLÓGICAS FUNCIONALES DE LAS MICROCUENCAS.....	79
10. CONCLUSIONES	81
11 . BIBLIOGRAFÍA	83

DEDICATORIA

A mis padres Mario y Ofelia por su apoyo incondicional en cada momento de mi vida, por sus sabios consejos y por el gran amor que siempre me han demostrado.

A mis hermanas Adriana y Claudia, porque a pesar de nuestras diferencias siempre me han apoyado y ayudado cuando las he necesitado, las quiero mucho.

A mi sobrina Valeria que es muy importante en mi vida, porque desde que nació la he visto como mi hermana pequeña y en los momentos difíciles que he pasado, ha estado para escucharme.

A Mayra y Humberto por la enseñanza de sus valiosos conocimientos, los cuales han sido herramientas que me han permitido desarrollarme en el ámbito profesional, y principalmente por creer en mí y darme la oportunidad de realizar este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Estudios Superiores Iztacala de la Universidad Nacional Autónoma de México, por recibirme y apoyar en mi formación profesional.

M. en C. Mayra Hernández Moreno, por ser me guía y mentora para la realización de este trabajo.

Dr. Humberto Macías Cuellar, por su valiosa contribución y aportaciones para la realizar este trabajo.

Dra. Patricia Dávila, por su paciencia e interés en la revisión de este documento para enriquecerlo más.

M. en C. Daniel Muñoz, por enriquecer en este trabajo con sus importantes anotaciones.

Dr. Oswaldo Téllez, por su apoyo en la realización de este trabajo.

A todos mis amigos que me han estado conmigo apoyándome y dando consejos en especial a Adriana, Julia, Diana, Ana María, Marisol, Rebeca, Artemisa, Janeth y Juan Carlos muchas gracias, los quiero mucho.

A mis compañeros de la Secretaria del Medio Ambiente de la Ciudad de México, por brindarme las facilidades para poder concluir este trabajo.

A Francisco Alvarado Reséndiz por apoyarme y motivarme para concluir este trabajo.

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un cuerpo natural, distribuido como un continuo en el paisaje con variaciones determinadas por las condiciones lito-climáticas del sitio, el drenaje, la historia geomorfológica y el uso de la tierra; por ende, no es un sistema uniforme, sino más bien presenta una gran variación en el paisaje (Cotler *et al.*, 2007).

El suelo cumple con importantes funciones de las cuales se derivan servicios ambientales indispensables para el sostenimiento tanto del ecosistema como de la vida humana. La función más conocida es la de soporte y suministro de nutrientes a las plantas (Vázquez, 1986). De ahí que la degradación del suelo esté considerada como el mayor problema ambiental que incide en la producción mundial de alimentos (PNUMA, 2000) y se le considera una de las principales amenazas a la sustentabilidad de los suelos agrícolas (Castillo, 2004). Otra de las funciones importantes que el suelo cumple es la de construir un medio filtrante que permite la recarga de los acuíferos, influyendo así también en la calidad del agua. Asimismo constituye el medio donde se realizan los ciclos biogeoquímicos¹ necesarios para el reciclaje de los compuestos orgánicos.

Estas características y funciones de los suelos determinan que su conservación implique buscar su mantenimiento y la recuperación de su calidad, entendida como la “capacidad para funcionar dentro de los límites naturales, para sostener la productividad de plantas y animales, mantener la calidad del aire y del agua y sostener la salud humana” (Karlen *et al.*, 1997).

Por lo anterior, la importancia de los suelos para el sostén de la vida humana fue reconocida con la aparición de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y de decenas de otras instituciones internacionales y nacionales, que año tras año alertan sobre la degradación del suelo y sus repercusiones en el mantenimiento de la biodiversidad, la mitigación de la pobreza y la seguridad alimentaria (Cotler *et al.*, 2007).

La degradación del suelo es un término difícil de entender, ya que se refiere a los “procesos físicos y biológicos que disminuyen su utilidad” (Zárate, 1994). En ese sentido,

¹ Los elementos químicos, tienden a circular en la biósfera por vías, del ambiente a los organismos y de éstos otra vez a aquél. Estas vías más o menos circulares se conocen como ciclos biogeoquímicos. Es la ciclización de los elementos entre los organismos biológicos y su medio (Valverde *et al.*, 2005).

la erosión del suelo es definida como un “proceso de desagregación, transporte y deposición de materiales del suelo por agentes erosivos” (Ellison, 1947) y es uno de los principales procesos de degradación del suelo. Tan importante es esto, que la erosión afecta alrededor del 80% de la superficie de los suelos agrícolas del mundo (Pimentel *et al.*, 1998; Napier *et al.*, 2000). Este proceso se inicia cuando la estructura del suelo, su forma y la estabilidad de los agregados, se alteran por el impacto de la lluvia y por el desplazamiento de las partículas por escorrentía superficial. Una de las principales causas que genera lo anterior es la remoción de la vegetación original y el abandono de los predios, que dejan desprotegido el suelo (Sarukhán *et al.*, 2000).

En relación con lo anterior, la erosión hídrica provoca: a) el arrastre de los horizontes superficiales del suelo, con la consecuente pérdida de la materia orgánica y nutrientes, el deterioro de las propiedades físicas y la disminución de la capacidad de almacenamiento de agua en los suelos delgados, y b) en estados más avanzados, la pérdida de superficies importantes de suelo, debido a la formación de cárcavas (González *et al.*, 2007), lo que genera un impacto importante en la captación, infiltración, transporte y almacenamiento de agua en una cuenca.

La pérdida de la capacidad productiva debido al deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos causados por erosión, es uno de los principales problemas que enfrentan en la actualidad las tierras agrícolas y en general los sistemas naturales. Esta pérdida “está estrechamente relacionada con la precipitación que genera el desprendimiento de las partículas del suelo que, mediante el proceso de salpicadura, provoca su transporte por escorrentía superficial” (Cotler, *et al.*, 2007). Así pues, “el fundamento de la erosión hídrica descansa en el ciclo hidrológico, es decir, en todos los caminos que sigue el agua desde su contacto con la cobertura vegetal hasta su posterior movimiento sobre la superficie del suelo” (Maass *et al.*, 1988).

En términos de la conservación del suelo y con la finalidad de disminuir el efecto que tiene la erosión hídrica sobre el mismo, se deben realizar cuatro acciones básicas: “1) proteger el suelo contra el impacto de las gotas de lluvia; 2) incrementar su capacidad de infiltración, para reducir el escurrimiento superficial; 3) mejorar la estabilidad de los agregados del suelo, para hacerlo más resistente a la erosión por salpicamiento; y, 4) aumentar la aspereza o rugosidad de la superficie para reducir la velocidad del

escurrimiento” (Kirkby y Morgan, 1984). Lo ideal es lograr un balance entre la conservación del suelo y el aprovechamiento de los recursos que dependen de él. Para este fin es necesario llevar a cabo un proceso de planeación del uso y conservación del suelo, con una perspectiva local, considerando e integrando los siguientes aspectos para la conservación de los suelos con problemas de erosión: “1) la eficiencia de la conservación del suelo; 2) la integración de tecnología, la investigación y su aceptación técnica, social y cultural, y 3) el costo, es decir, los recursos para llevarla a cabo y 4) la relación costo-beneficio obtenida” (Figueroa *et al.*, 1991).

En ese sentido, muchos de los programas de conservación de recursos naturales, utilizan como unidad de análisis a las entidades administrativas, como los municipios, los ejidos o las comunidades. Sin embargo, los procesos de erosión hídrica (dominantes en el país) impactan el ciclo hidrológico, disminuyen la infiltración, aumentan el escurrimiento superficial, fomentan la pérdida de materia orgánica, indispensable para el mantenimiento del ecosistema y al mismo tiempo propician la pérdida de carbono del sistema, en forma de uno de los principales “gases de efecto invernadero”². Por tal motivo, estos procesos de degradación se entienden mejor en el contexto de una cuenca hídrica (FIRCO, 2005).

² Se refiere a “cualquier constituyente gaseoso de la atmósfera que tiene la capacidad de absorber y re-emitir radiación infrarroja. Esos gases pueden clasificarse en aquellos generados de manera natural o aquellos emitidos como resultado de las actividades socio-económicas del hombre” (INE, 2007).

2. JUSTIFICACIÓN

En el estado de Puebla y en especial en la zona conocida como la Mixteca Poblana, uno de los problemas ambientales más serios, es la degradación de la tierra. Las tierras agrícolas y las áreas con cobertura natural han experimentado un daño grave debido al importante incremento, desde hace años, de la tala indiscriminada y el empleo de tecnologías agrícolas inadecuadas en ecosistemas frágiles, que han provocado la desertificación de la tierra (Ruiz et al., 1998).

En este contexto se han implementado diversas estrategias y proyectos para el abordaje de esta problemática a nivel nacional. Uno de estos esfuerzos inició con el Macroproyecto Manejo de Ecosistemas y Desarrollo Humano, encabezado por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM, 2008) que, en colaboración con la organización civil Chakaan Buulaan, A.C. y la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), desarrollaron el Ordenamiento Territorial Comunitario (OTC) en diversas comunidades de la Mixteca Poblana. Entre ellas se encuentra el núcleo agrario de Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan, perteneciente al municipio de Zacapala, Puebla (Macías-Cuéllar *et al.*, 2012), en donde se incorporó al análisis, la perspectiva de los usuarios del territorio y se consideraron las problemáticas identificadas por ellos para la construcción de una autodiagnos comunitaria, generando un Plan de Acción Comunitaria (PAC). Derivado de lo anterior, se plantearon las estrategias de acción de cada categoría del OTC, a manera de proyectos para la implementación de la propuesta de ordenamiento territorial, por medio de la definición de sus actividades y tareas particulares. Uno de los Programas del PAC es la recuperación, restauración y reconversión de los sistemas naturales y productivos degradados, lo que generó la necesidad de realizar una evaluación de la pérdida del suelo, por efecto de la erosión hídrica en la zona de trabajo.

3. OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la tasa de pérdida de suelo, por efecto de la erosión hídrica en el núcleo agrario de Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan, municipio de Zacapala, Puebla.

Objetivos Particulares

- Construir el sistema de información geográfica comunitario, como la plataforma de administración de la información territorial.
- Delimitar y caracterizar las microcuencas.
- Determinar las áreas funcionales de las microcuencas.
- Analizar los parámetros morfométricos de las microcuencas.
- Realizar la caracterización climática.
- Determinar cada uno de los factores que componen la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada (RUSLE).
- Cuantificar la pérdida de suelo por erosión hídrica, a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada (RUSLE).
- Analizar la relación espacial de la pérdida de suelo por erosión hídrica con las zonas funcionales de las microcuencas.

4. ANTECEDENTES

En México, los estudios realizados sobre la erosión hídrica no son pocos, entre éstos se puede mencionar el de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2012), que en el año 2003, evaluó de manera indirecta la pérdida de suelo por erosión hídrica a partir de información cartográfica y de modelos paramétricos, como la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS). Los modelos fueron alimentados por algunas variables evaluadas en muestras de suelo (SEMARNAT y UACH, 2003). Por su metodología, la estimación resultante es una medida de la degradación potencial y no una evaluación directa de la degradación existente en el país. Este enfoque, sin embargo, permite identificar las zonas que se encuentran en mayor riesgo, y con ello contribuir a que se tomen decisiones sobre el uso del suelo en el marco del desarrollo sustentable, de tal manera que se impida o reduzca su degradación.

Los resultados de este trabajo mostraron que 42% de la superficie nacional podría resultar afectada por la erosión hídrica, y que 17 entidades federativas mostrarían daño en más de 50% de su territorio. Entre ellas se incluyen los estados de Guerrero (79.3%), Puebla (76.6%), Morelos (75.2%), Oaxaca (74.6%) y el estado de México (73.7%). También las regiones montañosas de las Sierras Madre Oriental, Occidental y del Sur, así como vastas regiones de Chiapas y las entidades del centro del país, tendrían riesgo de presentar una alta pérdida de suelo por erosión hídrica (SEMARNAT, 2012).

Por su parte, Pando *et al.*, (2003), estimaron la erosión hídrica en una microcuenca ubicada en el municipio de Hualahuises, Nuevo León, utilizando un método directo (método de los clavos con rondanas, Colegio de Postgraduados, 1991), y la ecuación RUSLE utilizando el índice de Fournier (propuesto por FAO, 1979). Los valores de erosión obtenidos por el método indirecto resultó estadísticamente diferente al del directo, sobrestimando los valores de erosión. Los mismos autores, suscriben que a nivel de unidad geomorfológica, el método indirecto propuesto tiende a sobrestimar los valores reales en pendientes altas y a subestimarlos en pendientes bajas. Las diferencias más notorias se dan en las unidades donde se presentan cárcavas, las cuales no son consideradas en la RUSLE.

Además, Reyes *et al.*, (1990), utilizando la EUPS para caracterizar la erosión hídrica laminar y en arroyuelos, en Oaxaca, encontraron que los factores de longitud y grado de

pendiente fueron los que más influyeron en las pérdidas de suelo en los periodos que analizaron.

Sin embargo, Coronato y Del Valle (1993), midieron la erosión hídrica en una cuenca cerrada, utilizando parcelas de drenaje y la EUPS. Ellos obtuvieron valores de erosión menores al utilizar la EUPS, que cuando lo hacen con métodos directos.

Alonso *et al.*, (2007) determinó el comportamiento espacial del riesgo potencial de erosión en la subcuenca La Güira, del río Cuyaguaje en Cuba, que se considera un elemento principal para el desarrollo de un plan de conservación de suelos y agua. Para la modelación del proceso se usó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE); utilizando únicamente los factores erosividad de las lluvias, erodibilidad del suelo y topografía, como vía para determinar la erosión potencial del área. Ellos obtuvieron un elevado peligro de erosión en la subcuenca, vinculado principalmente a la alta erosividad de las lluvias y a su relieve accidentado. Se concluyó que en un 70 % del área estudiada deben implementarse medidas antierosivas o de lo contrario no será posible su labor con fines agrícolas.

Por tanto, en este trabajo parece pertinente utilizar la EUPS, como una herramienta que ayudará a cubrir los objetivos planteados.

5. MARCO TEÓRICO

Con la finalidad de profundizar en la temática de este trabajo, a continuación se presentan elementos conceptuales fundamentales, que brindan el marco conceptual de los temas de importancia abordados, para dar sustento al desarrollo metodológico de la investigación.

Parte 1. Erosión

Mecanismos, factores y formas de la Erosión Hídrica

De acuerdo con López (2003), los mecanismos de acción de la erosión hídrica, son los que explican el efecto directo o indirecto que causan la erosión superficial. Existen dos mecanismos fundamentales:

1) Por acción de la lluvia

a) Acción directa: está relacionada con el impacto que ocasiona la gota de lluvia en la superficie del suelo. En este caso, se habla de una erosión por impacto de la gota de lluvia o salpicadura.

b) Acción indirecta: el agua generada por la lluvia, mezclada con el suelo es transportada lateralmente a otros puntos en la ladera. Este efecto decae rápidamente cuando la lámina de agua de lluvia aumenta en la superficie del suelo, llegando a ser inapreciable a una altura cercana a los 2 mm (Moss, 1988). Cuando los impactos son normales bajo las superficies horizontales, las salpicaduras sólo producen movimientos aleatorios de las partículas, pero este mecanismo puede causar un transporte neto por la influencia de la pendiente o el viento.

2) Por acción de la escorrentía

a) Acción disgregadora: La disgregación del suelo se produce cuando las fuerzas atractivas del flujo superan a las fuerzas resistentes de sus partículas (Nearing, 1991). A esto se denomina también erosión en regueros.

b) Acción de transporte: tan pronto como se produce la escorrentía tras la saturación del suelo, se inicia el transporte de sólidos como resultado del flujo de las aguas más abajo. Este flujo depende de la pendiente y de la rugosidad de la ladera, y está constituido por partículas de suelo de pequeño tamaño que formarán la carga en suspensión de la corriente principal. El impacto de las gotas de lluvia induce un flujo

que transporta partículas que, de otra manera, sería imposible que se movieran. Los procesos de transporte asociados con el impacto de la gota de lluvia se denominan transporte por flujo de lluvia (Moss, 1988) o transporte inducido por flujo de lluvia (Kinnell 1990, 1991), citado por López, (2003).

Factores involucrados en la erosión hídrica (López, 2003)

1) Lluvia: Para la estimación de la erosión hídrica se consideran las tasas de precipitación máximas, por ser éstas las productoras de mayores intervalos de emisión de sedimentos. Por tanto, existen tres parámetros hidrológicos fundamentales en la estimación de la erosión hídrica: la intensidad (I), la duración (D) y la frecuencia (F). Se ha comprobado que las mayores tasas de erosión se producen cuando se presentan los fenómenos pluviales de moderada frecuencia e intensidad, porque los extremos o catastróficos son poco frecuentes, y generalmente no contribuyen apreciablemente a la cantidad de suelo erosionado, excepto cuando se consideran largos períodos (Morgan, 1985).

2) Suelo: las propiedades del suelo que definen su susceptibilidad a ser erosionado (erodabilidad), deben analizarse desde la óptica de los mecanismos erosivos, y, por tanto, se pueden considerar aquellas relacionadas con su resistencia a la fragmentación y a la dispersión por salpicadura. Además, influyen a sus cualidades de infiltración y las que caracterizan la resistencia a que el suelo sea transportado por el flujo de escorrentía (Gandullo, 1994).

3) Relieve: es un factor de primera importancia en la acción de la escorrentía. La potencia erosiva del flujo superficial y su capacidad de transporte, se dan en función de la densidad de las aguas y de la velocidad con que éstas se mueven. Esta velocidad es mayor en cuanto más grande sean la altura del flujo de escorrentía y el grado de pendiente del terreno.

La longitud de la pendiente es importante para la estimación de la erosión. Su influencia se manifiesta al considerar que cada zona de una ladera está sometida a la escorrentía de las áreas de mayor altitud. Es decir, la altura del flujo en cada punto debe ser mayor a medida que aumenta su distancia a la cumbre (Morgan, 1985), y, por consiguiente, se

suelen presentar las manifestaciones erosivas más importantes en las zonas bajas de las laderas.

4) Vegetación: la influencia de la cobertura vegetal en el fenómeno erosivo obedece a diferentes circunstancias, entre las cuales destacan:

- a) Protección del suelo frente al impacto de las gotas de lluvia.
- b) Incremento del poder de infiltración del suelo, disminuyendo el agua de escorrentía.
- c) Reduce en las zonas arboladas, la velocidad del escurrimiento en un 25% o menos, debido a los obstáculos que se oponen al escurrimiento, tales como los troncos de los árboles y tallos de los arbustos. Esto significa que la energía erosiva se reduce en una dieciseisava parte de la que resultaría en el terreno desnudo.
- d) Brinda una mayor estructura al suelo, por el entrelazado de las raíces, impactando a mayor o menor profundidad, según el tipo de vegetación existente.
- e) Reduce la erosión al mínimo, en las zonas de vegetación permanente, tales como los terrenos forestales, siempre y cuando, se mantenga la cobertura vegetal (López, 2003).

Además existe una influencia indirecta de la vegetación en el comportamiento del suelo, debido a que:

- i) La disipación de la energía de las gotas reduce considerablemente la fragmentación de los agregados del suelo, por lo que la incorporación de partículas finas que obstruyen los poros y grietas es menor, manteniéndose la tasa de infiltración.
- ii) La penetración de las raíces en el suelo genera, cuando éstas se descomponen, multitud de cavidades que aumentan la porosidad y por tanto la permeabilidad.
- iii) La incorporación de la materia orgánica mejora la estructura del suelo, y con ello su permeabilidad y su resistencia a la acción de las gotas de lluvia y al transporte. Sin embargo, el efecto de la aplicación de materia orgánica, per sé, no puede esperarse que sea muy grande, cuando las condiciones de clima, pendiente y cobertura vegetal sean adversas. Es decir, en las situaciones en las que el

régimen pluvial sea muy intenso, la pendiente sea muy pronunciada y la cobertura vegetal sea escasa.

iv) La evapotranspiración asociada a la presencia de la cobertura vegetal, contribuye a reducir la humedad del suelo, por lo que éste recupera su capacidad de infiltración más rápidamente (López, 2003).

Formas de erosión en superficie

1) Erosión laminar: Consiste en la remoción de delgadas capas de suelo extendidas más o menos uniformemente en toda la superficie. Resulta de la disgregación de las partículas del suelo por el impacto de las gotas de lluvia y por la acción de la escorrentía. Es la causa de grandes aportaciones de sedimentos a los cursos de agua y, produce una importante pérdida de fertilidad de los terrenos, al afectar a las partículas de tierra más finas (López, 2003).

Los efectos que se presentan debido a este tipo de erosión son los siguientes:

- a) Existencia de plantas con el sistema radical al descubierto, como consecuencia de los sucesivos lavados superficiales del entorno del sistema radicular.
- b) Presencia de montículos de suelo, asociados a las plantas, en la parte alta de la cuenca.
- c) Invasión de especies vegetales indicadoras de suelos degradados.
- d) Abundancia de piedras en la superficie del suelo de naturaleza litológica, análoga a las que se encuentran en su interior.

2) Erosión en regueros o canalillos: Son incisiones longitudinales en el suelo, generalmente temporales y no jerarquizadas, que aparecen como consecuencia de la concentración local del flujo de agua, que se canaliza por las características locales del microrrelieve (Riou, 1992).

3) Erosión en cárcavas y barrancos: Consiste en profundas incisiones en el terreno originadas generalmente cuando existe una gran concentración de escorrentía en alguna zona determinada. Una vez iniciada la formación del barranco, su forma evoluciona según la resistencia relativa que ofrezcan los diferentes estratos del suelo y del subsuelo.

4) Acción erosiva remontante: Se refiere a los desplazamientos de tierra en masa, a partir de los cuales el suelo se desplaza por acción de la gravedad, pues al saturarse³ el suelo con agua, se desencadenan los movimientos en masa. Otra circunstancia que provoca este tipo de erosión es cuando el agua alcanza un horizonte del suelo sobre una capa impermeable.

Modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS)

Para la evaluación de la pérdida de suelo por efecto de la erosión hídrica, se han realizado numerosos estudios. En ellos se han utilizado métodos directos (Barthes *et al.*, 2000, Fanning, 1994; Coronato y Del Valle, 1993; Torres, 1987) e indirectos (Almaguer *et al.*, 1990; Curiel, 1990; Reyes *et al.*, 1990; Oropeza y Flores, 1990). Sin embargo, la EUPS, ha sido el método más utilizado para diseñar planes de manejo, considerando las condiciones propias de cada lugar.

Esta ecuación es un instrumento valioso y eficaz (Morgan, 1985). Su finalidad es muy sencilla y concreta: “Proporciona un cálculo de la media de la pérdida anual de suelo de tierras arables bajo diversas condiciones de cultivo”. La aplicación de este cálculo tiene por objetivo brindar información útil a los agricultores y a los técnicos en conservación de suelos, sobre el suelo que pretenden utilizar para promover que se mantenga la pérdida del suelo en un nivel aceptable. Es decir, el objetivo es lograr que el sistema agrícola sea sostenible. Como se concibió para ser usada en el campo tenía que ser “fácil de resolver e incluir sólo factores cuyo valor se pueda determinar a partir de los datos disponibles, para un sitio en particular. Por tanto, algunos detalles y perfeccionamientos posibles se sacrificaron buscando darle mayor utilidad” Wischmeier (1976) citado por López (2003).

Este modelo ha sido ampliamente estudiado y aplicado en proyectos relacionados con recursos naturales, y más concretamente con todos aquellos relacionados con su restauración tales, como los proyectos de Restauración Hidrológico Forestal (Riou, 1992).

³ Se refiere al contenido de agua del suelo cuando prácticamente todos los espacios están llenos de agua. En los suelos bien drenados es un estado temporal ya que el exceso de agua drena de los poros grandes por influencia de la gravedad para ser reemplazados por aire. (FAO <http://www.fao.org/3/y4690s/y4690s00.htm#Contents>)

La ecuación que permite realizar la estimación de la pérdida de suelo se muestra a continuación:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde:

A= Pérdida de suelo en ton/ha/año.

R= Factor de erosión pluvial (J.cm/m².hora).

K= Factor de erosionabilidad de suelo (ton.m.hora/ha.J.cm).

LS= El factor topográfico, producto de los factores, longitud de pendiente, L y pendiente, S.

P= El factor de prácticas de conservación de suelos agrícolas.

C= El factor de cultivo (vegetación o de uso de suelo).

Descripción de los factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS).

1) Factor de Erosividad de la Lluvia (R). Es el potencial erosivo de la lluvia sobre el suelo, que provoca su erosión. La erosión por gotas de lluvia incrementa con la intensidad de la lluvia. Una suave y prolongada lluvia puede tener la misma energía total que una lluvia de corta duración y más intensa.

Cuando la energía se combina con la intensidad de la lluvia, el resultado es un buen predictor del potencial erosivo (EI: energía/intensidad). “EI” es el valor de la tormenta total por el máximo de intensidad de la tormenta en 30 minutos. El término indica la manera en la que el desprendimiento de las partículas se combina con la capacidad de transporte (Mannaerts, 1999).

En consecuencia, el valor del factor de erosión pluvial, R, se define por la ecuación:

$$R = \sum_{j=1}^n (210,2 + 89 \log IJ) (I_j T_j) I_{30} \quad (\text{J/m}^2.\text{cm/h})$$

Siendo:

R= Factor de erosión pluvial en (J.cm) (m².h).

T_j: = Periodo (en horas), para intervalos homogéneos durante una lluvia intensa.

I= Intensidad del aguacero en los intervalos citados en (cm/h).

I_{30} = Máxima intensidad de la lluvia intensa en 30 minutos (cm/h).

J= Intervalos homogéneos del aguacero.

n= Número de intervalos.

Por tanto, la energía de la tormenta (EI o R) indica el volumen de lluvia y escurrimiento (López, 2003).

2) Factor de Erosionabilidad del suelo (K). Es una compleja propiedad que se entiende como la facilidad con la cual el suelo es desprendido por salpicamiento, durante una lluvia o por flujo superficial. Esta propiedad del suelo está relacionada con el efecto de intensidad de la lluvia, el escurrimiento y la infiltración. Representa el efecto de las propiedades del suelo y de las características de su perfil, cuando ha habido pérdida de suelo (Mannaerts, 1999).

El método utilizado para calcular dicho factor, fue elaborado por (Wischmeier *et al.*, 1978), citado por Figueroa *et al.* (1991) y consiste en un nomograma que utiliza cinco parámetros del suelo: 1) porcentaje de limos + arenas muy finas, 2) porcentaje de arenas, 3) porcentaje de materia orgánica, 4) Estructura y 5) Permeabilidad.

3) Factor de longitud e inclinación de la pendiente (LS). Este factor representa el efecto que tiene la topografía sobre la pérdida del suelo. Los dos factores se evalúan en campo por separado. Ellos también son considerados en la EUPS, como L y S. Sin embargo se recomienda unirlos en un solo factor LS (Figueroa *et al.*, 1991).

El factor L es definido como la distancia desde el punto de origen del flujo sobre la superficie, hasta el punto donde la pendiente disminuye lo bastante como para que ocurra la deposición o hasta el punto en que la escorrentía entra en un canal definido (Morgan, 1984). El factor S indica el grado de inclinación de la pendiente. Esto implica, que la pérdida de suelo se incrementa conforme aumenta la inclinación de la pendiente del terreno y no tanto por la longitud de la misma (López, 2003).

Cuando se utilizan los sistemas de información geográfica (SIG) para evaluar la pérdida del suelo a escala de cuenca, existen dificultades para obtener el valor del factor topográfico LS, en particular al atender la definición del factor L. Por tanto, se han hecho

esfuerzos para calcularlo con un algoritmo de programación y con el uso de modelos de elevación digital (MED) (Hickey, 2000; Van Remortel *et al.*, 2001).

4) Factor de manejo y cobertura de los suelos (C). Indica la relación de pérdidas de un terreno cultivado en condiciones específicas, con respecto a las pérdidas de un suelo desnudo y con barbecho continuo en las mismas condiciones de suelo, pendiente y precipitación (Wischmeier y Smith, 1978). Figueroa *et al.* (1991) presentaron un procedimiento para calcular el factor C, a partir de la integración de factores que afectan la erosión, tales como las etapas de crecimiento vegetal, los efectos de cultivos y manejo, las pérdidas relativas de suelo y el índice de erosividad de la lluvia. Brooks, *et al.* (1993) mencionaron que en los lugares donde no se dispone de guías para el establecimiento de valores de C en cultivos de campo, es más fácil correlacionar las tasas de pérdida de suelo con las cantidades de materia orgánica seca por unidad de área y el porcentaje de cobertura de suelo. También existe en la literatura una amplia variedad de valores del factor C, que pueden seleccionarse de acuerdo, con las condiciones particulares del sitio (Wischmeier y Smith, 1978; Morgan, 1984; Figueroa *et al.*, 1991; López, 2003).

5) Factor de prácticas de conservación (P). El factor del método de control de la erosión indica la proporción de la pérdida de suelo cuando se hace uso de alguna práctica específica, en comparación con la pérdida de suelo cuando se cultiva en laderas de las colinas. Los métodos de control de la erosión que normalmente se utilizan para evaluar este factor, son la delineación de los contornos, el cultivo en franjas de contorno, y el terrazo. La labranza de conservación, la rotación de cultivos, los tratamientos de fertilización y la retención de los residuos, también son métodos importantes en el control de la erosión (Morgan, 1984).

Figueroa *et al.* (1991) adaptaron la EUPS a las condiciones de México, utilizando información accesible que ha permitido su aplicación a los paisajes del país. Además, diversos autores han hecho esfuerzos para obtener la información requerida en la estimación de los parámetros de la EUPS (Ríos y Martínez, 1990; Osuna y Esquivel, 1996), con el fin de apoyar el diseño de estrategias de manejo para el control de la erosión del suelo a escala de predio. En la actualidad, la simplicidad de la EUPS ha permitido su integración a herramientas como los sistemas de información geográfica, con resultados satisfactorios para la elaboración de planes de manejo y conservación de suelo (FAO, 1993; Bhan *et al.*, 2000; Eiumnoh, 2000; Mati *et al.*, 2000).

Modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada

A través de los años, las limitaciones del modelo de la EUPS se hicieron evidentes. Se realizaron modificaciones y mejoras, a partir de la introducción de nuevos índices de erosión para implementar cambios en la EUPS y conseguir otros objetivos diferentes a los que el modelo diseñado inicialmente contenía (Pudasaini, 2003).

El modelo RUSLE tiene su origen en 1985, cuando se acordó llevar a cabo la revisión de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), e incorporar las nuevas investigaciones y tecnologías, posteriores a la publicación del libro de la EUPS en 1978. El trabajo de revisión fue iniciado después de 1987, cuando resultó un nuevo libro técnico y una tecnología denominada R.U.S.L.E., la Revisión de la EUPS (USLE por sus siglas en inglés Universal Soil Loss Equation) (López, 2003).

Este modelo mantiene la estructura paramétrica de la U.S.L.E., cambia algunos algoritmos en cada uno de los parámetros que representan a los factores de la erosión. En particular, el cambio más significativo fue la informatización de esta tecnología, de tal manera que cada factor se puede determinar recurriendo a las bases de datos integradas en el programa informático en el que se apoya (Pudasaini, 2003).

Parte 2. Cuencas Hidrográficas

1) Definición

En términos estrictos, una cuenca es el área drenada por una corriente fluvial y sus tributarios. Sus componentes están definidos por el relieve, es decir, por la altitud y los cambios en la altitud, los cursos principales y sus tributarios, las laderas, la divisoria de aguas, y el nivel de base (Bocco, 2005). Un concepto más actual es el que presenta la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2013) que las define como espacios territoriales delimitados por un parteaguas⁴, donde se concentran todos los escurrimientos (arroyos y/o ríos) que confluyen y desembocan en un punto común llamado también punto de salida de la cuenca, que puede ser un lago (formando una

⁴ Es una línea imaginaria generada por las partes más altas de las montañas y/o cerros que divide a las cuencas adyacentes distribuyendo el escurrimiento originado por la precipitación, que en cada sistema de corrientes, fluye hacia el punto de salida de la cuenca (SEMARNAT, 2013).

cuenca endorreica) o el mar (cuenca exorreica). En estos territorios hay una interrelación e interdependencia espacial y temporal entre el medio biofísico (suelo, ecosistemas acuáticos y terrestres, cultivos, agua, biodiversidad, estructura geomorfológica y geológica), los modos de apropiación (tecnología y/o mercados) y las instituciones (organización social, cultura, reglas y/o leyes).

Las cuencas hidrográficas permiten entender espacialmente el ciclo hidrológico⁵, así como cuantificar e identificar los impactos acumulados de las actividades humanas o externalidades⁶ (sedimentos, contaminantes y nutrientes) a lo largo del sistema de corrientes o red hidrográfica, que afectan positiva o negativamente la calidad y cantidad del agua, la capacidad de adaptación de los ecosistemas y la calidad de vida de sus habitantes (Escolero *et al.*, 2006).

2) La cuenca hidrográfica como unidad funcional

La cuenca hidrográfica es una unidad hidrológica que ha sido descrita y utilizada como una entidad físico-biológica y a veces como socio-económico-política, para la planificación y ordenación de los recursos naturales. La cuenca de captación se utiliza con frecuencia como un sinónimo de cuenca hidrográfica. No hay un tamaño definido de cuencas, ya que pueden tener desde una dimensión de varios miles de kilómetros cuadrados de unos pocos kilómetros cuadrados (FIRCO, 2005).

Las cuencas y sus canales se organizan en niveles jerárquicos: subcuencas y órdenes de cauces. Sin embargo, la cuenca no encierra la idea de homogeneidad a ninguno de los niveles subordinados (Bocco, 2005). De acuerdo con INEGI, INE y CONAGUA (2007), el país cuenta con 1,471 cuencas, las cuales presentan una enorme variabilidad en tamaños. En ese sentido, la microcuenca es la mínima unidad territorial de drenaje, y es considerada la solución para implementar métodos de conservación del suelo y del agua. Sin embargo, para encontrar aquellas microcuencas que cumplen con los requisitos para

⁵ El ciclo hidrológico o ciclo del agua se entiende como “el movimiento general del agua: ascendente por evaporación y descendente por las precipitaciones y después en forma de escorrentía (flujos de agua) superficial y subterránea” (Escolero *et al.*, 2006).

⁶ La externalidad es un concepto económico que se define como “el resultado de una actividad que causa beneficios o daños a terceros, sin que el generador de la externalidad reciba compensación en el caso de los beneficios, ni pague resarcimiento en el caso de los daños” Coase (1960) citado por (Escolero *et al.*, 2006)

la implementación de estos métodos, es necesario, realizar estudios de las características morfofísicas y funcionales que imperan en un grupo de microcuencas que conforman a una misma subcuenca. Las características que comparten son clima, geomorfología, hidrología del suelo y vegetación. Sin embargo, también van a tener características, que las van a diferenciar unas de otras, en cuanto a sus procesos hidrológicos, tales como el comportamiento del escurrimiento, influenciado por la forma, el tamaño, el relieve, la pendiente, la densidad y frecuencia de drenaje, la relación de bifurcación y el orden de las corrientes (Cardoza *et al.*, 1989). Además de este tipo de subdivisión y estructura jerárquica, es importante reconocer que el funcionamiento de una cuenca hidrográfica no es el mismo en toda su extensión. De acuerdo a la dinámica hidrológica, se pueden reconocer tres zonas funcionales distintas, al interior de una cuenca (Garrido *et al.*, 2010). Estas unidades funcionales⁷ son las siguientes:

1) La zona de captación de agua. Está constituida por las áreas aledañas a la divisoria de aguas o parteaguas en la porción altimétrica más elevada de la cuenca; abarca sistemas de montaña y lomeríos. En esta zona se forman los primeros escurrimientos (arroyos) luego de que los suelos han absorbido y retenido toda el agua, según su capacidad.

2) La zona de almacenamiento, de transición o cuenca media. Es una zona de transición entre las partes alta y baja de la cuenca, donde los escurrimientos iniciales confluyen aportando diferentes caudales, cuyas concentraciones de sedimentos, contaminantes y materia orgánica diferirán en función de las actividades que se realizan en cada subcuenca; es un área de transporte y erosión.

3) La zona de descarga, de emisión o cuenca baja. Es el sitio donde el río principal vierte hacia otra cuenca o desemboca en el mar o a un lago. Se caracteriza por ser una zona que alberga a importantes ecosistemas, tales como los humedales terrestres y costeros, los cuales con frecuencia son áreas muy productivas, para el uso agrícola, por lo que se acumulan los impactos de toda la cuenca.

⁷Unidad funcional: los ecosistemas y los paisajes presentan una estructura específica compuesta por el tipo de rocas, suelos, vegetación, clima, tipos de aprovechamiento. Estos componentes estructurales determinan un funcionamiento específico definido por flujos (de agua, nutrientes, energía). En una cuenca este funcionamiento se puede delimitar territorialmente a groso modo en tres zonas funcionales: cabecera (cuenca alta), captación (cuenca media) y emisión (cuenca baja), las cuales estarán interconectadas por el efecto que la gravedad ejerce sobre estos flujos (SEMARNAT, 2013).

6. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Localización

La zona de Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan, pertenece al municipio de Zacapala, Puebla y se ubica entre los 18° 26' 39.54" y 18° 32' 5.91" de latitud norte y los 98° 17' 23.88" y 98° 09' 33.65" de longitud oeste. Tiene una superficie de 4682 ha (Figura 1). Al norte colinda con los municipios de Huatlatlauca, Chigmecatitlán y Tlaltempan, al sur con Santa Inés Ahuatempan y Cuayuca, al oriente con Molcaxac y Tepexi y al poniente con Coatzingo y Ahuatlán.

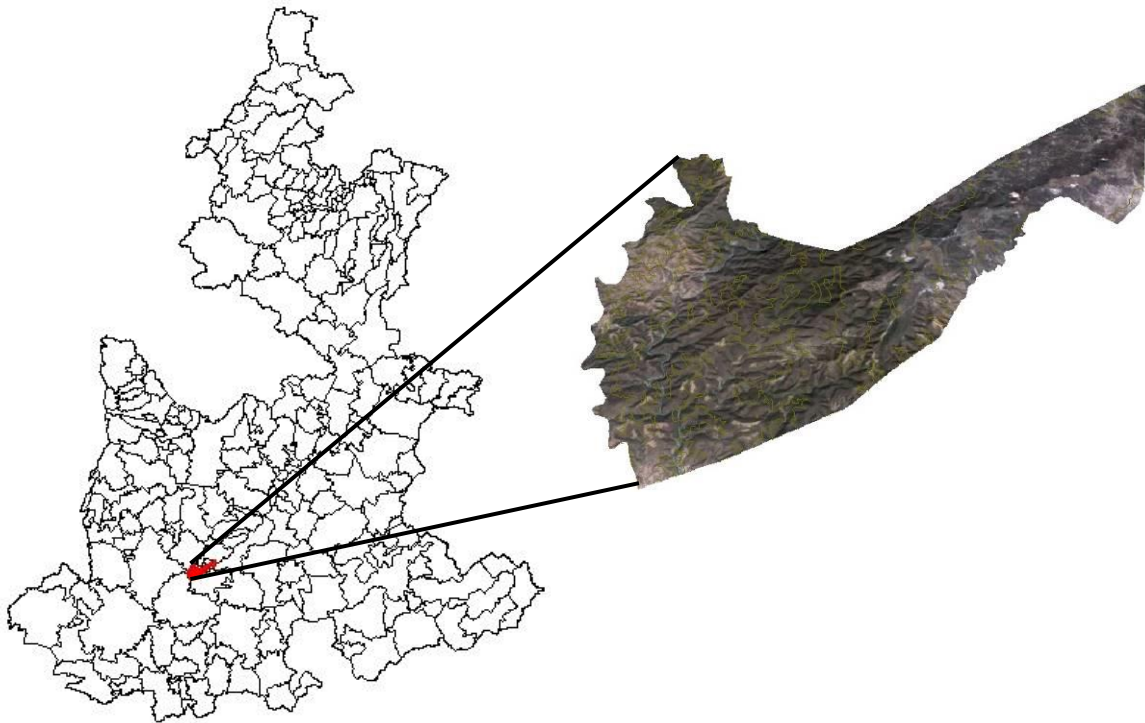


Figura 1. Localización de Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan, Puebla.

Clima

En el municipio de Zacapala se identifican dos climas: Clima cálido sub-húmedo con lluvias en verano (Aw0) y clima semicálido sub-húmedo con lluvias en verano <A(C) w0 (W)>.

Fisiografía

El territorio en el que se asienta la comunidad de San Mateo Mimiapan pertenece por completo a los llanos de Tepexi, planicie que forma parte de la meseta Poblana. Su relieve es bastante complejo. En el noroeste del terreno alcanza su mayor altura a los 1700 msnm; siguiendo una dirección noroeste-sureste. El relieve continúa en un declive suave y regular, apenas interrumpido por el cerro La Cruz. Al suroeste, el declive se vuelve más abrupto y cambia drásticamente de rumbo, en sentido este-oeste en dirección del río Atoyac. En esta parte, el descenso es irregular, presentando tanto zonas planas a distintos niveles, como diversas formas de terreno, destacando los Cerros Palo Liso, Comantepec, Gorgo, El Campamento y El duende y mesas como Mano de Buey, La Palma y San Mateo (Macías-Cuéllar *et al.*, 2012).

Geología

De acuerdo con Huerta *et al.* (2009), la extensión de la Mixteca Poblana, a la que pertenece el municipio de Zacapala, es producto de un proceso de emersión repetida, que data desde el Triásico, hace más de 200 millones de años. Se cree que esta zona debe haber formado parte del geosinclinal (depresión terrestre) llamado “Centroamericano Antillano” que se supone estuvo emergido desde el proterozoico (hace más de 600 millones de años) y que se fue hundiendo lentamente, a la vez que se iban acumulando sedimentos. La zona quedó totalmente emergida durante el Paleozoico (hace 60 a 70 millones de años) y sirvió de base a los plegamientos marginales que se formaron en el periodo posterior, el cual justifica el que pueda llamarse Escudo Mixteco (Macías-Cuéllar *et al.*, 2012).

Éste componente permaneció emergido hasta el Triásico inferior, hace más de 220 a 230 millones de años y a partir del Triásico superior inició una nueva inmersión dejando depósitos de sedimentos residuales dendríticos sobre la superficie ya erosionada del escudo. La naturaleza de estos sedimentos permite considerar que los mares que cubrieron la región fueron poco profundos, ya que las capas inferiores son depósitos lacustres (Macías-Cuéllar *et al.*, 2012). En los siguientes depósitos abundan acarrees fluviales y en los últimos fueron formados probablemente en bahías o esteros. Por ello, existen depósitos Triásicos en las cuencas de los ríos Huajuapán, Mixteco y Atoyac. En el Jurásico los mares fueron más profundos y ocuparon un área mayor y al finalizar el

Cretácico medio (hace 70 a 85 millones de años), un nuevo movimiento de inmersión disminuyó la profundidad de los mares, razón por la cual ahora se pueden encontrar regiones con depósitos de yeso. En el Cretácico superior tuvo lugar una nueva inmersión (Huerta *et al.*, 2009). La composición esencial de la roca madre la integran calizas, margas, andesitas, basaltos, riolitas, traquitas, granito y pizarras cristalinas (INEGI, 1987). La cuenca del río Atoyac, que se encuentra dentro de la Mixteca Poblana y en la que se asienta el municipio de Zacapala (Macías-Cuéllar *et al.*, 2012), presenta abundantes tobas volcánicas y arcillo-arenosas. Le siguen en importancia las rocas volcánicas, tales como andesitas, basaltos con diferentes clases texturales, y después encontramos las calizas antiguas cretácicas, tobas calizas y calizas travertínicas. Por último y en menor escala, se encuentran conglomerados, arenas y depósitos aluviales (De la O, 1970). Siendo estas últimas las presentes en la zona de lomerío y laderas rectas, ubicadas al noroeste de Bienes Comunes de San Mateo Mimiapan, mientras que en las planicies encontramos esquistos, limolitas y areniscas (Macías-Cuéllar *et al.*, 2012).

Hidrografía

El municipio de Zacapala corresponde a la cuenca del río Atoyac, perteneciente a la Región hidrológica río Balsas en la subregión del Alto Balsas o cuenca de los ríos Atoyac y Mixteco. Es una parte extrema del municipio, que es cruzada por el río Atoyac y que está formado por varios escurrimientos que provienen de la vertiente sur de la Faja Volcánica Transmexicana, y los cuales descienden del volcán Iztaccíhuatl, desde altitudes de 4,000 msnm, entre los estados de México y Puebla. Este río es el único de carácter permanente en el municipio. Además, recibe por su margen izquierdo, las aguas del río Mixteco y la confluencia de ambos crean el río Balsas (Macías-Cuéllar *et al.*, 2012; Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, 2009; Toledo, 2003).

Edafología

De manera general se reconocen 5 grupos de suelo: regosol, feozem, castañozem, vertisol y leptosol en el municipio de Zacapala (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, 2009). En San Mateo Mimiapan se encuentran principalmente leptosoles, suelos delgados y pedregosos y regosoles, suelos jóvenes y poco diferenciados, en la zona de lomeríos y planicie, ubicada en las cercanías del río Atoyac. Hacia la zona noreste del núcleo agrario predominan los leptosoles; mientras que los

feozem, se distribuyen hacia la zona sureste, en donde se emplean principalmente para actividades agrícolas.

Vegetación y uso de suelo

La mayor parte del municipio está cubierto por una selva baja caducifolia. Este tipo de vegetación se desarrolla desde el nivel del mar, hasta más de 1500 m de altitud. La característica principal de este tipo de vegetación es caducifolia, lo cual consiste en que la mayoría de las especies arborescentes que la dominan pierden sus hojas durante la época seca del año. Generalmente se compone de árboles y arbustos cuyo diámetro no sobrepasa los 50 cm y su altura no rebasa los 15 m (Huerta *et al.*, 2009).

En Bienes comunales de San Mateo Mimiapan (BCSM), las especies vegetales más frecuentes son: Cazahuate blanco (*Ipomoea arborescens*), Ciruelo (*Spondias purpurea*), Cubata (*Acacia macracanta*), Uña de gato (*Mimosa lacerata*), Pochote (*Ceiba aesculifolia*), Brasil (*Haematoxylum brasiletto*), Copal (*Bursera glabrifolia*), Agave mezcalero (*Agave crupeata*), Nopal (*Opuntia sp*), Cacaloxochitl (*Plumeria rubra f. acutifolia*), Muitle (*Justicia specigeraschi*), Chico (*Pachycereus weberi*). La vegetación natural de la mayor parte del territorio de los Bienes Comunales se encuentra, en términos generales conservada, proporcionando las condiciones para el mantenimiento de la fauna local. Además, la selva es utilizada por las personas de la localidad para la obtención de recursos de autoconsumo. Entre las especies vegetales presentes se encuentran especies con potencial comercial, incluyendo las medicinales con usos reconocidos en otros sitios y aquellas que son utilizadas para la extracción de esencias aromáticas (Macías-Cuéllar *et al.*, 2012).

Forma de Organización

El H. Ayuntamiento de Zacapala está conformado por: Presidente Municipal, un síndico, seis regidores de mayoría relativa y, dos regidores de representación proporcional. Asimismo, existen las siguientes comisiones: Gobernación, Salubridad, Industria y Comercio, Educación, Obras y Servicios públicos y Hacienda. Los presidentes de las Juntas Auxiliares, son electos por plebiscito cada tres años. Estas juntas están formadas por un Presidente Auxiliar Municipal y cuatro regidores.

El municipio de Zacapala pertenece a la región socioeconómica número 7, con cabecera en la Ciudad de Tehuacán, Puebla. Además, pertenece al Distrito Local Electoral 13 con cabecera en el Municipio de Tepexi de Rodríguez y al Distrito Electoral 13 con cabecera en el municipio de Acatlán; es parte también de la Jurisdicción Sanitaria (SS) 09 de Tepexi de Rodríguez.

En el municipio de Zacapala existen pocos sectores organizados para la producción y el aprovechamiento de los recursos naturales, económicos, humanos y financieros. El Municipio carece también de industrias a gran escala que promuevan el empleo y contribuyan al desarrollo del mismo. Las organizaciones económicas productivas, existentes incluyen grupos temporales de proyectos productivos (solo se organizan para obtener recursos y no para la producción), y solo unos cuantos permanecen semi-organizados permanentemente.

Es importante mencionar que es común la organización no formal pero tangible de los habitantes de la comunidad El Timbre en labores cotidianas, tanto productivas como de beneficio común. Existen además diversos proyectos individuales, pero ninguno hasta el momento a gran escala o que genere un impacto ecológico u económico. Otro proyecto que pretende tener impacto socio-ecológico dentro de la región es el promovido por la Secretaría del Medio Ambiente, en coordinación con la Secretaría de Desarrollo Rural. Dicho proyecto se encuentra ubicado en El Timbre, y se formó con la instalación de una Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA), para la conservación de los recursos naturales y la reproducción de Venado. El proyecto ha sido trabajado actualmente por personal académico de la BUAP, y se inició la construcción de un museo paleontológico. Sin embargo, a pesar de los estudios llevados a cabo en la comunidad y los trabajos encaminados al establecimiento de la UMA, la mayoría de la población entrevistada no tiene una idea clara del proyecto.

Existe otro proyecto mencionado localmente, promovido por la SEMARNAT, que pretende conservar al Oate, especie vegetal nativa. En dicho proyecto se está promoviendo la siembra de la especie en los terrenos de los productores, para preservar el material genético, mediante su reproducción y aprovechamiento. En este proyecto participan habitantes de San Mateo Mimiapan y Guadalupe Hidalgo, en coordinación con el municipio vecino Cuayuca de Andrade (Macías-Cuéllar *et al.*, 2012).

Organizaciones gremiales

Dentro de las organizaciones gremiales existentes en el municipio se encuentran, la Central Nacional Campesina (CNC), seis Sociedades Ejidales: San Mateo Mimiapan, Xintete, Guadalupe Hidalgo, Zacapala, Zapata, y Victoria; y la organización de Comuneros en San mateo Mimiapan. Otro sector organizado incluye a las sociedades de migrantes, las cuales participan en el desarrollo de ciertas obras y actividades de la comunidad. Las organizaciones gremiales, están en gran medida ligadas al aspecto político, ya que dependiendo de la organización gremial es como se pertenece a algún partido político. En San Mateo Mimiapan se registró recientemente ante la SAGARPA de la “Asociación Ganadera de San Mateo Mimiapan” (Macías-Cuéllar *et al.*, 2012).

Organizaciones Religiosas

La religión es una de las tradiciones más arraigadas en el municipio y es por lo tanto una de las estructuras organizativas más sólidas. La religión predominante es la católica, aunque se han ido abriendo pasó otras iglesias, sin que por ello tengan mayor relevancia. En este marco se forman Comités de festividades religiosas que son elegidos por los pobladores, tomando en cuenta las posibilidades económicas y su compromiso con la comunidad para una mayor participación. De acuerdo con los usos y costumbres, se elige un Comité de la fiesta cada año (Macías-Cuéllar *et al.*, 2012).

Comités de padres de Familia

Existen en las escuelas los Comités de padres de familias, que se encargan del apoyo a las actividades de las mismas, en coordinación con los directivos, los profesores y de acuerdo con los programas de trabajo que siguen. Los Comités de padres de familia representan potencialmente un elemento de organización multisectorial importante en la puesta en marcha de cualquier iniciativa comunitaria.

Los liderazgos reconocidos en el municipio se identifican principalmente en las personas que son designadas Jueces de paz e Inspectores, los cuales conocen bien a los miembros de sus comunidades, saben de sus problemas e incluso en muchas ocasiones solucionan o ayudan a solucionarlos. Estos líderes tienen la función de ser el vínculo de

contacto directos entre la comunidad y las autoridades municipales (Macías-Cuéllar *et al.*, 2012).

Aspectos Culturales, Sociales y Económicos

El significado del nombre de Zacapala no es descrito por las fuentes consultadas, sin embargo se sabe que el sufijo “apan” significa río o “sobre el agua”. En relación al nombre del municipio la información disponible indica que proviene de las radicales nahuas "zacatl", paja de milpa, zacate, y "palani", que significa pudrirse: y que quiere decir: "zacate o paja de milpa que se pudre". En lo que respecta a las fiestas populares, a nivel municipal, se festeja en el mes de diciembre a San Juan Evangelista con misas, bailes, jaripeos, pelea de gallos, juegos mecánicos, juegos pirotécnicos, y la danza de los "12 pares de Francia"; el cuarto viernes de cuaresma se celebra en forma similar a la anterior. En Semana Santa se organizan procesiones. El día de muertos, se colocan ofrendas con alimentos y bebidas que al difunto le agradaban. En San Mateo Mimiapan se festeja tanto a la patrona como al patrón de la localidad, celebrándose en los meses de septiembre y octubre (Macías-Cuéllar *et al.*, 2012).

Actividades productivas y problemáticas

Las actividades productivas del núcleo agrario coinciden de manera general con las reportadas en todo el municipio siendo eminentemente agropecuarias. Entre los cultivos que destacan por su importancia económica se encuentran: maíz de temporal, frijol y calabaza. Se mencionan también el aguacate y el tomate verde. La actividad agrícola es muy importante para las familias de los comuneros y es la principal actividad de las personas que habitan El Timbre. Se reportaron alrededor de 500 ha destinadas a la producción agrícola en todo el núcleo agrario.

La actividad ganadera en la comunidad y en general en el municipio no es importante a nivel comercial; sin embargo, representa un elemento fundamental en el ámbito de la economía familiar, al ser proveedora inmediata de alimentos. También funciona como ahorro en vivo para los productores, pues principalmente se cría ganado de traspatio, entre los que se encuentran el bovino, porcino, caprino y equino, además, del asnal y diferentes tipos de aves. No existe reporte alguno de superficies dedicadas

exclusivamente a la ganadería. En general se establecen usos temporales en un sistema integral de aprovechamiento que contempla superficies dedicadas a dos o más actividades, es decir son superficies agropecuarias, donde se conjugan la agricultura la ganadería y la recolección de madera seca, fruto silvestres y plantas ya sean comestibles y/o medicinales. Es de notable importancia esta transición temporal de los espacios productivos, ya que este elemento fue tomado en cuenta para generar la propuesta de ordenamiento que no fracturara esta estrategia dinámica de usos del territorio (Macías-Cuéllar *et al.*, 2012).

Al igual que en varios sitios del municipio, el núcleo agrario cuenta con recursos pétreos como mármol y cantera, los cuales son extraídos de forma comercial por algunas empresas concesionarias. Sin embargo, esta actividad representa un ingreso constante para la comunidad. Sin embargo, no existe a la fecha una evaluación total del recurso, ni estudios que les permitan a los comuneros generar una estrategia de manejo para aprovechar de manera óptima un recurso no renovable como este. Es importante hacer notar que tanto la producción agrícola como la ganadera han mantenido una tradición productiva que podría permitir explorar su comercialización en el ámbito de los mercados de alimentos sanos, ya que en ninguno de estos sistemas son utilizados, ni agroquímicos ni alimentos balanceados. Existen recursos forestales no maderables que potencialmente pueden ser utilizados tanto en el rubro de los recursos resinales, como en el de las plantas medicinales y su uso para la industria cosmética (Macías-Cuéllar *et al.*, 2012).

7. MATERIALES Y MÉTODO

7.1. Planteamiento del Problema

Para el desarrollo de este proyecto se tomaron elementos del enfoque de Marco Lógico (Ortegón, 2005), que consistieron en la identificación del problema a abordar, para pasar a la definición de la pregunta de trabajo. Se realizó una lluvia de ideas, sobre situaciones relacionadas con la degradación de suelos; después se ordenaron mediante un flujograma (CIMAS, 2009), en el que se jerarquizaron las problemáticas de acuerdo con su relación causa-efecto para priorizarlas. Con ello se identificaron los problemas nodales, de raíz y efecto y se generó un árbol de problemas; que facilitó la organización de los mismos dentro de una secuencia lógica y permitió esquematizarlos en términos de objetivos concretos de trabajo (árbol de objetivos).

Con base en lo anterior se realizó el análisis de los objetivos, que es un proceso por el cual los problemas se convierten en objetivos o metas hacia las cuales se pueden dirigir las actividades. También incluye un análisis de los objetivos para determinar si éstos son factibles y pueden ser alcanzados (La Gra, 1993).

7.2. Delimitación de las microcuencas.

La delimitación de las microcuencas se realizó con el Programa para Sistemas de Información Geográfica ArcGIS 10.1 (ESRI, 2012), utilizando el Modelo Digital de Elevación de INEGI (2013) de 15 metros de resolución espacial, tomando como base los lineamientos establecidos por el INEGI, INE y CONAGUA (2007). Se consideró que Bienes Comunes de San Mateo Mimiapan, se encuentra localizado dentro de la región hidrológica Número 18, denominada Balsas.

7.2.1. Determinación de las áreas funcionales de la Cuenca.

Para realizar la determinación de las áreas funcionales de la cuenca se utilizaron los escurrimientos superficiales, que fueron ordenados por el método Strahler (1957), citado por Marcial (2011), realizando una interpretación visual de la morfología del relieve con ayuda de las curvas de nivel.

Las áreas funcionales de la cuenca se delimitaron tomando como base la clasificación del INE (2010), que propone la división de las cuencas en tres zonas hidrológicas funcionales: a) área de colecta o captación, b) área de almacenamiento hídrico o transporte y c) zona de descarga o emisión.

Las áreas donde se identificaron escurrimientos de 1^{er} orden, fueron categorizadas como “Zonas de captación”. De acuerdo con INE (2010), estas zonas son las que abarcan la mayoría de la cuenca y es donde la tasa de infiltración es mayor. Aquellas áreas que presentaron escurrimientos de 2^o a 4^o orden, fueron designadas como “Zonas de transporte”, que comprenden principalmente a los ríos permanentes. Finalmente las áreas en donde se encontraron escurrimientos de 5^o orden, fueron categorizadas como “Zonas de emisión”, que corresponden a la salida de la microcuenca, o el sitio donde la microcuenca vierte sus aguas a otra mayor.

En una segunda etapa se definieron los impactos a nivel de las zonas funcionales de la cuenca, en función de los niveles de pérdida de suelo cuantificados, mediante un análisis de coincidencia espacial utilizando un sistema de información geográfica.

7.2.2 Análisis Morfométrico de las Cuencas

Hidrológicamente la cuenca funciona como un gran colector que recibe las precipitaciones y las transforma en escurrimientos. Esta acción es función de una gran cantidad de parámetros que influyen en la dinámica hidrológica (Campos, 1998). Por ello, los parámetros morfométricos son punto de partida de los análisis hidrológicos que se realicen de la misma. Para el análisis de las cuencas se obtuvo el área, el perímetro, la altura máxima y mínima, derivados a partir del Modelo Digital de Elevación, de 15 m de resolución espacial (INEGI, 2013) utilizando el programa ArGIS 10.1. A partir de lo anterior, se obtuvieron los parámetros de forma y relieve, así como las características de la red hídrica de las microcuencas (Anexo 1).

Cabe aclarar que al realizar la delimitación de las microcuencas con el límite de la zona de estudio, algunos escurrimientos superficiales quedaron fuera, debido a que el objetivo de este trabajo es estimar la distribución del proceso de erosión potencial hídrica en el territorio de Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan. Por tanto, dicho análisis se

presenta solamente para este núcleo agrario, sin embargo los escurrimientos fueron tomados en cuenta, así como la caracterización morfométrica en toda su extensión, debido a que los procesos dentro de una cuenca se deben de analizar en su totalidad.

7.3. Caracterización climática.

Se realizó un análisis climático general tomando en cuenta los datos de temperatura y precipitación obtenidos de la estación meteorológica 00021230. Esta estación se ubica en San Juan Coatzingo, incluye datos del periodo 1981-2010. Representa la estación más cercana a los Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan (Anexo 2),.

7.4. Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada (RUSLE).

Se empleó la RUSLE que es un método rápido de estimación de la pérdida potencial del suelo, la cual es reconocida a nivel mundial (Figueroa *et al.*, 1991; Simms *et al.* 2003). Los factores que se utilizaron fueron:

A) Erosividad de la lluvia (R). Cortés (1991), citado por Figueroa *et al.* (1991), desarrolló un mapa de isoerosividad, con datos de 53 estaciones meteorológicas. Así se usó como base para estimar el valor de R a nivel municipal en 14 diferentes regiones para el país. Por tanto, se utilizó el valor referido para el municipio de Zacapala.

B) Erodabilidad del suelo (K). Para estimar este valor se realizaron muestreos de suelo en campo en las diferentes unidades geomorfológicas (Macías-Cuéllar *et al.*, 2012). Se determinaron la clase textural por el método de Bouyoucos (1962) y el contenido de materia orgánica, por el método de Walkley y Black (1947), de acuerdo con Muñoz *et al.* (2010). Con base en los valores de los parámetros, se estimó el valor correspondiente de K, siguiendo los criterios propuestos por Morgan (1985) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores de erosionabilidad de los suelos (K) estimado en función de la textura y el contenido de materia orgánica (Morgan 1985).			
Textura	% materia orgánica		
	0.0-0.5	0.5-2.0	2.0-4.0
Arena	0.005	0.003	0.002
Arena fina	0.016	0.014	0.010
Arena muy fina	0.042	0.036	0.028
Arena migajosa	0.012	0.010	0.008
Arena fina migajosa	0.024	0.020	0.016
Arena muy fina migajosa	0.044	0.038	0.030
Migajón arenosa	0.027	0.024	0.019
Migajón arenosa muy fina	0.035	0.030	0.024
Migajón arenosa fina	0.047	0.041	0.033
Migajón	0.038	0.034	0.029
Migajón limoso	0.048	0.042	0.033
Limo	0.060	0.052	0.042
Migajón arcillo arenosa	0.027	0.025	0.021
Migajón arcillosa	0.028	0.025	0.021
Migajón arcillo limosa	0.037	0.032	0.026
Arcillo aronosa	0.014	0.013	0.012
Arcillo limosa	0.025	0.023	0.019
Arcilla	0.013-.029		

C) Longitud y ángulo de la pendiente (L, S). Se calcularon a partir del Modelo Digital de de Elevación de INEGI (2013) de 15 metros de resolución espacial, utilizando la fórmula propuesta por (Simms, 2003).

D) Cobertura del suelo (C) y Prácticas de Control sobre la tasa de erosión (P). Se determinaron en campo de acuerdo con los criterios propuestos por Jung *et al.*, (SA); tomada de Velázquez (2008), quien propuso una combinación entre los dos factores.

Cuadro 2. Valores de Cobertura de suelo (C) y Prácticas de Control sobre la tasa de erosión (P) (Jung et al., (SA); tomada de Velázquez (2008).

Tipo de cobertura	Factor C	Factor P
Área urbana	0.1	1
Suelo desnudo	0.35	1
Bosque denso	0.001	1
Bosque ralo	0.01	1
Bosque mezclado con cultivos (Agroforestería)	0.1	8
Cultivos	0.5	0.5
Cultivos de inundación	0.1	0.5
Pastura densa	0.08	1
Pastura rala	0.2	1
Pasturas con cultivos	0.25	0.8
Humedales	0.05	1
Cuerpos de agua	0.01	1

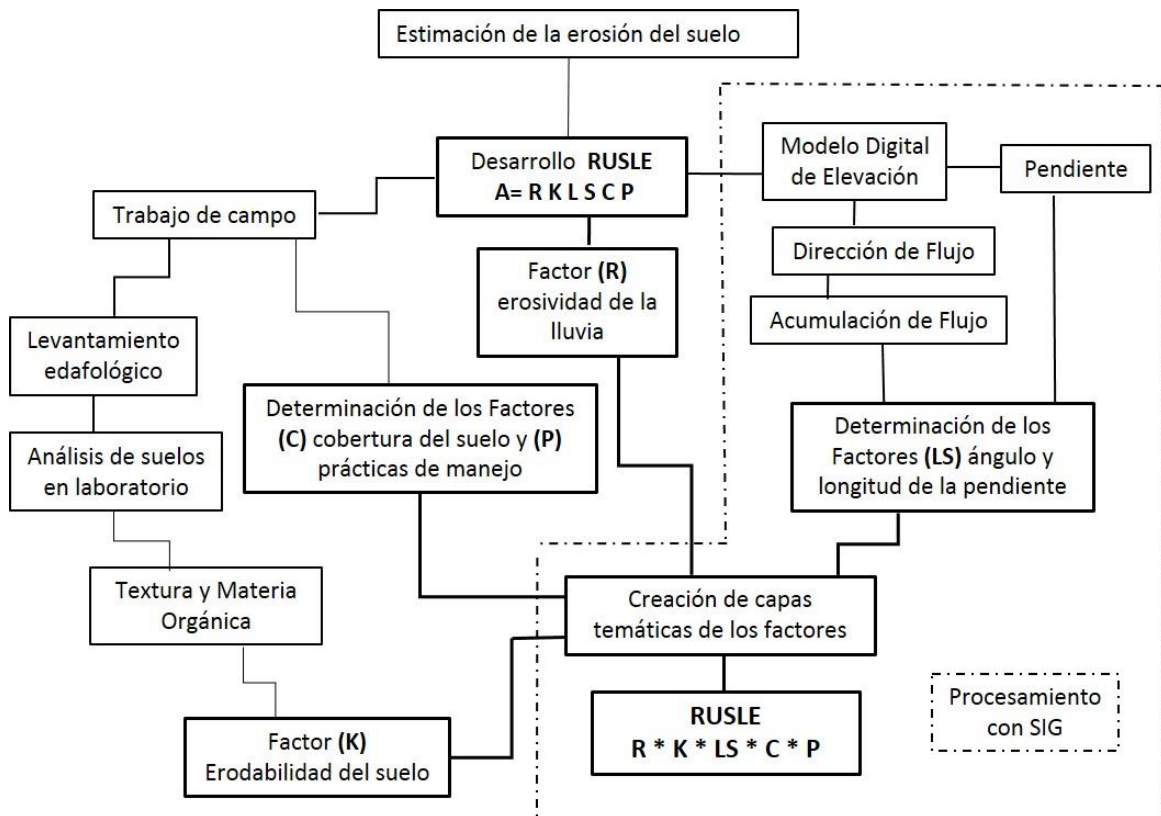


Figura 2. Diagrama metodológico que muestra el procedimiento seguido en este trabajo para la estimación de la erosión del suelo.

Para la creación de las capas temáticas de los factores que constituyen RUSLE (Figuroa *et al.*, 1991, Morgan 1985; Simms *et al.*, 2003; Velázquez, 2008), se utilizó el programa ArcGIS 10.1 (ESRI, 2012). Una vez generada cada una de las capas de los factores, la erosión potencial se estimó mediante álgebra de mapas de acuerdo con el diagrama de flujo presentado en la Figura 2.

8. RESULTADOS

8.1. Sistema de Información Geográfica de Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan, Puebla.

Para este trabajo, el sistema de información geográfica comunitario consiste en la compilación de cartografía temática base, con la que se realizó la delimitación de las microcuencas, y de sus zonas funcionales. Así como la evaluación de la pérdida de suelo. Con la cartografía también se realizó el análisis de la relación espacial entre las zonas funcionales y la erosión hídrica, para definir las prácticas de conservación y/o restauración del suelo idóneas.

Derivado de lo anterior se obtuvo la siguiente cartografía:

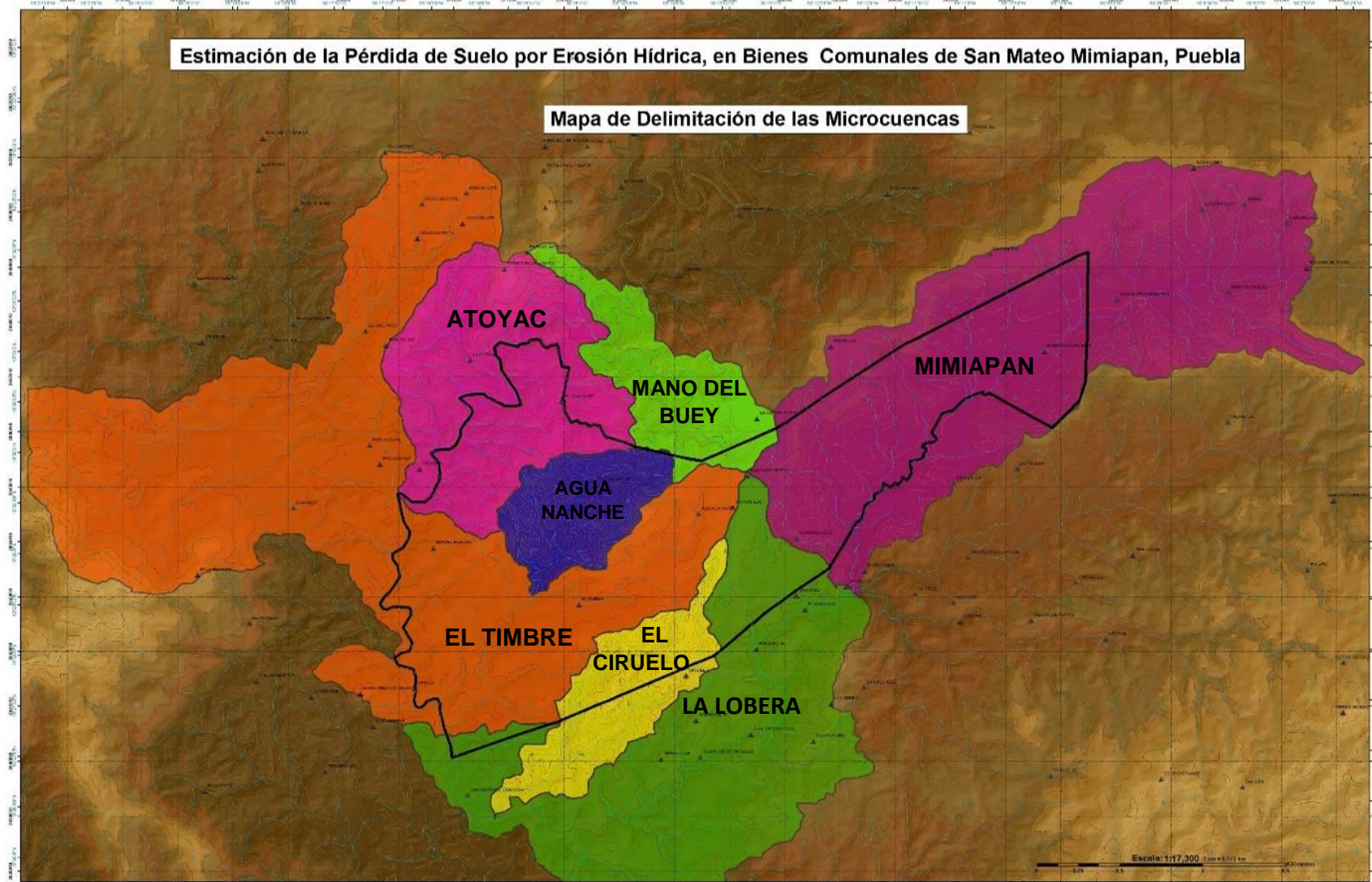
1. Cartografía base (Anexo 3).
 - 1.1 Mapa Base
 - 1.2 Mapa Hipsométrico (variación de la altitud)
 - 1.3 Mapa de Modelo Digital de Elevación
 - 1.4 Mapa de Uso de Suelo y Vegetación
2. Delimitación y caracterización de las microcuencas y sus zonas funcionales.
 - 3.1 Mapa de Delimitación de las microcuencas
 - 3.2 Mapa de Red de Drenaje
 - 3.3 Mapa de Orden de escurrimientos
 - 3.4 Mapa de Zonas Funcionales de las microcuencas
3. Estimación de la Erosión Hídrica por medio de la RUSLE
 - 3.1. Mapa de Longitud y Ángulo de las Pendientes (LS)
 - 3.2. Mapa de Erodabilidad del Suelo (K)
 - 3.3. Mapa de Cobertura Vegetal (C)
 - 3.4. Mapa de Erosión Hídrica
4. Estimación de Erosión Hídrica en las Zonas Funcionales de las Microcuencas.
 - 4.1 Mapa de relación espacial entre la Erosión Hídrica y las Zonas Funcionales de las microcuencas.

8.1.1. Caracterización hidrológica de las microcuencas

El mapa de la Figura 3 muestra las 7 microcuencas que se delimitaron como parte de la caracterización hidrológica y del análisis morfométrico de Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan.

Estimación de la Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica, en Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan, Puebla

Mapa de Delimitación de las Microcuencas



Elaboración:
Cervantes-Rebolledo, V.
Revisión:
Hernández-Moreno, M. M.,
Macías-Cuellar, H.

Fecha de Elaboración: 2014

FUENTES UTILIZADAS:

- Modelo Digital de Elevación a 15 m de resolución espacial. 2013. INEGI.
- Análisis Hidrológico generado a partir del Modelo de Elevación Digital (Macías, et al., 2012).
- Estudio de Ordenamiento Territorial Comunitario de Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan, Municipio de Zacapala, Puebla. (Macías, et al., 2012)
- Carta topográfica E14863 Coatzacoahuila, Escala 1:50 000, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática
- Carta topográfica E14873 Tlaxiutzingo Puebla, Escala 1:50 000, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática

Legenda

- ▲ parajes
- ▭ Bienes Comunales San Mateo Mimiapan
- curvas de nivel a 100m
- curvas de nivel a 20m
- Hidrología

Rangos altitudinales

Valores
1,000 - 1,200
1,200 - 1,300
1,300 - 1,400
1,400 - 1,500
1,500 - 1,600

Microcuencas

- Atoyac
- El Timbre
- La Lobera
- Agua Nanche
- Ciruelo
- Mimiapan
- Mano del Buey

Microcuencas de Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan

Estado de Puebla

Cuenca Hidrográfica "Balsas"

COORDINADAS UTM

WGS 1984 UTM Zona 14N

Proyección Universal Transversa de Mercator

1 paso Lado: 500000.000000

Falso Norte: 0.000000

Moneda Central: 30.000000

Falso de Escala: 0.986000

Latitud con Origen: 0.000000

Unidad lineal: Metro

Figura 3. Mapa de la delimitación de las Microcuencas en Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan.

8.1.2. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS Y DELIMITACIÓN DE LAS ZONAS HIDROLÓGICAS FUNCIONALES

8.1.2.1 Microcuenca Mimiapan.

Esta microcuenca se localiza al noreste de Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan, cuenta con 36.04 Km², por lo que es considerada pequeña. Es de forma rectangular alargada (Figura 4), lo que se comprueba con el factor de Razón de Elongación que tuvo un valor de 0.47 (Cuadro 4).

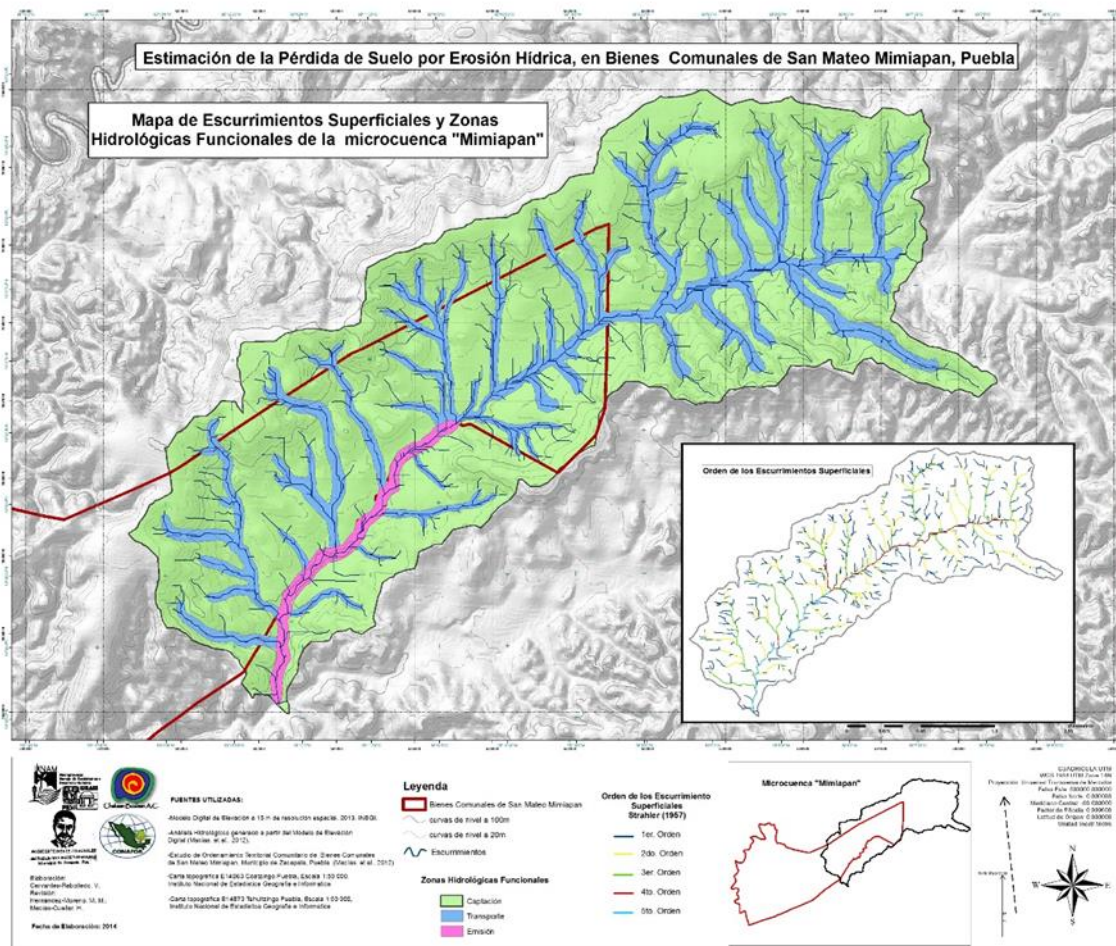


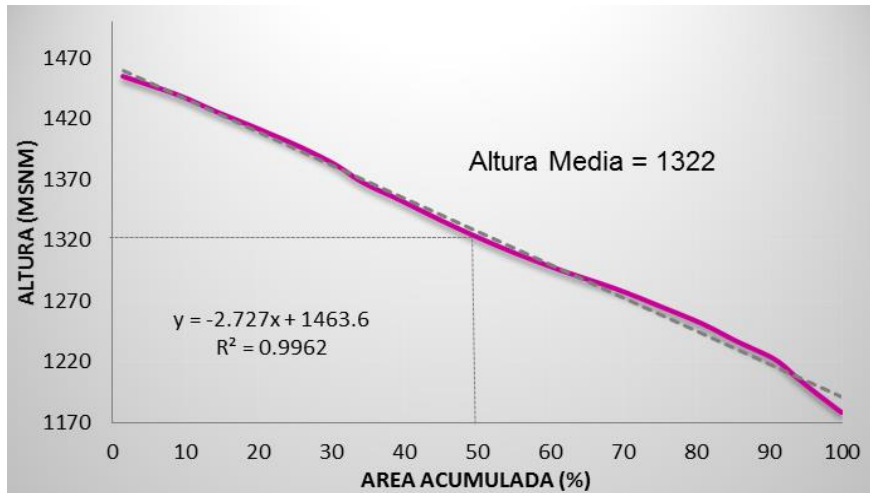
Figura 4. Mapa de las Zonas Hidrológicas Funcionales y los Esguimientos Superficiales de la microcuenca Mimiapan.

Cuadro 4. Características Morfométricas de la Microcuenca Mimiapan.			
Parámetro	Unidad	Valor	Clasificación
Generales			
Área	Km ²	36.04	Pequeña
Perímetro	Km	45	-
Altura Máxima	Msnm	1462	
Altura Mínima	Msnm	1171	
Diferencia de Alturas	M	291	
Coeficiente de Compacidad	Kc ²	2.10	Oval-oblonga a rectangular- oblonga
Razón de Elongación		0.47	
Factor de Forma		0.18	Rectangular alargada
De Relieve			
Coeficiente de Masividad	Km	36.68	Montañosa
Elevación Media	Msnm	1322	
Pendiente Promedio	%	17.79	Accidentado
Densidad de Drenaje	(Km/Km ²)	4.46	Alta
De la Red Hídrica			
Longitud del Cauce Principal	Km	14.35	Mediano
Longitud de la Red Hídrica	Km	160.81	
Orden de la Red Hídrica		5	
Tiempo de Concentración	Min	9.59	Rápido

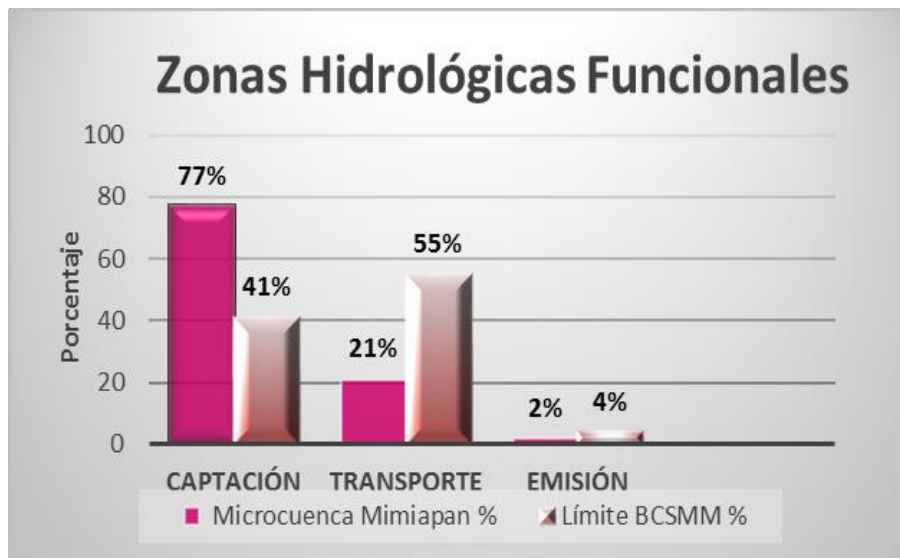
De acuerdo con los parámetros morfométricos, la microcuenca presenta un relieve montañoso y una pendiente accidentada de 17.79%, Esto se confirma con el tiempo de concentración rápido que fue de 9.59 min. Cuenta con una longitud de la red hídrica de 160.1 Km, de los cuales 14.35 Km pertenecen a la longitud del cauce principal que se considera de tamaño mediano (Cuadro 4).

Curva Hipsométrica: El análisis hipsométrico que se presenta en la Gráfica 1, siguiendo la propuesta por Strahler (1952), muestra que la microcuenca Mimiapan se encuentra en una etapa intermedia entre la fase de equilibrio relativo o de madurez y la de desequilibrio o juventud, y está evolucionando hacia la etapa de madurez.

La elevación media se obtuvo a partir del 50% del área acumulada de la curva hipsométrica, dando como resultado 1322 msnm (Gráfica 1), con una diferencia de altitud entre el punto más alto de la microcuenca y la desembocadura del cauce principal, de 291 m.



Gráfica 1. Curva Hipsométrica de la Microcuenca Mimiapan.



Gráfica 2. Superficie de las Zonas Hidrológicas Funcionales de la Microcuenca Mimiapan. El tono oscuro de las barras muestra los datos para toda la microcuenca, el tono claro muestra los datos proporcionales que quedan dentro del territorio de BCSMM.

La red hídrica, que se muestra en el cuadrante inferior derecho de la Figura 4, muestra que los escurrimientos superficiales son hasta de 5º orden, lo que significa que cuenta con una red de drenaje bien estructurada. Por su parte, la delimitación de las zonas hidrológicas funcionales mostró que 27.52 Km² de la microcuenca (77%) pertenecen a la Zona de Captación, 7.72 Km² (21%) a la de Transporte y 0.75 Km² (2%) a la de Emisión

(Gráfica 2). Sin embargo al realizar el análisis únicamente para la parte de la microcuenca que se ubica dentro del límite del núcleo agrario, la mayor parte corresponde a la zona de transporte con 7.40 Km² (55%), seguida de la zona de captación con 5.49 Km² (41%) y por último la zona de emisión, con tan solo 0.57 Km² (4%).

8.1.2.2. Microcuenca Mano del Buey

Esta microcuenca debe su nombre a la presencia de un paraje conocido como Mano del Buey. Ella presenta un área pequeña (6.70 Km²) y prácticamente queda fuera del límite centro-norte de Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan. Sin embargo se consideró en el análisis dado que es la zona de transición entre las microcuencas Mimiapan, El Timbre, Agua Nanche y Atoyac. Tiene una forma rectangular alargada (Figura 5).

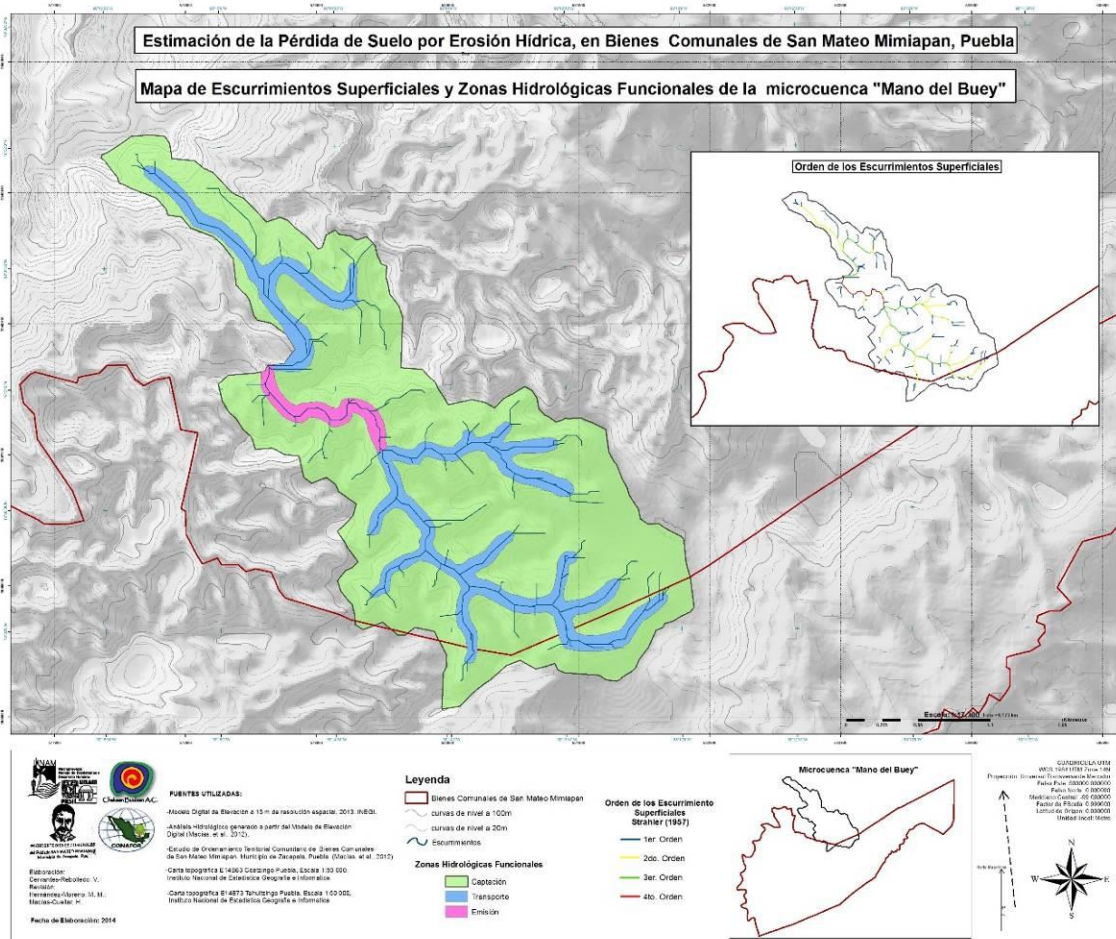


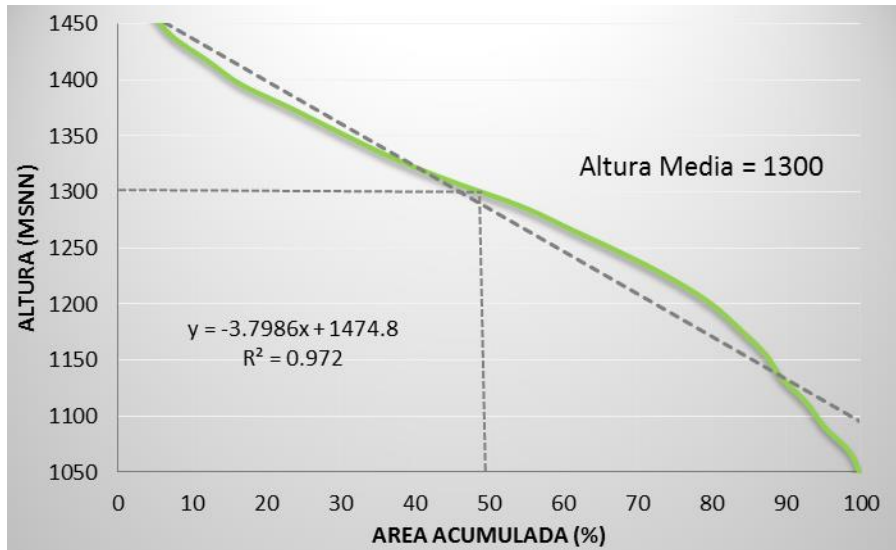
Figura 5. Mapa de Zonas Hidrológicas Funcionales y Escurrimientos Superficiales de la microcuenca Mano del Buey.

Cuadro 5. Características Morfométricas de la Microcuenca Mano del Buey.			
Parámetro	Unidad	Valor	Clasificación
Generales			
Área	Km ²	6.70	Muy Pequeña
Perímetro	Km	21.15	-
Altura Máxima	Msnm	1482	
Altura Mínima	Msnm	1047	
Diferencia de Alturas	M	435	
Coeficiente de Compacidad	Kc ²	2.29	Oval-oblonga a rectangular-oblonga
Razón de Elongación		0.53	
Factor de Forma		0.22	Rectangular a alargada
De Relieve			
Coeficiente de Masividad	Km	194.02	*Escasamente Montañosa
Elevación Media	Msnm	1300	
Pendiente Promedio	%	17.92	Accidentado
Densidad de Drenaje	(Km/Km ²)	4.16	Alta
De la Red Hídrica			
Longitud del Cauce Principal	Km	5.54	Corto
Longitud de la Red Hídrica	Km	27.90	
Orden de la Red Hídrica		4	
Tiempo de Concentración	Min	0.66	Rápido

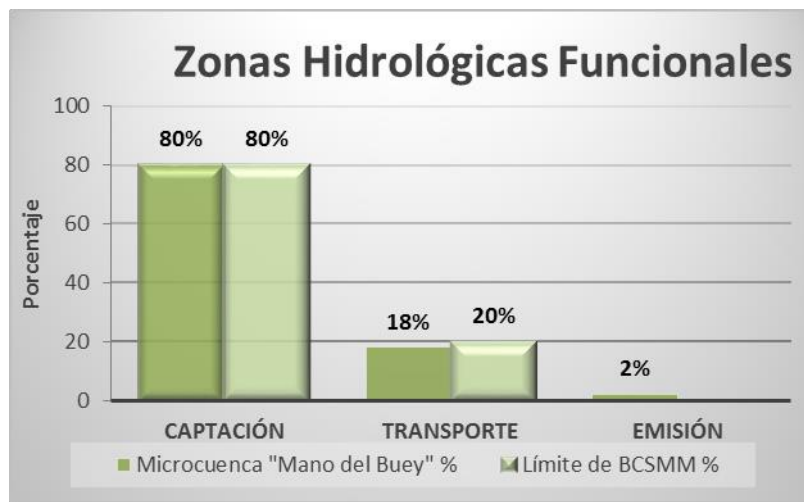
El punto más alto de la microcuenca Mano del Buey se encuentra a los 1482 msnm y el más bajo en la zona de la desembocadura, a los 1047 msnm, con una diferencia de altitud de 435 metros y una pendiente promedio accidentada con 17.92%.

Curva Hipsométrica: El análisis hipsométrico muestra que la microcuenca se encuentra en una etapa de desequilibrio o de juventud, conocida como cuencas de meseta (Campos, 1998).

Mano del Buey presenta una red hídrica de 4^o orden que se puede apreciar en el cuadro de la parte superior derecha de la Figura 5. Un total de 5.31 Km², de los escurrimientos superficiales son ocupados por la zona de captación, lo que equivale al 80% de la microcuenca, 1.23 Km² corresponden a la zona de transporte y 0.16 Km² a la zona de emisión, cubriendo el 18% y 2% respectivamente. Dentro del territorio de BCSMM, la Zona de Captación cubre 0.48 Km² (80%) y la zona de transporte 0.12 Km² (20%), quedando fuera de los límites del núcleo agrario, la zona de emisión (Gráfica 4).



Gráfica 3. Curva Hipsométrica de la microcuenca Mano del Buey.



Gráfica 4. Superficie de las Zonas Hidrológicas Funcionales de la Microcuenca Mano del Buey. El tono oscuro de las barras muestra los datos para toda la microcuenca, el tono claro muestra los datos proporcionales que quedan dentro del territorio de BCSMM.

8.1.2.3. Microcuenca Atoyac

Se localiza al noroeste de Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan, toma su nombre por la presencia del río Atoyac, es considerada pequeña con 15.06 Km² de superficie. El coeficiente de compacidad (Kc^2) obtenido fue 1.71, que indica que la microcuenca tiene forma ovalada oblonga a rectangular alargada (Figura 6).

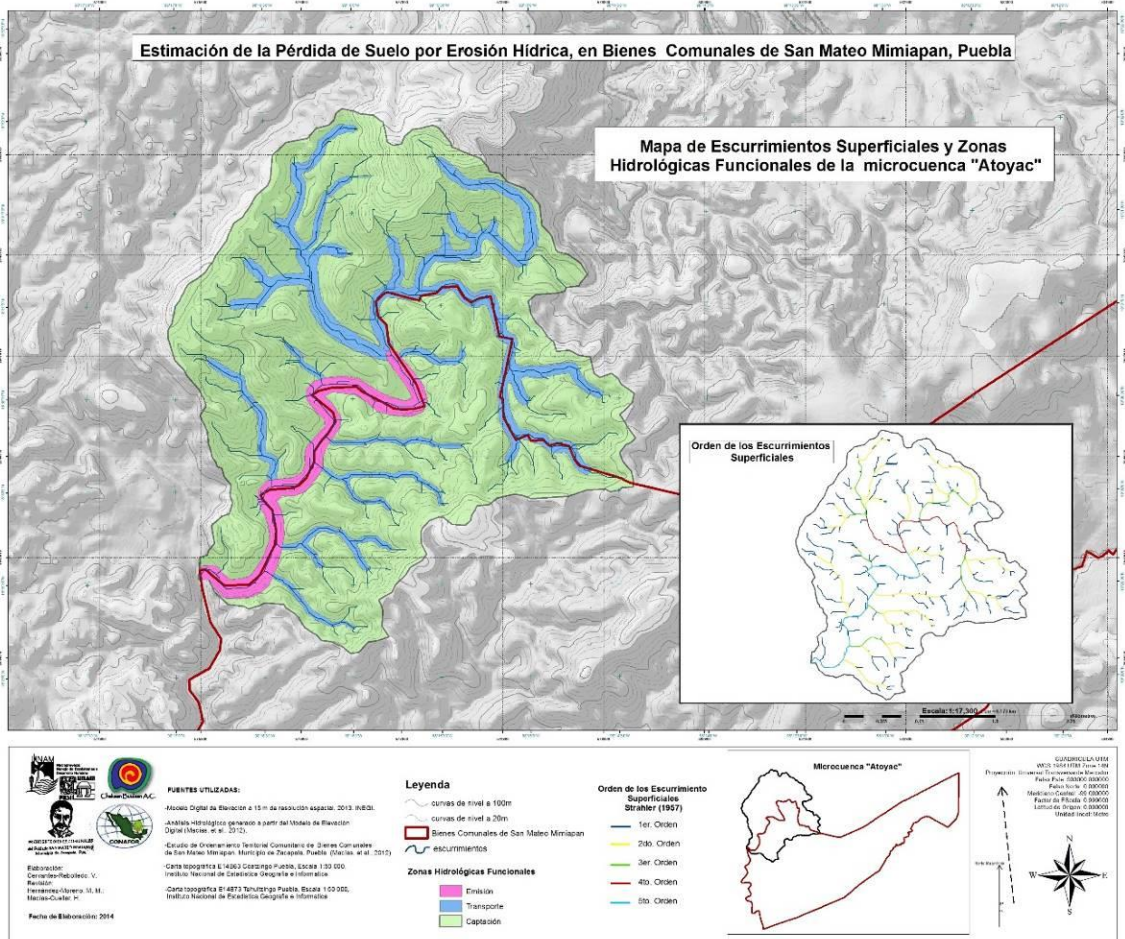
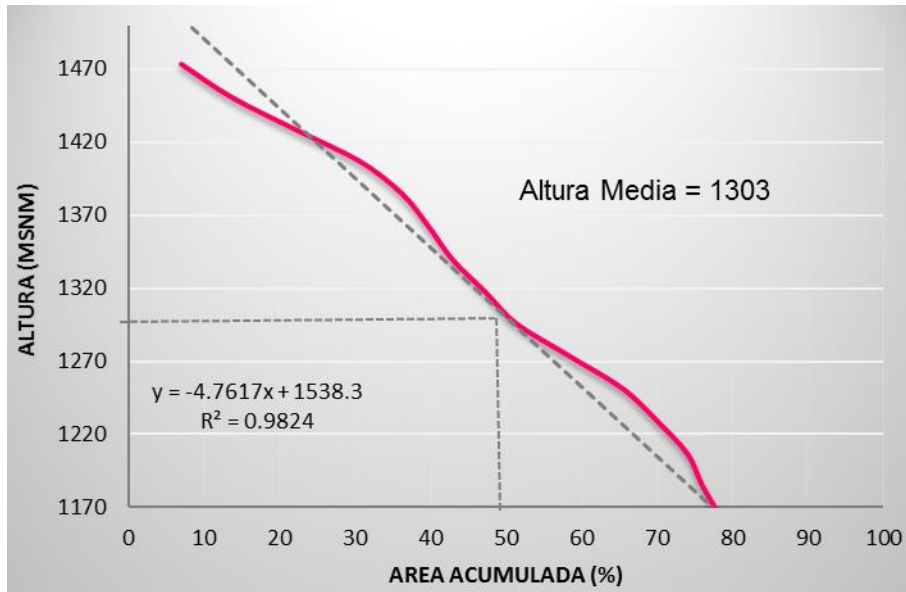


Figura 6. Mapa de Zonas Hidrológicas Funcionales y Ecurrimientos Superficiales de la Microcuenca Atoyac.

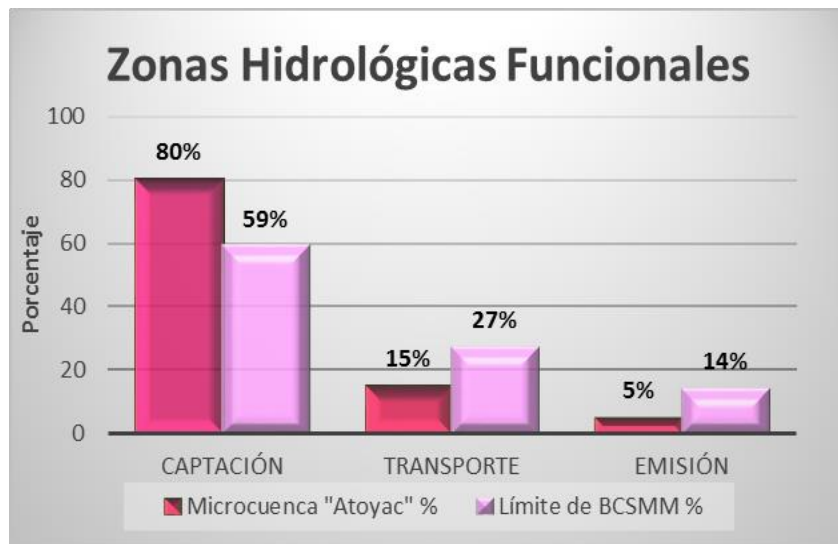
Cuadro 6. Características Morfométricas de la Microcuenca Atoyac.			
Parámetro	Unidad	Valor	Clasificación
Generales			
Área	Km ²	15.06	Muy Pequeña
Perímetro	Km	23.74	-
Altura Máxima	Msnm	1482	
Altura Mínima	Msnm	1040	
Diferencia de Alturas	M	442	
Coefficiente de Compacidad	Kc ²	1.71	Oval-oblonga a rectangular-oblonga
Razón de Elongación		0.43	
Factor de Forma		0.15	Rectangular alargada
De Relieve			
Coefficiente de Masividad	Km	86.52	Moderadamente Montañosa
Elevación Media	Msnm	1303	
Pendiente Promedio	%	20.35	Accidentado
Densidad de Drenaje	(Km/Km ²)	4.25	Alta
De la Red Hídrica			
Longitud del Cauce Principal	Km	10.17	Corto
Longitud de la Red Hídrica	Km	63.97	
Orden de la Red Hídrica		5	
Tiempo de Concentración	min	3.15	Rápido

Curva Hipsométrica: El análisis hipsométrico muestra una curva cóncava irregular, que indica que la microcuenca se encuentra en una fase de desequilibrio o etapa juvenil (Gráfica 5).

Atoyac es una cuenca con alta disponibilidad de agua, presenta una red hídrica con escurrimientos superficiales hasta de 5^o orden que se aprecia en el recuadro ubicado en la parte inferior derecha de la Figura 6. La red cubre 12.03 Km² de la zona de captación, 2.25 Km² de la zona de transporte y 0.79 Km² de la zona de emisión, representando el 80%, 15% y 5% de la microcuenca respectivamente (Gráfica 6). Sin embargo al realizar el corte para el núcleo agrario se encontró que solo 3.23 Km² de la zona de captación se encuentran en la zona de estudio, lo que es equivalente al 59% de la superficie de la microcuenca, dejando el 27% (1.49 Km²) para la zona de transporte y por último el 14% (0.79 Km²) de zona de emisión, que es propiamente el Río Atoyac, límite occidental de BCSMM.



Gráfica 5. Curva Hipsométrica de la Microcuenca Atoyac.



Gráfica 6. Superficie de las Zonas Hidrológicas Funcionales de la Microcuenca Atoyac. El tono oscuro de las barras muestra los datos para toda la microcuenca, el tono claro muestra los datos proporcionales que quedan dentro del territorio de BCSMM.

8.1.2.4. Microcuenca El Timbre

Se localiza en la porción centro-oeste, colindando con los límites norte, poniente y sur del núcleo agrario (Figura 7), por lo que es la microcuenca con la mayor superficie (47.47 Km²). Recibe este nombre, pues aquí se encuentra la comunidad denominada “El Timbre”. La pendiente promedio (16.98%) indica que es una microcuenca accidentada, lo cual se corrobora con el Coeficiente de Masividad de 25.28 km que indica un relieve muy montañoso (Cuadro 7).

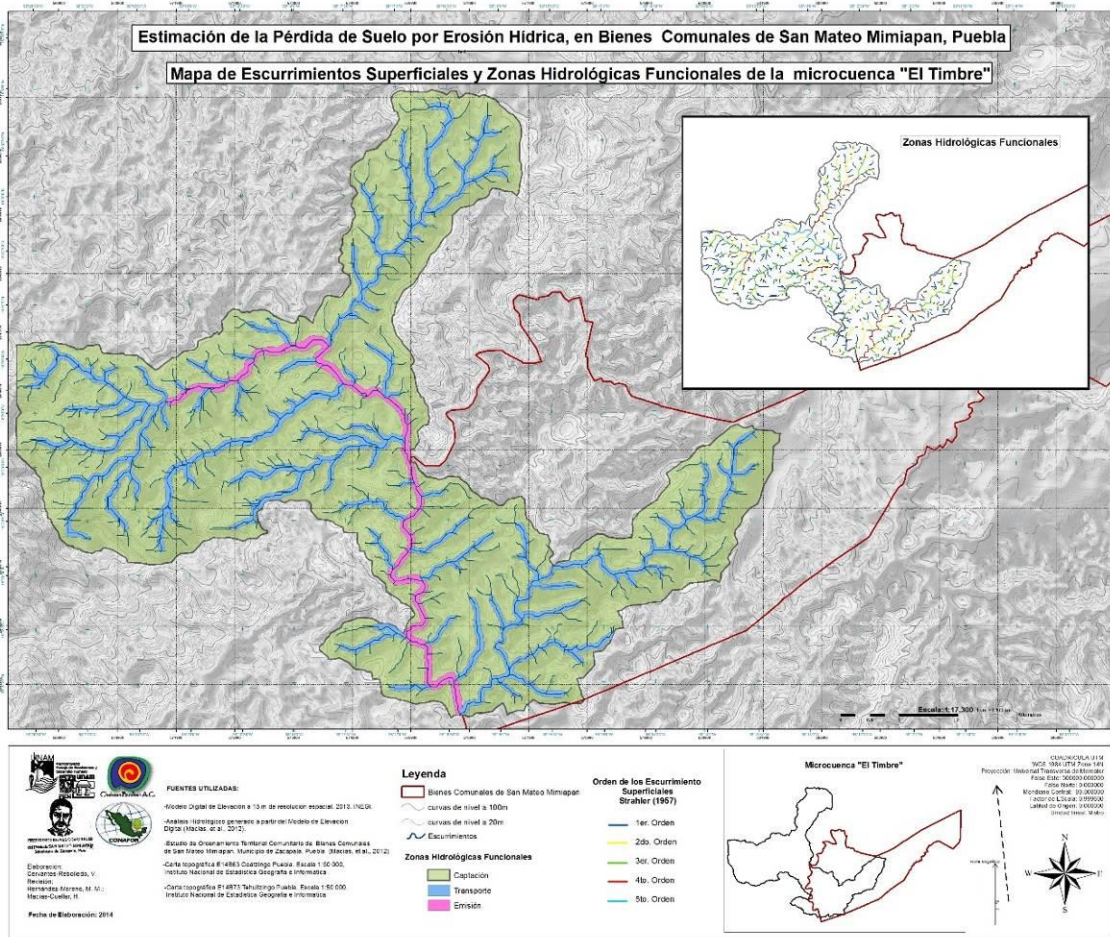


Figura 7. Mapa de las Zonas Hidrológicas Funcionales y Esguimientos Superficiales de la Microcuenca El Timbre.

De acuerdo con el Factor de Forma (0.16) es rectangular alargada (Cuadro 7), y presenta un coeficiente de compacidad alto (2.94 Kc²), lo que indica que es una microcuenca oval-oblonga a rectangular-oblonga (INE, 2004). La longitud de la red hídrica es de 203.63 Km,

con una longitud de cauce principal de 17.34 km, considerado largo; además presenta una densidad de una densidad de drenaje alta (4.29 km/km²) que indica que es una red bien estructurada, pero poco eficiente.

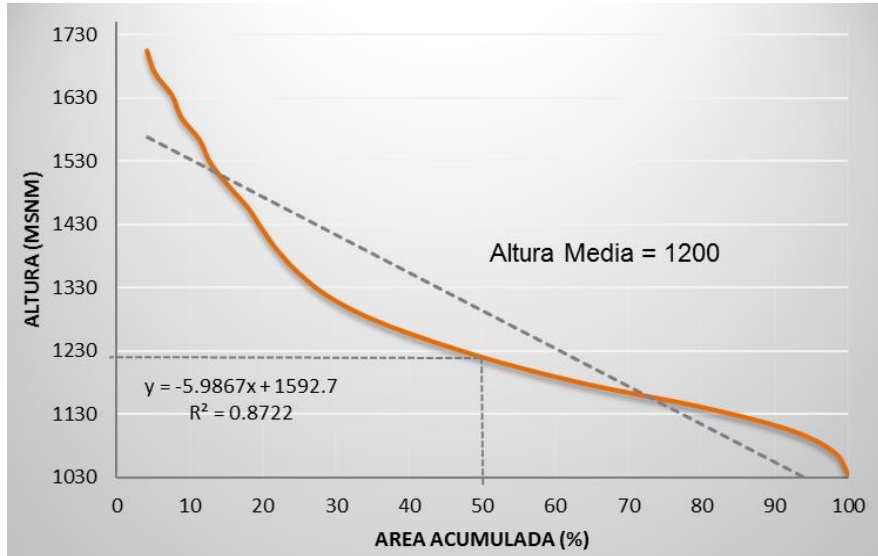
Cuadro 7. Características Morfométricas de la Microcuenca El Timbre.			
Parámetro	Unidad	Valor	Clasificación
Generales			
Área	Km ²	47.47	Pequeña
Perímetro	Km	72.32	-
Altura Máxima	msnm	1723	
Altura Mínima	msnm	1018	
Diferencia de Alturas	M	705	
Coefficiente de Compacidad	Kc ²	2.94	Oval-oblonga a rectangular-oblonga
Razón de Elongación		0.45	
Factor de Forma		0.16	Rectangular alargada
De Relieve			
Coefficiente de Masividad	Km	25.28	Muy Montañosa
Elevación Media	msnm	1200	
Pendiente Promedio	%	16.98	Accidentado
Densidad de Drenaje	(Km/Km ²)	4.29	Alta
De la Red Hídrica			
Longitud del Cauce Principal	Km	17.34	Largo
Longitud de la Red Hídrica	Km	203.63	
Orden de la Red Hídrica		5	
Tiempo de Concentración	min	5.58	Rápido

Curva hipsométrica: De acuerdo con el análisis realizado se obtuvo una curva convexa, que con base en la clasificación de Strahler (1952), corresponde a una microcuenca en etapa de equilibrio, y además es geológicamente madura, con tendencia hacia la fase de vejez.

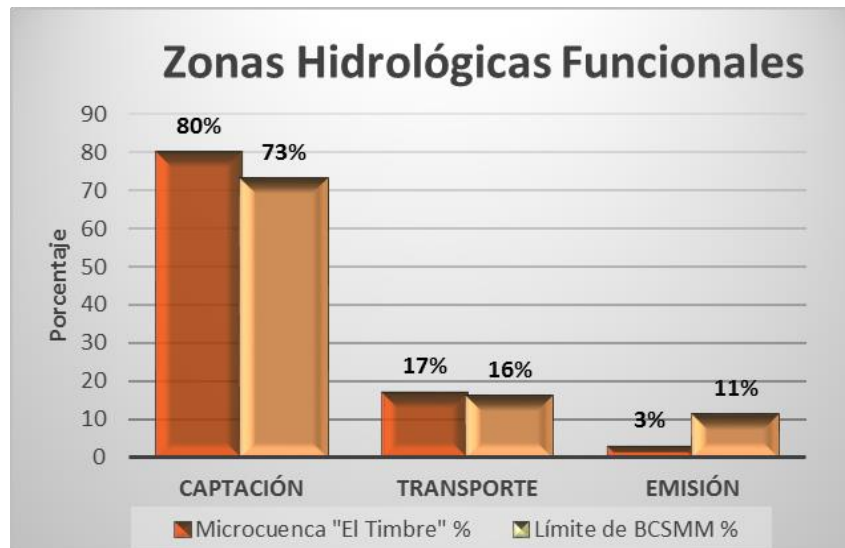
La elevación media se obtuvo a partir del 50% del área acumulada de la curva hipsométrica, dando como resultado 1200 msnm (Gráfica 7), con una diferencia de altitud entre el punto más alto de la microcuenca y la desembocadura del cauce principal, de 705 metros. Por lo que el tiempo que tarda en llegar el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, a la salida de la cuenca es rápido (5.58 minutos), considerando que el agua de escorrentía emplea más tiempo en llegar a la salida.

La red hídrica de El Timbre presenta escurrimientos superficiales hasta de 5º orden, (lo observamos en la Figura 7 que tiene la imagen de la red de escurrimientos en la esquina

superior derecha.), de los cuales, el 80% (37.87 Km²) constituyen la zona de captación, el 17% (7.95 Km²) la zona de transporte y el 3% (1.66 Km²) la zona de emisión. Dentro del territorio de BCSMM la zona de captación cubre 73% (11.11 Km²), la zona de transporte 16% (2.51 Km²) y la de emisión 11% (1.66 Km²) de (Gráfica 8).



Gráfica 7. Curva Hipsométrica de la Microcuenca El Timbre.



Gráfica 8. Superficie de las Zonas Hidrológicas Funcionales de la Microcuenca El Timbre. El tono oscuro de las barras muestra los datos para toda la microcuenca, el tono claro muestra los datos proporcionales que quedan dentro del territorio de correspondiente a BCSMM.

8.1.2.5. Microcuenca La Lobera

Se encuentra en la porción más sur del núcleo agrario y se considera pequeña de acuerdo con su superficie (25.25 km²). Es de forma rectangular alargada (Figura 8), y montañosa con relieve accidentado, pues presenta una pendiente promedio accidentada de 24.09%. Tiene un coeficiente de compacidad alto (2.55 Kc²) y una razón de elongación de 0.34 (Cuadro 8), por lo que también es considerada una microcuenca irregular.

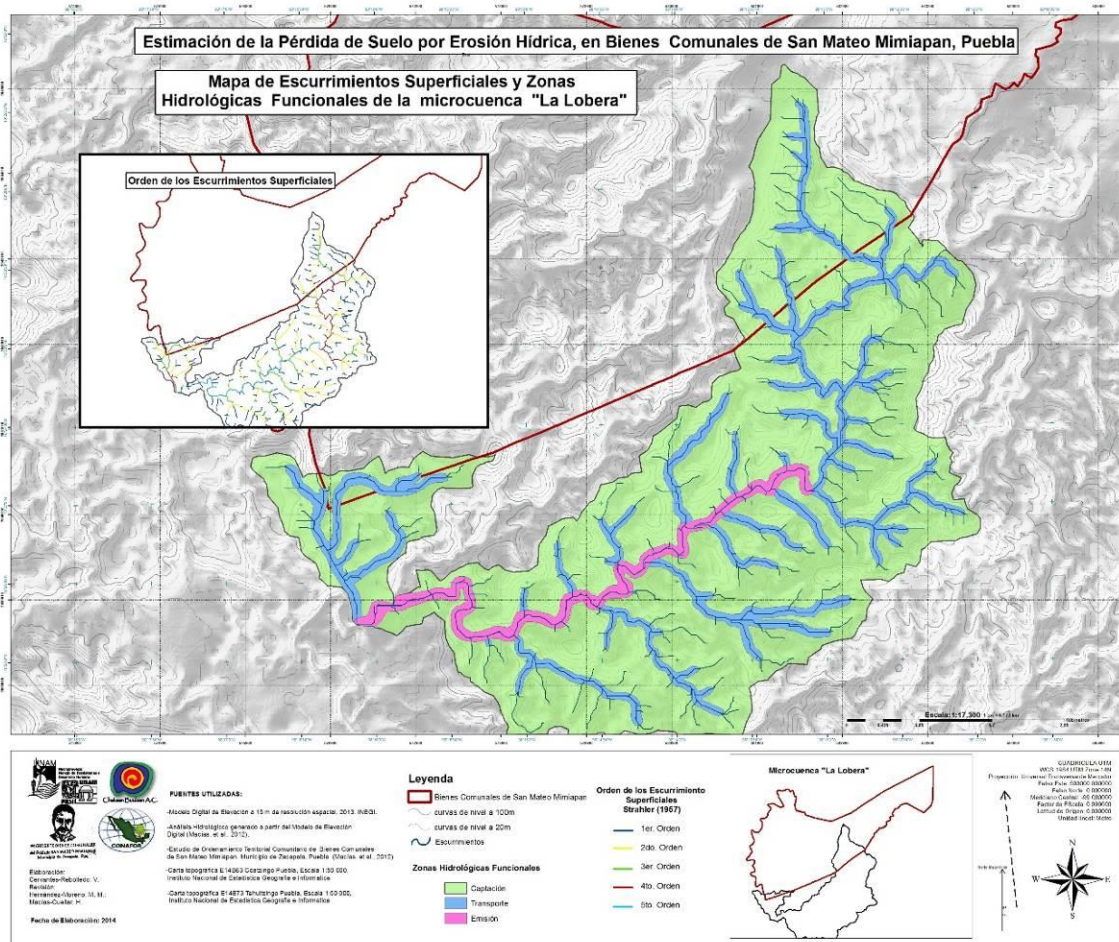


Figura 8. Mapa de Zonas Hidrológicas Funcionales y Esgurrimientos Superficiales de la Microcuenca La Lobera.

De acuerdo con los parámetros morfométricos La Lobera cuenta con una longitud de red hídrica de 105.09 km, de los cuales 16.8 km pertenecen al cauce principal, siendo este el más largo de todas las microcuencas estudiadas. Esta microcuenca, presenta una

pendiente accidentada de 24.09%, con un desnivel de 428 m; una densidad de drenaje de 4.16 Km/Km² y un tiempo de concentración de 8.94 min (Cuadro 8).

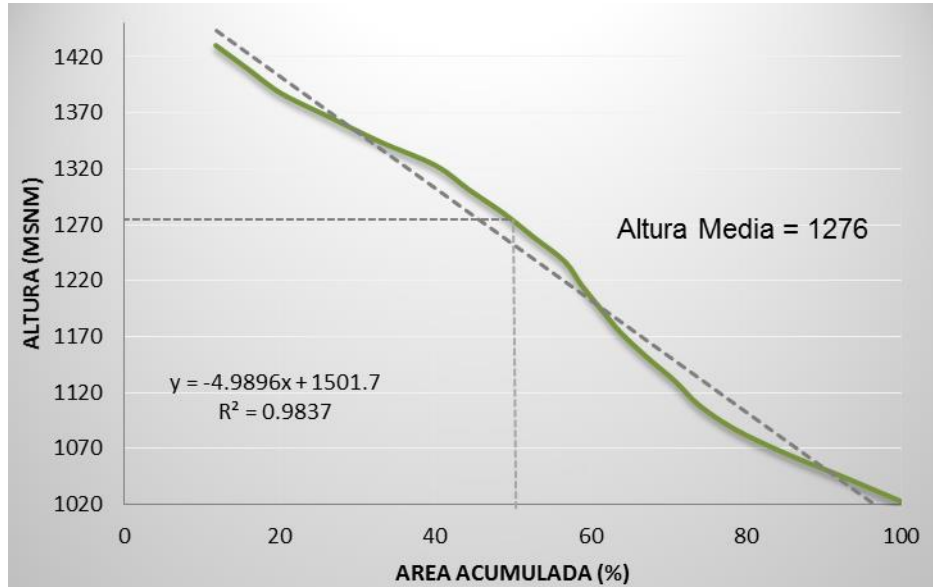
Cuadro 8. Características Morfométricas de la Microcuenca La Lobera.			
Parámetro	Unidad	Valor	Clasificación
Generales			
Área	Km ²	25.25	Pequeña
Perímetro	Km	45.79	-
Altura Máxima	msnm	1440	
Altura Mínima	msnm	1012	
Diferencia de Alturas	m	428	
Coefficiente de Compacidad	Kc ²	2.55	Oval-oblonga a rectangular-oblonga
Razón de Elongación		0.34	
Factor de Forma		0.09	Rectangular alargada
De Relieve			
Coefficiente de Masividad	Km	50.53	Montañosa
Elevación Media	msnm	1276	
Pendiente Promedio	%	24.09	Accidentado
Densidad de Drenaje	(Km/Km ²)	4.16	Alta
De la Red Hídrica			
Longitud del Cauce Principal	Km	16.8	Largo
Longitud de la Red Hídrica	Km	105.09	
Orden de la Red Hídrica		5	
Tiempo de Concentración	min	8.94	Rápido

Curva hipsométrica: la curva muestra que la microcuenca se encuentra en una fase de desequilibrio o etapa juvenil, con una ligera tendencia a la etapa de equilibrio o madura.

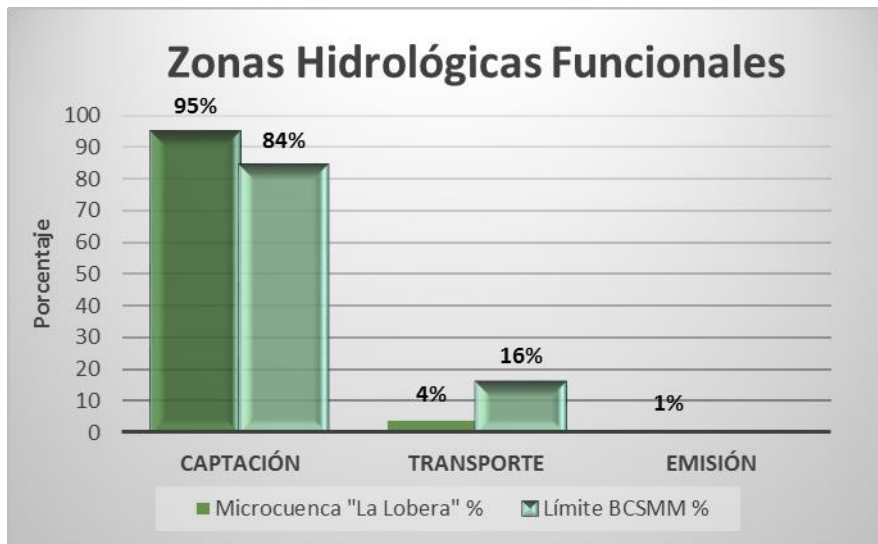
La elevación media se obtuvo a partir del 50% del área acumulada de la curva hipsométrica, dando como resultado 1276 msnm (Gráfica 9), con una diferencia de altitud entre el punto más alto de la microcuenca y la desembocadura del cauce principal, de 428 metros.

Presenta una red hídrica con escurrimientos superficiales de hasta 5^o orden, de los cuales el 95% (24.08 Km²) constituyen la zona de captación, el 4% (1.06 Km²) la zona de transporte y tan solo el 1% (0.11 Km²) la de zona de emisión.. Dentro del territorio de BCSMM se encontró que el 84% (2.98 Km²) de los escurrimientos son de la zona de

captación y el 16% (0.57 Km²) de la zona de transporte (Gráfica 10), quedando fuera de los límites del núcleo agrario, la zona de emisión (Figura 8).



Gráfica 9. Curva Hipsométrica de la Microcuenca La Lobera.



Gráfica 10. Superficie de las Zonas Hidrológicas Funcionales de la Microcuenca La Lobera. El tono oscuro de las barras muestra los datos para toda la microcuenca, el tono claro muestra los datos proporcionales que quedan dentro del territorio de BCSMM.

8.1.2.6. Microcuenca Agua Nanche

Se localiza en la parte centro-norte de BCSMM, es la única microcuenca que en su totalidad está dentro del área de estudio (Figura 9). Tiene una superficie de tan solo 5.05 Km²; de acuerdo con el Factor de Forma (0.21) es rectangular alargada y con base a su Coeficiente de Compacidad (Kc^2) de 1.60, es una microcuenca de forma circular (Cuadro 9). Esta microcuenca cuenta con una densidad de drenaje alta (4.16 km/km²) y un tiempo de concentración sorprendentemente rápido (1 minuto), presenta una pendiente promedio de 31.91%, con un terreno fuertemente accidentado (Cuadro 9).

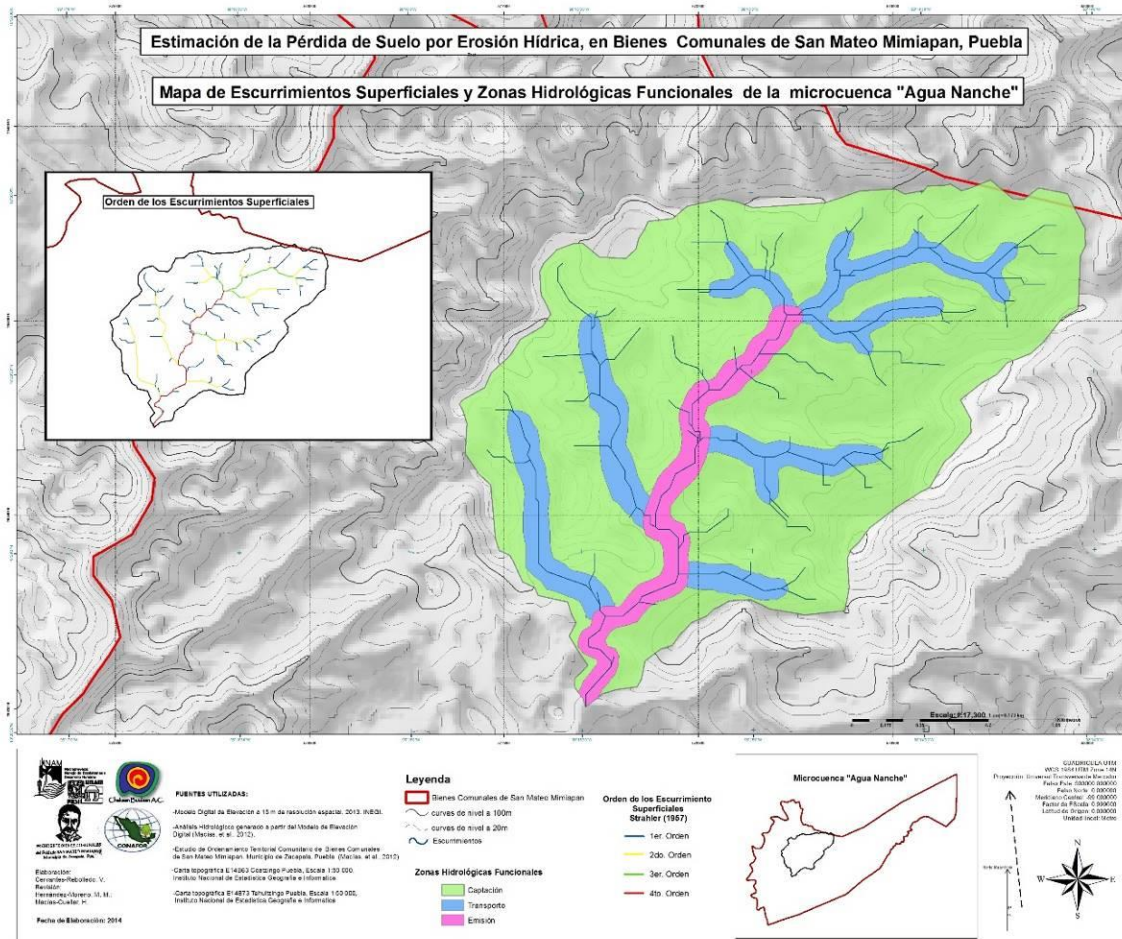


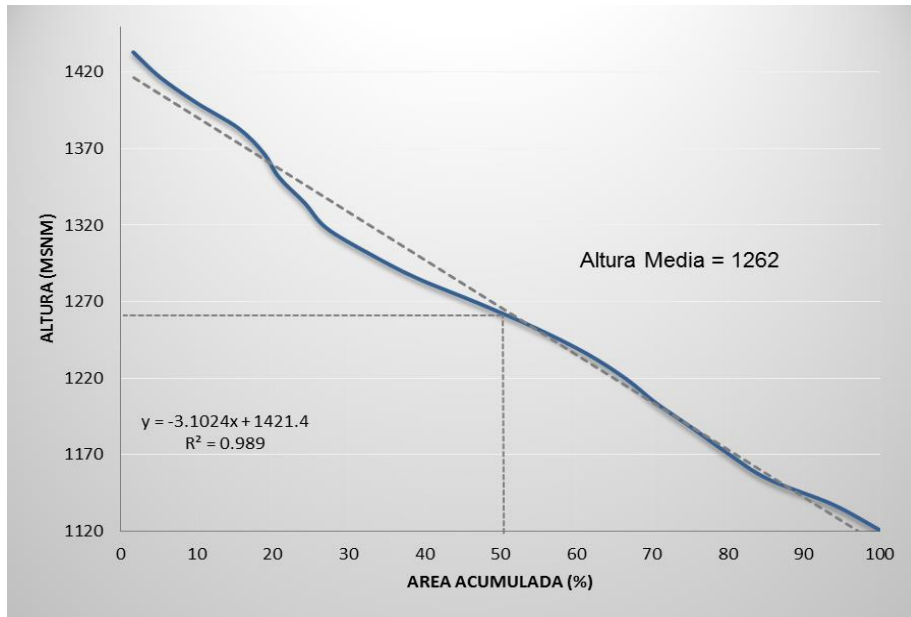
Figura 9. Mapa de Zonas Hidrológicas Funcionales y Escurrimientos Superficiales de la Microcuenca Agua Nanche.

Presenta una altura máxima de 1441 msnm, la cual correspondería al punto de captación de agua en la cuenca y una altura mínima de 1113 msnm, que se refiere a la desembocadura o punto de emisión, esto con una diferencia de altitud de 328 m. Cuenta con una longitud de la red hídrica de tan solo 20.98 km, de los cuales 4.91 km pertenecen al cauce principal, lo que significa que es de tamaño corto, influyendo también en el tiempo de concentración rápido que presenta esta microcuenca (Cuadro 9).

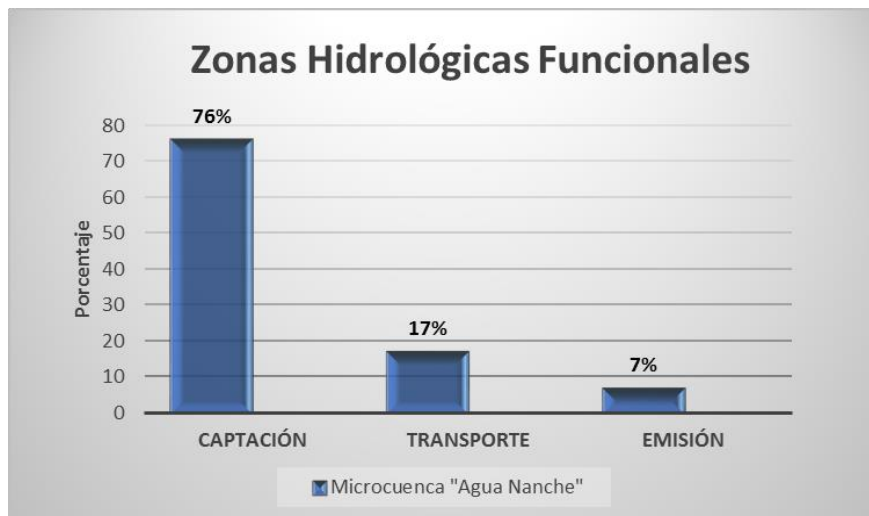
Cuadro 9. Características morfométricas de la microcuenca Agua Nanche.			
Parámetro	Unidad	Valor	Clasificación
Generales			
Área	Km ²	5.05	Muy Pequeña
Perímetro	Km	12.81	-
Altura Máxima	Msnm	1441	
Altura Mínima	Msnm	1113	
Diferencia de Alturas	M	328	
Coeficiente de Compacidad	Kc ²	1.60	Oval-oblonga a rectangular-oblonga
Razón de Elongación		0.52	
Factor de Forma		0.21	Rectangular alargada
De Relieve			
Coeficiente de Masividad	Km	250.05	*Escasamente Montañosa
Elevación Media	msnm	1262	
Pendiente Promedio	%	31.91	Fuertemente Accidentado
Densidad de Drenaje	(Km/Km ²)	4.16	Alta
De la Red Hídrica			
Longitud del Cauce Principal	Km	4.91	corto
Longitud de la Red Hídrica	Km	20.98	
Orden de la Red Hídrica		4	
Tiempo de Concentración	Min	1	Rápido

Curva hipsométrica: el análisis hipsométrico muestra una curva similar a la microcuenca La Lobera, en fase de desequilibrio o etapa juvenil, con tendencia a la fase de equilibrio o etapa madura (Grafica 11).

Como ya se mencionó, Agua Nanche es la única microcuenca que se encuentra en su totalidad dentro del territorio de Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan, presenta una red hídrica con escurrimientos superficiales hasta de 4º orden (Figura 10), de los cuales el 76% (3.82 Km²) conforman la zona de captación, el 17% (0.88 Km²) la de transporte y el 7% (0.35 Km²) la de emisión (Gráfica 12).



Gráfica 11. Curva Hipsométrica de la Microcuenca Agua Nanche.



Gráfica 12. Superficie de las Zonas Hidrológicas Funcionales de la Microcuenca Agua Nanche.

8.1.2.7. Microcuenca Ciruelo

La microcuenca El Ciruelo se encuentra ubicada al suroeste de Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan (Figura 10), es considerada muy pequeña con un área de 6.65 km². Es de forma rectangular alargada, lo que se comprueba con el coeficiente de compacidad muy alto de 2.30 Kc² y un factor de elongación de 0.39 (Cuadro 10).

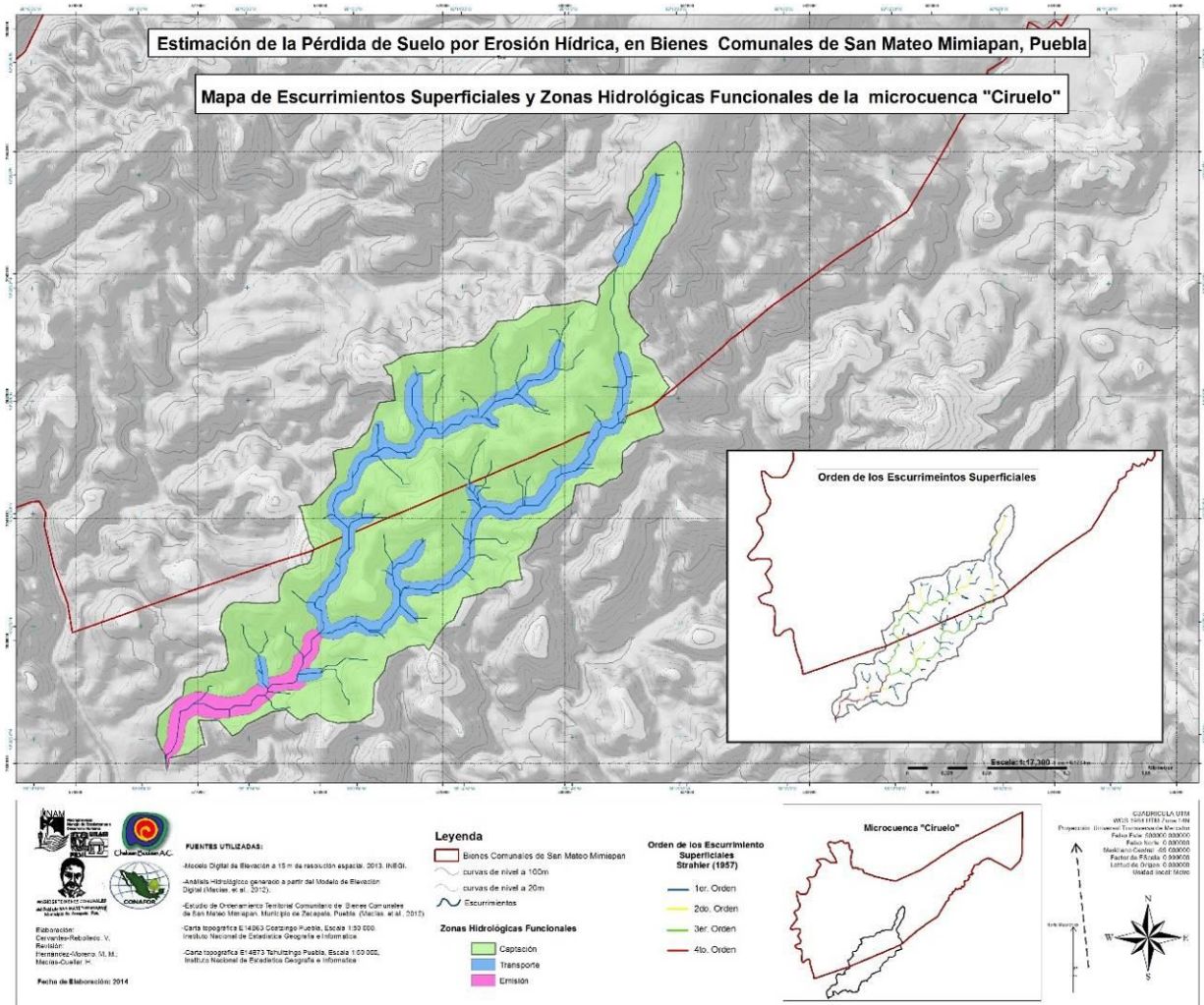
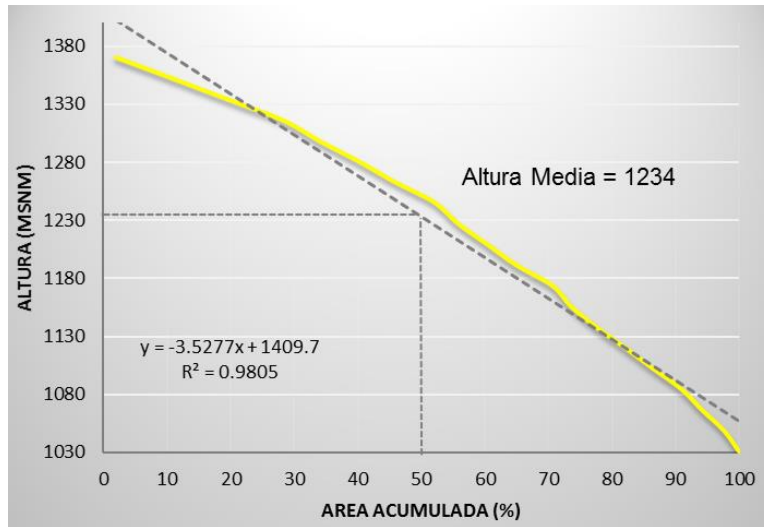


Figura 10. Mapa de Zonas Hidrológicas Funcionales y Escurrimientos Superficiales de la Microcuenca Ciruelo.

El coeficiente de masividad de esta microcuenca muestra que es escasamente montañosa, sin embargo presenta un terreno fuertemente accidentado, con una pendiente promedio de 29.91%, una alta densidad de drenaje (4.1 km/km²) y un tiempo de concentración de 2.13 minutos que pertenece a la categoría de rápido. La longitud de la red hídrica es de 27.24 km y el cauce principal mide 7.48, lo que significa que es de tamaño corto, pero como ya se mencionó con un tiempo de concentración rápido, relacionado con la densidad de drenaje, la pendiente promedio y el tamaño de la microcuenca.

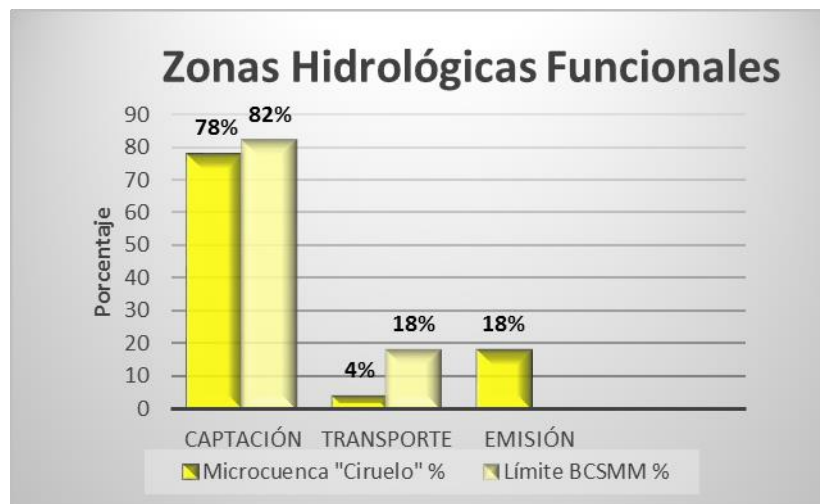
Cuadro 10. Características morfométricas de la microcuenca Ciruelo.			
Parámetro	Unidad	Valor	Clasificación
Generales			
Área	Km ²	6.65	Muy Pequeña
Perímetro	Km	21.21	-
Altura Máxima	msnm	1379	
Altura Mínima	msnm	1023	
Diferencia de Alturas	M	356	
Coeficiente de Compacidad	Kc ²	2.30	Oval-oblonga a rectangular-oblonga
Razón de Elongación		0.39	
Factor de Forma		0.12	Rectangular alargada
De Relieve			
Coeficiente de Masividad	Km	188.24	*Escasamente Montañosa
Elevación Media	Msnm	1234	
Pendiente Promedio	%	29.91	Fuertemente accidentado
Densidad de Drenaje	(Km/Km ²)	4.10	Alta
De la Red Hídrica			
Longitud del Cauce Principal	Km	7.48	Corto
Longitud de la Red Hídrica	Km	27.24	
Orden de la Red Hídrica		4	
Tiempo de Concentración	Min	2.13	Rápido

Curva hipsométrica: La microcuenca se encuentra en una fase de desequilibrio por lo que es considerada una cuenca joven. La curva hipsométrica (Gráfica 13) presenta concavidad hacia arriba, lo que indica que tiene valles extensos y cumbres escarpadas (Stralher, 1964).



Gráfica 13. Curva Hipsométrica de la Microcuenca Ciruelo.

Esta microcuenca presenta escurrimientos superficiales que conforman una red hídrica de 4º orden (Figura 11), de la cual el 78% (5.16 km²) conforma la zona de captación, 1.21 km² (4%) la zona de transporte y 0.28 km² (18%), la zona de emisión. De los escurrimientos superficiales que se localizaron dentro del área de estudio, el 82% (2.69 Km²) constituyen la zona de captación y el 18% (0.58 Km²) de la zona de transporte (Gráfica 14). Como se puede observar en la Figura 11, la zona de emisión queda fuera del límite del núcleo agrario.



Gráfica 14. Superficie de las Zonas Hidrológicas Funcionales de la Microcuenca El Ciruelo. El tono oscuro de las barras muestra los datos para toda la microcuenca, el tono claro muestra los datos proporcionales que quedan dentro del territorio de BCSMM.

8.2. FASE DE CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

8.2.1. Sistemas de caracterización climática de Köppen, modificado por García (1973)

De acuerdo con el análisis realizado a partir de los datos obtenidos de la estación meteorológica de San Juan Coatzingo del periodo de 1981-2010, y aplicando el sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por García (1973). Para la zona de estudio se obtuvo un clima tropical lluvioso dentro del grupo Aw, con un coeficiente de precipitación anual de 26.37mm, con un régimen de lluvias de verano, un porcentaje de lluvia invernal de 1.69% y una precipitación media anual de 590.7 mm. A continuación se presentan los datos de la estación meteorológica antes referida.

Nombre de la Estación: 00021230 SAN JUAN COATZINGO

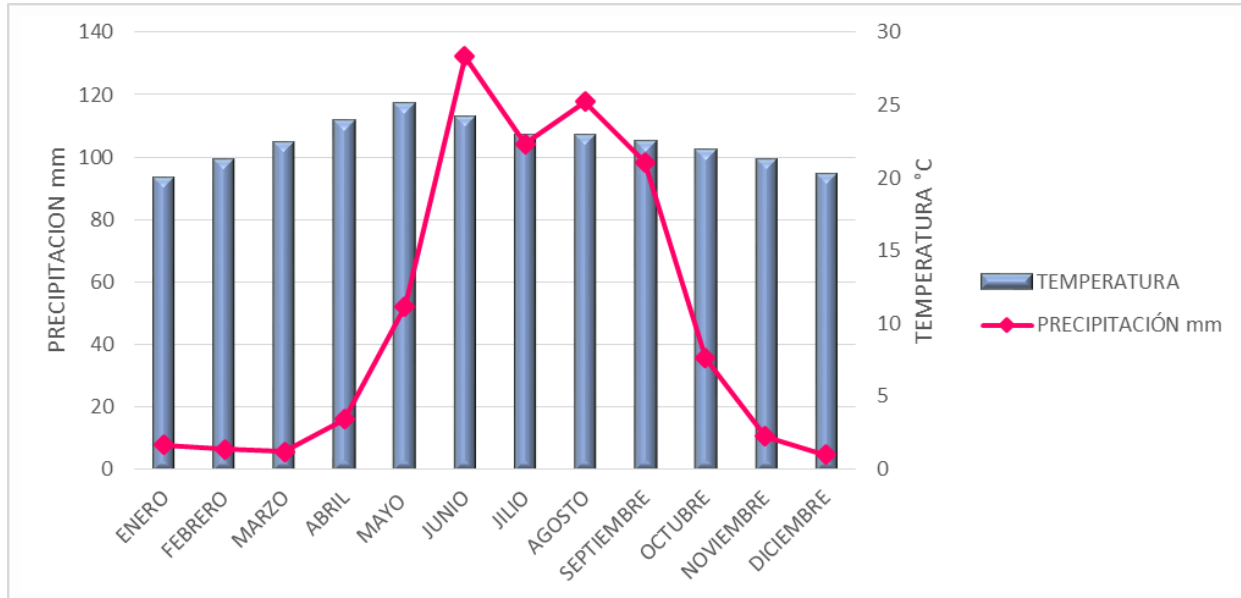
Latitud: 18°36'15" N.

Longitud: 98°10'15" W.

Altura: 1,178.0 msnm.

- 1) **Temperatura media Anual:** 22.4
- 2) **Temperatura del mes más frío y mes en que se presenta:** 5.5° C Enero
- 3) **Temperatura del mes más caliente y mes en que se presenta:** 36.9 °C Abril y Mayo
- 4) **Precipitación media anual:** 590.7 mm
- 5) **Precipitación del mes más seco y mes en que se presenta:** 4.6 mm Diciembre
- 6) **Precipitación del mes más lluviosa y mes en que se presenta:** 117.8 mm Agosto
- 7) **Porcentaje de lluvia Invernal:** 1.69%.
- 8) **Régimen de lluvias:** De verano
- 9) **Régimen calculado:** Húmedo
- 10) **Grupo:** Cálido Húmedo y Subhúmedo **A**; subgrupo: **Aw**
- 11) **Tipo Climático:** w
- 12) **Coeficiente de precipitación anual P/T:** 26.37mm
- 13) **Subtipo climático:** w0
- 14) **Variantes:** w''
- 15) **Clima:** Aw0

El diagrama Ombrotérmico (Gráfica 15) muestra la correspondencia de las temperaturas medias mensuales y las lluvias medias mensuales.

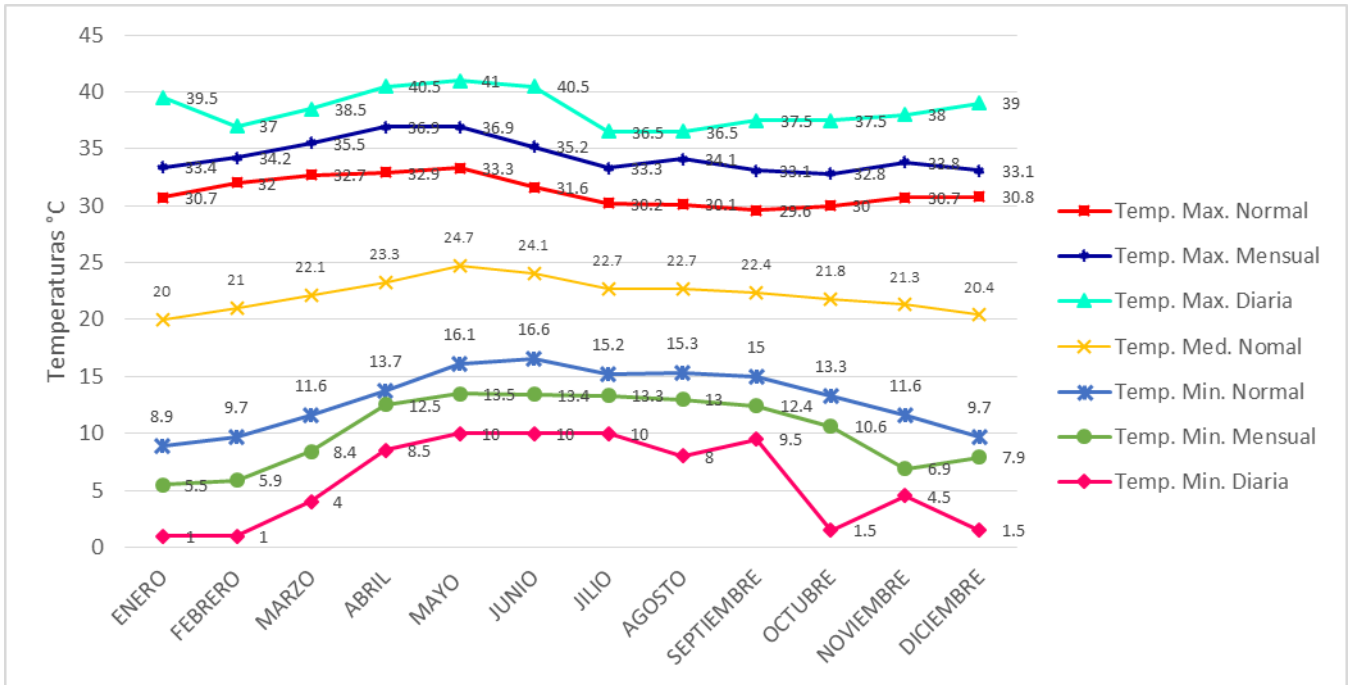


Gráfica 15. Diagrama Ombrotérmico de la Estación 00021230 San Juan Coatzingo.

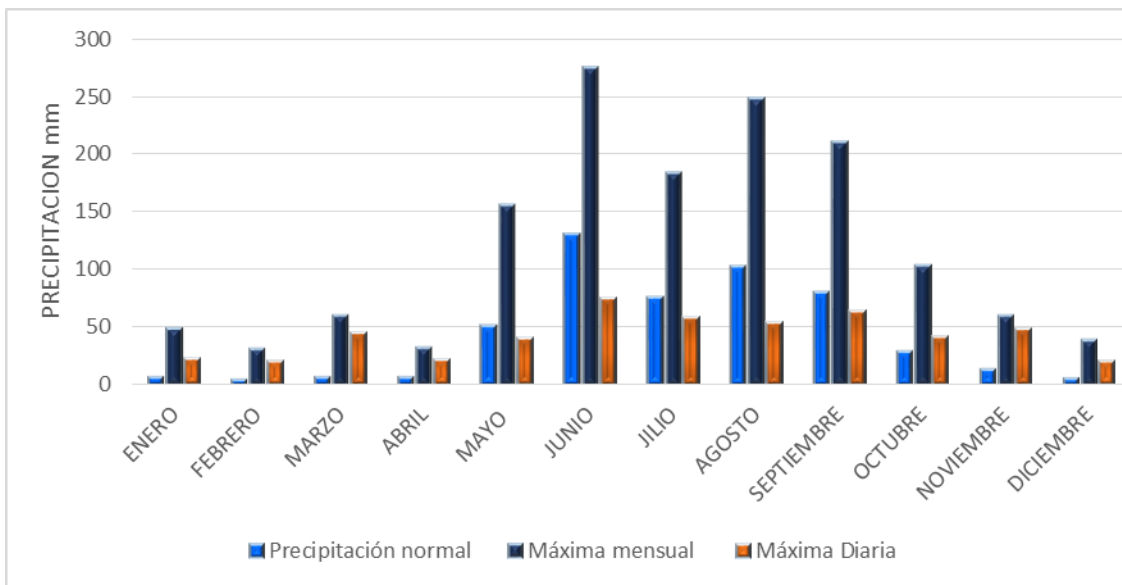
Al respecto se observa en la gráfica, que en el mes de junio, hay la mayor precipitación y una disminución de la temperatura, y en mayo es el mes cuando se obtiene mayor temperatura. Los meses de enero y diciembre son los más fríos, con la menor precipitación registrada en el año.

La Gráfica 16 muestra el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas normales, mensuales y diarias. Se observa que en los meses de enero, febrero y diciembre se registra la menor temperatura mínima diaria y temperatura mínima mensual, que es de 1°C. Por otra parte, se observa que los meses de abril y junio presentan la mayor temperatura máxima diaria (40.5°C). Sin embargo, abril y mayo tienen una temperatura máxima mensual de 36.9°C.

“Estimación de Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica, en Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan, Puebla”

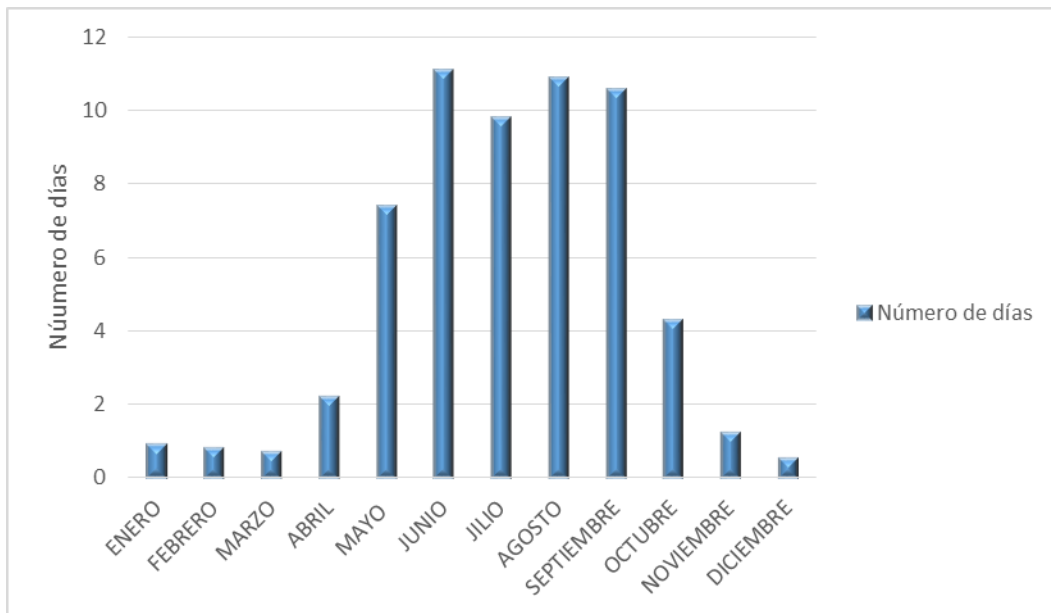


Gráfica 16. Temperaturas de la Estación 00021230 San Juan Coatzingo.



Gráfica 17. Precipitación de la Estación 00021230 San Juan Coatzingo 1981-2010.

La Gráfica 17 muestra los valores de precipitación, siendo junio el mes con los valores más altos, con una precipitación normal de 132.3 mm, seguido de agosto, con 117.8 mm y julio con 104.2 mm. El mismo patrón se observa con los valores máximos mensuales y la precipitación máxima diaria, que se puede apreciar en la gráfica a partir del número de días con lluvia (Gráfica 18). Por tanto, el periodo de lluvias va de mayo a septiembre; siendo diciembre el mes en que menos llueve con un nivel de precipitación de 4.6 mm.



Gráfica 18. Número de días con lluvia de la estación 00021230 San Juan Coatzingo.

Finalmente, la Gráfica 18 confirma que el periodo de lluvias es de mayo a septiembre.

8.3. ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO

8.3.1. Factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE)

Debido a la escasez de datos para evaluar rigurosamente cada uno de los coeficientes considerados en la RUSLE, se emplearon métodos alternos recomendados por Figueroa *et al.*, 1991; Simms *et al.* 2003, para obtener el factor de erosividad de la lluvia (factor R) y la estimación del factor topográfico (factor LS), con métodos derivados a partir de un modelo digital de elevación.

Los factores K (erodabilidad del suelo), LS (longitud y ángulo de la pendiente), y C (cobertura del suelo), que integran la RUSLE y que se obtuvieron para Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan, se presentan en la Figura 11.

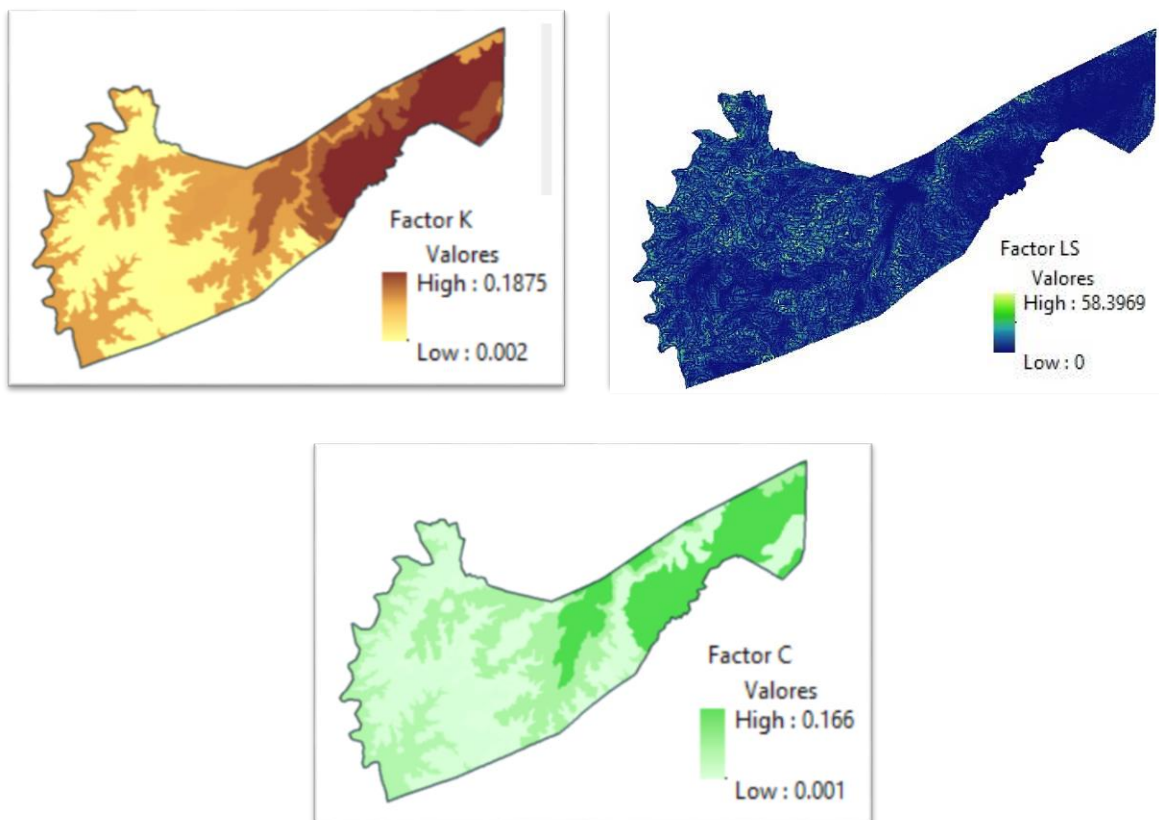


Figura 11. Capas raster generadas para los Factores K, LS y C que integran la RUSLE.

El valor del factor R (erosividad de la lluvia) fue de 5250 (MJ mm) (ha h). Este valor se tomó como una constante, debido a que la zona de estudio presenta un clima homogéneo, tomando con base el mapa de isoerosividad desarrollado por Cortes (1991) y la tabla de “Grupo climático, con valores de los factores Erosividad de la lluvia (R) y Climático local (C’), a nivel municipal para la República Mexicana”, presentado por Figueroa *et al.* (1991).

Cuadro 11. Valores de Erosionabilidad del suelo (K) estimados en función de la textura y el contenido de materia orgánica reportados por Morgan (1985).				
Geoforma	Clase Textural	Materia Orgánica (%)	Categoría	K
Planicie	Franco arenoso	9.3	Rico	0.019
Mesa	Franco areno-arcilloso	8.29	Rico	0.024
Mesa	Franco arenoso	3.72	Moderadamente Rico	0.019
Mesa	Franco areno-arcilloso	5.7	Rico	0.024
Mesa	Franco areno-arcilloso	9.98	Rico	0.024
Mesa	Franco arcillo arenoso	3.39	Moderadamente Rico	0.026
Ladera Recta	Franco arenoso	3.39	Moderadamente Rico	0.019
Ladera Recta	Arenoso	2.77	Moderadamente Rico	0.003
Lomerío	Arenoso	3.57	Moderadamente Rico	0.002
Ladera Inclínada	Arenoso	2.16	Medio	0.003
Ladera Inclínada	Arenoso	2.6	Moderadamente Rico	0.003
Elevación aislada	Franco arenoso	4.2	Moderadamente Rico	0.019
Elevación aislada	Franco arenoso	2.23	Medio	0.024
Ladera Recta	Arenoso	1.9	Medio	0.003
Barranca	Arena francosa	2.7	Moderadamente Rico	0.01
Lomeríos	Arena francosa	1.1	Modrandamente Pobre	0.01
Ladera Inclínada	Arena francosa	4.4	Moderadamente Rico	0.008
Ladera Recta	Franco arenoso	5.3	Rico	0.019
Ladera Inclínada	Franco arenoso	2.5	Moderadamente Rico	0.024
Lomeríos	Franco arcilloso	0.7	Pobre	0.025
Lomeríos	Franco arcillo arenoso	5.9	Rico	0.021

Por su lado el factor K (erodabilidad del suelo), se refiere a la susceptibilidad que tiene el suelo para ser desprendido por el agente erosivo. En este caso, se refiere a la escorrentía superficial. En la figura 11 se muestran los resultados del factor K, donde la distribución

espacial no sigue un patrón específico, pero sí una relación espacial con la unidad edafológica, con la clase textural y el contenido de la materia orgánica (Cuadro 11). En el caso del factor LS (longitud y ángulo de la pendiente), los valores (adimensionales) obtenidos fueron de 0 a 58.3969. Para el factor C, los resultados obtenidos van de, 0.001 a 0.166 (Figura 18).

En el caso del factor P (prácticas de manejo) se obtuvo un valor de 1 para toda la zona, por lo que se consideró como una constante, al igual que el factor R (erosividad de la lluvia).

8.3.2. ANÁLISIS DE LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO

La distribución espacial de la erosión hídrica del suelo se muestra en la Figura 12. Se observa que el 49% de la zona presenta niveles bajos de pérdida del suelo, lo que significa que se pueden perder de 0 a 10 ton/ha/año (Gráfica 19).

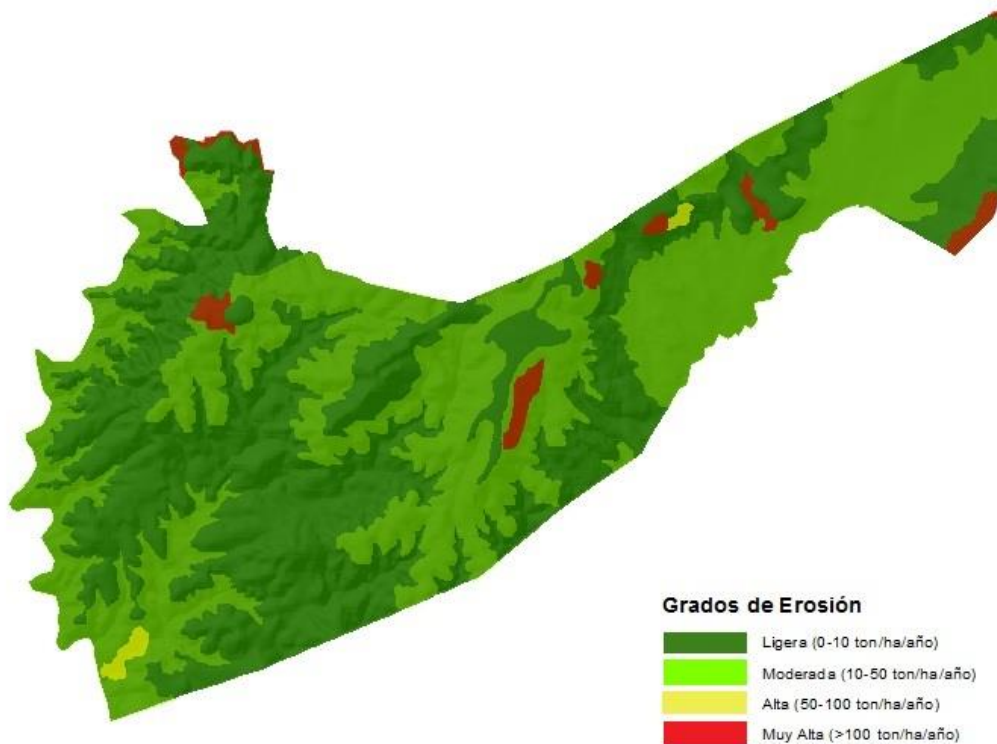
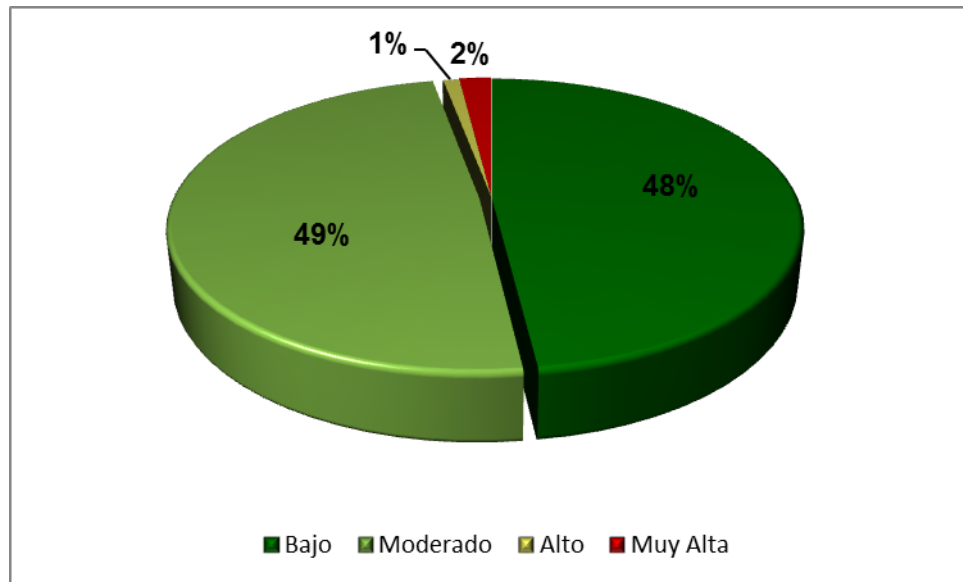


Figura 12. Distribución espacial de la Erosión Hídrica en el territorio de Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan, Puebla.

Por su parte, se observa en la Gráfica 19 que el 48% de la zona presenta una pérdida de suelo moderada (10-50 ton/ha/año), del cual el 1% corresponde a pérdidas superiores a las 100 ton/ha/año de suelo y el 2% del territorio se pierden de 50 a 100 ton/ha/año, lo que implica que presenta una erosión hídrica muy alta.



Gráfica 19. Superficie del territorio de BCSMM afectada por los diferentes niveles erosión hídrica del suelo.

8.4. EROSIÓN POTENCIAL DEL SUELO EN LAS ZONAS HIDROLÓGICAS FUNCIONALES DE LAS MICROCUENCAS

8.4.1. Análisis de pérdida de suelo de las microcuencas por Zona Hidrológica Funcional.

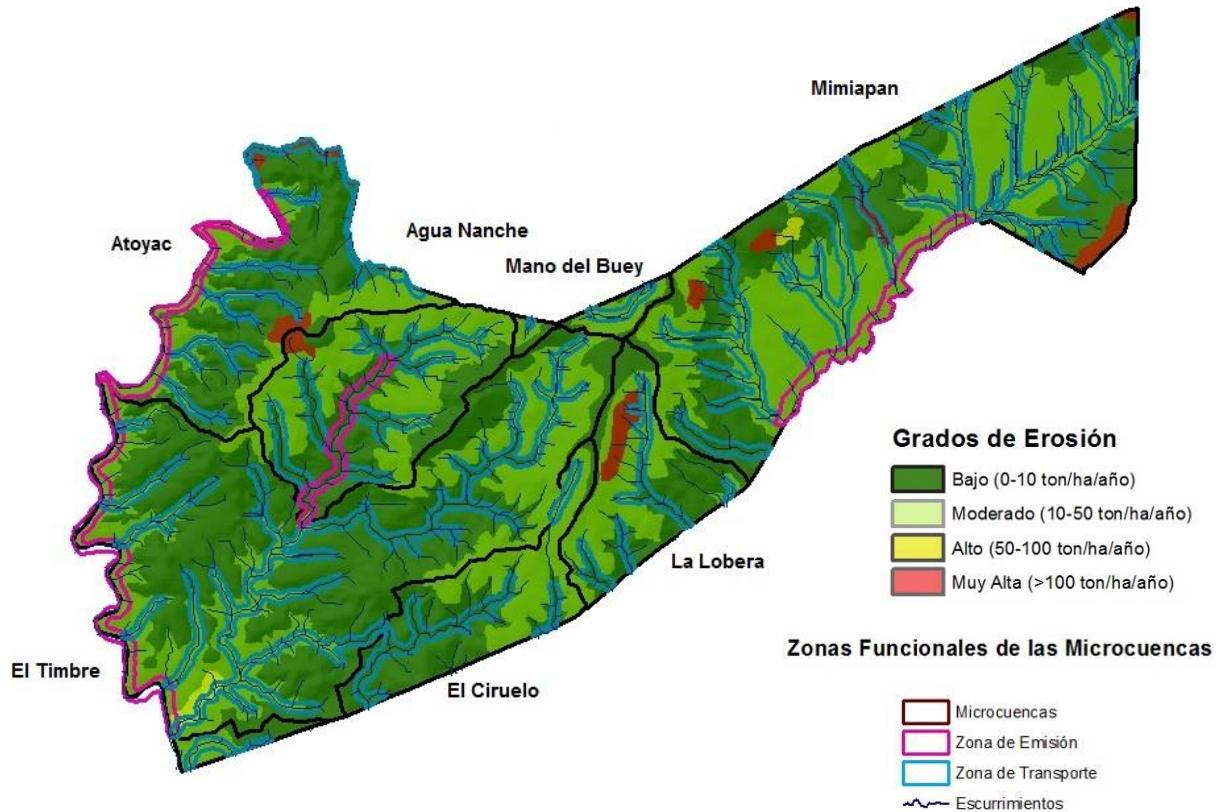


Figura 13. Erosión Hídrica en las Zonas Hidrológicas Funcionales de las Microcuencas de Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan.

Del análisis realizado, obtuvimos que el área de captación es la más extensa, abarcando aproximadamente el 59.76% del área total de Bienes Comunales, mientras que la zona de emisión corresponden al 16.4%. En estas zonas se tiene un nivel de erosión bajo (Figura 13).

8.4.1.1. Análisis de Pérdida de Suelo en la Microcuenca Mimiapan.

El 41% de esta microcuenca funciona como zona de captación, y es la zona en donde se registró la mayor pérdida de suelo, Sin embargo, dado que cuenta con un sector que presenta un relieve montañoso y una pendiente accidentada, su fragilidad es elevada.

Cuadro 12. Superficie en hectáreas de cada Superficie en hectáreas de cada zona funcional de la Microcuenca Mimiapan, afectada por erosión, afectada por erosión.

Zona Funcional	Clases de erosión			
	Ligera (0-10 ton/ha/año)	Moderada (10-50 ton/ha/año)	Alta (50-100 ton/ha/año)	Muy Alta (>100 ton/ha/año)
Captación	158.94	42.21	18.49	23.49
Transporte	49.41	15.93	6.54	9.99
Emisión	6.48	2.35	1.55	1.53

8.4.1.2. Análisis de Pérdida de Suelo en la Microcuenca Mano del Buey.

Debido a que el área de esta cuenca es limítrofe, el análisis de afectación de las zonas funcionales por erosión no fue viable. Por tanto, no se incluyó en el análisis.

8.4.1.3. Análisis de Pérdida de Suelo en la Microcuenca Atoyac.

El 59% de esta microcuenca es la zona de captación que está afectada principalmente por una erosión ligera. Esta área cuenta con una pendiente muy pronunciada y un relieve accidentado. Por su parte, sus laderas y caminos al i tienen una pendiente muy pronunciada.

Cuadro 14. Superficie en hectáreas de cada zona funcional de la Microcuenca Atoyac, afectada por erosión.

Zona Funcional	Pérdida de Suelo			
	Ligera (0-10 ton/ha/año)	Moderada (10-50 ton/ha/año)	Alta (50-100 ton/ha/año)	Muy Alta (>100 ton/ha/año)
Captación	90.61	13.25	4.83	2.35
Transporte	10.24	4.29	1.63	1.51
Emisión	2.31	3.38	1.90	1.11

8.4.1.4. Análisis de Pérdida de Suelo en la Microcuenca El Timbre.

Como se muestra en el cuadro 15, el proceso de erosión hídrica es mayor en la zona de captación y va disminuyendo hacia la zona de emisión.

Cuadro 15. Superficie en hectáreas de cada zona funcional de la Microcuenca El Timbre, afectada por erosión.

Zona Funcional	Pérdida de Suelo			
	Ligera (0-10 ton/ha/año)	Moderada (10-50 ton/ha/año)	Alta (50-100 ton/ha/año)	Muy Alta (>100 ton/ha/año)
Captación	249.20	40.93	10.07	5.51
Transporte	38.45	17.67	4.50	2.46
Emisión	5.47	5.68	2.06	0.99

8.4.1.5. Análisis de Pérdida de Suelo en la Microcuenca La Lobera.

La zona de captación se encuentra con la mayor pérdida de suelo, con una erosión ligera.

Cuadro 16. Superficie en hectáreas de cada zona funcional de la Microcuenca La Lobera, afectada por erosión.

Zona Funcional	Pérdida de Suelo			
	Ligera (0-10 ton/ha/año)	Moderada (10-50 ton/ha/año)	Alta (50-100 ton/ha/año)	Muy Alta (>100 ton/ha/año)
Captación	51.89	14.28	3.63	4.19
Transporte	8.61	3.67	1.03	0.91

8.4.1.6. Análisis de Pérdida de Suelo en la Microcuenca Agua Nanche.

La zona de captación presenta un relieve accidentado con una erosión ligera. En la porción noroeste, en colindancia con la microcuenca Atoyac, los niveles de pérdida de suelo pueden ser muy altos debido a que presenta una densidad de drenaje alta.

Cuadro 17. Superficie en hectáreas de cada zona funcional de la Microcuenca Agua Nanche, afectada por erosión.

Zona Funcional	Pérdida de Suelo			
	Ligera (0-10 ton/ha/año)	Moderada (10-50 ton/ha/año)	Alta (50-100 ton/ha/año)	Muy Alta (>100 ton/ha/año)
Captación	67.90	22.87		
Transporte	18.93	2.23	0.60	0.62
Emisión	8.69	0.06		

8.4.1.7. Análisis de Pérdida de Suelo en la Microcuenca Ciruelo.

En esta microcuenca, solamente se encuentran las zonas de captación y transporte dentro de BCSMM, presentando principalmente erosión ligera en la zona de captación, sin embargo también ciertas zonas podrían presentar erosión alta y muy alta en ambas zonas funcionales.

Cuadro 18. Superficie en hectáreas de cada zona funcional de la Microcuenca Ciruelo, afectada por erosión, afectada por erosión.

Zona Funcional	Pérdida de Suelo			
	Ligera (0-10 ton/ha/año)	Moderada (10-50 ton/ha/año)	Alta (50-100 ton/ha/año)	Muy Alta (>100 ton/ha/año)
Captación	54.22	11.08	1.34	0.25
Transporte	13.39	0.85	0.54	0.06

9. DISCUSIÓN

La construcción del SIG comunitario para Bienes Comunes de San Mateo Mimiapan, brinda una plataforma para el mapeo y actualización del uso y aprovechamiento de sus recursos naturales; la información que contiene permitió analizar la relación espacial entre la erosión hídrica y las zonas funcionales de las microcuencas, por medio de la superposición de información geográficamente referenciada. De esta manera se facilitó la evaluación de la interacción espacial entre las capas de información de la erosión hídrica, y se pudo realizar el análisis enfocado a las zonas funcionales de las microcuencas. Se confirmó lo que Jaramillo (2015) menciona, respecto a que la simulación del proceso de erosión, mediante el uso de algoritmos matemáticos y ajustando dichos modelos con datos tomados en campo y mediciones de laboratorio, son una herramienta idónea para el análisis de la erosión a nivel de cuencas y subcuencas.

9.1 CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS MICROCUENCAS

La delimitación de las microcuencas se realizó para analizar el proceso de erosión hídrica en BCSMM, considerando que los parámetros físicos o morfológicos reflejan la dinámica del agua y por tanto de dicho proceso; se fundamentó en los componentes de las cuencas, en su forma y en su respuesta a la precipitación. Es decir, la dinámica hídrica responde a las características fisiográficas de la cuenca, que se interpretan a partir de ciertos parámetros o constantes que se obtienen del procesamiento de la información cartográfica y el conocimiento de las variaciones de la topografía de la zona de estudio (Martínez y Navarro, 1996).

Los resultados obtenidos en el análisis de parámetros morfométricos indican que todas las microcuencas delimitadas en BCSMM tienen una forma rectangular alargada. De acuerdo con Guilarte (1978), la forma de la cuenca se relaciona con la tasa a la cual se suministra el agua al cauce principal, desde su nacimiento, hasta su desembocadura. Además, siguiendo el mismo criterio, Ward y Robinson en el 2000, mencionan que las cuencas más alargadas tienden a tener una respuesta más difusa.

Lo anterior implica que las microcuencas de la región tienen un tiempo de concentración lento. De acuerdo a los resultados obtenidos, la forma se considera como una característica morfométrica, cuyo concepto es complejo, en la cual, la estructura interna,

la pendiente y el relieve se relaciona y modifican el comportamiento hidrológico de las cuencas. Por esta razón es difícil caracterizar satisfactoriamente la forma de una cuenca mediante un simple valor numérico (Esquivel *et al.*, 2015).

Por otra parte, todas las microcuencas presentan valores altos de densidad de drenaje, esto indica una mayor estructuración de la red fluvial, lo que ocasiona un mayor potencial de erosión. Debido a que la densidad de drenaje varía inversamente con la extensión de la cuenca, la red de drenaje toma sus características, influenciada por la precipitación y la topografía. Por esto, para un valor alto de densidad de drenaje corresponden grandes volúmenes de escurrimiento, al igual que mayores velocidades de desplazamiento de las aguas, lo que producirá ascensos de las corrientes (Fuentes, 2004)

El análisis hipsométrico indica que cinco de las microcuencas se encuentran en fase de desequilibrio y son consideradas jóvenes, por lo que predomina la producción de escurrimientos y sedimentos; por ello se considera que los ríos que se forman son jóvenes. Que de acuerdo con lo anterior, estas microcuencas tienen un gran potencial erosivo. En contraste, la microcuenca Mimiapan se encuentra en una fase intermedia entre la de equilibrio y la de desequilibrio, por lo que predomina el transporte de sedimentos. Por su parte, la microcuenca El Timbre es la única que se encuentra en una fase de equilibrio o también llamada fase de madurez. Tiene ríos en etapa de vejez que se caracterizan por la deposición de sedimentos, lo cual es un comportamiento típico de una cuenca sedimentaria que, y, de acuerdo con lo mencionado por Campos (1992) y Fuentes (2004), está en estado de equilibrio, lo que implica un bajo potencial erosivo.

9.2 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE KÖPPEN, MODIFICADO POR GARCÍA (1973).

El clima influye directamente en los fenómenos meteorológicos como la temperatura del aire, la presión atmosférica o peso del aire, los vientos y la humedad, que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto de la superficie terrestre. Para BCSMM se obtuvo un clima tropical lluvioso, con un régimen de lluvias de verano, siendo los meses de junio y agosto los que mayor precipitación presentan.

Para estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica, es importante considerar, además de la distribución a lo largo del año y la cantidad e intensidad de la precipitación, otras

condiciones que inciden sobre el clima como son: la latitud, la altitud, la distancia al mar y los vientos regidos por las perturbaciones atmosféricas. Dado que la precipitación, los vientos y la vegetación son factores que se analizan en la medición de la erosión, es importante considerar que esta última, también modifica al clima (INEGI, 2015), pues al ser escasa, se incrementa la temperatura ambiental y del suelo, favoreciendo el aumento de la evapotranspiración

9.3. ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO

Del análisis de la distribución espacial de la erosión hídrica se encontró, que la zona oeste del núcleo agrario es en la que predomina la erosión ligera, pues encontramos suelos de textura arenosa y franco-arenosa, que permiten que el agua se infiltre rápidamente, disminuyendo la erodabilidad del suelo. Sin embargo, las partículas de arena tienen una función casi insignificante en la dinámica física y química del suelo (Aguilera, 1989); por lo que la cobertura del suelo (factor C) y el contenido de materia orgánica, son los que están evitando que la tasa de erosión sea mayor.

En contraste, en los suelos de textura franco areno-arcilloso que se encuentran en las zonas de planicie, presentan una erosión moderada, debido a que el contenido de arcilla disminuye la velocidad del movimiento de agua a través del suelo y le confiere una mayor capacidad de retención de nutrientes, lo que evita su pérdida por lixiviación (Aguilera, 1989), y una menor susceptibilidad a degradarse. Por otra parte, en las zonas de ladera recta, ladera inclinada, lomeríos y barrancas la textura de los suelos es predominantemente arenosa, con pendiente alta; sin embargo, en zonas donde la pendiente es menor, existe mayor densidad de la cobertura vegetal y erosión moderada en donde los valores de longitud y ángulo de la pendiente son los más bajos de BCSMM.

De acuerdo con el análisis realizado también existen zonas donde la erosión puede ser apreciable a simple vista. Son sitios en los que la cobertura vegetal es mínima, y se encuentra poco estructurada, lo que provoca una menor tasa de infiltración del agua a través del suelo, y un aumento de la velocidad de escorrentía. por una disminución de la fricción entre el escurrimiento y la superficie del suelo.. En ese sentido, de acuerdo con Buenfil (2009), “cuando la vegetación es escasa, tiene menor capacidad para retener tanto el suelo como el agua, aumentando la posibilidad de que se erosione”.

Es importante mencionar que los valores obtenidos por medio del modelo RUSLE pudieron haber resultado muy elevados, ya que es un modelo de erosión que no considera los depósitos de los materiales removidos, ni modela el transporte de sedimentos a través de la red de fluvial, ni la erosión producida a lo largo de ésta. Por ello, “los valores obtenidos sólo se pueden entender después de analizar la interacción entre los factores” (Jaramillo, 2015).

9.4. EROSIÓN POTENCIAL DEL SUELO EN LAS ZONAS HIDROLÓGICAS FUNCIONALES DE LAS MICROCUENCAS

Del análisis de erosión hídrica se encontró que la zona de captación es en donde la erosión hídrica impacta en mayor medida, aunque en un grado ligero a moderado, ya que en estas zonas altas, que coronan la parte superior de la cuenca, encontramos laderas montañosas y lomeríos, que corresponden a las áreas transicionales entre las corrientes de primer y segundo orden (Strahler, 1964). Es esta zona la que presenta la mayor energía del relieve, pendiente y es altimétricamente la más elevada. Particularmente, las zonas de captación de las microcuencas Atoyac, El Ciruelo y la parte sur de Agua Nanche y El Timbre, son menos susceptibles a ser erosionados ya que presentan un nivel bajo de erodabilidad (factor K). Esta zona es donde los cursos de agua son los proveedores del vital líquido para las actividades humanas, por lo que no está de más decir que la función de zona de captación, es vital para el funcionamiento de toda la cuenca.

La zona de transporte presenta escurrimientos que integran una red de drenaje mayormente estructurada, y de acuerdo con el análisis hipsométrico de las microcuencas, esta zona tendría un grado alto de erosión; sin embargo, presenta una erosión de ligera a moderada. En esta zona la interacción entre los factores de longitud y ángulo de la pendiente (LS), la erodabilidad del suelo (K) y la cobertura vegetal (C), modifica el proceso de transporte de sedimentos, disminuyendo los impactos de la esorrentía. Bajo este contexto, en la microcuenca Mimiapan es más evidente la interacción de cada uno de los factores, ya que a pesar de ser una microcuenca en donde predomina el transporte de sedimentos, su alto grado de cobertura vegetal y los bajos niveles de pendiente, ocasionan una erosión moderada. Lo que demuestra que la interacción de cada uno de los factores puede modificar el proceso de erosión.

La zona de emisión se encuentra solo en cuatro microcuencas, Mimiapan, Atoyac, El Timbre y Agua Nanche, esta zona es la de recepción de los cursos de agua y presenta niveles de erosión ligera y moderada, por lo cual, es evidente que los procesos erosivos no son de carácter local, sino más bien regional; en función de los principios que regulan las cuencas hidrográficas Brooks, (1991) citado por Loredó *et al.* (2007).

Con base en lo anterior, se puede decir que cada una de las zonas funcionales juega un papel particular en el funcionamiento hidro-ecológico de la cuenca y presenta un grado de fragilidad diferente; y que, dada la fragilidad de cada zona funcional, los procesos de degradación del suelo originan impactos de diferentes magnitudes (Cotler, *et al.* 2004), lo que se corrobora con el análisis de las zonas funcionales de las microcuencas de BCSMM.

El efecto de la erosión hídrica va más allá de las fronteras entre las cuencas y por supuesto de los límites político-administrativos. Sin embargo, la microcuenca es una unidad que permite la gestión y administración de ambos recursos. Por ello, la generación de modelos, mediante el uso de la ecuación universal de pérdida del suelo nos permite tener un acercamiento rápido al funcionamiento de procesos tan complejos como la erosión. Esto brinda elementos que tienen que contemplarse, para la toma de decisiones respecto a la gestión integral de las microcuencas; desde el punto de vista del manejo y conservación del suelo, con la finalidad de tratar los problemas del suelo y el agua en forma conjunta, a fin de controlar el escurrimiento superficial y reducir el riesgo a la erosión hídrica (Cotler y Caire, 2009).

10. CONCLUSIONES

La delimitación de las microcuencas se utilizó para entender el proceso de erosión hídrica en BCSMM, considerando que los parámetros físicos o morfológicos reflejan la dinámica del agua y por tanto de dicho proceso.

El análisis morfométrico indicó que las microcuencas presentan una mayor estructuración de la red fluvial y una alta densidad de drenaje, además la mayoría de ellas son consideradas jóvenes en las que predomina la conformación de escurrimientos, a través de los cuales viajan los sedimentos, lo que representa un alto poder erosivo.

El análisis del proceso de erosión hídrica a nivel de microcuenca facilitó entender el comportamiento espacial e interacción de los principales factores que influyen en la pérdida del suelo; encontrándose que el 49% pertenece a una erosión baja, mientras que el 48% fue moderada. Al asociar este proceso con las zonas funcionales de las cuencas, se observó que la zona de captación es la que presenta el mayor riesgo de erosión del suelo, aunque este no es muy alto.

De igual forma se identificó el impacto que tiene cada factor que interviene en el proceso de erosión hídrica, siendo la precipitación y la escorrentía los factores principales, que asociados con la pendiente, confieren la energía básica al agua para que se lleve a cabo el proceso de la erosión; ya que la precipitación rompe la estructura del suelo y la escorrentía acarrea al material sólido pendiente abajo. Sin embargo, dado que los suelos presentan una clase textural predominantemente arenosa, y un porcentaje de cobertura vegetal alto, se favorece una tasa de infiltración del agua alta, lo que evita que la erosión hídrica también lo sea.

Además, es importante mencionar, que la caracterización de las microcuencas permitió inferir la relevancia y grado de fragilidad de cada zona funcional, para proponer planes de conservación y manejo adecuados, que den la posibilidad de obtener los servicios ambientales de una forma sustentable. En ese sentido, se puede decir que, dado que las cabeceras de las cuencas son las más susceptibles, es recomendable conservar la cobertura vegetal, para mantener el funcionamiento de suelo en condiciones óptimas. Particularmente los sitios en los que la erosión es moderada se sugiere la construcción de barreras de piedra en curvas a nivel en terrenos muy pedregosos y de zanjas a nivel para controlar la escorrentía, incrementar la infiltración y captación de agua. Por otro lado, en los escurrimientos y barrancas, se pueden implementar obras de cabeceo de cárcavas,

con la finalidad de evitar el crecimiento longitudinal de la cárcava y por lo tanto la erosión remontante, estabilizar y cubrir los taludes en la parte inicial de la cárcava y disminuir la pendiente de los taludes para evitar deslizamientos.

11 . BIBLIOGRAFÍA

Aguilera, H. N. (1989). Tratado de Edafología de México. Tomo I. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 47-50.

Alatorre, L. C., García, A. K., Rodríguez, A. J., Erives, V., González, E. (2012). Estimación de la Erosión Potencial en la Cuenca de la Laguna Bustillos, Chihuahua, México. Geoecología, cambio ambiental y paisaje: Homenaje al Profesor José María García-Ruiz. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). 249-257pp.

Almaguer, S., Plácido, D., Cardona, E., Hinojosa, M., Figueroa, B. (1990). Evaluación del riesgo de erosión en Tamaulipas. Memorias del 1er. Simposio Regional Avances y Perspectivas de la Investigación de Recursos Abióticos del Noreste de México, UAT, Cd. Victoria, Tamaulipas, México, pp. 77-97.

Alonso, B. G. R., Ruiz, P. M. E., Schiettecatte, W., Díaz, S. J., Almonza, H. Y. (2007). Estimación del riesgo de erosión laminar y en surcos en la subcuenca La Güira del río Coyaguaje. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Vol. 16, núm 4, pp. 41-45.

Almorox, A. J.; López, B. F.; Rafaelli, S. (2010) La degradación de los suelos por erosión hídrica. Métodos de estimación. Primera Edición, Universidad de Murcia, España. 202-204 pp.

Anaya, G. M. (1998). Agencia de Cooperación Técnica IICA-México. Sistemas de Captación de agua de lluvia en América Latina y el Caribe: Base para el Desarrollo Sostenible. Manual Técnico.

Ángeles, L. R., Galarza, B. S., Cruzado, A. E., Pinillos, Z. C. y Uribe, C. C. (1990). Manual de conservación de aguas y suelos, Lima-Perú.

Bhan, S. K., Saha, S. K., Pande, L. M. y Prasad, J. (2000). Use of remote sensing and GIS technology in sustainable agriculture management and development. Indian Institute of Remote Sensing, NRSA. DEHRADUN, India. 10 pags. <http://www.itc.nl/suslup/thema5/617/617.pdf> (fecha de acceso: 23/03/02)

Barthés B., A. Azontonde, B. Z. Bou, C. Prat y E. Roose. (2000). Field-scale run-off and erosion in relation to topsoil aggregate stability in three tropical regions (Benin, Cameroon, México), European Journal of Soil Science, vol. 51, no. 3, pp. 485-495.

Bautista, C. A., Barra, G. J. E., Del Castillo, F. R., Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. Ecosistemas, Asociación Española de Ecología Terrestre Alicante, España, vol. XIII, número 002.

Bocco, G. (2005). “Cartografía y Sistemas de Información Geográfica en el manejo integrado de Cuencas”; El Manejo Integral de Cuencas en México, Compilación, SEMARNAT, INE, pp43.

Brooks, K.N., Ffolliott, P.F., Gregersen, H.M., Thames, J.L. (1991). Hydrology and the management of watersheds. Iowa State University Press, Iowa (USA). 392p.

Brooks, K.N., P.F. Ffolliott, H.M. Gregersen y J.L Thames. (1993). Hydrology and the management of watersheds. Cuarta reimpresión. Iowa State University Press. Ames, Iowa.

Buenfil, J. F. (2009). Adaptación a los Impactos del Cambio Climático en los Humedales Costeros del Golfo de México. Volumen II. Primera Edición. INE-SEMARNAT. pp. 663.

Campos, A. (1992). Procesos del Ciclo Hidrológico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 1ª ed. San Luis Potosí, México. 22-23 pp.

Campos, A. (1998). Procesos del Ciclo Hidrológico. 3ra. Edición. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Ingeniería. México.

Campos, A. (1999). Procesos de Ciclo Hidrológico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 2a. ed. San Luis Potosí, México. 33-34 pp.

Cardoza, V. R. y Sánchez, G. A. (1989). La Cuenca Hidrográfica, Unidad Básica para el manejo integral de los Recursos Naturales. Ponencia presentada en el Congreso Forestal Mexicano. México. Pp. 382-385.

Castillo, V. M. (2004). La estrategia temática para la protección del suelo: un instrumento para el uso sostenible de los suelos en Europa. *Ecosistemas* XIII (1): enero-abril. Disponible en: <http://www.aeet.org/ecosistemas/041/informe2.htm>.

CIMAS (2009) *Manual de Metodologías Participativas*. Madrid, España.

Colegio de Postgraduados (1991). Manual de conservación del suelo y del agua, UACH, Chapingo, México.

Colegio de Postgraduados. (2009). Catálogo de obras y prácticas de conservación de suelo y agua. Campus Montecillo.

Coase, Ronald H. (1960). The problem of social cost. *Journal of Law and Economy*.

CONAFOR, SEMARNAT. (2007). Manual de Obras y Prácticas para la Protección, Restauración y Conservación de Suelos Forestales. Tercera Edición. México.

Coronato, F. y Del Valle, H. (1993). Methodological comparison in the estimate of fluvial erosion in arid closed basin of northeastern Patagonia, *Journal of Arid Environments*, vol. 24, pp. 231-239.

Cortés, T.; H. G. (1991). Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando, métodos multivariados. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 168 pp.

Cotler, H.; Priego, A.; Rodríguez, C.; Enríquez, C. (2004) Determinación de zonas prioritarias para la eco-rehabilitación de la cueca Lerma-Chapal. *Gaceta Ecológica*, marzo-junio, núm. 71. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México pp. 11-13.

Cotler, H.; Sotelo, E.; Domínguez, J.; Zorrilla, M.; Cortina, S.; Quiñones, L. (2007) *La conservación de suelos: un asunto de interés público* *Gaceta Ecológica*, abril-junio, número 083. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Distrito Federal, México. 5-71 pp.

Cotler, H.; Caire, G. (2009) Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México. INE-SEMARNAT, WWF, la Organización Mundial de Conservación. México, D. F.

Curiel, B. (1990), "Investigación sobre degradación de suelos en el estado de Jalisco", en *Memorias del Primer Simposio Nacional de Degradación del Suelo*, Instituto de Geología, Departamento de Edafología, UNAM, México, pp. 7-12.

De Graaf, J. (2000). Downstream effects of land degradation and soil and water conservation. Background paper 5, FAO, Roma.

De la O, A. (1970). "La erosión en la Cuenca Alta del Río Atoyac, afluente del balsas". Revista México Forestal, Tomo XLIV Mayo. 20-24 pp.

Eiumnoh, A. (2000). Integration of geographic information systems (GIS) and satellite remote sensing (SRS) for watershed management. Asian Institute of Technology. Pathumthani, Thailand. <http://www.agnet.org/library/abstract/tb150.html> (fecha de acceso: 11/03/02)

Ellison, W.D. (1947). *Soil Erosion*. Soil Sci. Soc. Am. Proc, Madison, 12: 479-84.

Escolero O., Domínguez E. y Martínez, S. (2006). "Ciclo hidrológico". En: Cotler, H., M. Mazari y J. de Anda (Comp.). Atlas de la cuenca Lerma- Chapala, construyendo una visión conjunta. México: Instituto Nacional de Ecología.

ESRI. (2012). Environmental Systems Research Institute, Inc., ArcGIS Version 10.1., USA.

Esquivel, A. G., Bueno, H. P., Sánchez, C., Velásquez, V. M. A., Arcadio, M. V. J. A. (2015) Delimitación y Análisis Morfométrico de tres cuencas del norte-centro de México. AGROFAZ, vol. 15, núm. 2. INIFAP. México. 151-161pp.

Fanning, P. (1994), "Long-term contemporary erosion rates in an arid rangelands environment in western New South Wales, Australia", Journal of Arid Environments, vol. 28:173-187.

Figuroa, S. B., Amante, O. A., Cortez, T. G. H., Pimentel, L. J., Osuna, C. S. E., Rodríguez, O. J. M., Morales, F. F. J. (1991) Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Colegio de posgraduados. 72 - 112 pp.

FIRCO. (2005) Guía Técnica para la Elaboración de Planes Rectores de Producción y Conservación (PRPC). SAGARPA. México.

Foster, B., Albert. (1990). Métodos aprobados en conservación de suelos. Editorial F. Trillas, S. A. México. 411 pp.

Fuentes, J. J. (2004). Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio en el Parque Nacional del Pico Tancítaro. México: INECOL. Publicación especial: 47 pp.

Gandullo, J. M. (1994). *Climatología y Ciencia del Suelo*. Fundación Conde Valle de Salazar. Serv. Publicaciones de la E.T.S.I. Montes. Madrid.

García, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM.

Garrido A., Pérez D.J.L. y Enríquez C. (2010). “Delimitación de zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México”. En: Cotler H. (Coord.) *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*. México: Instituto Nacional de Ecología/Fundación

Gausson, H., Bagnouls, F. (1957). “L índice xérothermique”. *Annales de Géographie*:193-220. http://www.persee.fr/doc/baqf_0004-5322_1952_num_29_222_7361

Gayoso, J., Alarcón, D. (1999). *Guía de Conservación de suelos forestales. Proyecto Certificación del Manejo Forestal en las Regiones Octava, Décima y Duodécima*. INFOR, Universidad Austral de Chile.

González, M. A. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de la A.G.E.* No. 38., pp. 311-329.

González, M, R.; Volke, V., González, J., Ocampo, M.; Ortiz, S, C.; Manzo, F. (2007) *Efecto de la erosión del suelo sobre el rendimiento de maíz de temporal*. Terra, Vol. 25, pp: 399-408.

Gregory, K. J., Walling, D. E. (1973). *Drainage Basin Form and Process. A Geomorphological Approach*. Edward Arnold, London.

Guido, E. y Busnelli, M. 1993. Criterios morfométricos para la evaluación de la torrencialidad de una cuenca hídrica (Río Las Cañas, Catamarca). 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas Tomo 4: 112-122. Mendoza. Argentina

Guilarte, R. (1978) *Hidrología básica*. Facultad de Ingeniería. UCV. Caracas Venezuela. 667pp.

Hickey, R. (2000). Slope angle and slope length solutions for GIS. *Cartography* 29: 1.8.

Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol. Soc. America Bull.* 56: 275-280.

Huerta, Z. S., Vidal, C. A., Rodríguez, R. J., Bonilla, B. M., Mora, P. M., Vázquez, M. S., Ortiz, R. G. A. y Bravo, H. F. (2009). “Principales árboles y arbustos en la Selva baja caducifolia de la Mixteca baja poblana, Puebla, México. Guía Ilustrada”. Instituto Tecnológico de Tecamatlán-FUPPUE, A.C-Instituto de Investigaciones Forestales de la Habana, Cuba. México, Puebla. 119 pp.

INEGI-INE-CONAGUA (2007). Mapa de cuencas hidrográficas de México (escala 1:250 000). Producto cartográfico derivado de la obra primigenia INE (2003) “Cuencas Hidrográficas de México, escala 1:250 000”, elaborada por Priego, A. G., Isunza, E., Luna, N., Pérez, J. L. Disponible en:

http://mapas.ine.gob.mx/website/mediofisico/hidrologia/cuencas-hidrograficas/cuencas_hidrograficas.html

INE. (2004). Análisis morfométrico de Cuencas: caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

INE. (2007). Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

INE. (2010). Las Cuencas Hidrográficas en México: Diagnóstico y priorización. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (1987). “Síntesis geográfica, nomenclatura y anexo cartográfico del estado de Puebla”. México.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2013). Modelo Digital de Elevación. 15 metros de resolución.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2015).

http://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/internet/1-geografiademexico/manual_carac_eda_fis_vs_enero_29_2008.pdf

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. 2009. “Enciclopedia de los Municipios de México, Estado de Puebla”. Gobierno del Estado de Puebla. En línea: <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/puebla/>

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2007). Predicción de riesgo a la erosión hídrica a nivel microcuenca. San Luis Potosí, México. 66 pp.

Jaramillo, V. J. J. (2015). Estudio del Riesgo por Erosión Hídrica del Suelo utilizando el modelo U.S.L.E., mediante herramientas S.I.G., aplicado en la subcuenca Río Portoviejo, Provincia de Manabí. Tesis para obtener el grado de Maestro en Sistemas de Información Geográfica, aplicada a la Conservación y el Desarrollo Sostenible. Universidad Central del Ecuador.

Kinnell, P. I. A. (1990). *The mechanics of raindrop induced flow transport*. Australian Journal of Soil Research 28:497 – 516.

Kinnell, P. I. A. (1991). *The effect of flow depth on sediment transport induced by raindrops impacting shallow flows*. Transactions of ASAE. 34: 161-8.

Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., Schuman, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America J.* 61: 4-10.

Kirkby, M. J.; Morgan, R. P. C. (1984). Erosión del suelo. John Wiley&Sons. Ltd., 286 pp.

La Gra, J. (1993). *Una metodología de evaluación de cadenas agro-alimenticias para la identificación de problemas y proyectos*. Instituto para la Post-Cosecha de Productos Perecederos. Facultad de Agricultura. Universidad de Idaho, Moscow, Idaho 83843.

Llamas, J. (1993). Hidrología General, Principios y Aplicaciones. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. Bilbao, España. 402 pp.

Llerena, V. F. A. y Sánchez, B. B. (2005). Obras de conservación de suelos (Terrazas de formación sucesiva). SAGARPA, INCA RURAL, Colegio de Postgraduados.

Lored, O. C. (2005). Prácticas para la conservación del suelo y agua en zonas áridas y semiáridas. INIFAP-CIRNE-Campo experimental. San Luis. Libro técnico No. 1. San Luis Potosí, S. L. P. México.

Lored, O. C.; Beltrán, L. S.; Moreno, S. F.; Casiano, D. M. (2007) Riesgo a la erosión hídrica y proyección de acciones de manejo y conservación del suelo en 32 microcuencas

de San Luis Potosí. Libro Técnico No. 3. INIFAP-CIRNE-Campo Experimental San Luis Potosí, S. L. P. México. 209 p.

Maass, J. M., Jordan, C. F., Sarukhan, J. (1988). *Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agroecosystems under various management techniques*. J. Applied Ecol. 25: 595-607.

Maass, J. M. y García-Oliva, F. (1990^a). La conservación de suelos en zonas tropicales: el caso de México. Ciencia y Desarrollo XV(90):21-36.

Macías-Cuéllar-Cuellar, H., De la Puente M., Hernández-Moreno, M., Benítez-Maca, E., Morales-Villalba, E. (2012). Estudio de Ordenamiento Territorial Comunitario de Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan, Municipio de Zacapala, Puebla. Chakaan Buulaan, AC - CONAFOR - Consultora Para El Desarrollo Ambiental y Forestal Sustentable, S.C.

Mannearts, C. (1999). Factores de erosión. Módulo 11: Degradación de suelos. ITC. Curso de Postgrado en levantamiento de recursos hídricos. Notas de clase y ejercicios. CLAS. Cochabamba, Bolivia.

Marcial, J. R. (2011). Implicaciones del cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en los servicios ambientales hidrológicos de la comunidad de Capulálpán de Méndez. Tesis para obtener el grado de licenciado en Ciencias Ambientales. Universidad de la Sierra Juárez. México.

Mati, B.M., R.P.C. Morgan, F.N. Gichuki, J.N. Quinton, T.R. Brewer y H.P. Liniger. (2000). Assessment of erosion hazard with USLE and GIS: A case study of the Upper Ewaso Ng'iro North basin of Kenya. JAG 2(1): 1-9. <http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/iwe/documents/mati.pdf> (fecha de acceso: 23/03/02).

Martínez, D.A.A. y Navarro, H.J. (1996). Hidrología forestal: el ciclo hidrológico. Valladolid, Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Valladolid.

Montaño, A. N. M. y Monroy, A. A. (2000). Conservación ecológica de suelos en zonas áridas y semiáridas de México. Ciencia y Desarrollo. Vol. XXVI, No. 154.

Morgan, R. P. C., Kirkby, M. J. (1984). Erosión de Suelos. 1^{ra}. Edición. Limusa, S. A., México, D. F., 35-40 pp.

Morgan, R., P., C. (1985). Erosión y Conservación del suelo. 2° Edición. Mundi-Prensa, México, D. F., S. A. de C. V. 114-115 pp.

Moss, A. J. (1988). *Effects of flow velocity variation on rain driven transportation and the role of rain impact in the movement of solids*. Aust. J. Soil Res. 26: 443 – 450.

Muñoz I., D., Mendoza D., A., López G., F., Soler A., A., Hernández M., M. (2010). Edafología, manual de métodos de análisis de suelo, México, 6ta., UNAM, Facultad de estudios superiores Iztacala, 41-42 pp.

Naiper, T. L., S. M. Naiper, and J. Tyrdon. (2000). *Soil and water conservation policies and programs: successes and failures*. CRC. Boca Raton, FL. USA.

Navarrete, M. D. (2004). Propuesta metodológica para el análisis territorial en la cuenca hidrográfica del Estero El Peral, Comuna de Carahue, IX Región. Universidad Católica de Temuco, Chile. Facultad de Ciencias Ambientales. 6:133-134 pp.

Navarro, G. V., Lemus, M. V., Vázquez, R. (2001). Manual para el desarrollo de obras de conservación de suelo, Corporación Nacional Forestal San Fernando, Gobierno de Chile, Santiago de Chile.

Nearing, M. A. (1991). *A probabilistic model of soil detachment by shallow turbulent flow*. Trans. ASAE 341: 81 – 85.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. (1979). *A provisional methodology for soil degradation assessment*, Roma, Italia.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. (1993). *Zonación agroecológica: Guía general*. Boletín de suelos de la FAO 73. Roma, Italia.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO (2000). *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos*. Volumen 8 de Boletín de tierras y aguas de la FAO. Food & Agriculture Or. 220 pp.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO (2002). *Agricultura de conservación. Estudios de casos en América Latina y África*. Volumen 78 de Boletín de suelos de la FAO. Roma 89 pp. ISSN 1020-0627.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. (2009) ¿Por qué invertir en ordenación de las Cuencas Hidrográficas? Roma, Italia.

Oropeza, R. y Flores, D. (1990), "Dinámica de la hidroerosión en una cuenca del estado de Guerrero, México", en Memorias del Primer Simposio Nacional de Degradación del Suelo, Instituto de Geología, Departamento de Edafología, UNAM, México, pp. 73-74.

Ortegón, E., Pacheco, J. F., Pacheco, A. (2005) Metodología del Marco Lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas. Instituto Latinoamericano del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES). Santiago de Chile.

Osuna C., E.S. y F. Esquivel V. (1996). Cobertura vegetal y erosión del suelo en Aguascalientes. Agricultura Técnica en México 22(2): 127-144.

Pagiola, S. (1999). *The global environmental benefits of land degradation control on agricultural land*. World Bank Environmental Paper no. 16, Washington, D. C.

Pando, M. M., Gutiérrez, G. M., Maldonado, H. A., Palacio, P. J. L., Estrada, C. A. E. (2003). Comparación de métodos en la estimación de erosión hídrica. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. 51:23-36 pp.

Pérez, J. (1979) Fundamentos del ciclo hidrológico. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Departamento de Meteorología e Hidrología. Caracas Venezuela. 01-38.

Pimentel, D. and N. Kounang. (1998). *Ecology of soil erosion in ecosystems*. Cornell University. Ithaca, NY, USA.

PNUMA. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2000). *Annual Review*. Nairobi, Kenia.

Pudasaini, S. P., Hutter, K. (2003). *Avalanche Dynamics*. Dynamics of rapid flows of dense granular avalanches. Springer. New York, USA. 54 pp.

Reyes, J., H. Volke, S. Figueroa, Ch. Estrella y H. Vaquera (1990). Caracterización de la erosión hídrica laminar y en arroyuelos caso: Paraje Zaayucuanino de Wochixtlan, Oaxaca, en Memorias del Primer Simposio Nacional de Degradación del Suelo, Instituto de Geología, Departamento de Edafología, UNAM, México, pp. 79-80.

Ríos, B. J. D. y Martínez, M. R. (1990). Efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo. *Agrociencia* 1: 61-73.

Riou, G. (1992). *El agua y los suelos en los ecosistemas tropicales y mediterráneos*. Masson, Barcelona.

Robinson, M.A. (2000). Geomorfología del sector Ibérico-Valenciado entre los ríos Mijares Tina. Departamento de Geografía, Universidad de Valencia, España. 217 p.

Ruíz, J., Tamariz, V., Calderón, E., Ticante, J. A., Cruz, A. (1998). *Desertificación en el estado de Puebla*. *Elementos* 32: 51-55.

Saavedra, J. (2001). Planificación Ambiental de los Recursos Forestales en la Región de la Araucanía, Chile. Definición de las Unidades Homogéneas de Gestión. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 342pp.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México (SAGARPA) (2009). Fichas técnicas sobre actividades del componente de conservación y uso sustentable de suelo y agua (COUSSA). <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Publicaciones/Paginas/FichasCOUSSA.aspx>

Consultado el: 25/julio/2017.

Sarukhán, J., Maass, M., Jaramillo, V., Martínez-Yrizar, A., García-Oliva, F., Pérez, J. C., Tinoco, J., López, B. H., Cotler, A. M. (2000) Estructura y Dinámica de un Bosque Tropical seco: Aspectos funcionales y Consecuencias de las Perturbaciones a Diferentes Escalas. Avances del proyecto financiado por CONACYT del período 1999-2003.

SEMARNAT y UACH. (2003). Evaluación de la pérdida de suelos por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, escala 1: 1 000 000. Memoria 2001-2002. México.

SEMARNAT. (2012). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales, Indicadores Claves y de Desempeño Ambiental.

SEMARNAT. (2013). Cuencas Hidrográficas. Fundamentos y Perspectivas para su Manejo y su Gestión. México.

Senciales, J., y Ferre, E. (1999). Análisis morfométrico de la cuenca del río Benamargosa (provincia de Málaga) en López, B. F., Conesa, C. y Romero, M. A.: Estudios de Geomorfología en España. *Actas de la II Reunión Nacional de Geomorfología, Murcia*, S.E.G. 365-375 pp.

Sims, A. D., C. D. Woodroffe, B. G. Jones. (2003). *Application of RUSLE for erosion management in a coastal catchment southern NSW*. Conference paper. <http://ro.uow.edu.au/scipapers/34> [Accessed May 15, 2010]

Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosional Topography. *Bulletin of the Geological Society of America*. 63:1117-1142.

Strahler, A.N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology, *Transactions-American Geophysical Union*. 38:913-920.

Strahler, A.N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basin and channel network, *Handbook of Applied Hydrology*, 39-76pp.

Shumm, S. (1959). *The fluvial system*. A Wiley-interscience Publication. John Wiley and Sons, Inc. New York. 338 pp.

Toledo, A. (2003). “Ríos, Costas, Mares. Hacia un Análisis integrado de las regiones hidrológicas de México”. SEMARNAT-INE-Colegio de Michoacán A.C. 117 pp.

Torres, J. J. (1987). *Ecología y uso de los recursos naturales renovables de la cuenca del río San Marcos, Tamaulipas, México*, tesis, de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, México.

López, C. F. (2003). *La Ingeniería en los procesos de desertificación*. Grupo TRAGSA. Madrid, España. Ed. Mundi Prensa. 333 – 350pp.

UNAM. (2008). *Macroproyecto Manejo de Ecosistemas y Desarrollo Humano*. Universidad Nacional Autónoma de México. SDEI-PTID-02

Van Remortel, R., M. Hamilton y R. Hickey. (2001). *Estimating the LS factor for RUSLE through iterative slope length processing of digital elevation data*. *Cartography* 30: 27-35.

Valverde, V. T., Meave, D. C. J., Carabias, L. J., Cano, S. Z. (2005). *Ecología y Medio Ambiente*. Pearson Educación, México. pp. 125.

Vázquez. A., V. (1986) *La erosión y conservación del suelo en México: Realidades y perspectivas*. Terra 4: 158-172.

Velásquez, R. (2008). SIG aplicado al manejo de cuencas. Ejercicio de erosión de suelos utilizando EUPSR (RUSLE).

Ward, R. C. y Robinson, M. (2000) *Principles of Hydrology*. Suffolk, McGraw-Hill, 360 pp.

Wischmeier, W.H. (1976). *Use and misuse of the universal soil loss equation*. J. Soil Water Conserv. 31: 5-9.

Wischmeier, W.H. y D.D. Smith. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*. Agriculture Handbook 537. US Department of Agriculture. Washington, DC.

Zártate Z. R. (1994). Estado de la degradación de la tierra inducida por el hombre: un manual para su cartografía. Instituto de Recursos Naturales. Edafología. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.

ANEXOS

Anexo 1. Parámetros Morfométricos Calculados.

Parámetros de Forma:

a) **Tamaño de la cuenca.** Para definirla, Campos (1992) propone una clasificación basada en la superficie de la misma (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación de los tamaños de las microcuencas (Campos, 1992).

Tamaño de la Cuenca (Km ²)	Descripción
Menos de 25	Muy Pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia Pequeña
500 a 2,500	Intermedia Grande
2,500 a 5,000	Grande
Más de 5,000	Muy Grande

b) **Coefficiente de Compacidad (Cc) o Índice de Gravelius (1914).** Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el de una circunferencia; sus resultados estarán basados en la clasificación de Campos (1992) mostrados en el Cuadro 2. Cuánto más cercano esté el índice a la unidad, la cuenca será más circular y por tanto más compacta, y en la medida que aumenta, la cuenca adquiere una forma más oval.

La fórmula de Gravelius, está dada por:

$$Cc = \frac{(0.282)(Pc)}{\sqrt{A}}$$

Donde:

Cc= Coeficiente de compacidad.

A= Área de la cuenca.

Pc= Perímetro de la cuenca.

Cuadro 2. Formas de la cuenca de acuerdo al índice de compacidad (Campos, 1992).

Clase de Forma	Índice de Compacidad (Cc)	Forma de la Cuenca
Clase I	1.0 a 1.25	Casi redonda a oval-redonda
Clase II	1.26 a 1.50	Oval-redonda a oval-oblonga
Clase III	1.51 a más de 2	Oval-oblonga a rectangular-oblonga

c) **Razón de elongación (Re)**. Es la relación entre el diámetro de un círculo con igual área que la de la cuenca y la longitud máxima de la misma. La fórmula es la propuesta por Shumm (1959):

$$Re = \frac{(1.128) (\sqrt{A})}{Lc}$$

Donde:

Re= Relación de elongación.

Lc= Longitud del cauce principal de la cuenca.

A= Área.

d) **Factor de Forma (F)**. Este factor fue propuesto por Horton (1945) donde relaciona el área de la cuenca y la longitud de la misma. Esta relación permite determinar si la cuenca presenta una forma circular o alargada; después de haber obtenido el valor mediante. En este sentido, valores inferiores a la unidad indican cuencas alargadas y aquellos cercanos a uno, son redondeados.

Se expresa con la fórmula:

$$F = A / L^2$$

Donde:

A= Área de la cuenca.

L²= Longitud de la cuenca.

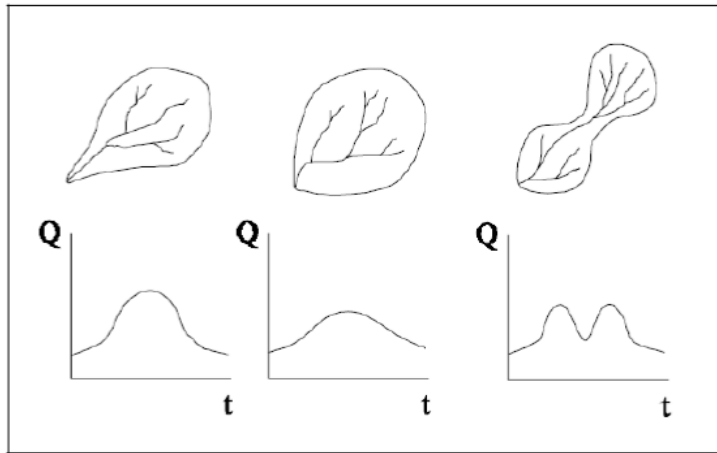


Figura 1. Hidrógramas según la forma de la cuenca.

Cuadro 3. Clasificación de la forma de la cuenca (Horton, 1945).

Factor de Forma	Tipo de forma
1.00	Cuadrado con salida central
0.79	Circular o redonda
0.50	Cuadrado con salida lateral
0.40 y 0.50	Oval
< 0.30	Rectangular alargada

Parámetros de relieve

A mayor pendiente, corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes del cauce principal, (Navarrete, 2004). Algunos parámetros destacan:

a) **Curva Hipsométrica.** La topografía o relieve de una cuenca puede tener más influencia sobre su respuesta hidrológica que la forma de la misma. Por otra parte, es frecuente definir el relieve de una cuenca por medio de su curva hipsométrica, la cual representa gráficamente las elevaciones del terreno en función de las superficies correspondientes. De lo anterior se deduce la utilidad de la curva, además, de permitir calcular la elevación media de la cuenca.

Con el propósito de comparación entre cuencas, es conveniente utilizar el porcentaje del área total en lugar de su magnitud y la altura relativa.

b) **Pendiente media de la cuenca.** Es uno de los principales parámetros que caracteriza el relieve de la misma y permite hacer comparaciones entre cuencas para observar fenómenos erosivos que se manifiestan en la superficie.

La fórmula, es:

$$J = 100 * \frac{(\sum Li) (E)}{A}$$

Donde:

J= Pendiente media de la cuenca (%).

$\sum Li$ = Suma de las longitudes de las curvas de nivel (km).

E = Equidistancia entre curvas de desnivel (km).

A = Superficie de la cuenca (Km²).

Cuadro 4. Porcentaje de pendiente en una cuenca hidrográfica (Saavedra, 2001).

Pendiente en porcentaje	Tipo de terreno
2	Llano
5	Suave
10	Accidentado medio
15	Accidentado
25	Fuertemente accidentado
50	Escarpado
Mayor a 50	Muy escarpado

c) **Elevación media.** A partir de la curva hipsométrica, se determinará la elevación media equivalente al 50% del área de la cuenca, donde en el eje “X” del gráfico se aplicará el porcentaje.

d) **Análisis hipsométrico.** Con el propósito de comparar la cuenca con otros sistemas hidrográficos se empleó el criterio propuesto por Campos (1999) que considera la relación entre las alturas parciales y la altura total, así como las áreas parciales entre curvas de nivel y el área total. En base al análisis hipsométrico, podremos determinar el ciclo erosivo y la etapa evolutiva en que se encuentra la cuenca (Figura 2).

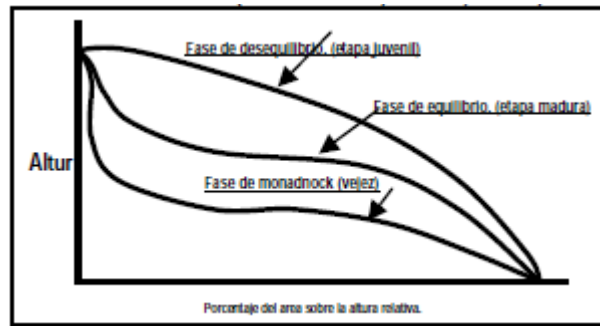


Figura 2. Modelos de curvas hipsométricas del ciclo de erosión (Senciales y Ferre, 1999).

e) **Coefficiente de masividad (Km).** Este coeficiente representa la relación entre la elevación media de la cuenca y su superficie:

$$Km = \frac{\text{Altura media de la cuenca (m)}}{\text{Área de la cuenca (Km}^2\text{)}}$$

Este valor toma valores bajos en cuencas montañosas y altos en cuencas llanas.

Cuadro 5. Clases de valores de masividad (INE, 2004).

Rangos de Km	Clases de masividad
0 – 35	Muy Montañosa
35 -70	Montañosa
70 – 105	Moderadamente montañosa

Parámetros de la Red Hídrica

a) **Orden de Corriente.** En este estudio se utilizó el método de Strahler ya que es el más común, el más comprensible y el más fácil de relacionar con otros parámetros morfométricos.

Este índice se obtiene mediante la agregación de corrientes, considerando una corriente de primer orden a aquella que no tiene afluentes, una de segundo orden aquella donde se reúnen dos corrientes de primer orden, una de tercero donde confluyen dos de segundo orden y así sucesivamente Figura 3 (INE, 2004).

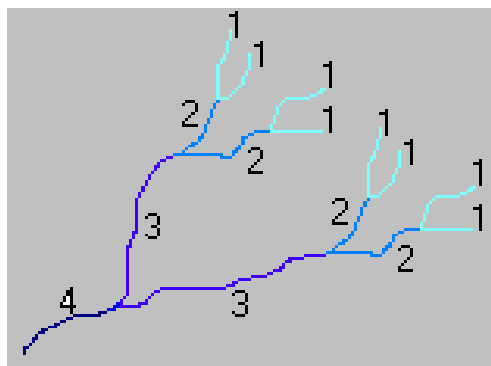


Figura 3. Ordenes de corriente según Strahler (Gregory y Walling, 1985 citado en INE 2004)

Este índice indica el grado de estructura de la red de drenaje. En general, mientras mayor sea el grado de corriente, mayor será la red y su estructura más definida.

Cuadro 6. Clases de Orden de Corriente (INE, 2004).

Rangos de Ordenes	Clases de Orden
1 – 2	Bajo
2.1 - 4	Medio
4.1 - 6	Alto

b) **Densidad de Drenaje.** Este índice permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. En general, una mayor

densidad de escurrimientos indica mayor estructuración de la red fluvial, o bien que existe mayor potencial de erosión.

Pero también, la densidad de drenaje provee una liga entre los atributos de forma de la cuenca y los procesos que operan a lo largo del curso de la corriente. Más precisamente, la densidad de drenaje refleja controles topográficos, litológicos, pedológicos y vegetacionales, además de incorporar la influencia del hombre.

Esta se define como la longitud total ($\sum L$) de los cauces dentro de la cuenca, dividida entre el área total de drenaje (A); dimensionalmente se reduce a una L^{-1} , y matemáticamente es igual a:

$$D = \frac{\sum L}{A}$$

La densidad de drenaje varía inversamente con la extensión de la cuenca. Con el fin de catalogar una cuenca bien o mal drenada, analizando su densidad de drenaje, se puede considerar que valores de Dd próximos a 0.5 Km/Km² o mayores indican la eficiencia de la red de drenaje.

Cuadro 7. Clases de densidad de drenaje (INE, 2004).

Rangos de densidad	Clases
0.1 – 1.8	Baja
1.9 – 3.6	Moderada
3.7 – 5.6	Alta

Valores bajos de Dd generalmente están asociados con regiones de alta resistencia a la erosión, muy permeables y de bajo relieve. Valores altos fundamentalmente son encontrados en regiones de suelos impermeables, con poca vegetación y de relieve montañoso

c) **Red de Drenaje.** Según Llamas (1993) es el arreglo de los canales que conducen las corrientes de agua dentro de la cuenca integrada por un río principal y una serie de tributarios cuyas ramificaciones se extienden hacia las partes más altas de la misma.

d) **Longitud del cauce principal.** Es la medida del escurrimiento principal de la cuenca, medido desde la parte más alta hasta la salida.

Este parámetro influye en el tiempo de concentración y en la mayoría de los índices morfométricos. Se obtiene a partir del mapa digitalizado de la red de drenaje.

Cuadro 8. Clases de valores de longitud del cauce principal
(INE, 2004)

Rangos de longitud	Clases de longitud del cauce
4.9 – 10.9	Corto
11 – 15	Mediano
15.1 – 19.1	Largo

e) **Tiempo de Concentración.** Es el tiempo que tarda en llegar una gota de agua de lluvia desde el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca a la sección de salida. Existen una serie de fórmulas que permiten el cálculo de este tiempo desarrolladas por diversos autores.

En este trabajo se utilizó la fórmula de Pizarro por ser una ecuación eficiente y fácil de emplear.

$$T_c = 13.548 * \left(\frac{L^2}{H}\right)^{0.77}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (min)

L: Longitud de cauce principal en (Km)

H: Diferencia de alturas (m)

La tabla siguiente muestra la clasificación de los valores de concentración para las cuencas.

Cuadro 9. Clases de tiempo de concentración (min)
(INE, 2004).

Rangos de Tc	Clases
0 – 41.7	Rápido
41.6 – 83. 2	Moderado
83.3 – 125.1	Lento

Anexo 2. Datos Meteorológicos.

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL

NORMALES CLIMATOLÓGICAS

ESTADO DE: PUEBLA

PERIODO: 1981-2010.

ESTACIÓN: 21230.00 SAN JUAN COATZINGO

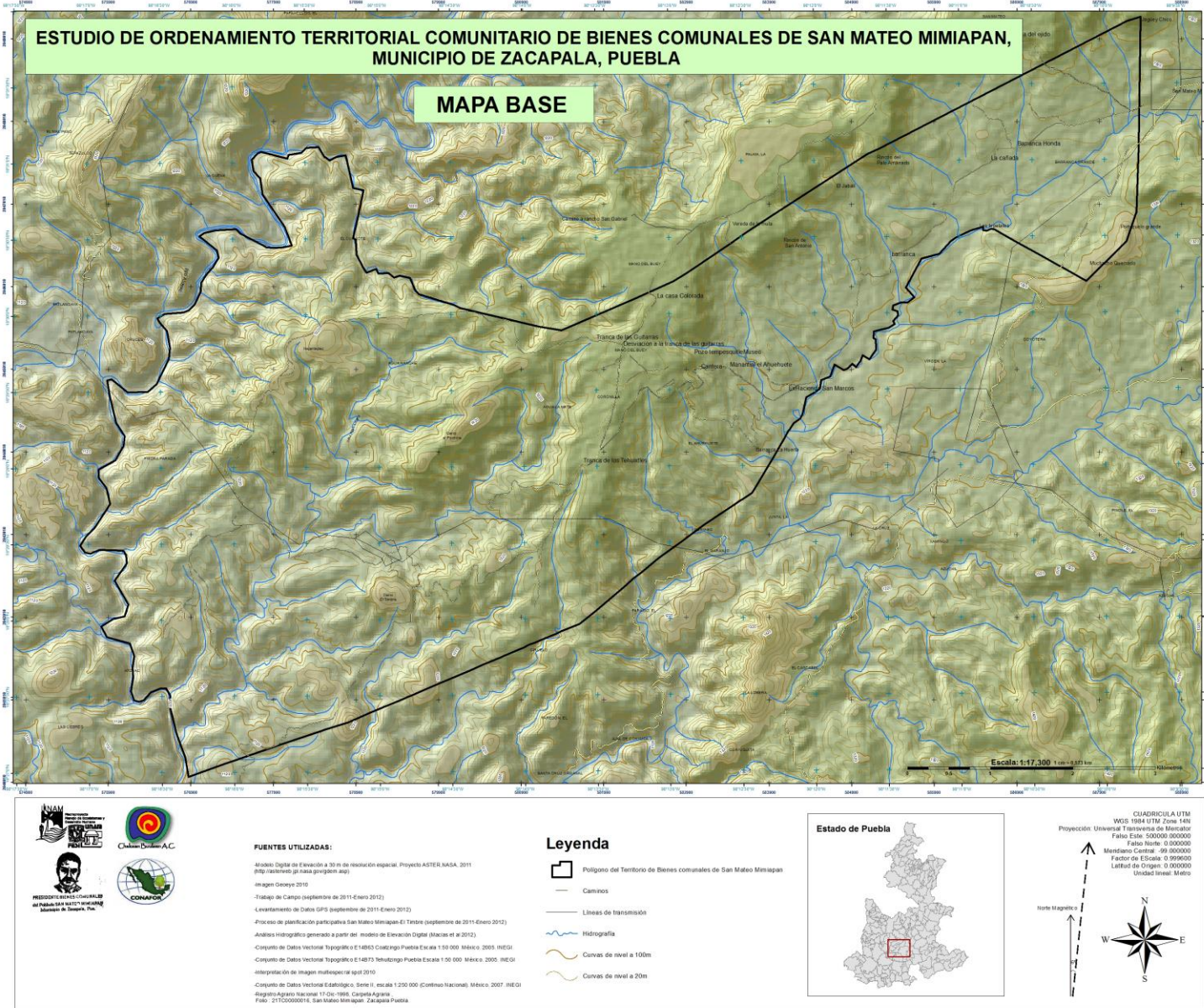
LATITUD: 18°36'15" N.

LONGITUD: 098°10'15" W.

ALTURA: 1,178.0 MSNSM.

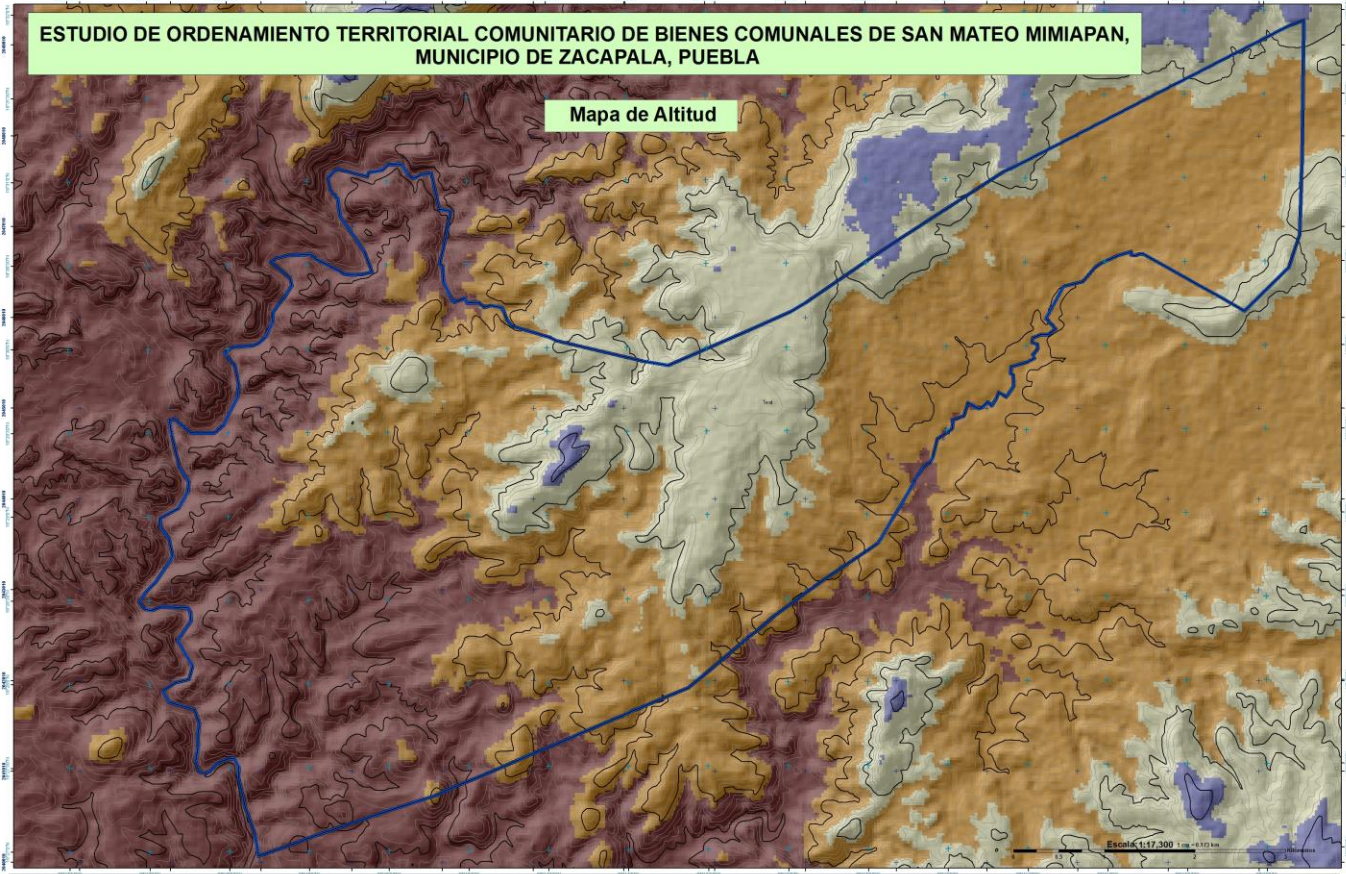
ELEMENTOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA													
NORMAL	30.2	31.6	32.7	33.3	33.5	31.6	30.1	30	29.3	30.1	30.6	309.5	31.1
MAXIMA MENSUAL	33.4	34.2	35.5	36.9	36.9	35.2	33.3	34.1	33.1	32.8	33.8	33.1	
AÑO DE MAXIMA	1994	1994	1991	1991	1998	1998	1998	1997	2000	1995	1993	1993	
MAXIMA DIARIA	39.5	37	38.5	40.5	41	40.5	37	37	37.5	37.5	38	39	
FECHA MAXIMA DIARIA	0	may-94	dic-90	22/1992	ago-98	abr-98	18/2009	19/2001	abr-95	18/1990	15/1993	31/2000	
AÑOS CON DATOS	16	16	17	18	17	19	18	19	18	14	17	17	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	20	21.2	22.4	23.9	25.1	24.2	22.9	22.9	22.5	21.9	21.2	20.2	22.4
AÑOS CON DATOS	16	16	17	18	17	19	18	19	18	17	17		
TEMPERATURA MINIMA													
NORMAL	9.5	10.5	12	14.4	16.6	16.9	15.7	15.7	15.5	13.6	11.6	9.8	13.5
MINIMA MENSUAL	5.5	5.9	8.4	12.5	13.5	13.4	13.3	13	12.4	10.6	6.9	7.2	
AÑO DE MINIMA	1985	1985	1989	1985	1998	1985	1985	1985	1984	1984	1984	2010	
MINIMA DIARIA	1	1	4	8.5	10	7	10	8	9.5	1.5	4.5	1.5	
FECHA MINIMA DIARIA	13/1997	22/1989	ene-92	28/1997	25/1998	dic-07	22/1985	ago-84	nov-95	feb-90	27/1995	26/1989	
AÑOS CON DATOS	16	17	17	18	17	18	18	19	19	15	18	18	
PRECIPITACIÓN													
NORMAL	7.6	6.3	5.6	15.8	52.1	132.3	104.2	117.8	98.4	35.5	10.5	4.6	590.7
MAXIMA MENSUAL	49	36	61	121.3	156.5	276	339.4	249	222.2	103.5	61	39.5	
AÑO DE MÁXIMA	1992	2010	1997	2007	1992	1993	2010	1989	2009	1989	1992	1995	
MAXIMA DIARIA	29	28	44.5	46	39.5	75	75	53	63	68.5	48	20	
FECHA DE MAXIMA DIARIA	15/2010	40269	31/1997	39083	29/1995	34578	26/2007	32629	34029	37226	35704	32721	
AÑOS CON DATOS	16	17	17	18	17	18	18	19	19	15	18	18	
EVAPORACIÓN TOTAL													
NORMAL													
AÑOS CON DATOS													
NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA													
NORMAL	0.9	0.8	0.7	2.2	7.4	11.1	9.8	10.9	10.6	4.3	1.2	0.5	60.4
AÑOS CON DATOS	16	17	17	18	17	18	18	19	19	15	18	18	
NIEBLA													
NORMAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AÑOS CON DATOS	16	17	17	18	17	18	17	18	18	15	18	18	
GRANIZO													
NORMAL	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0	0.4
AÑOS CON DATOS	16	17	17	18	17	18	17	18	18	15	18	18	
TORRENTA E.													
NORMAL	0	0	0	0.1	0.1	0.3	0.5	0.2	0.1	0	0	0	1.3
AÑOS CON DATOS	16	17	17	18	17	18	17	18	18	15	18	18	

Anexo 3. Cartografía Base.



ESTUDIO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL COMUNITARIO DE BIENES COMUNALES DE SAN MATEO MIMIAPAN, MUNICIPIO DE ZACAPALA, PUEBLA

Mapa de Altitud



FUENTES UTILIZADAS:

Modelo Digital de Elevación a 30 m de resolución espacial. Proyecto ASTER-NASA, 2011 (<http://srtm.ssi.usgs.gov/>)
 Imágenes Google 2010

Carta topográfica E 14803 Cuicatlan Puebla, Escala 1:50 000, Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática

Carta topográfica E 14873 Tehuacan Puebla, Escala 1:50 000, Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática

Registro Agrario Nacional 17.26, 1998, Capata Agraria
 Folio: 211102000016, San Mateo Mimiapan, Zacapala Puebla.

Legenda

- Polígono territorial de Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan
- Curvas de nivel a 100m
- Curvas de nivel a 20m

Rangos altitudinales

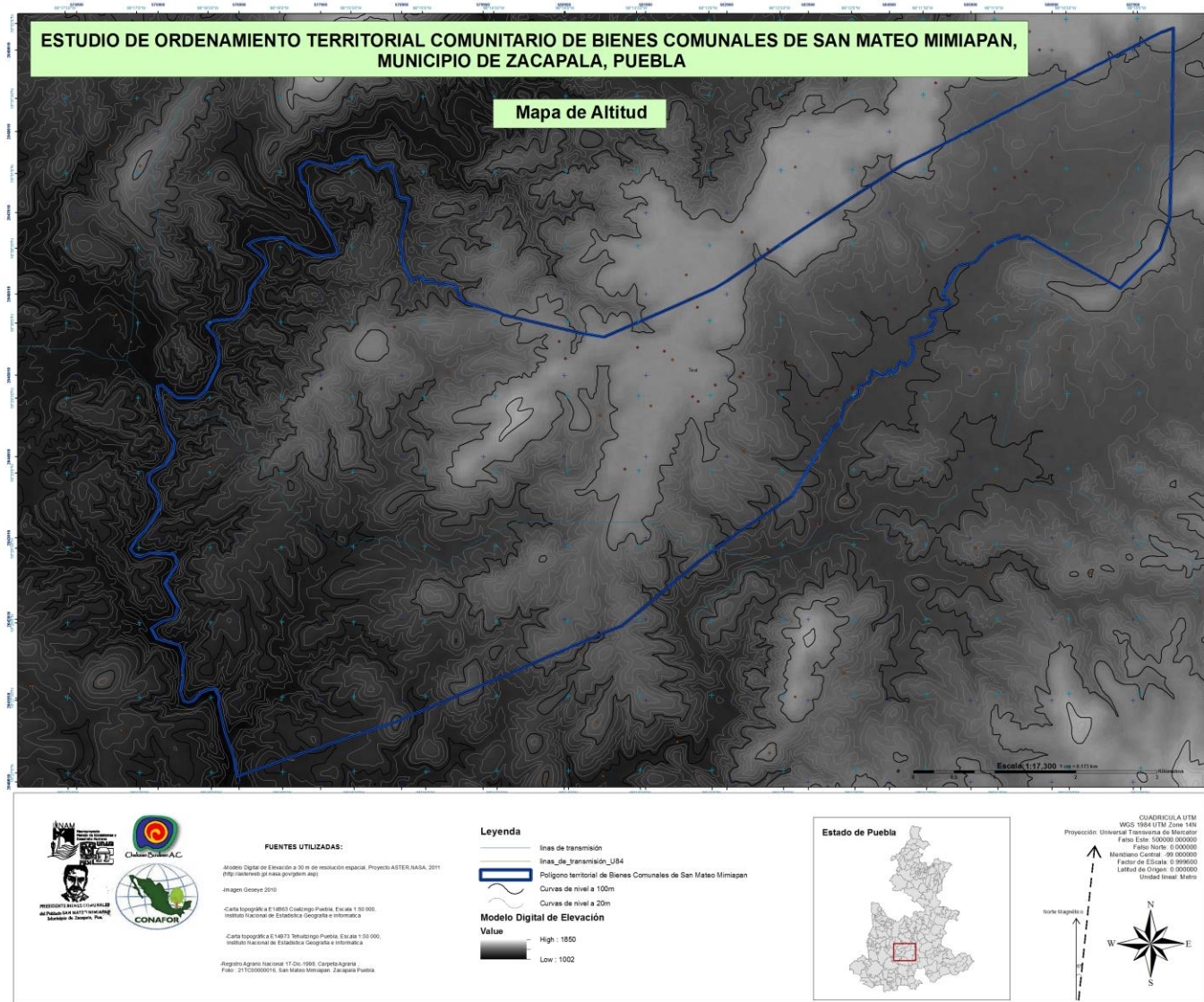
	1,002 - 1,200
	1,200 000001 - 1,300
	1,300 000001 - 1,400
	1,400 000001 - 1,500
	1,500 000001 - 1,850



CUADRICULA UTM
 WGS 1984 UTM Zone 14N
 Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Falso Este: 500000.000000
 Falso Norte: 0.000000
 Meridiano Central: 99.000000
 Factor de Escala: 0.999600
 Latitud de Origen: 0.000000
 Unidad lineal: Metro

Norte Magnético

“Estimación de Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica, en Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan, Puebla”



“Estimación de Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica, en Bienes Comunales de San Mateo Mimiapan, Puebla”

