



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

**DIAGNÓSTICO Y PLAN DE MANEJO DE LA MICROCUENCA RÍO SILA,
TEPETLAOXTOC, ESTADO DE MÉXICO**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN SOMETIDO A LA CONSIDERACIÓN DE LA
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN Y LA ESCUELA DE POSGRADO COMO REQUISITO
PARA OPTAR AL GRADO DE**

MÁSTER EN MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

FERNANDO GÓMEZ SANTAMARÍA

TURRIALBA, COSTA RICA

2020

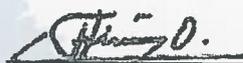
Este trabajo de graduación ha sido aceptado en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobado por el Comité Asesor del estudiante, como requisito para optar por el grado de

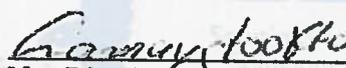
División de Educación

Máster en Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas



FIRMANTES:


Francisco Jiménez, Dr.Sc.
Co asesor del Trabajo de Graduación


Ney Ríos, M.Sc.
Co asesor del Trabajo de Graduación


Isabel A. Gutiérrez-Montes, Ph.D.
Decana de la Escuela de Posgrado


Fernando Gómez Santamaría
Candidato

Programa de Posgrado

Dedicatoria

A DIOS, el dueño de mi vida, con Él todo, sin Él nada.

A Olivia, mi compañera en esta travesía por la vida, quien con su comprensión, paciencia y motivación fue el impulso para conseguir esta meta anhelada, de tal manera, que el éxito es y será siempre de ambos.

A Fercho, por enseñarme que la felicidad se alcanza haciendo lo que nos hace felices, con pleno respeto de igual a igual con los demás; a Andy, por mostrarme que la verdad es la corona de la humanidad y es virtud de santos, de tal manera que nuestra misión por la vida es construirnos como excelentes seres humanos; a Mafer, por mostrarme que nuestras caídas por la vida, cuando son bien aprendidas y reconocidas, se transforman en un camino de éxito y en un ser humano nuevo.

A Elfega Eudocia, Demetrio Aquilino, Josefina y Julián, quienes son la riqueza cultural de mixtecos y tlayllotlacas atlaotecas que conforma mi familia y la expresión total de honestidad, amor, esfuerzo, tenacidad, dedicación y respeto, para ellos mi agradecimiento allá donde se encuentren.

A María, Alicia, Alfonso y Ricardo quienes junto conmigo son unidad, sin importar que al paso del tiempo hayamos conformado otras unidades, por siempre seremos uno.

A mis compañeros y compañeras de esta aventura de la maestría, Vicky, Rosa, Regina, Pancho, Osvaldo, Mario, Andrés, Josué, Joaquín y Elvis, todos ellos grandes profesionales que representan el esfuerzo, ideales y futuro de nuestra América.

A los profesores M.Sc. Diana Alexandra Zambrano (primero las mujeres), Dr. Francisco Jiménez Otárola, Dr. Bommat Ramakrishna, Dr. Christian Birkel, M.Sc. Sergio Velásquez Mazariegos, M.Sc. William Watler, M.Sc. Ovidio Ibañez López y M.Sc. Kees Prins, por ser grandes líderes y referentes de esfuerzo y profesionalismo a lo largo de mi formación y desarrollo en la maestría; que sigan por siempre con la misma entrega y honestidad.

A la memoria del C. Reyes Bonilla Beas (1932 - 2020), ingeniero forestal de la Escuela Nacional de Agricultura (actualmente Universidad Autónoma Chapingo) inigualable catedrático formador de 47 generaciones de profesionales y excelente servidor público a cargo de la Rectoría de la UACH y en diversos encargos en dependencias forestales de la administración pública, ya que en ambos ámbitos forjó su verdadero tesoro, el respeto y reconocimiento por su honestidad, servicio y profesionalismo.

Como olvidarlos, va también para Víctor Oscar, Lucas, Heriberto y Alberto, compañeros en los años de nuestra juventud en Chapingo, no importa los caminos y rumbos que hallamos seguido, los éxitos o fracasos vividos, la cercanía o la distancia entre nosotros, siempre seguiremos unidos por el cordón umbilical de nuestra Alma Mater.

Agradecimientos

Al Dr. Francisco Jiménez Otárola y al M.Sc. José Ney Ríos Ramírez, por su interés, valiosos consejos y gran acompañamiento en el proceso del desarrollo del trabajo final de graduación.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), por ser el espacio para concluir una meta importante en la vida.

Al ingeniero en restauración forestal Guillermo Cervantes Vargas, amigo, colega y gran ser humano por su apoyo desinteresado, consejos, opiniones y por los momentos de amena discusión para llevar a buen término el procesamiento e interpretación de la información digital.

A la Ing. María Petra Medina Hernández (Mary) y el Ing. Hermelindo Carrizosa Velasco (Herme), por su valiosa ayuda en el levantamiento de información en campo y apoyo en la integración del documento final.

A ESSYGA S.A. DE C.V. (Estudios, Soluciones Sustentables y Gestión Ambiental) por su apoyo económico y en tiempo para el desarrollo de la maestría en Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas, pero sobre todo por ser el laboratorio de todas las inquietudes de mi vida profesional.

De manera especial a la Dra. María del Carmen Carmona, (nuevamente primero las mujeres), Dr. Víctor Luna Pabello, Ing. José Antonio Poncelis, Ing. Fernando Santiago Gómez Martínez e Ing. Ernesto Reyes Alvarado, compañeros en GAIA quienes muestran en el día a día su compromiso profesional y son una motivación continua.

A GAIA. Grupo Académico Interdisciplinario Ambiental (Facultad de Química-UNAM), por aportar inspiración, sueños y compromiso en el quehacer profesional.

Al H. Ayuntamiento de Tepetlaoxtoc, por las facilidades otorgadas para la realización del presente trabajo.

A las Honorables Autoridades del Ejido de San Pedro Cuautzingo, por el apoyo y autorización para llevar a cabo el levantamiento de información en campo.

Al Ing. Julio Solorio López (gran amigo de la familia y compañero en nuestro ejercicio profesional), Ing. Efraín Hernández Solís (excelente ser humano) y M.C. Catalina González Gervacio, por su apoyo profesional durante el desarrollo del trabajo.

Índice

1	Introducción	1
1.1	Antecedentes	1
1.2	Justificación	2
1.3	Importancia	3
2	Objetivos	3
2.1	Objetivos específicos.....	3
3	Revisión de literatura.....	4
3.1	Marco normativo de base para el manejo de cuencas en México.....	4
3.2	Actores claves en el manejo de cuencas.....	5
3.3	Caracterización biofísica y socioeconómica de cuencas.....	6
3.4	Capacidad de uso de tierra.....	6
3.5	Erosión del suelo	7
3.6	Balance hídrico de cuencas	8
3.7	Diagnóstico de cuencas.....	9
4	Metodología	11
4.1	Ubicación del área de estudio	11
4.2	Descripción del área de estudio	12
4.3	Procedimiento metodológico.....	13
4.3.1	Objetivo 1. Identificación y caracterización de los actores claves.....	14
4.3.2	Objetivo 2. Caracterización biofísica y socioeconómica	15
4.3.3	Objetivo 3. Determinación de la capacidad de uso de la tierra	17
4.3.4	Objetivo 4. Estimación de la erosión del suelo en la microcuenca.....	19
4.3.5	Objetivo 5. Determinación del balance hídrico de la microcuenca.....	21
4.3.6	Objetivo 6. Determinación de los principales problemas y soluciones de la microcuenca (diagnóstico)	23
5	Resultados.....	25
5.1	Objetivo 1. Identificación y caracterización de los actores claves	25
5.1.1	Perfil de actores	25
5.1.2	Categorización de los actores	26
5.1.3	Caracterización de actores	26
5.2	Objetivo 2. Caracterización biofísica y socioeconómica	30
5.2.1	Morfometría	30
5.2.2	Caracterización física	34

5.2.3	Caracterización biótica	39
5.2.4	Uso de suelo y tipo de vegetación	47
5.2.5	Caracterización socioeconómica	48
5.3	Objetivo 3. Determinación de la capacidad de uso de la tierra	56
5.3.1	Etapa de pre-campo	56
5.3.2	Obtención de información en campo	58
5.3.3	Etapa de gabinete.....	59
5.3.4	Capacidad de uso de la tierra para las UH de la microcuenca río Sila	63
5.3.5	Evaluación de los conflictos de uso.....	65
5.3.6	Propuesta general de aplicación de prácticas de manejo y conservación de suelos y agua en relación a las clases de uso de las tierras	68
5.4	Objetivo 4. Estimación de la erosión del suelo en la microcuenca.....	70
5.4.1	Erosión hídrica	70
5.5	Objetivo 5. Determinación del balance hídrico de la microcuenca.....	88
5.5.1	Balance hídrico en la microcuenca	93
5.5.2	Propuesta de aplicación de tecnologías para la cosecha y siembra de agua	99
5.6	Objetivo 6. Determinación de los principales problemas y soluciones de la microcuenca (diagnóstico).....	103
6	Análisis de la experiencia de la realización del estudio, de los alcances y limitaciones de los resultados y las lecciones aprendidas	110
7	Conclusiones y recomendaciones.....	110
8	Literatura citada.....	114
9	Anexos	125

Índice de cuadros

Cuadro 1. Coordenadas de referencia para la ubicación de la microcuenca río Sila	12
Cuadro 2. Ficha de apoyo para la definición de conceptos y valoración.....	14
Cuadro 3. Categorías de actores	15
Cuadro 4. Textura del suelo de acuerdo a la NOM 011 CNA 2015	22
Cuadro 5. Valores de K de acuerdo al uso, tipo de suelo y tipo de vegetación.....	22
Cuadro 6. Actores clave en la microcuenca río Sila.....	25
Cuadro 7. Categorización de los actores clave de la microcuenca.....	26
Cuadro 8. Actores dominantes (PIL).	27
Cuadro 9. Actores fuertes (PI):	28
Cuadro 10. Actores influyentes (PL):.....	28
Cuadro 11. Actores respetados (L):.....	29
Cuadro 12. Actores inactivos (P):.....	29
Cuadro 13. Actores marginados (I):	29
Cuadro 14. Actores vulnerables (IL):.....	29
Cuadro 15. Parámetros morfométricos de la microcuenca río Sila	30
Cuadro 16. Estaciones climatológicas consideradas en el análisis de la microcuenca	36
Cuadro 17. Usos de suelo y tipos de vegetación en la microcuenca Río Sila	47
Cuadro 18. Unidades Médicas Oficiales del Municipio.....	51
Cuadro 19. Población con acceso a servicio de salud en instituciones públicas	51
Cuadro 20. Población con servicio de salud pública, estatal o federal	51
Cuadro 21. Población de la microcuenca con escolaridad básica y postbásica.....	52
Cuadro 22. Viviendas con carencias de servicios.....	52
Cuadro 23. Distribución de la población de acuerdo al nivel de ocupación y empleo	55
Cuadro 24. Variables biofísicas para la construcción de las Unidades Homogéneas	57
Cuadro 25. Clase, subclase y unidad de manejo para las UH de la microcuenca río Sila	64
Cuadro 26. Calificación del valor de uso actual del suelo con respecto a la capacidad de uso de la tierra	66
Cuadro 27. Distribución de la superficie de la microcuenca de acuerdo a Conflicto de Uso....	67
Cuadro 28. Prácticas de manejo y conservación de suelos y agua sugeridas para su aplicación en los polígonos de las UH.....	69
Cuadro 29. Valor del factor R de cada estación meteorológica.....	71
Cuadro 30. Valores del factor de erosividad (K) en función de la unidad de suelo y su textura superficial.....	72
Cuadro 31. Valores de del factor C.....	74
Cuadro 32. Niveles de pérdida de suelo en el área de estudio FAO - UNESCO, (1991).....	75
Cuadro 33. Niveles de erosión hídrica para la Unidades Homogéneas de la microcuenca	77
Cuadro 34. Volumen de suelo perdido por año por uso de suelo y tipo de vegetación	82
Cuadro 35. Características del USV, Relieve y tipo de suelo para la determinar tecnologías de conservación de suelo.....	83
Cuadro 36. Catálogo de Tecnologías para la conservación de suelo en la UH	84
Cuadro 37. Tecnologías de conservación de suelo recomendadas para los niveles de erosión y condiciones de cada una de las UH.	85
Cuadro 38. Ecuación Ce de acuerdo a los valores k.....	89

Cuadro 39. Balance hídrico en la microcuenca río Sila	93
Cuadro 40. Balance hídrico para los distintos usos de suelo y tipo de vegetación	94
Cuadro 41. Balance hídrico a nivel de las unidades homogéneas.....	95
Cuadro 42. Valores de hídricos de la unidad homogénea "V2T3S2C2G6"	98
Cuadro 43. Balance del volumen hídrico en los usos de suelo y tipos de vegetación de la microcuenca.....	99
Cuadro 44. Inventario de catálogo de tecnologías para la cosecha y siembra de agua.....	100
Cuadro 45. Tecnologías de cosecha y siembra de agua para las unidades homogéneas	100
Cuadro 46. Matriz de marco lógico	106

Índice de figuras

Figura 1. Localización geográfica y política de la microcuenca río Sila	12
Figura 2. Diagrama PIL para el análisis de relaciones de los distintos actores.....	15
Figura 3. Esquema de clasificación de capacidad de uso de la tierra.....	18
Figura 4. Diagrama PIL de actores clave de la microcuenca	27
Figura 5. Curva hipsométrica de la microcuenca río Sila.....	32
Figura 6. Red de orden de corrientes (Horton) para la microcuenca río Sila.....	33
Figura 7. Clima y subtipos climáticos en la microcuenca río Sila	34
Figura 8. Isotermas en la microcuenca río Sila	35
Figura 9. Isoyetas en el espacio de la microcuenca río sila	35
Figura 10. Tipo de suelos en la microcuenca	37
Figura 11. Rasgos geológicos de la microcuenca río Sila	38
Figura 12. Topoformas de la microcuenca como elemento del relieve.....	39
Figura 13. Bosque de pino en el Cerro Huilotepec, parte alta de la MRS.....	40
Figura 14. Bosque de <i>Juniperus deppeana</i> asociado a suelos degradados en la microcuenca.....	40
Figura 15. Plantaciones de eucalipto en áreas cubiertas originalmente por matorral crasicuale	41
Figura 16. Bosque de encino	41
Figura 17. Matorral crasicuale, ecosistema original en la parte media de la microcuenca	42
Figura 18. Pastizal inducido como resultado del proceso de sucesión vegetal de tierras agrícolas abandonadas.....	43
Figura 19. Agricultura de riego en el municipio de Tepetlaoxtoc.....	44
Figura 20. Agricultura de temporal en la localidad de San Pedro Chiautzingo	45
Figura 21. Mina a cielo abierto para la extracción de tezontle	46
Figura 22. Espacio urbano construido	46
Figura 23. Relación de la microcuenca con áreas naturales protegidas y áreas de conservación de la biodiversidad.....	47
Figura 24. Uso de suelo y tipo de vegetación en la microcuenca	48
Figura 25. Localidades en la microcuenca Río Sila	49
Figura 26. Cantidad de hombres y mujeres en la MRS.....	50
Figura 27. Distribución de edades de la población en la microcuenca.....	50
Figura 28. Unidades homogéneas en el espacio de la microcuenca río Sila	58
Figura 29. Obtención de información en campo.....	59
Figura 30. Capacidad de uso de la tierra en UH de Agricultura de riego y temporal.....	60
Figura 31. Capacidad de uso de la tierra en UH de Agricultura de temporal y bosque inducido	61
Figura 32. Capacidad de uso de la tierra en UH de Matorral crasicuale y Bosque Templado ..	62
Figura 33. Unidades de manejo en el territorio de la microcuenca río Sila	63
Figura 34. Conflictos de uso actual de la tierra respecto a su capacidad	68
Figura 35. Valores de isoerosividad (R) en la microcuenca	72
Figura 36. Mapa raster con los valores de (K) en la microcuenca	73
Figura 37. Representación del factor L en el espacio de la microcuenca	73
Figura 38. Mapa raster del factor S para la microcuenca río Sila.....	74

Figura 39. Representación del factor C para la microcuenca.....	75
Figura 40. Erosión hídrica para la microcuenca Río Sila	76
Figura 41. Erosión hídrica para las unidades homogéneas	77
Figura 42. Valor K en la microcuenca Río Sila	90
Figura 43. Valores de Ce para el espacio de la microcuenca.....	90
Figura 44. Mapa de infiltración para la microcuenca río Sila	93
Figura 45. Representación de las variables del balance hídrico para la microcuenca río Sila .	94
Figura 46. Árbol de problemas de la microcuenca río Sila	104
Figura 47. Árbol de objetivos de la microcuenca río Sila.....	105

Lista de acrónimos, abreviaturas y unidades

AGEB. Área Geoestadística Básica

ANP. Área Natural Protegida

CATIE. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

CENAPRED. Centro Nacional de Prevención de Desastres

CLIP. Planeación de Proyectos Orientada a Objetivos

CONABIO. Comisión Nacional para la Biodiversidad

CONAFOR. Comisión Nacional Forestal

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas

CONAZA. Comisión Nacional de Zonas Áridas

EUPS. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

GTZ. Agencia Alemana de Cooperación Técnica

IMTA. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

INAH. Instituto Nacional de Antropología e Historia

INE. Instituto Nacional de Ecología

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía

INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

LAN. Ley de Aguas Nacionales

LGEEPA. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

MINEREN. Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas

MRS. Microcuenca del río Sila

NOM. Norma Oficial Mexicana

RHP. Región Hidrológica Prioritaria

RTP. Región Terrestre Prioritaria

SADER. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural

SDS. Secretaría de Desarrollo Social

SE. Secretaría de Educación.

SEDAGRO. Secretaría de Desarrollo Agropecuario

SEDEMA. Secretaría del Medio Ambiente

SEMARNAT. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales

SS. Secretaría de Salud

SSN. Servicio Sismológico Nacional

SWAT. Herramienta para la Evaluación de Suelo y Agua

USDA. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

WOCAT. Panorama Mundial de Enfoques y Tecnologías de la Conservación

ZOOP. Análisis Social (Colaboración y Conflicto, Legitimidad, Intereses y Poder

Resumen

El objetivo general del estudio fue diagnosticar el estado actual de la microcuenca del río Sila, en México, como base para desarrollar un plan para su manejo integral y sostenible. Para esto se realizaron varios estudios y análisis complementarios que se indican a continuación: Se identificaron y categorizaron los actores clave y se identificaron las relaciones de -conflicto, colaboración, legitimidad, intereses y poder - como componente básico del proceso de elaboración del plan de manejo. Se realizó el reconocimiento del espacio mediante la caracterización biofísica y socioeconómica. Se analizó la congruencia de uso actual de los recursos naturales y se construyeron unidades biofísicas homogéneas. Mediante la metodología para la determinación de capacidad de uso de la tierra se identificaron usos compatibles e incompatibles y se establecieron propuestas de manejo sustentable. Se estimó la tasa de erosión hídrica para unidades homogéneas y para la microcuenca en conjunto; además, se clasificó el territorio según niveles de degradación y se propusieron prácticas y tecnologías de manejo y conservación de suelos. Se estimó el balance hidrológico de la microcuenca y los valores de escurrimiento superficial fueron considerados como alternativa de aprovechamiento de agua de lluvia para mejorar los procesos productivos agrícolas y pecuarios, así como para la conservación de los ecosistemas forestales; además, se enlistan tecnologías de cosecha y siembra de agua de lluvia. Finalmente, mediante un proceso participativo y utilizando la metodología de marco lógico se elaboró una propuesta de plan de manejo de la microcuenca.

Summary

The general objective of the study was to diagnose the current state of the Sila river micro-watershed in Mexico, as the basis for developing a plan for its comprehensive and sustainable management. For this, several complementary studies and analyzes were carried out, as follows: Key actors were identified and categorized, and relationships of - conflict, collaboration, legitimacy, interests, and power - were identified as a basic component of the management plan development process. The space was recognized through biophysical and socioeconomic characterization. The consistency of current use of natural resources was analyzed and homogeneous biophysical units were built. Through the methodology for determining land use capacity, compatible and incompatible uses were identified and proposals for sustainable management were established. The water erosion rate was estimated for homogeneous units and for the micro-watershed as a whole; in addition, the territory was classified according to levels of degradation and soil management and conservation practices and technologies were proposed. The hydrological balance of the micro-watershed was estimated and the surface runoff values were considered as an alternative for using rainwater to improve agricultural and livestock production processes, as well as for the conservation of forest ecosystems; likewise, rainwater harvesting and sowing technologies are listed. Finally, through a participatory process and using the logical framework methodology, a proposal for a micro-watershed management plan was elaborated.

1 Introducción

1.1 Antecedentes

El crecimiento económico de México ha provocado formas urbano-rurales ecológicamente insustentables, debido al patrón cultural de producción y consumo que impulsa la industrialización acelerada y la expansión urbana sin control (Ramírez, 2011). Este escenario manifiesta sus formas más agresivas en las periferias de las grandes metrópolis latinoamericanas (Altvater, 2001), como en el caso del ámbito de influencia regional del municipio de Texcoco, donde se integra el municipio de Tepetlaoxtoc y en cuyo territorio queda incluida la microcuenca río Sila (MRS).

La Ciudad de México, segunda ciudad más poblada del mundo, se localiza a solo 22 km con respecto a la parte baja de la MRS, y debido a su cercanía, en su territorio se perciben los impactos que genera la dinámica de urbanización, la agudización de los conflictos por el uso de los recursos, el suelo y las externalidades negativas ambientales (Ramírez, 2011). La MRS, debido a sus características biofísicas y culturales, representa una oferta de servicios ambientales y valores culturales al ámbito metropolitano y especialmente a la Ciudad de México.

La región muestra una tasa de crecimiento poblacional superior al promedio de los municipios conurbados y del propio Estado de México (INEGI, 2019 datos de población) y con ello demanda de ocupación del suelo, que implica una fuerte presión, física y ambiental sobre su territorio, lo cual pone en riesgo la sustentabilidad de la región, ante la disminución de su capacidad para sustentar económica y ambientalmente los procesos de crecimiento y desarrollo, agudizado por la ausencia de una auténtica gobernabilidad comprometida en revertir los efectos negativos.

La región enfrenta la pérdida del desarrollo de actividades rurales, ya que el 74 % de la población activa se ocupa en actividades industriales y terciarias; por otra parte, la debilidad ecológica se manifiesta por procesos de deforestación y erosión de la parte alta de las cuencas, el abatimiento del manto freático, la contaminación de los ríos, así como la pérdida de terrenos agrícolas, degradación de los suelos y alteración del ciclo hidrológico, siendo el agua uno de los principales recursos en disputa entre la población rural y urbana. La sobreexplotación del acuífero ha provocado el abatimiento de los mantos freáticos, pasando de un nivel de extracción de 30 metros hasta 120 m de profundidad entre los años de 1972 a 1995, y la cantidad de pozos perforados entre 1990 y 1995 pasó de 312 a 560. Por otra parte, el debilitamiento ambiental de la región se expresa con problemas de salud, ligados a la insuficiente cobertura del sistema de drenaje, la descarga y tránsito de aguas negras a cielo abierto y el inadecuado manejo de los desechos sólidos municipales.

La región Texcoco y la MRS requieren ser intervenidas de manera integral, por lo cual es primordial el reconocimiento de la problemática por parte de la población, autoridades de gobierno y actores de la microcuenca, para, posteriormente, pasar a una etapa de participación y organización para la implementación de acciones dirigidas a frenar y revertir el proceso de deterioro. De lo anterior, el manejo de cuencas hidrográficas es una alternativa valiosa, al ser

un proceso dirigido a lograr el buen uso, aprovechamiento, protección, conservación y rehabilitación de los recursos naturales en beneficio de las poblaciones rurales y urbanas y de los ecosistemas, mediante procesos participativos que resulten en el empoderamiento, compromiso y responsabilidad de los distintos actores.

1.2 Justificación

Varios autores (Ávila, 2007; Perevochtchnikova y Arellano-Monterrosas, 2008) concluyen que los problemas detectados en la implementación de la gestión integral del agua por cuencas hidrográficas en México, se deben a: a) Falta de una mayor transparencia de la información en el proceso de organización, participación de actores, programas y planes; b) Conflictos socioeconómicos en el territorio de las cuencas transfronterizas, relacionados con la extracción, desvío y uso del agua; c) Poca o nula participación social local, lo que limita el proceso de gestión; d) Ausencia de auténticos procesos democráticos en el proceso.

La problemática de la microcuenca del río Sila se puede evidenciar mejor, en términos de sus características generales, actividades productivas y problemas, en tres áreas que se resumen a continuación:

a) Zona urbano-rural: incluye las principales localidades de Tepetlaoxtoc de Hidalgo, San Pedro Chiautzingo y San Bernardo Tlalmimilolpan con disponibilidad de infraestructura y equipamiento. Las tierras son planas, profundas y medianamente productivas, con régimen de tenencia de la tierra predominantemente privado. Las actividades agropecuarias han perdido importancia debido a los bajos rendimientos, costos de producción y déficit de agua para cumplir los ciclos productivos.

b) Zona "pie de monte": es la zona entre las tierras planas y la zona de lomeríos. Se caracteriza por pendientes leves, suelos superficiales y agricultura, predominante, de temporal. En esta área se registran problemas por déficit de agua para los usos agrícola y pecuario, uso doméstico y consumo humano. Los asentamientos humanos dispersos, enfrentan el manejo inadecuado de las aguas negras, las cuales se vierten en las corrientes de agua a cielo abierto, constituyéndose en fuentes de contaminación que afectan a la población local y regional.

c) Zona de lomeríos: con una elevación de hasta 3,023 msnm, la zona está cubierta por bosque en régimen de tenencia de la tierra comunal, con potencial de desarrollo de actividades ecoturísticas y turístico culturales, sin embargo, muestra degradación ambiental, expresada en la deforestación y erosión de los suelos ante el manejo inadecuado de los suelos, así como cambio de uso de suelo para cultivos forrajeros.

Este estudio de diagnóstico y plan de manejo se plantea como una alternativa para atender la problemática que enfrenta la microcuenca río Sila y su integración se apega a la guía de ruta metodológica para la gestión de cuencas, la cual, de acuerdo a Jiménez (2018), constituye el resultado de la experiencia desarrollada y consolidada a través del tiempo por el CATIE, atendiendo en este trabajo lo correspondiente a la fase de planificación (etapas 1 al 6) que incluye desde el reconocimiento de la microcuenca y hasta la formulación del plan de manejo. El estudio también representa la oportunidad de contribuir al manejo de la

microcuenca mediante la participación de los distintos actores que resulte en su empoderamiento para propiciar la gestión sostenible del territorio.

1.3 Importancia

El diagnóstico y plan de manejo constituye un instrumento de comunicación y divulgación de las características físicas, biológicas y socioeconómicas para los habitantes del espacio de la microcuenca del río Sila y personas externas que mantienen interés en el tema de manejo de cuencas hidrográficas. Así mismo es una contribución a la determinación y análisis de los principales problemas de la microcuenca y a la propuesta de soluciones. El estudio representa una oportunidad para replantear los procesos de manejo de los recursos naturales en la zona de estudio, ya que según lo planteado por Perevochtchikova y Arellano-Monterrosas (2008), el proceso de instrumentación de la gestión de cuencas hidrográficas en México no ha alcanzado avances significativos, debido a diferentes restricciones en el ámbito de las políticas públicas del país.

Así, este estudio será de utilidad para los habitantes, las instituciones, organizaciones y autoridades que trabajan en la propia microcuenca, ya que servirá como instrumento directriz para la toma de decisiones al priorizar acciones para la restauración de los recursos naturales de la microcuenca, su manejo sostenible y el bienestar de la población. Así mismo este estudio será de utilidad para otras microcuencas vecinas como procedimiento metodológico para abordar el análisis y propuesta de acciones y soluciones para su manejo sostenible.

2 Objetivos

Diagnosticar el estado actual de la microcuenca del río Sila como base para desarrollar un plan para su manejo integral y sostenible.

2.1 Objetivos específicos

- Identificar y caracterizar los actores clave para el manejo y la gestión de los recursos naturales de la microcuenca del río Sila.
- Describir las principales características biofísicas y socioeconómicas de la microcuenca del río Sila.
- Determinar la capacidad de uso de la tierra en la microcuenca del río Sila.
- Estimar la erosión hídrica del suelo en la microcuenca del río Sila.
- Determinar el balance hídrico en la microcuenca del río Sila como base para identificar elementos críticos para el manejo de este recurso.
- Determinar los principales problemas y soluciones de la microcuenca del río Sila mediante la metodología de marco lógico adoptada en el método zopp.

3 Revisión de literatura

3.1 Marco normativo de base para el manejo de cuencas en México

El recurso agua como eje integrador de los demás recursos naturales de la cuenca, tienen su fundamento jurídico en México, en los artículos 4°, 27 y 115 de la Constitución Política, que reconocen el derecho de todas las personas al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible (artículo 4°), debiendo el estado garantizar el derecho de forma equitativa y sustentable, y responsable de establecer la participación de la Federación, los estados y la ciudadanía para conseguirlo. La Nación es propietaria de las aguas y establece las bases para que regule su aprovechamiento sostenible, con la participación de la ciudadanía y de los tres niveles de gobierno (artículo 27). Finalmente, el artículo 115, especifica que los municipios tienen a su cargo los servicios públicos de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales (AGUA.ORG., 2020).

La legislación secundaria está comprendida por la Ley de Aguas Nacionales (LAN), última reforma del 6 de enero de 2020 (DOF, 2020) que regula la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable y designa a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), como el órgano administrativo, normativo, técnico y consultivo encargado de la gestión del agua en México, a través de 13 organismos de cuenca, cuyo ámbito de competencia son las regiones hidrológico-administrativas, las cuales están formadas por agrupaciones de cuencas, como las unidades básicas de gestión de los recursos hídricos, sus límites respetan los municipales, para facilitar la administración e integración de la información socioeconómica (AGUA.ORG., 2020).

Por otra parte, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), última Reforma del 5 de junio del 2018, establece a las cuencas hidrográficas como áreas de protección de recursos naturales (artículo 53), donde sólo podrán realizarse actividades relacionadas con la preservación, protección y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales en ellas comprendidos, así como con la investigación, recreación, turismo y educación ecológica, de conformidad con lo que disponga el decreto que las establezca, el programa de manejo respectivo y las demás disposiciones jurídicas aplicables. Otras leyes secundarias relacionadas con el tema de agua son la de cambio climático, la de desarrollo forestal sustentable, la de minería, entre y otras.

El manejo de cuencas se manifiesta de forma apenas perceptible, en el Artículo 15 de la LAN, al referir que: *La planificación hídrica es de carácter obligatorio para la gestión integrada de los recursos hídricos, la conservación de recursos naturales, ecosistemas vitales y el medio ambiente, asimismo que: La formulación, implantación y evaluación de la planificación y programación hídrica comprenderá: III. Los subprogramas específicos, regionales, de cuencas hidrológicas, acuíferos,...que permitan atender problemas de escasez o contaminación del agua, ordenar el manejo de cuencas y acuíferos, o corregir la sobreexplotación de aguas superficiales y subterráneas; dichos subprogramas comprenderán el uso de instrumentos para atender los conflictos por la explotación, uso, aprovechamiento y conservación del agua en*

cantidad y calidad, la problemática de concesión, asignación y transmisión de derechos de uso de agua en general para la explotación, uso, y aprovechamiento del agua, incluyendo su reúso, así como el control, preservación y restauración de la misma; la formulación y actualización del inventario de las aguas nacionales y de sus bienes públicos inherentes, así como el de los usos del agua, incluyendo el Registro Público de Derechos de Agua y de la Infraestructura para su aprovechamiento y control;. De lo anterior, es importante destacar para la legislación de México, ausencia y necesidad de metodologías específicas y/o normas de referencia sobre programas de manejo integral del recurso hídrico.

De acuerdo con Moreno Díaz, citado por Mendoza Barrera (2008), los planes de manejo de cuencas tienen diversos enfoques y los objetivos propuestos definen los requerimientos básicos, los enfoques pueden ser sectorial, multisectorial o integrado. Asimismo, deben enfocarse en los recursos hídricos y con enfoque en cuencas: en este último caso, el énfasis se centra en el desarrollo del territorio.

3.2 Actores claves en el manejo de cuencas

Se define que un actor, es toda unidad generadora de acción o relación social, sea un individuo o un todo colectivo (grupo, asociación, etc.). Asimismo, un actor social opera siempre con orientaciones, motivos, expectativas, fines, representaciones y valores, dentro de una situación determinada (Ibáñez y Brie, 2001). De manera particular, los actores claves son usualmente considerados como aquellos que pueden influenciar significativamente (positiva o negativamente una intervención) o son muy importantes para que una situación se manifieste de determinada forma (Tapella, 2007).

De acuerdo con Rietbergen-McCracken y Nayaran (1998), la identificación de los actores clave es el paso primero dentro del proceso de análisis de los actores de una región y tiene como objetivo entender e identificar el interés, la importancia y la influencia que estos tienen sobre el territorio y sobre los programas y proyectos que en él se pretendan realizar. De la misma manera, Urrutia (2004) menciona que la posibilidad de conocer los procesos económicos, sociales, culturales, ambientales y políticos de una región permite la identificación de los actores claves de cada uno de estos procesos y como estos y sus actores influyen en el manejo integrado de las subcuencas que se pretende intervenir. Finalmente, Tapella (2007) menciona que este tipo de análisis ha ganado importancia no sólo en los proyectos de desarrollo, sino también en proyectos de investigación.

Una de las metodologías de análisis es el mapeo de actores, que permite acceder de manera rápida a la trama de relaciones sociales en una zona determinada (Gutiérrez, 2007). Además, permite obtener un listado de posibles actores de un territorio, ayuda a identificar sus acciones y los objetivos del por qué están presentes en el territorio y cuáles son sus perspectivas en un futuro inmediato (Ceballos, 2004).

Para realizar el análisis de actores, Rietbergen Mc Cracken & Narayan (1998) sugieren el desarrollo de los cuatro pasos siguientes:

Paso 1. Identificar a los actores claves: aquellos que son impactados por el proyecto de manera más contundente y/o quienes pueden tener mayor influencia sobre los resultados esperados. Paso 2. Evaluar los intereses de los actores y el impacto del proyecto sobre estos. Paso 3. Evaluar la influencia e importancia de cada uno de ellos. Paso 4. Establecer un plan en el que se establezcan las estrategias para involucrar y promover la participación de los actores en el desarrollo del proyecto.

3.3 Caracterización biofísica y socioeconómica de cuencas

Miranda y Pereira (2000:3) mencionan que los componentes que se encuentran interactuando o en combinación en una cuenca hidrográfica son: aspectos biofísicos, aspectos socioeconómicos y distingue de manera separada lo correspondiente a la clasificación de los suelos. En el mismo sentido Brieva (2018) menciona que los procesos hidrológicos que se producen en la cuenca son el resultado de la interacción de los factores climáticos, topográficos, ecológicos, así como de la intervención humana respecto al uso del suelo e infraestructura. La posibilidad de conocer las características físicas, ambientales y sociales de las cuencas es una necesidad cada vez mayor para la planificación de la producción, así como también para hacer frente a los eventos extremos (sequías e inundaciones) y poder tomar las medidas de prevención y adaptación adecuadas.

Respecto a la caracterización biofísica, Fallas y Valverde (2008) mencionan que esta caracterización puede ser considerada como la fase del inventario de una cuenca hidrográfica, en la cual se cuantifican las variables que la tipifican, para identificar, precisar y dimensionar las situaciones que se presentan en el medio biológico y físico. Asimismo, permite evaluar e interpretar el "estado o situación", sus características, recursos naturales, problemas (causa-efecto) y potencialidades o vocación (oferta-estado). Brieva (2018) menciona que el conocimiento de las características de los elementos bióticos, abióticos y fisiográficos y sus interrelaciones en un medio natural permite obtener un diagnóstico biofísico, y en el caso de una cuenca, este conocimiento establece un patrón de orden dentro de la cuenca a través de una definición de las características de sus partes.

Respecto a la caracterización socioeconómica, Mendoza (1999) indica que un estudio socioeconómico abarca un vasto conjunto de condiciones sociales y actividades económicas en una cuenca hidrográfica a partir del cual es posible conocer la realidad de la cuenca y proponer alternativas de solución, debido a que el factor social hombre-comunidad son la clave para movilizar las acciones de manejo de cuencas; y, mediante este diagnóstico se conoce la demanda de la población, sus problemas, sus necesidades, sus tendencias, y conflictos con la capacidad de carga de la cuenca. Antes de comenzar un estudio detallado de una cuenca hidrográfica, es necesario recolectar y analizar la información socioeconómica de la zona, con el propósito de proporcionar información básica a los planificadores para la preparación de propuestas de estudios y/ de trabajo.

3.4 Capacidad de uso de tierra

De acuerdo con Klingebiel y Montgomery (1961), la capacidad de uso de la tierra es una determinación en términos físicos, del soporte que tiene una unidad de tierra de ser

utilizada para determinados usos o coberturas y/o tratamientos. Generalmente se basa en el principio de la máxima intensidad de uso soportable sin causar deterioro físico del suelo. Los mismos autores establecen que la clasificación de tierras por capacidad de uso es un agrupamiento de interpretaciones que se hacen principalmente para fines agrícolas y comienza por la distinción de las unidades de mapeo. Esta permite hacer algunas generalizaciones con respecto a las potencialidades del suelo, limitaciones de uso y problemas de manejo. Se refiere solo a un nivel máximo de aplicación del recurso suelo, sin que este se deteriore, con una tasa más grande que la tasa de su formación. En este contexto, el deterioro del suelo se refiere sobre todo al arrastre y transporte hacia abajo de la pendiente de partículas de suelo por la acción del agua precipitada.

Los objetivos de una evaluación de tierras pueden ser: la valoración y recuperación de tierras frágiles como primera orientación hacia una acción al respecto (Ritchers, 1995) y finalmente otro objetivo puede ser la implementación de usos deseados (FAO 1976, 1985). Respecto a lo anterior, el sobreuso de la tierra se define como, el uso de una unidad de tierra a una intensidad mayor a la que soporta en términos físicos, mientras que, el subuso de las tierras es el uso de una unidad de tierra a una intensidad menor que la que es capaz de soportar en términos físicos (Komives et al.1985; Ritchers, 1995).

Existen varios sistemas de clasificación de tierras por capacidad de uso, utilizados principalmente en Norteamérica y Latinoamérica, entre los cuales se pueden citar los siguientes: división en clases de capacidad, orientado a fines agropecuarios de USDA; evaluación de tierras de FAO; Tablas Dubon de Michaelsen; clasificación de tierras de Venezuela, adaptación del sistema USDA; clasificación de tierras de Nicaragua, adaptación del sistema USDA; clasificación de tierras de México, adaptación del sistema USDA; y, Clasificación por índices edáficos y/o climáticos de Botero (López s.f.). En Costa Rica, existe una normativa que establece la "Metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica" (MAG-MIRENEM - Decreto 23214, 1994).

3.5 Erosión del suelo

El fenómeno de erosión se refiere al proceso de remoción (por desprendimiento o arrastre) del suelo, principalmente de la capa arable del mismo (FAO 2000). Generalmente, la erosión es considerada como un proceso más de la degradación de los suelos, sin embargo, en términos más rigurosos, debería diferenciarse entre los mecanismos de degradación o deterioro y los de pérdida del recurso; entre los últimos se podría citar a la erosión y el sellado, mientras que entre los primeros están el resto de los que generalmente se mencionan en la literatura (contaminación, compactación, salinización, etc.). Siendo el suelo un recurso natural renovable a escala humana, su pérdida por erosión o sellado puede considerarse irreversible (Ibáñez, 2006).

Entre las presiones más importantes derivadas de fenómenos naturales y antrópicos que se ejercen sobre los suelos destacan la erosión hídrica y la erosión eólica, con la reducción de su fertilidad ante la pérdida de minerales y materia orgánica (SEMARNAT 2003). Sin embargo, recientemente se considera en la clasificación general, a la erosión hídrica, a la eólica

y al laboreo. Las dos primeras suceden en condiciones naturales, sin embargo, el ser humano mediante prácticas tiende a acelerarla hasta el punto de que las pérdidas no pueden ser compensadas por las tasas naturales de formación del suelo. Por el contrario, la erosión por laboreo es un fenómeno genuinamente antrópico, ya que no intervienen directamente las fuerzas naturales (a excepción de la gravedad), sino la intervención humana a través de sus prácticas y tecnologías. La magnitud de este último proceso erosivo tan solo ha comenzado a ser reconocida recientemente, como ha ocurrido también con el sellado por asfaltado (Ibáñez, 2006).

Han sido muchos los procedimientos propuestos para estimar las pérdidas de suelo relacionadas con actividades humanas (erosión acelerada), pero es quizá la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo, USLE, (Universal Soil Loss Equation), formulada inicialmente por WISCHMEIER y SMITH en 1962 y publicada posteriormente en su forma definitiva en el Manual 534 del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (Wischmeier y Smith, 1978), la que ha tenido mayor aceptación y difusión, no sólo en los países del continente americano, sino en los demás países con problemas de erosión.

Esta ecuación estima las pérdidas de suelo anuales, como valor promedio de un período representativo de años, que se producen en una parcela o superficie de terreno debido a la erosión superficial, laminar y en regueros, ante unas determinadas condiciones de clima, suelo, relieve, vegetación y usos del suelo. La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo en su forma actual: $A=R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$. De tal manera que: A representa el valor promedio de las pérdidas de suelo anuales (t/ha/año) en función de un índice de erosividad de la lluvia R, la erosibilidad del suelo K, un factor de relieve LS, un factor de cubierta vegetal C y un factor de prácticas de conservación de suelos P (González, 1991).

3.6 Balance hídrico de cuencas

De acuerdo con Sánchez (2001), "se denomina ciclo hidrológico al movimiento general del agua, ascendente por evaporación y descendente primero por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea". De acuerdo con INE SEMARNAT- Pladeyra (2003) la evaluación de los recursos hídricos de una cuenca requiere de una estimación correcta del balance hidrológico, es decir, comprender el ciclo en sus diferentes fases, la forma en que el agua que se recibe por precipitación y se reparte entre el proceso de evapotranspiración, escorrentía e infiltración. La ecuación de balance hidrológico es una expresión muy simple, aunque la cuantificación de sus términos es normalmente complicada por la falta de medidas directas y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (en acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en la cuenca (Llorens, 2003).

En general, podemos afirmar que del agua que cae en un determinado sitio (precipitación = P), una parte vuelve a la atmósfera, ya sea por evaporación directa o por transpiración de la vegetación (evapotranspiración = ETR); otra parte escurre por la superficie de la cuenca (escorrentía superficial = ES), confluyendo a través de la red de drenaje hasta alcanzar los cauces principales y finalmente al mar o lagos, y el resto se infiltra en el terreno y se incorpora al sistema de aguas subterráneas o acuífero (infiltración = I).

Estas magnitudes deben cumplir con la siguiente ecuación que se conoce con el nombre de balance hidrológico:

$$P = ETR + ES + I$$

La fórmula general que se utiliza en el balance hidrológico es la siguiente:

$$\text{CAPTACIÓN} - \text{EVAPOTRANSPIRACIÓN} = \text{ESCORRENTÍA SUPERFICIAL} + \text{INFILTRACIÓN}$$

Del balance hidrológico se puede conocer el estado de humedad de la cuenca, el cual está asociado al aporte de precipitación recibida y descontando las pérdidas generadas, lo que permite clasificar el tipo de año (húmedo, normal o seco). Esto permitirá planificar el recurso hídrico, con base en las demandas. Por lo anterior, el balance hídrico constituye una herramienta básica para estimar la disponibilidad de agua en cuencas hidrológicas y sus componentes permiten evaluar los elementos relevantes que rigen el sistema hidráulico de la cuenca, toda vez que el análisis del balance hidráulico cuantifica y suma los flujos de entrada y salida de la cuenca, así como aquellos de consumo y retorno que ocurren en su interior, para obtener la variación del volumen de agua durante el intervalo en el que se cuantifican los flujos (García et al, 2003).

La evaluación de balance hídrico en cuencas hidrográficas debe considerar la elección y aplicación de la metodología en función de la disponibilidad de datos disponible. En la actualidad existen diversos modelos hidrológicos para calcular o estimar los caudales disponibles en una cuenca hidrográfica, procesados mediante el uso del SIG (Birkel, 2018), por ejemplo, el Sistema de Modelación Hidrológico del Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU. (HEC-HMS por sus siglas en inglés) que provee una variedad de opciones para simular procesos de precipitación - escurrimiento y tránsito de caudales (Feldman 2000). Asimismo, otra alternativa es el uso del Soil and Water Assessment Tool (SWAT), un programa de modelamiento hidrológico diseñado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en conjunto con la Universidad de Texas.

3.7 Diagnóstico de cuencas

El diagnóstico en manejo de cuencas hidrográficas es un proceso dirigido a determinar el estado actual de la cuenca, considerando su capacidad natural y las tendencias de las intervenciones humanas sobre los recursos naturales y el ambiente. Consiste en conocer las características, potencialidades, interacciones problemas, causas, consecuencias y soluciones a esos problemas de la cuenca, interpretando como funciona este sistema, desde el punto de vista biofísico, socioeconómico y ambiental (Jiménez, 2007 citado por Duarte, 2015). El diagnóstico busca conocer las necesidades e intereses de la población y actores principales de la cuenca y cómo estos pueden participar en la solución de los problemas. Debe determinar el rol del ser humano, la familia, las comunidades, las instituciones, los gobiernos locales y las y organizaciones que influyen directa o indirectamente en este territorio (Jiménez, 2018).

El resultado del diagnóstico de la cuenca es: la descripción biofísica y socioeconómica de la cuenca, el conocimiento del potencial de la cuenca, es decir la oferta de la cuenca, el uso actual de la misma, conocer la problemática, las necesidades, conflictos y las áreas críticas, la identificación de los sitios y zonas vulnerables, con peligros o amenazas, el análisis de las probabilidades de desastres naturales debido al mal manejo, conocer sus limitantes y restricciones, determinar las causas y efectos de problemas y conflictos, conocer las tendencias (proyecciones) de las diferentes actividades y usos de los recursos naturales, conocer propuestas de soluciones o alternativas para los problemas y necesidades considerando las opiniones de los diferentes actores de la cuenca. Todo ello de vital importancia para construir el manejo del espacio, la conservación y el aprovechamiento sostenible de la cuenca (Umaña, 2002).

El diagnóstico es una etapa fundamental del proceso de planificación que dimensiona las necesidades y soluciones para los diversos componentes del plan de acción, manejo o gestión y su ejecución. En este sentido, es importante en el diseño del plan de manejo, el respaldo de un diagnóstico participativo, explicativo e interpretativo que sustente las decisiones sobre el horizonte de planificación, la oferta y demanda, y sobre todo, cómo implementar las soluciones en la cuenca (Jiménez, 2018). De una buena caracterización y de un buen diagnóstico depende un buen plan de acción o de manejo y gestión de la cuenca; esto es fundamental si se toma en cuenta, que con frecuencia se requieren periodos de tiempo largos, para tener impactos relevantes en la rehabilitación, manejo, protección y conservación de los recursos naturales en las cuencas. (Jiménez, 2009 citado por Duarte, 2015).

De lo anterior, el diagnóstico participativo se desarrolla por los propios miembros de la comunidad, los cuales identifican las necesidades y analizan las causas de los problemas; de esta manera, serán ellos a su vez quienes definan las acciones que deberán llevarse a cabo para modificar y transformar la realidad. En el diagnóstico participativo los integrantes son sujeto y objeto de estudio, y la comunidad investigada es al mismo tiempo la investigadora de su realidad, con la ayuda de personas externas (Ruiz, 2016).

La metodología ZOPP (Planeación de Proyectos Orientada a Objetivos), desarrollada por la agencia de cooperación alemana (GTZ), es participativa, de diagnóstico y planeación y es utilizada, principalmente, para la formulación de proyectos de cooperación internacional. Asimismo, la metodología permite que el grupo de trabajo defina en forma consensuada las acciones a realizar y su secuencia para alcanzar los objetivos que se ha propuesto. El método ZOPP conduce a un proceso ordenado de reflexión conjunta, así como también a la comprensión uniforme por todos los involucrados de la meta a lograr, la problemática que tiene que ser resuelta y las acciones a emprender y sus implicaciones de los términos empleados. De esta manera se facilita la comunicación y la cooperación entre todos los participantes (CONAGUA, 2000).

El método ZOPP adoptó la metodología de marco lógico, que es una herramienta para facilitar el proceso de conceptualización, diseño, ejecución y evaluación de proyectos. Su énfasis está centrado en la orientación por objetivos, la orientación hacia grupos beneficiarios y el facilitar la participación y la comunicación entre las partes interesadas (Ortegon, et al

2005). La metodología contempla análisis del problema, análisis de los involucrados, jerarquía de objetivos y selección de una estrategia de implementación óptima. El producto de esta metodología analítica es la matriz (el marco lógico), la cual resume lo que el proyecto pretende hacer y cómo, cuáles son los supuestos claves y cómo los insumos y productos del proyecto serán monitoreados y evaluados (Comisión Europea, 2001).

El ZOPP como metodología de planeación tiene ventajas comparativas en todas las situaciones donde es necesario armonizar e integrar intereses diversos, generar legitimación y participación en las definiciones y ejecución. No sustituye los diagnósticos especializados y diseños técnicos (como estudios de campo y análisis sociales, ruta crítica, análisis de riesgo o jerarquización multicriterios) sino, más bien, los complementa e incluso puede integrarlos en un proceso ordenado (GTZ, s.f.).

4 Metodología

4.1 Ubicación del área de estudio

La microcuenca río Sila (MRS), con una superficie de 4,582 ha, se localiza dentro del territorio del municipio de Tepetlaoxtoc, en el oriente del estado de México (Figura 1), en la provincia biogeográfica "Eje Neovolcánico" (CONABIO, 1997) y la región económica "Centro Sur" (CONABIO, 2010); forma parte de la microcuenca río Papalotla, la cual es parte de la cuenca oriental del Valle de México, tributaria del ex lago de Texcoco (Hernández, 2013).

De acuerdo a la regionalización hidrográfica de México, la MRS forma parte de la microcuenca río Papalotla, en la subcuenca lago de Texcoco y Zumpango (p), cuenca hidrográfica río Moctezuma (D) y región Hidrográfica Pánuco (RH26Dp) (Red Hidrográfica escala 1:50 000 edición 2.0 del INEGI), las coordenadas de sus límites extremos son: al norte, 19°37'7.33"N y 98°49'37.88"O; al este, 19°34'43.97"N y 98°41'58.36"O; al sur, 19°33'8.07"N y 98°44'53.12"O; y, al oeste, 19°34'23.50"N y 98°50'18.01"O. El perímetro de la microcuenca se integra por una gran cantidad de vértices, sin embargo, para fines prácticos se procedió a construir un polígono de referencia con 13 vértices (Cuadro 1).

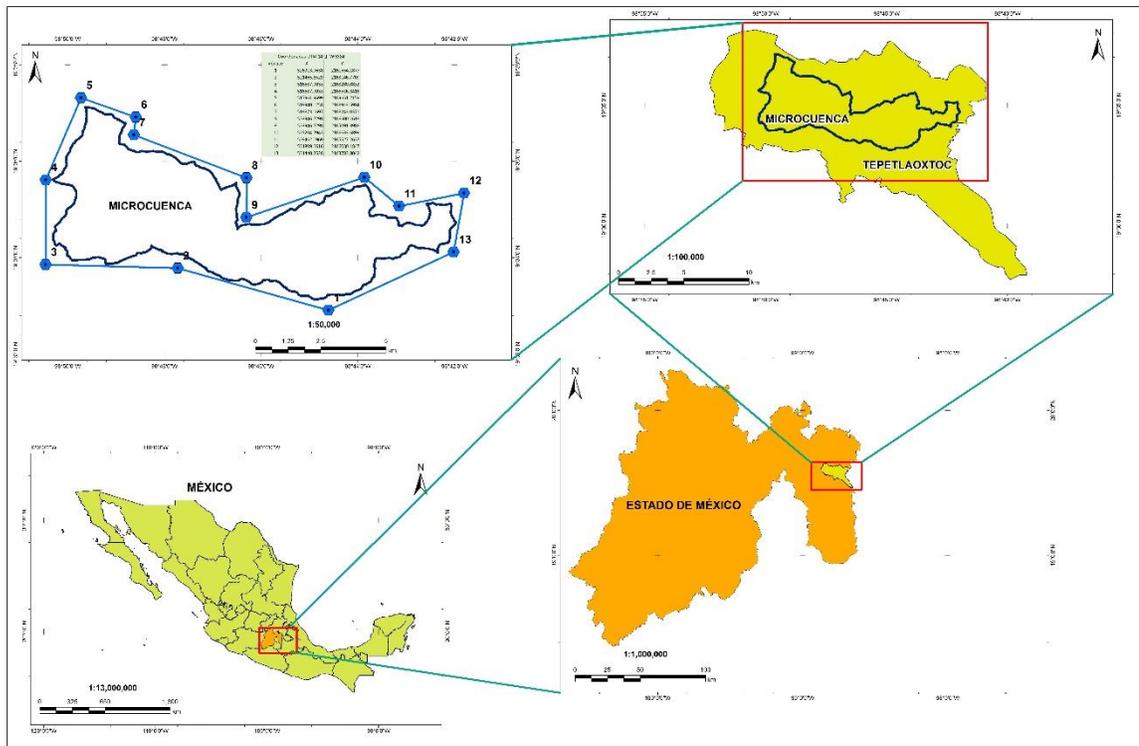


Figura 1. Localización geográfica y política de la microcuenca río Sila

Cuadro 1. Coordenadas de referencia para la ubicación de la microcuenca río Sila

Coordenadas UTM 14 Q, WGS84					
Vértice	X	Y	Vértice	X	Y
1	526913.9638	2161554.1877	8	523946.7298	2166600.1618
2	521465.6529	2163146.7709	9	523946.7298	2165091.3988
3	516687.9033	2163280.8832	10	528204.7943	2166633.6899
4	516687.9033	2166516.3416	11	529462.0969	2165527.2637
5	517961.9699	2169651.2159	12	531809.0616	2166030.1847
6	519940.1258	2168913.5984	13	531440.2528	2163783.8042
7	519873.0697	2168243.0371			

4.2 Descripción del área de estudio

En el espacio de la microcuenca se registran un solo tipo de clima C, templado y dos subtipos climáticos (García, 2004). El subtipo C(w1) cubre el 79.41 % de la superficie y el C(wo) cubre solamente el 20.59 % (INEGI, 2005), ambos definidos como templados subhúmedos con lluvias de verano y sequía en invierno, el primero con humedad intermedia con un cociente precipitación/temperatura (P/T) entre 43.2 y 55 y el segundo con P/T menor de 43.2, siendo el más seco.

Respecto a los suelos, se identifican cuatro unidades de suelo: Phaeozem, Litosol, Regosol y Vertisol (INEGI, 1973). El espacio de la microcuenca queda inscrito en la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico y subprovincias, Lagos y Volcanes del Anáhuac. Las topoformas (formas del terreno según algún patrón o patrones estructurales y/o degradativos) presentes corresponden a lomeríos, planicie y pie de monte. La altitud varía de los 2,271 a los 3,000 m.s.n.m.

Los usos de suelo corresponden a agricultura de riego, agricultura de temporal y espacio urbano construido, mientras que los tipos de vegetación presentes son: bosque de encino-pino, bosque inducido, matorral crasicaule, pastizal inducido, vegetación secundaria de bosque de táscate, vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino y vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino.

La fauna en la microcuenca se encuentra representada por los grupos de mamíferos, aves, reptiles y anfibios. Actualmente, los mamíferos tienden a concentrarse en el pie de monte, entre los límites de los cultivos y la porción serrana y en las cañadas y roquedales. Los mamíferos presentan una riqueza de 9 especies, las aves de 45 especies, reptiles 8 y 2 anfibios (H. Ayuntamiento de Tepetlaoxtoc, 2013; Naturalista, 2014; Gaceta del Gobierno, 2000).

De acuerdo con los datos del catálogo de localidades de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) y el mapa digital de México V6 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en la microcuenca habitan 11,241 personas, distribuidos en localidades rurales, urbanas y periurbanas del municipio de Tepetlaoxtoc, estado de México. En el área rural las principales actividades productivas son: la agricultura de riego y temporal; ganadería extensiva de ganado bovino, ovino y caprino; y extracción de material pétreo en minas a cielo abierto.

En el área urbana las actividades económicas son, principalmente, del sector terciario, como comercio al por menor, servicios de salud y financieros, medios de comunicación, transporte y almacenamiento, servicios educativos, restaurantes y telecomunicaciones, seguidas del sector secundario, tales como industrias manufactureras. Por otra parte, en los espacios periurbanos la agricultura en espacios limitados y la ganadería de traspatio o intensiva aún está presente.

4.3 Procedimiento metodológico

La formulación del diagnóstico y plan de manejo para la microcuenca río Sila, estado de México, se desarrolló de acuerdo con la Guía de ruta metodológica para la gestión de cuencas construida por el CATIE a partir de la experiencia desarrollada y consolidada a través del tiempo. La guía es un instrumento metodológico de referencia para elaborar de manera técnica y ordenada los pasos para viabilizar el proceso de gestión, el cual consta de 11 etapas, distribuidas en términos simplificados, en una fase de planificación, una fase de implementación y una fase de monitoreo y evaluación.

4.3.1 Objetivo 1. Identificación y caracterización de los actores claves

La identificación de los actores clave se llevó a cabo mediante entrevista a informantes claves del espacio de la microcuenca, tales como, agricultores, ganaderos, técnicos y autoridades ejidales.

La lista final de los actores clave se sometió a un proceso de análisis, agrupando por áreas de interés, género, procedencia (internos y externos), edad, perfil profesional, hasta determinar una lista que represente el escenario de actores de la microcuenca.

Se aplicó el método de análisis CLIP (colaboración/conflicto, legitimidad, intereses y poder de los actores), de Jacques M. Chevalier y Daniel J. Buckles, referido en su obra SAS2 "Guía para la investigación, la evaluación y la planificación participativas".

Paso siguiente, se realizó un taller participativo de la microcuenca río Sila" en el territorio del municipio de Tepetlaoxtoc.

Durante el taller se utilizaron las Técnicas de Análisis Social SAS2 mediante: a) Lluvia de ideas, donde los participantes manifiesten su percepción sobre las inquietudes y necesidades en torno al manejo actual de los recursos naturales de la microcuenca; b) Técnica CLIP (Colaboración y Conflicto, Legitimidad, Intereses, Poder), para identificar los actores (personas, organizaciones, comunidades o instituciones) involucrados con intereses ya sean directos o indirectos en el espacio de la microcuenca. Mediante la técnica del CLIP se compartió a los participantes del taller la definición del poder, interés y la legitimidad (Chevalier y Buckles, 2009), de acuerdo con la Guía para la Investigación Colaborativa y la Movilización Social (SAS2) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Ficha de apoyo para la definición de conceptos y valoración

Situación o acción propuesta:			
Actor individual o grupa:			
P PODER	Alto	<input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/> Bajo/Ninguno <input type="checkbox"/>
Descripción:.....			
L LEGITIMIDAD	Alto	<input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/> Bajo/Ninguno <input type="checkbox"/>
Descripción:.....			
I INTERESES	Alto +	<input type="checkbox"/>	Medio + <input type="checkbox"/> Bajo/Ninguno <input type="checkbox"/>
	Alto -	<input type="checkbox"/>	Medio - <input type="checkbox"/>
Descripción:.....			

Mediante el apoyo de los informantes claves que asistieron al taller se categorizaron los actores, tomando en cuenta su perfil, de acuerdo con la clasificación del cuadro de categorías de actores (Cuadro 3) .

Cuadro 3. Categorías de actores

Categorías	Calificaciones Altas/Medias <input type="checkbox"/>	Sin/Con Bajas Calificaciones <input type="checkbox"/>
MÁS ALTA		
Dominante	PIL Poder, Interés (+ o -), Legitimidad	
Fuerte	PI Poder, Interés (+ o -)	Legitimidad
MEDIA		
Influyente	PL Poder, Legitimidad	Interés (+ o -)
Inactivo	P Poder	Legitimidad, Interés (+ o -)
Respetado	L Legitimidad	Poder, Interés (+ o -)
MÁS BAJA		
Vulnerable	IL Interés (+ o -), Legitimidad	Poder
Marginado	I Interés (+ o -)	Poder, legitimidad

Fuente: Chevalier y Buckles (2009)

Una vez elaboradas las tarjetas del perfil de cada actor y categorizados cada uno de ellos, se construyó el diagrama PIL (Poder, Intereses y Legitimidad), para observar la relación que existe entre cada uno de ellos (Figura 2).

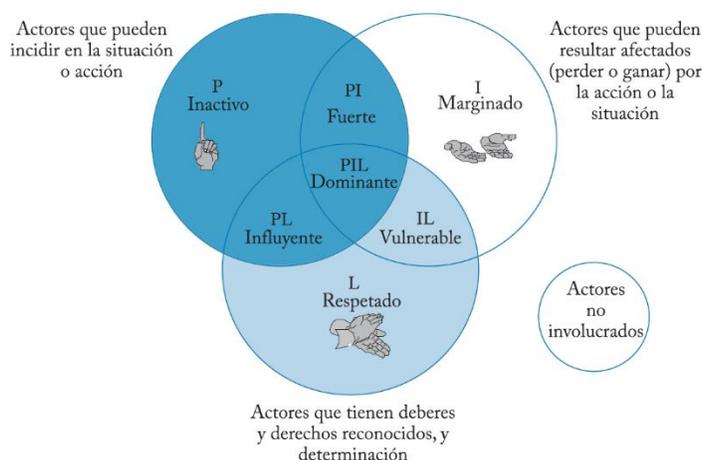


Figura 2. Diagrama PIL para el análisis de relaciones de los distintos actores

4.3.2 Objetivo 2. Caracterización biofísica y socioeconómica

La caracterización se realizó mediante:

a) Investigación bibliográfica y cartográfica en fuentes de información pública y privada, será integrada en un archivo documental y clasificado por los temas que integran el presente estudio.

b) Reconocimiento inicial en campo para el levantamiento de información biofísica y socioeconómica en 40 puntos de observación, registrada en una cédula de información con evidencias fotográficas.

c) Análisis del contexto histórico, contexto socioeconómico, contexto ecológico, contexto productivo, y contexto de gestión de los recursos naturales.

d) Estimación de los parámetros morfométricos de la microcuenca con base en el Modelo Digital de Elevación (MDE) y polígono, mediante el software Idrisi Selva Versión 17.0 con la aplicación del módulo Integrated Water Management.

e) Caracterización física, mediante la determinación de: climas mediante datos de 12 estaciones climatológicas mediante el software Eric III Versión 3.2 - extractor rápido de información climatológica del Instituto de Tecnología del Agua (IMTA); topografía, geología y suelos mediante el conjunto de datos vectoriales de la carta topográfica, geológica y edafología, Texcoco E14B21, escala 1:50 000 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI); pendientes en base al modelo digital de elevación (MDE) Lidar de INEGI; datos vectoriales de hidrología de aguas subterráneas de INEGI; principales amenazas naturales a partir de la revisión bibliográfica y documental de la información del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) para la República Mexicana y del Servicio Sismológico Nacional (SSN), riesgos geológicos a partir de datos de regiones potenciales de deslizamiento de laderas en México y la ubicación de laderas susceptibles de deslizamiento, la sequía como riesgo hidrometeorológico, con datos de clasificación de la sequía por municipio del catálogo de metadatos geográficos de la CONABIO, escala 1:200000 y las inundaciones mediante los metadatos geográficos de Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2018.

f) Caracterización biótica, mediante el análisis de biodiversidad a partir de la revisión de registros de flora y fauna del Portal de Información de la CONABIO, NaturaLista, Programa de Manejo Del Parque Estatal "Sierra Patlachique", investigaciones florísticas y faunísticas de la región e inventario florístico-forestal con metodología del manual y procedimientos para el muestreo de campo de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y registro en campo de información biológica de forma directa (observación de ejemplares vivos y muertos) e indirecta (excretas, huellas y restos óseos) en cada uno de los tipos de vegetación referidos en el párrafo anterior.

g) Relación de la microcuenca en el espacio de áreas naturales protegidas federales, estatales y municipales del portal de geoinformación 2020 de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), sitios identificados como prioritarios para la conservación de la biodiversidad, tal como regiones hidrológicas y terrestres prioritarias, áreas de Importancia para la conservación de las aves y sitios Ramsar, mediante la información de los archivos vectoriales de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP, 2017; CONABIO, 2015; CONABIO, 2004).

h) Caracterización socioeconómica mediante el análisis de información demográfica, salud y seguridad social, educación, vivienda y servicios institucionales, fue obtenida

principalmente de INEGI en sus diversas fuentes disponibles en su portal <https://www.inegi.org.mx/datos/n>, el mapa interactivo de México, el Sistema de Consulta de Integración Territorial-Principales, Sistema para la Consulta Censal 2010, Censo de Población y Vivienda 2010 - Datos Abiertos de México;; servicios de energía eléctrica y alcantarillado sanitario, recolección de basura, limpieza de calles, limpieza de tanques sépticos, tratamientos de aguas negras, se obtuvo de información del INEGI y Plan de Desarrollo Urbano Municipal de Tepetlaoxtoc y de manera más específica de las distintas Área Geoestadística Básica (AGEB) urbana de las distintas localidades de la microcuenca.

i) Uso del agua: agua de consumo humano (fuentes, acceso, calidad, cantidad, disponibilidad, servicio, administración, etc.), agua para generación hidroeléctrica, agua para riego, agua para recreación y agua para ecoturismo, se obtendrá de la información del Sistema Nacional de Información del Agua de la CONAGUA, del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), de la información de la Comisión del Agua del gobierno del estado de México, y Plan de Desarrollo Urbano Municipal de Tepetlaoxtoc.

j) Actividades productivas silvoagropecuarias, agricultura, ganadería, se obtuvo del procesamiento de la información del INEGI, de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), Comisión Nacional Forestal; las actividades productivas industriales y recreativas y fuentes de empleo e ingresos se consultará la información del INEGI en sus temas de comercio, empleo y ocupación, turismo, manufacturas, construcción y minería.

k) El análisis de la tenencia de la tierra se realizó mediante los datos geográficos perimetrales de los núcleos agrarios certificados, por estado, datos geográficos de las tierras de uso común, por estado y zona de asentamiento humano del Registro Agrario Nacional; de la misma manera para el análisis de la organización local se revisó lo concerniente a la información de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU).

l) Aspectos culturales y religiosos: se realizó la investigación de las fuentes documentales del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), de investigaciones antropológicas locales y regionales, así como de la entrevista directa a actores clave en el tema antropológico.

4.3.3 Objetivo 3. Determinación de la capacidad de uso de la tierra

La capacidad de uso se determinó mediante la metodología del Sistema USDA-modificada, adaptada a las condiciones y características de Costa Rica y ajustada al enfoque de cuencas hidrográficas (Watler, 2018). El proceso comprendió tres etapas de trabajo: 1) pre-campo, 2) campo y 3) gabinete.

Etapas de pre-campo: se realizó la recopilación, análisis y comparación de documentos y mapas relacionados con suelos (orden y subgrupos), uso de suelo y vegetación, zona climática, geología, fisiografía, información social, económica y productiva, toda ella integrada en la etapa de caracterización. Con la información temática, se procedió a la elaboración de las unidades del paisaje (unidades fisiográficas o unidades de mapeo homogéneas), para lo cual

se utilizó la información de cinco unidades de mapeo: paisaje o geomorfología, uso de suelo y tipos de vegetación, zona climática, geología y tipo de suelo. Etapa de campo. En función a la disponibilidad de recursos económicos y tiempo para ejecutar el trabajo, el nivel de estudio fue exploratorio, en cada unidad homogénea se obtuvo información de pendiente, erosión sufrida, profundidad efectiva, textura, pedregosidad, drenaje y riesgo de inundación. Etapa de gabinete, comprendió el procesamiento de la información obtenida en campo.

La obtención del mapa de capacidad de uso de las tierras se construyó de acuerdo a la metodología propuesta y comprendió tres niveles: 1) clases, 2) subclases y 3) unidades de manejo (Figura 3).

Clase de capacidad de uso de las tierras se refiere a los grupos de tierras que presentan condiciones similares en el grado relativo de limitaciones y riesgo de deterioro para su uso en forma sostenible. El sistema consta de ocho (8) clases representadas por números romanos, en las cuales se presenta un aumento progresivo de limitaciones para el desarrollo de las actividades agrícolas, pecuarias y forestales.

Subclase de capacidad de uso: se reconocen como factores para definir a las subclases de capacidad de uso, las siguientes limitaciones; erosión (e), suelo (s), drenaje (d) y clima (c).

Unidades de manejo, constituyen una subdivisión de las subclases de capacidad de uso, que indican el o los factores específicos que limitan su utilización en actividades agropecuarias y forestales. Los parámetros que definen la unidad de manejo y que en total son 14.

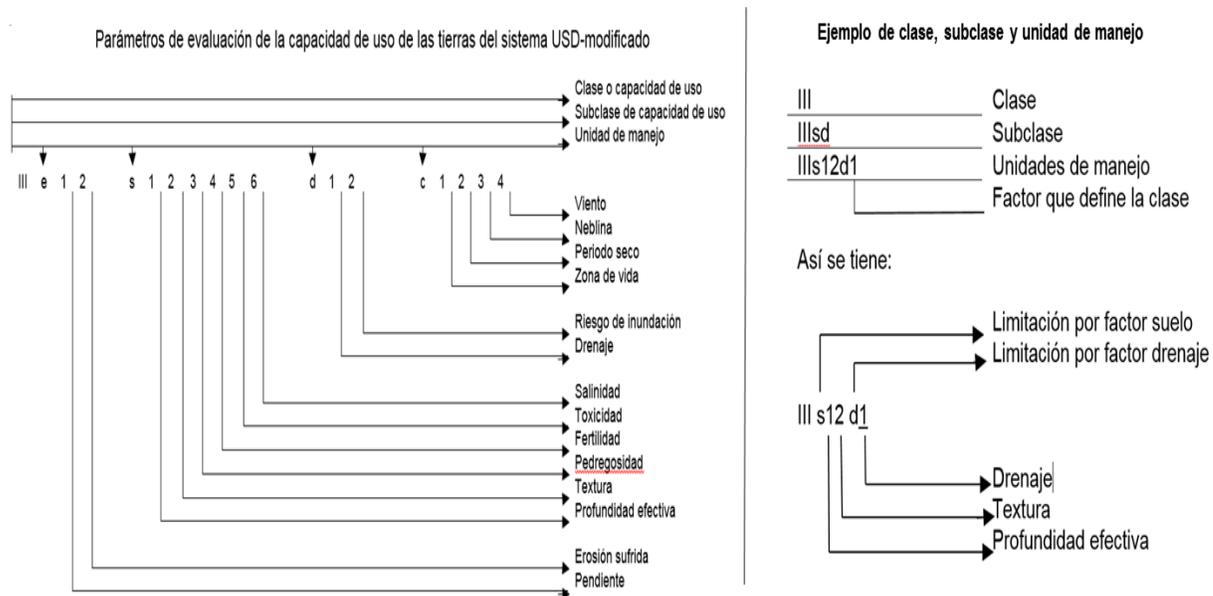


Figura 3. Esquema de clasificación de capacidad de uso de la tierra

El procesamiento de la información se realizó mediante geoprocursos con ArcGIS y QGIS, mediante interacciones de las diferentes capas de información; el resultado final consistió en el mapa de capacidad de uso de la tierra.

La evaluación de conflictos de uso se obtuvo con el contraste entre los mapas de uso actual y capacidad de uso, se identifican los conflictos y se cuantifican las superficies en conflicto, de acuerdo a las categorías siguientes:

- Categoría adecuada: estado de equilibrio entre el uso actual y la capacidad de uso de los suelos; es decir, que se satisfacen los requerimientos entre la conservación y el desarrollo.
- Categoría subutilización: estado en el que el suelo no está siendo aprovechado de manera eficiente, según su capacidad productiva. El uso actual corresponde a una alternativa de menor productividad que la capacidad de uso.
- Categoría sobreutilización: el suelo está siendo utilizado con alternativas productivas que no son adecuadas, según el potencial de uso, y presentan un alto riesgo de degradación de los suelos y de los recursos naturales.

Como resultado de la evaluación de conflictos y conformidades de uso, se realizó una propuesta de diseño de uso y manejo apropiado de las tierras, donde para cada una de las categorías se propusieron prácticas, obras y tecnologías que propicien la sostenibilidad de los recursos.

4.3.4 Objetivo 4. Estimación de la erosión del suelo en la microcuenca

Erosión hídrica. Se calculó mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) (Wischmeier y Smith, 1978), empleando álgebra de mapas, utilizando las capas de los factores de erosividad de la lluvia (R), erodabilidad de suelo (K), longitud de la pendiente (L), inclinación de la pendiente (S); y cobertura vegetal (C).

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

Erosividad (R). Se obtuvo mediante el modelo de regresión (ecuación) correspondiente a la ubicación de la microcuenca del río Sila, con respecto a las ecuaciones para estimar la erosividad de la lluvia en la República Mexicana propuesta por Cortés, 1991. La estimación de R correspondiente a la microcuenca es la siguiente:

$$R = 1.9967 * P + 0.003270 * P^2$$

Donde: R = Erosividad de la lluvia Mj/ha mm/hr; P = Precipitación media anual de la región.

Erosionabilidad (K). La estimación del factor K se realizó mediante la aplicación del método de FAO (1980), que utiliza como parámetros, la unidad de clasificación del suelo y la textura, adaptado a la nomenclatura de la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB)

(FAO, 2008). Las características de los suelos, necesarias para estimar K, se encuentran disponibles en los mapas edafológicos del INEGI.

Factor de longitud de la pendiente (L) (adimensional)

Para obtener el factor de longitud de la pendiente (L) se utilizó la ecuación siguiente (Figueroa *et al.*, 1991):

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m \qquad m = \frac{\beta}{1+\beta} \qquad \beta = \frac{\sin \theta / 0.0896}{3(\sin \theta)^{0.8} + 0.56}$$

Donde: λ , es la longitud de la pendiente (Resolución del pixel); m, es el exponente de la longitud de la pendiente; θ , es el ángulo de la pendiente.

El mapa del valor L se obtuvo mediante el modelo digital de elevación lidar de INEGI con resolución espacial de 5 m, se generó la capa raster de pendientes en grados aplicando en algoritmo slope del software ArcGIS 10.3 y con la capa raster de pendientes se aplicaron las ecuaciones para el parámetro L.

Factor de grado de pendiente (S) (adimensional)

La pérdida de suelo aumenta más rápidamente con la inclinación de la pendiente que con la longitud y se evalúa utilizando la relación de McCool, et al. (1987), citato por Figueroa, *et al.* (1991).

$$S = 13.8 \sin \theta + 0.03, \text{ pendientes menores del } 9\%$$

$$S = 16.8 \sin \theta - 0.50, \text{ pendientes mayores o iguales a } 9\%$$

Donde;

$$\theta = \text{pendiente en grados}$$

El mapa raster del valor S se obtuvo al aplicar la ecuación del factor S a la capa raster de pendientes mediante la calculadora raster del software ArcGIS 10.3.

C = Factor de cubierta vegetal (adimensional). El valor del factor C para cada uso de suelo y tipo de vegetación presente en la microcuenca, se obtuvo mediante el mapa de usos de suelo y tipo de vegetación reprocesado en la caracterización y los datos resultantes de una revisión bibliográfica de diferentes autores. Esta información se procesó en el software ArcGIS 10.3 para obtener la capa raster del valor C en la microcuenca.

P= Factor por prácticas de manejo (adimensional). En la EUPS el valor de P varía de 0 a 1 (el valor de 1 es cuando no se tienen obras de conservación de suelos).

Con las capas raster de cada factor de la EUPS y mediante álgebra de mapas de la herramienta Spatial Analyst del Software ArcGIS 10.3 se realizó la multiplicación para obtener la capa raster de la erosión hídrica actual del suelo en la microcuenca río Sila. Se clasificó el territorio de la microcuenca en niveles de erosión (t/ha/año) de acuerdo a (las clases de degradación de suelos de FAO (1980) y se obtuvo el mapa de erosión. De manera particular, se calculó el volumen de erosión (t/año) para cada una de las unidades homogéneas del área de interés de la microcuenca y se elaboró una propuesta de tecnologías para la conservación de suelos.

4.3.5 Objetivo 5. Determinación del balance hídrico de la microcuenca

El balance hídrico se calculó mediante la fórmula de Llorens, 2003, citado por Ordoñez (2011):

$$P = ETR + Esc + I$$

Dónde:

P = Precipitación.
 ETR = Evapotranspiración real
 Esc = Escurrimiento
 I = Infiltración

La estimación del balance hídrico se realizó para el espacio de la microcuenca y para cada una de las unidades homogéneas que conforman el área de estudio específico del presente trabajo.

Precipitación. Se obtuvo mediante datos de 12 estaciones climatológicas, se interpolaron para toda la microcuenca y se obtuvo el mapa raster de precipitación.

Escurrimiento. Se aplicó la metodología del Escurrimiento Medio de la NOM-011-CONAGUA-2015, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Vm = Pm A C$$

Donde:

Pm = Precipitación media (m)
 Vm = Volumen medio que puede escurrir (m³)
 A = Área de la cuenca (m)
 C = Coeficiente de escurrimiento (adimensional)

El cálculo del coeficiente de escurrimiento se obtuvo mediante las siguientes ecuaciones

$$\text{Si } K \leq 0.15 \rightarrow Ce = K (P - 250) / 2000$$

$$\text{Si } K > 0.15 \rightarrow Ce = K (P - 250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5$$

Donde;
 P = Precipitación anual, en mm.

K = Parámetro que está en función de la permeabilidad y uso del suelo.

La NOM-011-CNA-2015, clasifica los suelos en tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos mediamente permeables), y C (suelos casi impermeables), dichas características permiten calificar el factor k derivado del tipo de suelo. Para clasificar la condición del tipo de suelo, se utilizó la textura de los suelos asociados a la microcuenca obtenidos de la Carta Edafológica escala 1:50,000 de INEGI, la cual se vinculó con la equivalencia de acuerdo a la NOM-011-CNA-2015, cuyos criterios se muestran en la Cuadro 4).

Cuadro 4. Textura del suelo de acuerdo a la NOM 011 CNA 2015

Textura de suelo (INEGI)	Clasificación NOM-011-CNA-2015
Gruesa	A
Media	B
Fina	C

Para obtener K se utilizó la condición, el uso de suelo y tipo de vegetación el cual permitió asignar el valor para calificar K de acuerdo con los usos y tipos de vegetación que se registraron en la microcuenca (Cuadro 5).

Cuadro 5. Valores de K de acuerdo al uso, tipo de suelo y tipo de vegetación

Uso de Suelo	Tipo de Suelo			Usos y tipo de vegetación de la microcuenca
	A	B	C	
Cultivos:				
Granos pequeños	0.24	0.27	0.3	Agricultura de riego y temporal
Pastizal: % del suelo cubierto o pastoreado				
Menos del 50 %	0.24	0.28	0.3	Pastizal inducido
Bosque:				
Cubierto del 50 al 75 %	0.12	0.22	0.26	Matorral crasicaule y bosque templado
Cubierto del 25 al 50 %	0.17	0.26	0.28	Bosque inducido
Zonas urbanas	0.26	0.29	0.32	Espacio construido
Camino	0.27	0.3	0.33	Mina

Con los valores de k, se aplicaron las dos ecuaciones de acuerdo a las condiciones de K que se presentaban en la microcuenca y mediante los resultados se construyó el mapa raster del parámetro.

El escurrimiento se expresó como lámina de escurrimiento y se obtuvo multiplicando el valor del coeficiente de escurrimiento (Ce) por el valor de la precipitación media. De esta manera se obtuvieron los valores de Escurrimiento para cada una de las UH y para la superficie de la microcuenca.

Evapotranspiración. Se estimó la evapotranspiración real a partir de la temperatura y la precipitación media anual con la formula Turc modificada por Cruz - Falcon (2007).

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{1.5 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$$L = 300 + 25 t + 0.05t^3$$

donde;

ETR = Evapotranspiración real.

P = Precipitación anual.

t = Temperatura media anual

Para cada una de las estaciones meteorológicas se calculó la evapotranspiración, a partir de los valores de precipitación media anual y temperatura media anual. La capa raster de evapotranspiración para toda la microcuenca se obtuvo mediante una interpolación de cada estación meteorológica mediante el algoritmo Spline de la herramienta 3D Analyst del software ArcGIS 10.3.

El volumen de escurrimiento para cada polígono de uso de suelo y tipo de vegetación presentes en la microcuenca se obtuvo de multiplicar la lámina de escurrimiento por la superficie de cada polígono. Mediante los resultados de balance hídrico se elaboró la zonificación hídrica en la microcuenca, donde se identifiquen las zonas de disponibilidad o escasez.

Los resultados de balance hídrico serán la base para proponer estrategias y acciones para el manejo y gestión del recurso hídrico en la microcuenca.

4.3.6 Objetivo 6. Determinación de los principales problemas y soluciones de la microcuenca (diagnóstico)

La propuesta se elaboró de acuerdo a la metodología de marco lógico, adoptada en un enfoque participativo de planificación, denominado ZOPP (Objetives, Oriented, Project, Planning), propuesto por la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ), cuya base es el árbol de problemas.

A. Análisis actual

a) Identificación y análisis de los grupos de interés, su propósito fue determinar las expectativas, tanto individuales como de grupo con relevancia y vinculación con el objetivo principal. La identificación y análisis de los grupos de interés (Los actores fueron agrupados en categorías, se realizó un análisis de los grupos identificados, así como de las potenciales consecuencias para el proyecto (grupos opositores, potenciales reacciones, etc.).

B. Análisis del problema

Esta fase consistió en: a) analizar la situación existente alrededor de la condición problema que se analiza; b) identificar los principales problemas en esta conexión; y c) visualizar las causas y efectos relacionados con la información del diagrama (árbol de problemas). Se puso atención en el cómo se procede a la jerarquización de los problemas, de acuerdo a los siguientes pasos metodológicos:

Paso 1: identificar los problemas centrales/existentes, que consisten en la situación que se analiza por grupos objetivos o potenciales beneficiarios; Paso 2: formular las causas del problema; Paso 3: formular los efectos del problema; Paso 4: formar un diagrama que muestre las relaciones de causas y efectos; y, Paso 5: verificar el diagrama, validando y completándolo.

En términos operativos, durante la realización del taller, se analizó "el problema" de la siguiente manera:

a) Se formuló el problema como un aspecto negativo; b) Como se utilizaron tarjetas para la identificación del problema, cada tarjeta contenía un único problema; c) Se identificaron los problemas existentes, los posibles, imaginados o futuros; y d) Se consideró que un problema no es la ausencia de una solución, pero es un estado negativo existente. La importancia del problema no fue determinada por su posición en el árbol de problemas, todos los problemas tuvieron un mismo nivel de importancia.

C. Análisis de objetivos

En esta etapa fue posible: a) describir el escenario futuro de cada uno de los problemas referenciados (jerarquizados); y b) identificar las posibles estrategias que determinan los objetivos. Para lo cual, la jerarquización de los objetivos se realizó de acuerdo a los siguientes pasos:

Paso 1: convertir la situación negativa del problema jerarquizados en una solución que sea deseable y realista; Paso 2: verificar el medio y el fin, relacionándolo con su validación y llevada a cabo; Paso 3: Si es necesario, revisar y reorganizar los medios y fines ligados al objetivo o, adicionar nuevos objetivos, eliminar objetivos que no son deseables o necesarios.

D. Análisis de estrategias

La determinación de las estrategias consideró lo siguiente: a) criterios claros para la toma de decisiones en relación a la estrategia; b) identificación de las posibles diferentes estrategias para el logro de los objetivos; y c) decisión sobre uno de los objetivos estratégicos.

El análisis de las estrategias, tomó en consideración los siguientes elementos: a) identificación de objetivos que no podrían lograrse (no realistas, no deseables); b) identificación de las diferentes formas para relacionar los diferentes puntos de vista de las estrategias del proyecto; y c) determinar la más relevante y realista de las estrategias, considerando los

criterios de: prioridad de los grupos de interés, posibilidades de éxito, presupuesto, tiempo requerido, atención a las inequidades, sustentabilidad, disponibilidad de recursos, entre otros.

Matriz de planificación de proyectos de la microcuenca

La información elaborada y validada se presenta en una matriz de planificación de proyectos (MPP). La información permite identificar su propósito, permite orientarlo hacia los resultados y tomar en consideración los factores externos cruciales para el logro del proyecto. Es una ayuda a dimensionar la efectividad del proyecto, preferentemente a través de indicadores, que apoya a la búsqueda de los datos requeridos para evaluar el proyecto, logrando su verificación, y finalmente, intenta dar con los costos que podría tener el proyecto.

Para completar la matriz, como producto del proceso del taller participativo, se definió un indicador para cada uno de los objetivos que permita verificar su logro. Para la definición de los indicadores es importante considerar: cantidad – cuánto; calidad – que tan bueno; tiempo – cuándo; lugar – dónde, ya que la capacidad de orientar los logros provee las bases de lo que debiese ser.

5 Resultados

5.1 Objetivo 1. Identificación y caracterización de los actores claves

5.1.1 Perfil de actores

El análisis realizado permitió identificar a los actores desde el ámbito de su actuación en el espacio de la microcuenca río Sila. Se identificaron 15 actores clave pertenecientes a grupos sociales, asociaciones, instancias gubernamentales de los distintos niveles de gobierno y personas en lo particular. En el Cuadro 6, se muestran la lista de los actores clave identificados.

Cuadro 6. Actores clave en la microcuenca río Sila

Actor	Código
Comisariado de bienes comunales ejido San Pedro Cuautzingo	CSPC
Comisariado de bienes comunales ejido Concepción Jolalpan	CCJ
Comisariado de bienes comunales ejido Santo Tomas Apipilhuaco y del Barrio Anexo de San Juan Totolapan	CSTA
Comisariado de bienes comunales ejido San Bernardo y su Barrio San Andrés de las Peras	CSB
H. Ayuntamiento de Tepetlaoxtoc	AT
Delegados municipales	DM
Gobierno estatal (SEDAGRO, SEDEMA, SS, SDS, SE)	GOBE
Gobierno Federal	GOBF
Junta de Agua	JA
Asociación ganadera del Municipio de Tepetlaoxtoc" UGOCP	AGT
Cooperativa Maguey Xóchitl de Tepetlaoxtoc	CMX

Actor	Código
Cebaderos Unidos de Tepetlaoxtoc" A.L.P.R.	CUT
Iglesia Católica	IC
Comunidades: San Pedro Chiautzingo, San Bernardo Tlalmimilolpan y Tepetlaoxtoc de Hidalgo.	CPBT
Empresas extractivas mineras	EEM

5.1.2 Categorización de los actores

Una vez identificados los actores clave y a partir de sus perfiles se procedió a la categorización de cada uno de ellos, el resultado fue de cinco actores dominantes, tres influyentes, tres marginados, dos vulnerables, uno fuerte y uno respetado (Cuadro 7).

Cuadro 7. Categorización de los actores clave de la microcuenca

Actores	Calificación	Categorías
Comisariado de bienes comunales ejido San Pedro Cuautzingo (CSPC)	PIL	Dominante
Comisariado de bienes comunales ejido Concepción Jolalpan (CCJ)	L	Respetado
Comisariado de bienes comunales del ejido Santo Tomas Apipilhuaco y del Barrio Anexo de San Juan Totolapan (CSTA)	PIL	Dominante
Comisariado de bienes comunales del ejido San Bernardo y su Barrio San Andrés de las Peras (CSB).	PIL	Dominante
H. Ayuntamiento de Tepetlaoxtoc	PIL	Dominante
Delegados municipales	IL	Vulnerable
Gobierno estatal (SEDAGRO, SEDEMA, SS, SDS, SE)	PIL	Dominante
Gobierno Federal	I	Marginado
Junta de Agua	I	Marginado
Asociación ganadera del Municipio de Tepetlaoxtoc" UGOCP	PL	Influyente
Cooperativa Maguey Xóchitl de Tepetlaoxtoc	PL	Influyente
Cebaderos Unidos de Tepetlaoxtoc" A.L.P.R.	PL	Influyente
Iglesia Católica	I	Marginado
Comunidades de San Pedro Chiautzingo, San Bernardo Tlalmimilolpan y Tepetlaoxtoc de Hidalgo.	IL	Vulnerable
Empresas extractivas mineras	PI	Fuerte

5.1.3 Caracterización de actores

Con las tarjetas del perfil de cada actor y la asignación de su categoría, se construyó el diagrama PIL (Poder, Intereses y Legitimidad) (Figura 4), de la misma manera se caracterizaron los actores en el ámbito de influencia resultante del Análisis Social CLIP (Cuadro 8, Cuadro 9,

Cuadro 10, Cuadro 11, Cuadro 12, Cuadro 13 y Cuadro 14), con el propósito de entender el rol que desempeñan y su vinculación con la problemática del espacio de la microcuenca río Sila.

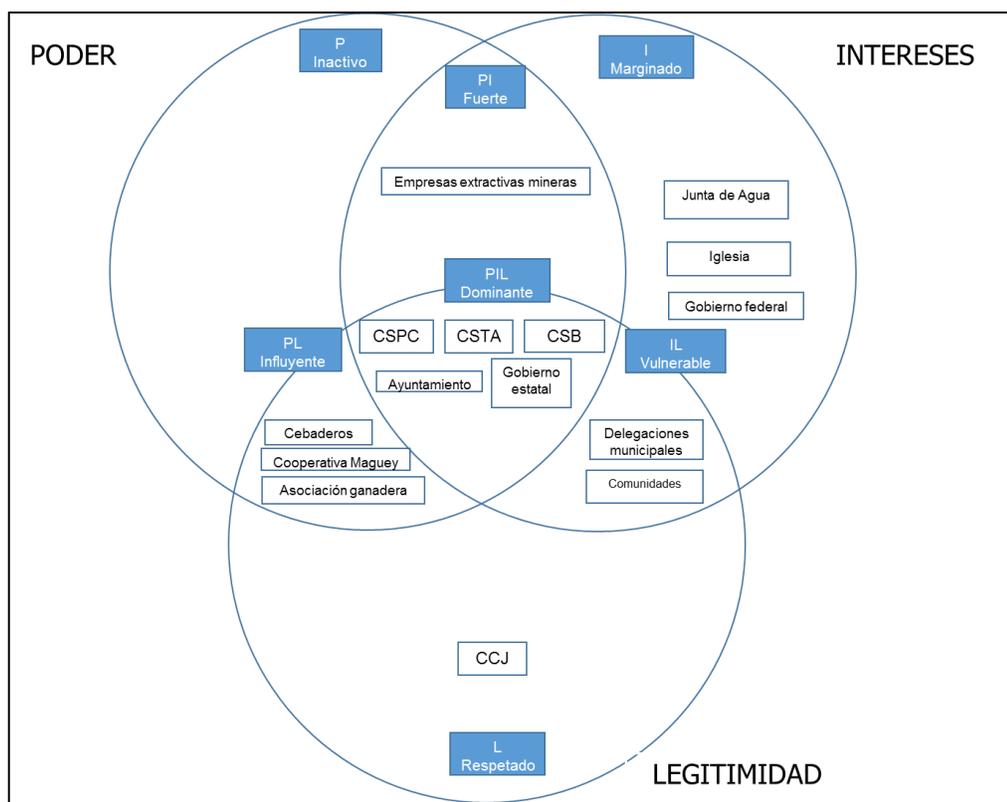


Figura 4. Diagrama PIL de actores clave de la microcuenca

Cuadro 8. Actores dominantes (PIL).

Comisariado de bienes comunales del ejido San Pedro Cuautzingo (CSPC)		
Comisariado de bienes comunales del ejido Santo Tomas Apipilhuaco y del Barrio Anexo de San Juan Totolapan (CSTA)		
Comisariado de bienes comunales del ejido San Bernardo y su Barrio San Andrés de las Peras (CSB)		
Poder: Alto	Intereses: Altos	Legitimidad: Media
Representa al colectivo ejidal de los dueños y poseedores de las tierras de uso común y parcelado de la microcuenca. Posee autoridad otorgada por la asamblea y soportada por la Ley Agraria, contiene mano de obra por la participación de los integrantes. Tiene capacidad de representación y comunicación ante las autoridades gubernamentales y habitantes de la comunidad.	Posee intereses altos por lo cual busca involucrar a los integrantes en las actividades de manejo de recursos naturales, motivado además por los incentivos económicos para el desarrollo de acciones ambientales, como el pago por servicios ambientales u otros programas.	Los resultados de las decisiones tomadas han hecho menoscabo en la confianza por parte de las personas. Lo anterior, debido a una percepción de alcanzar los cambios de forma casi inmediata y el desinterés del tema ambiental por alguno de los integrantes.
H. Ayuntamiento de Tepetlaoxtoc		
Poder: Alto	Intereses: Altos	Legitimidad: Media

Representa la autoridad gubernamental del espacio de la microcuenca, mantiene relación con el gobierno estatal y federal. Es el responsable de la administración del territorio de la microcuenca y posee facultades jurídicas sobre el territorio.	Posee interés alto en el manejo del espacio, por la responsabilidad y obligación otorgada de manera electoral. La adecuada percepción de los habitantes se transforma en aceptación política de los habitantes y suma de capital político en los procesos electorales.	La percepción de legitimidad está dividida debido a los distintos grupos y a una insatisfacción histórica hacia las autoridades de gobierno.
Gobierno estatal (SEDAGRO, SEDEMA, SS, SDS, SE)		
Poder: Alto	Intereses: Altos	Legitimidad: Media
Corresponde al segundo nivel de gobierno al que está adscrita la autoridad municipal. Incide en el espacio mediante la aplicación de incentivos para programas diversos.	Posee interés alto del espacio por ser el municipio la base de su división territorial y organización política que le obliga y confiere la legislación mexicana. Representa capital político en los procesos electorales.	La legitimidad no es favorable debido a la percepción histórica de incumplimiento y visión parcial y selectiva de la población que responde a intereses políticos.

Cuadro 9. Actores fuertes (PI):

Empresas extractivas mineras		
Poder: Medio	Intereses: Altos	Legitimidad: Baja
Cuenta con los recursos económicos, está distribuido a lo largo de la microcuenca.	Con alto interés por las tierras de la microcuenca ya que estas representan un potencial beneficio para ellos, por la extracción de materiales.	Se perciben como desinteresados en la conservación de los recursos naturales al privilegiar el aprovechamiento al momento. Representaron el mayor impacto ambiental negativo en los años pasados

Cuadro 10. Actores influyentes (PL):

Cooperativa Maguey Xóchitl de Tepetlaoxtoc		
Cebaderos Unidos de Tepetlaoxtoc" A.L.P.R.		
Asociación ganadera del Municipio de Tepetlaoxtoc" UGOCP		
Poder: Alto	Intereses: Medio	Legitimidad: Media
Representa a productores agrícolas dueños y poseedores de las tierras, productores pecuarios que se organizan para lograr fuerza y capacidad de gestión ante las autoridades gubernamentales para la obtención de beneficios y estímulos para la producción.	Las organizaciones productivas agropecuarias mantienen un alto interés en mejorar el desarrollo productivo agrícola y pecuario. Existe un incentivo económico por el desarrollo de sus actividades productivas.	Son percibidos con credibilidad por representar la visión histórica del uso tradicional de la tierra, a pesar de no involucrarse con mayor compromiso en la aplicación de tecnologías de conservación.

Cuadro 11. Actores respetados (L):

Comisariado de bienes comunales del ejido Concepción Jolalpan (CCJ)		
Poder: Alto	Intereses: Altos	Legitimidad: Media
Representa al colectivo ejidal de los dueños y poseedores de las tierras de uso común y parcelado de la microcuenca. Posee autoridad otorgada por la asamblea y soportada por la Ley Agraria, contiene mano de obra por la participación de los integrantes. Tiene capacidad de representación y comunicación ante las autoridades gubernamentales y habitantes de la comunidad.	Posee intereses altos por lo cual busca involucrar a los integrantes en las actividades de manejo de recursos naturales, motivado además por los incentivos económicos para el desarrollo de acciones ambientales, como el pago por servicios ambientales u otros programas.	Los resultados de las decisiones tomadas han hecho menoscabo en la confianza por parte de las personas. Lo anterior, debido a una percepción de alcanzar los cambios de forma casi inmediata y el desinterés del tema ambiental por alguno de los integrantes.

Cuadro 12. Actores inactivos (P):

Gobierno federal		
Poder: Bajo	Intereses: Bajos	Legitimidad: Baja
Aunque representa el máximo poder de gobierno su participación e involucramiento en el espacio de la microcuenca es escaso.	La relación distante y de manera indirecta con la población genera un interés bajo.	La referencia directa de la población es con respecto a las autoridades municipales y en segundo grado a las estatales, de tal manera que la referencia federal es escasa y crea desinterés y desconocimiento.

Cuadro 13. Actores marginados (I):

Junta de Agua		
Poder: Bajo	Intereses: Altos	Legitimidad: Bajo
Es reconocido y posee estatus legal, no obstante no cuenta con la fortaleza para el ejercicio de sus funciones.	Tiene un alto interés y responsabilidad sobre el manejo del agua de la microcuenca.	Las limitantes crean poco impacto en las acciones realizadas creando una percepción de desinterés.
Iglesia Católica		
Poder: Bajo	Intereses: Medio	Legitimidad: Bajo
Con cierto grado de influencia en la participación y decisiones de las comunidades.	Centra su misión en el bienestar de las comunidades.	Existe una tendencia de pérdida de credibilidad y poca participación.

Cuadro 14. Actores vulnerables (IL):

Delegaciones municipales en las localidades		
Poder: Bajo	Intereses: Altos	Legitimidad: Media
Aunque con representatividad municipal, carecen de fortaleza organizativa y reconocimiento por las comunidades.	Con interés alto al estar físicamente en el espacio de las comunidades y la cuenca.	Los resultados son escasos y lentos lo que propicia una falta de confianza y reconocimiento por la población.

Comunidades de San Pedro Chiautzingo, San Bernardo Tlalmimilolpan y Tepetlaoxtoc de Hidalgo.		
Poder: Bajo	Intereses: Altos	Legitimidad: Media
Aunque constituyen la mayor parte de los habitantes de las localidades, carecen de organización y capacidad de gestión. Carecen de información y recursos económicos.	Son los principales interesados en los beneficios obtenidos de la microcuenca, así como, de los impactos negativos por un manejo inadecuado.	Existe una referencia histórica de insatisfacción de implementar acciones que contribuyan a frenar el deterioro del espacio que habitan, lo que se suma en pérdida de interés.

5.2 Objetivo 2. Caracterización biofísica y socioeconómica

5.2.1 Morfometría

Los parámetros morfométricos de la MRS se obtuvieron mediante el procesamiento de la información cartográfica y modelo digital de elevación (MDE) por medio del software Idrisi Selva Versión 17.0 y la aplicación del módulo Integrated Water Management. Los resultados se muestran en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Parámetros morfométricos de la microcuenca río Sila

	Nombre	Valor
Parámetros de forma	Área (km ²)	45.82
	Perímetro (km)	58.42
	Coeficiente de compacidad de Gravelius	2.43
	Relación circular	0.17
Parámetros de relieve	Relación hipsométrica	1.94
	Pendiente media (°)	9.18
	Pendiente media (%)	16.53
	Elevación media de la cuenca (m)	2,531
Parámetros relativos al drenaje	Elevación máxima (cauce) m	2,862
	Elevación mínima (cauce) m	2,273
	Pendiente del cauce principal (%)	3.46
	Longitud del eje del río principal (km)	17.54
	Longitud directa del río principal (km)	13.23
	Coeficiente de sinuosidad hidráulico	1.33
	Tiempo de concentración de Kirpich	2.21
	Tiempo de concentración de California Highways and Publics Works (CHPW)	2.22
Orden de corriente	6° Orden	

Parámetros de forma

De acuerdo con Llamas (1993), la forma, representa la configuración geométrica proyectada sobre un plano horizontal y González (2004) menciona que gobierna la tasa a la cual se suministra el agua al cauce principal, desde su nacimiento hasta su desembocadura.

Área y perímetro. La superficie de la microcuenca es de 4,582.28 ha (45.8228 km²) y de acuerdo con la clasificación de Campos (1987), por su tamaño es pequeña. El perímetro es de 58.42 km.

Coefficiente de compacidad de Gravelius. Representado por el cociente entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo del área de la misma cuenca, es un parámetro adimensional (Jardí, 1985), está relacionado con el tiempo de concentración y permite evaluar cómo influyen las precipitaciones torrenciales en el escurrimiento superficial. Un índice de compacidad cercano al valor 1 indica mayor peligrosidad a las crecidas.

El índice obtenido fue de 2.43, de acuerdo con Campos (1987), Meza et. al (2014) y Gaspari et al. (2012), la microcuenca río Sila tiene forma oval oblonga a rectangular alargada (más larga y angosta), un mayor tiempo de concentración y la magnitud de la escorrentía generada por una precipitación será menor con respecto a microcuencas con valores de Cc cercanos a la unidad. En función al drenaje, la susceptibilidad a la degradación es menor debido al mayor tiempo de concentración y al tiempo mayor de presentarse el gasto pico, asimismo, la infraestructura cercana al cauce es menos susceptible a inundaciones en caso de fuertes lluvias, de acuerdo a lo expresado por López-Pérez et al (2015) y en función a los valores obtenidos.

Relación de circularidad (Rci). Con un valor de 0.17, y de acuerdo con lo planteado por Díaz et al (1999), la forma de la cuenca es rectangular alargada, lejos de presentar simetría en sus dimensiones cartesianas, lo que hidrológicamente implica hidrogramas asimétricos en su desembocadura.

Parámetros de relieve

La mayor parte de los fenómenos hidrológicos se encuentran influidos por las geoformas del terreno.

Curva y análisis hipsométrico. Guerra y González (2002) atribuyen las diversas formas de la curva hipsométrica a una actividad diferencial entre los procesos de construcción tectónica y degradación por erosión, actividades no necesariamente relacionadas con la edad de la cuenca. La curva hipsométrica de la microcuenca río Sila, presenta un rango de elevación que oscila entre 2,273 msnm en el punto más bajo hipsométricamente y los 2,862 msnm como el punto más alto. La curva tiene una forma ligeramente cóncava (Figura 5), que puede asociarse a una microcuenca en equilibrio en fase de madurez. De la misma manera la pendiente muy débil del origen revela un valle encajonado.

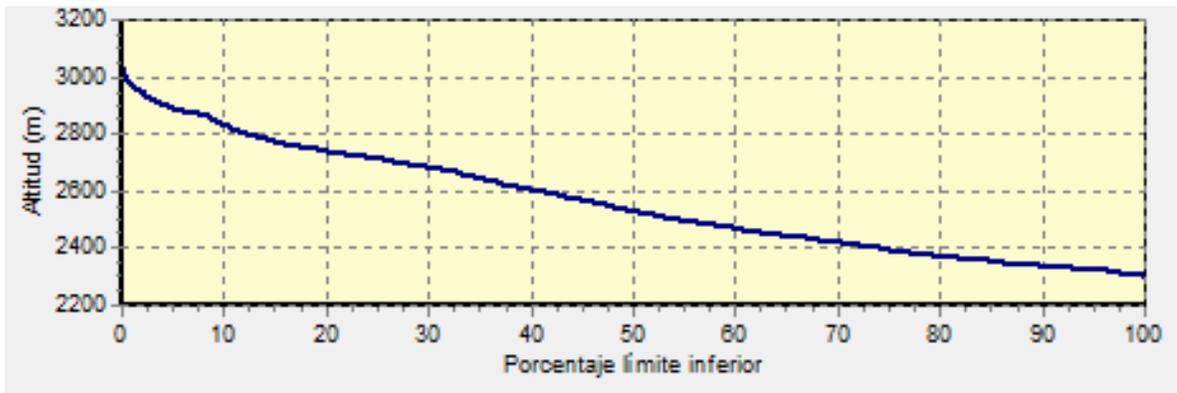


Figura 5. Curva hipsométrica de la microcuenca río Sila

Pendiente media de la cuenca. De acuerdo con Senciales y Ferre (1992), el valor obtenido de 16.53 % (9.18°), lo que representa un suelo accidentado a accidentado medio, que evidentemente favorece parcialmente la escorrentía. Es importante destacar la presencia de cobertura de matorral crasicaule, bosque inducido y bosques naturales en la parte media y alta de la microcuenca lo cual favorece la infiltración debido a la intercepción de la lluvia por la vegetación y en consecuencia la disminución en la velocidad del agua que escurre superficialmente.

Elevación media. El valor de la elevación media es de 2,531 msnm, de tal manera que el 50 % del área acumulada de la cuenca se encuentra sobre y debajo de dicha cota.

Parámetros relativos a la red de drenaje

La red de drenaje es el sistema jerárquico de cauces, desde los pequeños surcos hasta los ríos, que confluyen unos en otros configurando un colector principal de toda la cuenca, teniendo la función de transportar materia y energía en el interior de la misma (Ibisate, 2004).

Elevación máxima y mínima del cauce. La elevación máxima y mínima es de 2,862 y 2,273 msnm, respectivamente.

Pendiente media del cauce principal (PMCP). Con datos de altura máxima del afluente principal de la microcuenca de 2,862 msnm y hasta la finalización del mismo (altura mínima) con 2,273 msnm y la longitud del cauce principal de 17.54 km, se obtuvo un valor de pendiente media de 9.18 % (3.46 %).

Longitud del eje del río principal y longitud directa del río principal. La longitud del eje del cauce es de 17.54 km y la longitud directa es de 13.23 km.

Coefficiente de sinuosidad hidráulica. La sinuosidad del cauce principal aporta información histórica pasada y presente de la fuerza lineal a lo largo del cauce. De acuerdo con la propuesta de Schumm (1963), el cálculo de la sinuosidad hidráulica se realiza mediante los valores de longitud del cauce principal (LC) y longitud directa (LD), con un valor de sinuosidad de $Sh=1.33$, la microcuenca río Sila presenta un tipo de cauce denominado transicional, otros

autores como Miall (1977), lo clasifican como ligeramente Sinuoso. De lo anterior podemos establecer que ambos autores coinciden en un tipo de cauce más cercano a la forma lineal que a la sinuosa, y en consecuencia con menor pendiente y menor fuerza erosiva.

Tiempo de concentración. Se ha definido de forma común, como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre, sin embargo, Témex (2003) establece que el T_c , es la fase del aguacero que determina el caudal máximo, y esta fase puede ser igual o no a la duración del aguacero, ya que la duración de la lluvia es ajena al tamaño de la cuenca y es sólo función de variables climáticas. El T_c es de importancia en el diseño hidrológico para determinar la capacidad hidráulica máxima de diferentes estructuras (Vélez y Botero, 2011). Para la MRS el T_c , obtenido por los métodos de Kirpich y California Highways and Publics Works son similares con 2.21 y 2.22 horas, respectivamente. Esta información es importante para determinar la planificación de usos del suelo, conservación de suelos y aguas o gestión de recursos hídricos al tener información sobre la previsión de lluvias en la zona, a un plazo de tiempo dado.

Orden de la microcuenca. En igualdad de condiciones la relación que guarda el área, clima y sustrato es que cuanto más alto sea el orden de la cuenca, mayor será el grado de desarrollo fluvial (Horton, 1945). Asimismo, a mayor número de orden, es mayor el potencial erosivo, mayor el transporte de sedimentos y por tanto, mayor también el componente de escorrentía directa que en otra cuenca de similar área. De acuerdo al método de Horton, para la microcuenca se registra un orden de corrientes de 6 (Figura 6).

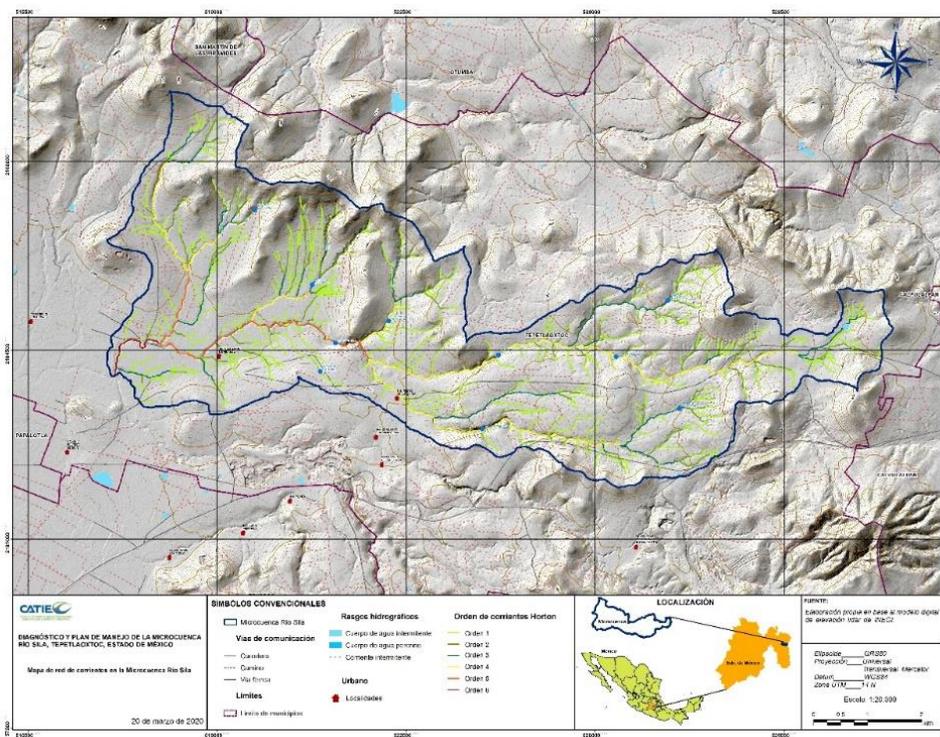


Figura 6. Red de orden de corrientes (Horton) para la microcuenca río Sila

5.2.2 Caracterización física

Clima. De acuerdo a la clasificación de García (2004) en el espacio de la microcuenca se registran un solo tipo de clima Cw, templado subhúmedo con lluvias en verano, con dos subtipos climáticos. El subtipo C(w1) cubre el 79.41 % de la superficie y el C(wo) se presenta en el 20.59 % (Figura 7). (CONABIO, 2015).

C(w1): templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C, temperatura del mes más frío entre -3 °C y 18 °C y temperatura del mes más caliente bajo 22 °C. La precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5 % al 10.2 % del total anual.

C(wo): templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C, temperatura del mes más frío entre -3 °C y 18 °C y temperatura del mes más caliente bajo 22 °C. La precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2 y porcentaje de precipitación invernal del 5 % al 10.2 % del total anual.

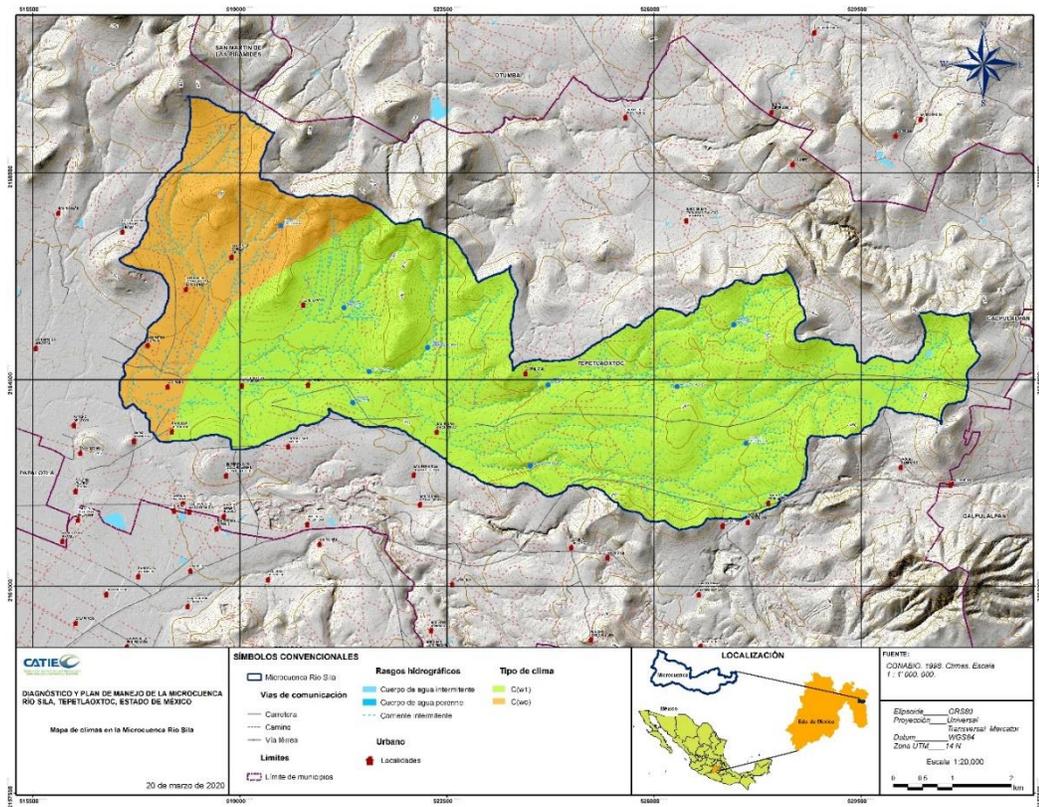


Figura 7. Clima y subtipos climáticos en la microcuenca río Sila

Isotermas e isoyetas

El intervalo de temperatura en la microcuenca va de 11 a 17 °C (Figura 8), en sentido oeste a este que corresponden al punto de descarga y origen del cauce principal, respectivamente. El intervalo de 15 a 16 °C ocupa la mayor superficie asociado a la parte baja

de la microcuenca. La precipitación registrada es de 500 a 750 mm anuales (Figura 9), de los cuales el intervalo de 550 a 600 mm se presenta aproximadamente en el 75 % de la superficie de la microcuenca. De la misma manera la precipitación más alta se presenta en solo el 0.8 % de la superficie.

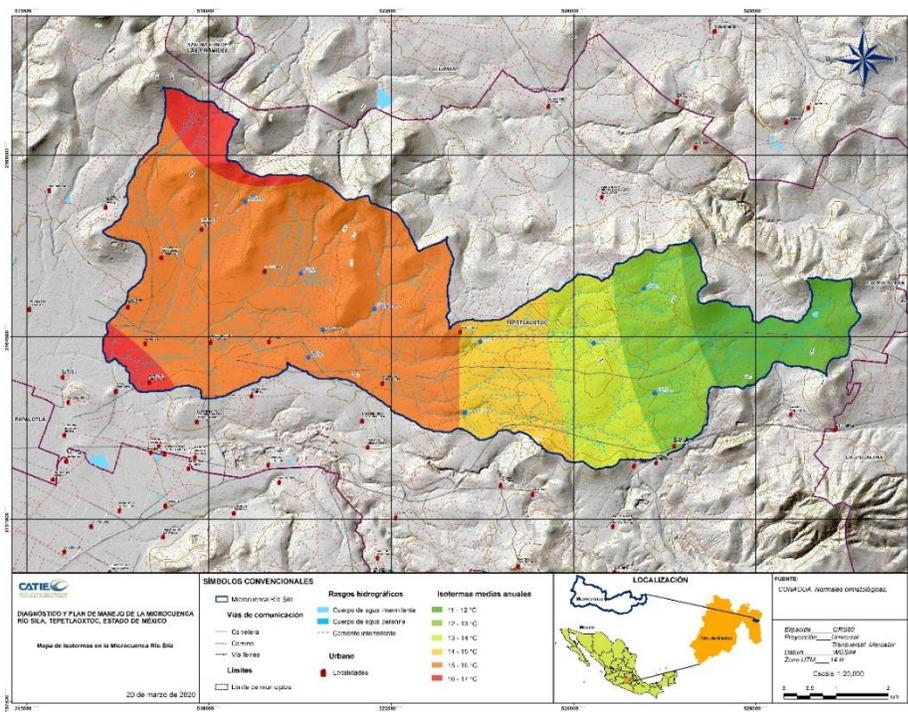


Figura 8. Isotermas en la microcuenca río Sila

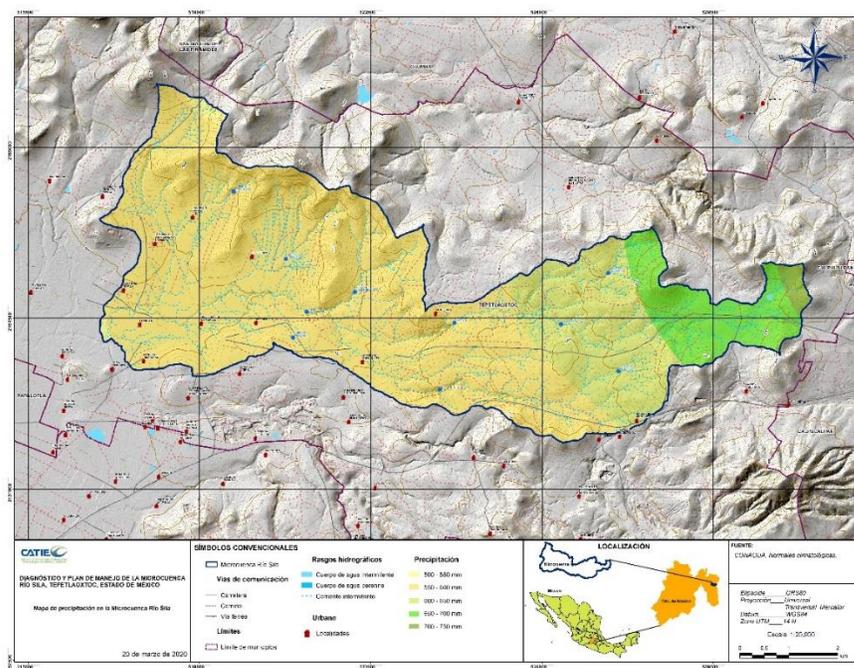


Figura 9. Isoyetas en el espacio de la microcuenca río sila

Para disponer de información climatológica asociada a la microcuenca río Sila, se consideró la información de 12 estaciones (Cuadro 16) con influencia en el área de estudio cuyos datos cubren un periodo de los años 1951 al 2010. Esta información una vez procesada sirvió de base en los diferentes cálculos realizados en las estimaciones de erosión hídrica y eólica, así como en el balance hídrico de los objetivos 3 y 4.

Cuadro 16. Estaciones climatológicas consideradas en el análisis de la microcuenca

Clave	Nombre	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud msnm	Temperatura media °C	Precipitación media anual (mm)
15101	San Miguel Tlaixpan	19°31'10"	98°48'45"	2405	15.5	551.8
15210	San Juan Totolapan	19°31'47"	98°43'36"	2750	13.7	549.2
29013	La Venta	19°34'00"	98°40'60"	2790	11.2	706.3
29006	Cuauila	19°36'00"	98°39'00"	2550	13.5	642.7
15135	Xochihuacan	19°37'26"	98°40'31"	2769	13.0	640.7
15065	Otumba	19°42'00"	98°45'30"	2349	14.1	515.2
15097	San Martín de las Pirámides	19°42'10"	98°46'48"	2306	15.9	616.6
15263	Acolman	19°38'24"	98°54'46"	2255	13.8	601.5
15044	La Grande	19°34'34"	98°54'50"	2250	16.1	559.9
15083	San Andres	19°31'55"	98°54'38"	2244	15.8	580.2
15008	Atenco	19°32'38"	98°54'46"	2245	16.7	565.2
15125	Texcoco	19°30'20"	98°52'55"	2250	15.6	508.3

Tipo de suelos. En la microcuenca río Sila se registran los tipos de suelo: feozem háplico de clase textural media (791 ha, 17.25 %), litosol de textura media (1,978 ha, 43.15 %), regosol eútrico de textura media (631 ha, 13.76 %), vertisol crómico de textura fina (249 ha, 5.43 %) y vertisol pélico con clase textural fina (934 ha, 20.38 %) (Figura 10). El litosol, está asociado a los lomeríos de la microcuenca, su profundidad es menor a 10 cm, limitada por la presencia de roca y tepetate. Está cubierto por vegetación de pino, encino y táscate, así como, matorral crasicaule. Los vertisoles y litosoles se distribuyen en la topoforma "pie de monte"; sobre el vertisol se encuentra creciendo vegetación de matorral crasicaule, presenta buena fertilidad, debido a su dureza presenta dificultad para la labranza; asimismo, el regosol se distribuye asociado al litosol y comparte la característica de presentar afloramiento de roca o tepetate, son someros y su productividad está condicionada por la profundidad y pedregosidad; finalmente, el tipo feozem se registra en la planicie y presenta una capa superficial suave, rica en materia orgánica y en nutrientes, profundidad media, su uso principal es de agricultura de temporal para la producción de maíz y cultivos forrajeros.

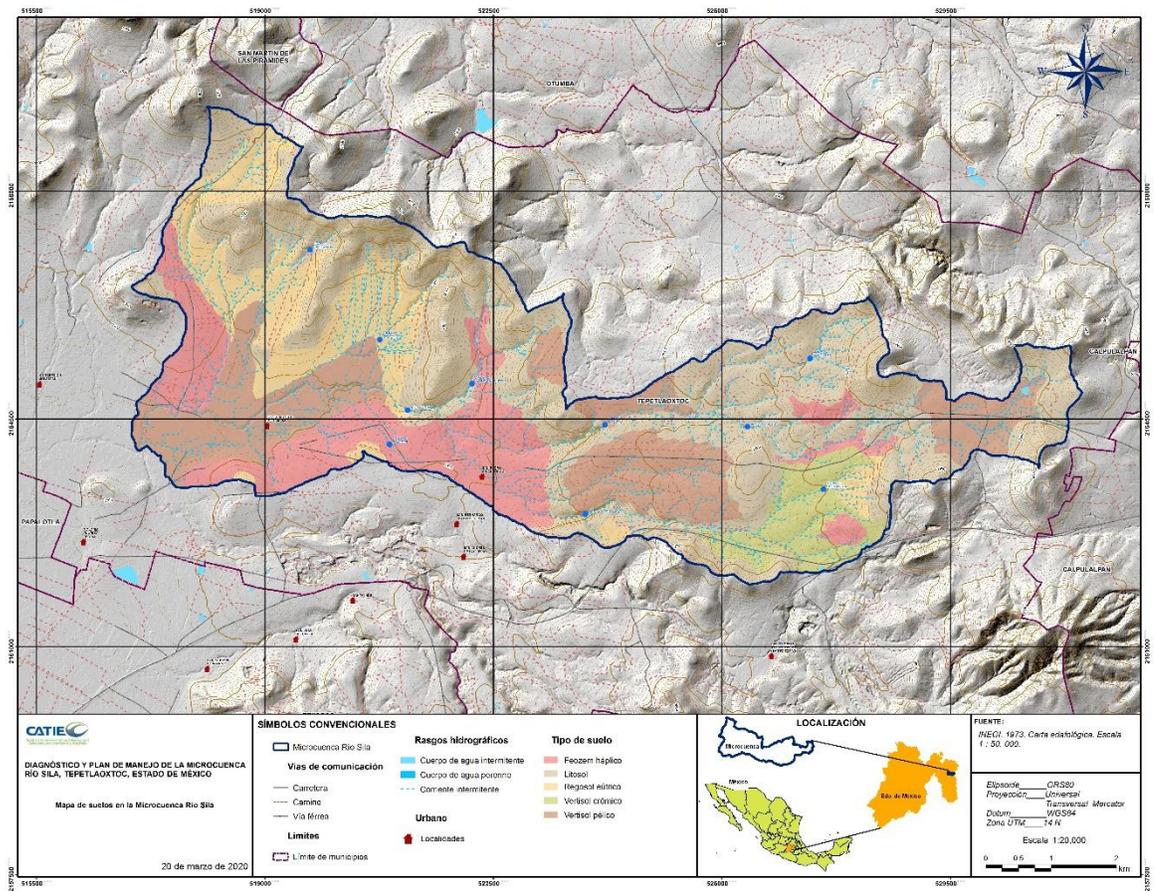


Figura 10. Tipo de suelos en la microcuenca

Geología. La geología de la microcuenca está representada por la presencia de rocas ígneas y sedimentarias, tales como: Toba básica (43.3 %), Dacita (20.8 %), Andesita (11.2 %), Basalto (10.3 %), Brecha volcánica básica (9.3 %), Basalto-brecha volcánica básica (2.1 %), brecha sedimentaria (0.6 %), asimismo, materiales aluviales, se distribuyen en el 2.3 % (Figura 11). La Toba básica formada por fragmentos de cenizas cementadas menores a 2 cm de diámetro originados por expulsión de los volcanes o por pequeños fragmentos de lava y se encuentra distribuida por todo el territorio de la microcuenca (Caballero, C. 2012; INEGI, 2005), mientras que, la Dacita y Andesita, son rocas ígneas extrusivas de grano fino, compuestas por feldespato, plagioclasa, biotita y en menor proporción hornblenda y piroxenos; la primera ocupa la porción norte y oeste, pero la segunda cubre la región este (Rodríguez, SR y Morales, WV, 2010).

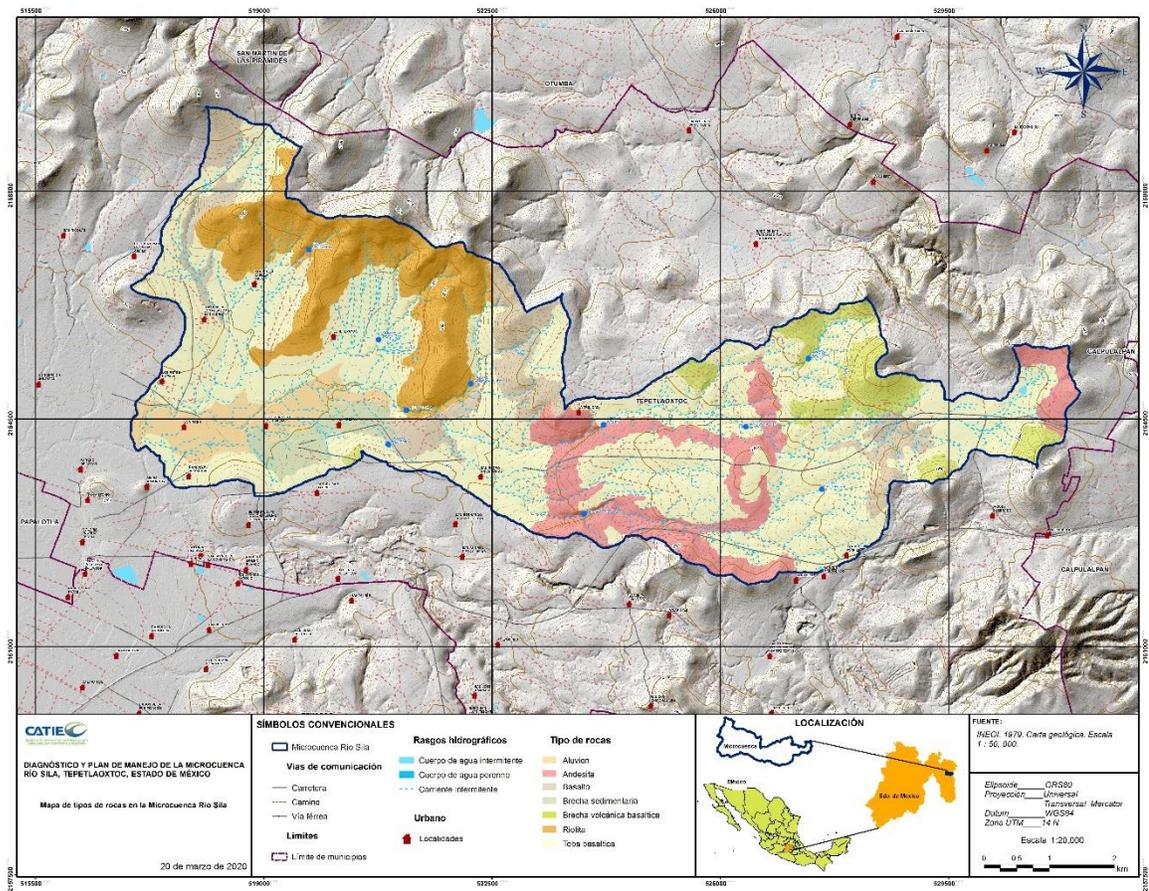


Figura 11. Rasgos geológicos de la microcuenca río Sila

Fisiografía. La MRS se localiza dentro de la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico, la cual corresponde a una enorme masa de rocas volcánicas de todos tipos, acumulada en innumerables y sucesivas etapas, desde mediados del Terciario (unos 35 millones de años atrás) hasta el presente. La integran grandes sierras volcánicas, grandes coladas lávicas, conos dispersos o en enjambre, amplios escudo-volcanes de basalto, depósitos de arena y cenizas; de manera específica en la subprovincia Lagos y volcanes de Anáhuac, con presencia de las tres mayores elevaciones del país: Citlaltépetl o Pico de Orizaba cuya altitud de 5,610 msnm, Popocatepetl con 5,500 msnm e Iztaccíhuatl con una altitud de 5,220 msnm, y elevaciones como el Atlítzin o Cerro La Negra, con 4,580 msnm y el volcán Matlalcueye (La Malinche), con 4,420 msnm. La variedad de tipos de suelo son producto de la constitución litológica y clima de la zona, tienen origen a partir de cenizas volcánicas que fueron depositadas por las emisiones volcánicas del terciario y formados por rocas ígneas como las andesitas, basaltos, brechas volcánicas, brechas sedimentarias y en menor proporción por depositación aluvial y limolitas-areniscas.

Las topofomas que cubren la superficie de la microcuenca corresponden a los tipos, Lomeríos (66 %), Pie de monte (7 %) y planicie (27 %) (Figura 12).

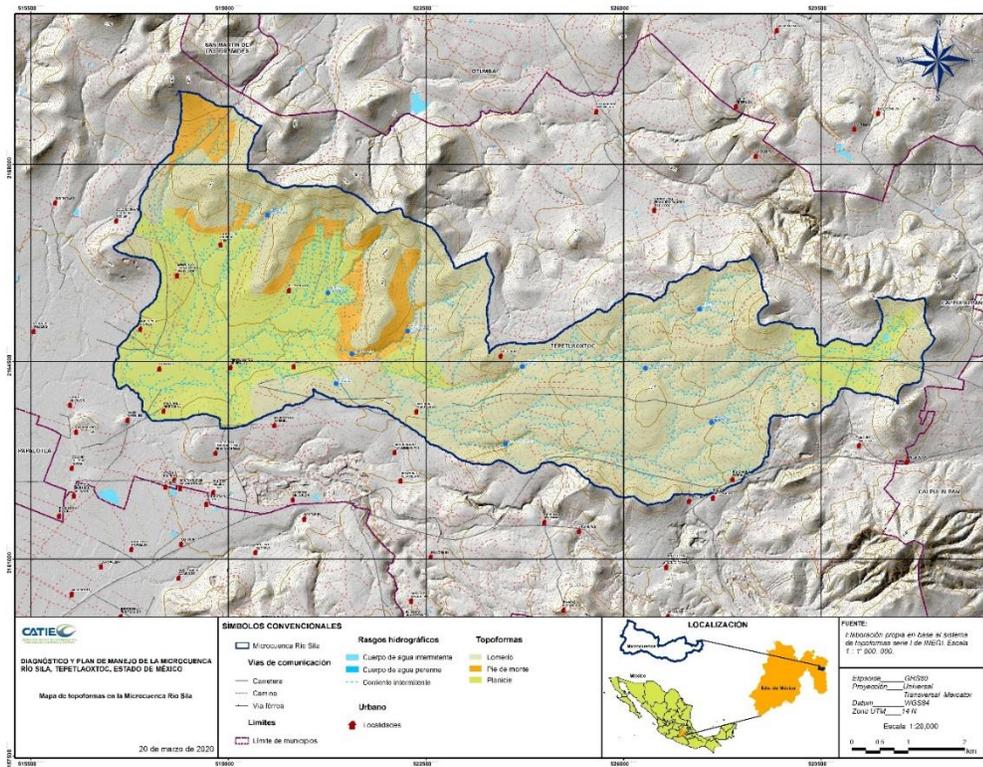


Figura 12. Topografías de la microcuenca como elemento del relieve

5.2.3 Caracterización biótica

Biodiversidad

El resultado de la investigación bibliográfica y trabajo de campo, establece para la microcuenca río Sila una riqueza de 129 especies de flora y fauna (Naturalista 2014; Naturalista, 2017, Inventario florístico, 2020). De acuerdo con la NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo, en la microcuenca se registran 11 especies enlistadas, 10 de fauna, 4 de ellas amenazadas (A), 4 en protección especial (PR) y 2 en peligro de extinción (P), mientras que la especie de flora, se inscribe en protección especial.

Flora

Se presentan diversas comunidades vegetales secundarias como resultado de un proceso de sucesión vegetal debido al impacto antrópico al que de manera histórica ha sido sometida la microcuenca, ya sea por el cambio de uso de suelo, la extracción de materiales pétreos o la introducción de especies vegetales a través de programas de reforestación. Los tipos de vegetación presentes corresponden a bosque de pino, bosque de encino, bosque inducido, matorral crasicaule y pastizal inducido.

Bosque de pino. Se restringe a la zona de mayor altitud de la microcuenca y a un espacio reducido del cerro Huilotepec, está representado por *P. montezumae*, pino real, el estrato arbustivo con escasos ejemplares de *Senecio salignus*, el estrato herbáceo compuesto por las especies de, *Bouvardia ternifolia*, *Eryngium comosum*, *Loeselia mexicana* y *Salvia lavanduloides* (Figura 13).



Figura 13. Bosque de pino en el Cerro Huilotepec, parte alta de la MRS

Bosque de Juniperus. Se distribuye al norte de la porción central de la microcuenca con referencia al pie de monte de los cerros La Cuesta, Tepeyahualco y Ahuayoto (Figura 14), las especies presentes corresponden a *Juniperus deppeana* asociado con algunos ejemplares de *Yucca filifera*, el estrato arbustivo y herbáceo es escaso debido a la alta degradación de los suelos donde se desarrolla este tipo de vegetación.



Figura 14. Bosque de *Juniperus deppeana* asociado a suelos degradados en la microcuenca

Bosque inducido. Es el resultado de reforestaciones asociadas con obras de conservación de suelos, el estrato arbóreo dominado por *Cupressus lusitanica* (cedro blanco), *Casuarina equisetifolia* (Casuarina), *Eucalyptus camaldulensis* (eucalipto), *E. globulus* (alcanfor), *Pinus gregii* (Pino prieto), *P. halepensis* (pino halepo), *P. montezumae* (Ocote) *P. radiata* (pino de Monterrey) y *Agave salmiana var. ferox*, el estrato arbustivo y herbáceo es escaso (Figura 15).



Figura 15. Plantaciones de eucalipto en áreas cubiertas originalmente por matorral crasicaule

Bosque de Encino. Se restringe a un relicto en la zona de transición entre el bosque de Juniperus y el bosque de Pino, el estrato arbóreo está representado por *Quercus rugosa* (Encino) y *Q. deserticola* (Encino), *Buddleja cordata* (tepozán), *Crataegus sp* (tejocote) y *Eysenhardtia polystachia* (palo dulce). El estrato arbustivo compuesta por, *Bacharis conferta* (escoba) y *Salvia elegans* (mirto), las herbáceas representadas por *Hunnemannia fumariifolia*, *Hypoxis mexicana*, *Nemastylis tenuis*, *Zaluzania augusta* y *Sisyrinchium schaffneri*, dentro de los pastos se tiene a *Bouteloua gracilis* (Navajita azul) y *Sporobolus sp.* (Pasto) y en epifitas a *Tillandsia recurvata* (Figura 16)



Figura 16. Bosque de encino

Matorral crasicaule. Se distribuye en la parte media de la microcuenca sobre las laderas de los cerros que configuran su parteaguas, formando manchones y fajas debido a lo altamente perturbado. El estrato arbóreo representado por *Opuntia streptacantha* (nopal cardón), *O. robusta* (nopal tapón), *O. hyptiacantha*, *Eysenhardtia polystachya* (palo dulce), *Prosopis laevigata* (Huizache), *A. farnesiana* (huizache), *Pachycereus marginatus* y *Schinus molle*; el estrato arbustivo dominado por *Mimosa aculeaticarpa* var. *biuncifera* (uña de gato); el herbáceo presente con *Apium leptophyllum*, *Argemone ochroleuca*, *Astragalus strigosus*, *Bouvardia termifolia* (Trompetilla), *Calochortus barbatus*, *Dalea reclinata*, *Echeandia leptophylla*, *Euphorbia dentata*, *Fallopia convolvulus*, *Gaura coccinea*, *Helianthemum glomeratum*, *Jaltomata procumbens*, *Lamourouxia dasyantha*, *Marrubium vulgare*, *Mila biflora*, *Myriopteris aurea* (helecho), *M. myriophylla* (helecho), *Oenothera rosea*, *Oxalis corniculata*, *Reseda luteola*, *Selaginella pallescens* (doradilla), *Solanum nigrescens*, *Stevia serrata* y *Talinum napiforme*. Las gramíneas representadas por *Bouteloua triaena*, *B. Hirsuta* (navajita velluda), *B. Simplex* (Navajita simple), *Buchloe dactyloides* (zacate chino), *Muhlenbergia rigida* (zacatón), *M. robusta*. Entre las grietas del piso rocoso es posible encontrar *Ferocactus* sp (biznaga), *Echinocactus* sp. Y *Mammillaria rhodantha*, en las ramas de los árboles se encuentra *Tillandsia recurvata* (Figura 17).



Figura 17. Matorral crasicaule, ecosistema original en la parte media de la microcuenca

Pastizal inducido. Probablemente como resultado de alternativas de establecimiento de agostadero o campos agrícolas de temporal abandonados, las especies comunes son: *Aegopogon cenchroides*, *Bothriochloa saccharoides*, *Bouteloua gracilis* (navajitas), *B. curtispindula*, *Bromus porteri*, *Buchloe dactyloides* (zacate chino), *Festuca livida*, *Hilaria cenchroides*, *Lycurus phleoides* (zacate lobo), *Muhlenbergia rigida* (zacatón), *M. implicata* y *Sporobolus confusus*, asimismo, entre las herbáceas se reconocen, *Gnaphalium oxyphyllum* y *Taraxacum officinale* (Figura 18).



Figura 18. Pastizal inducido como resultado del proceso de sucesión vegetal de tierras agrícolas abandonadas

Fauna

La microcuenca se localiza en el área de confluencia de la fauna de origen neártico y neotropical, en tanto, como zona de transición conforma un corredor biológico para la fauna de origen neotropical de la cuenca del río Balsas, y a su vez, es punto de contacto con la fauna del altiplano y del Eje Neovolcánico. El resultado de diversidad registrado en campo se presenta para los grupos de anfibios, reptiles, mamíferos y aves.

Anfibios. La presencia de este grupo de organismos es escasa y está relacionada con los meses de mayor humedad, asimismo, se localizan en la cercanía de cuerpos de agua (jagueyes o abrevaderos de ganado). La riqueza de especies es de tres, que corresponden a *Anaxyrus compactilis* (sapo de la meseta), *Incilius occidentalis* (sapo de los pinos) e *Hyla arenicolor* (ranita del cañon).

Reptiles. De las siete especies registradas, el género *Sceloporus* es el más abundante con tres especies, *Sceloporus torquatus* (lagartija de collar), *Sceloporus mucronatus* (lagartija espinosa de grieta) y *Sceloporus grammicus* (lagartija espinosa del mezquite). Asimismo, se observaron las culebras, *Pitophis deppei* (el zincuate, cincuate o alicate), *Salvadora mexicana* (culebra chata del pacifico) y *Conopsis lineata* (culebra terrestre del centro) y *Phrynosoma orbiculare* (camaleón de la montaña), asociado al matorral crasicuale.

Mamíferos. Este grupo se encuentra fuertemente impactado debido a la degradación y pérdida de los ecosistemas naturales, de tal manera que sus poblaciones se encuentran en un proceso dinámico de disminución e incluso extinción del área de la microcuenca. No obstante lo anterior el grupo registró una riqueza de 14 especies, dentro de las cuales se tienen los roedores, *Peromyscus melanotis*, *Heteromys irroratus*, *Microtus mexicanus*, *Neotoma mexicana* y *Peromyscus maniculatus*, organismos medianos como, *Sylvilagus cunicularius*, *S.*

floridanus (conejo), *Spermophilus variegatus*, *Mephitis macroura* (zorrillo), *Didelphis virginiana* y *Bassariscus astutus*, (*cacomixtle*), mientras que los de mayor tamaño, pero escasos se tiene *Lynx rufus* (Lince), *Canis latrans* (Coyote) y *Odoeioleus virginianus* (venado cola blanca) que ingresan al espacio de la microcuenca procedentes del corredor del eje neovolcánico.

Aves. Es el grupo con mayor riqueza de especies con 25, representadas por *Aemophila ruficeps* (Gorrión), *Aphelocoma ultramarina* (Azulejo), *Bubo virginianus* *Caprimulgus vasiferus* (Chotacabras), *Athene cunicularia*, *Geococix californianus* (Correcaminos), *Geothlypis trichas* (Mascarita común), *Junco caniceps* (Junco), *Nyctidromus albicollis* (Chotacabras), *Onychohinchus mexicanus* (Cardenal), *Paser domesticus* (gorrión común), *Phylortyx fasciatus* (Codorniz), *Picoides scalaris* (Carpintero), *Pipilo erytrotalnis*, *Pipilo fuscus* (Pájara vieja), *Thyromanes bewckii* (Saltapared cola larga), *Toxostoma cuvirostre* (Huitlacoche) y *Turdus migratorius* (Primavera), y *Tyto alba*, *Quiscalus mexicanus*, *Zenaida macroura* así como las rapaces, *Buteo jamaicensis*, *Accipiter cooperii* y *Cathartes aura*.

Uso de suelo

El uso de suelo productivo en la microcuenca corresponde principalmente al desarrollo de agricultura de riego, agricultura de temporal, ganadería extensiva en los ecosistemas forestales y ganadería estabulada, extracción de materiales pétreos (minas) y espacios construidos.

Agricultura de riego (AR). Se presenta en la parte baja de la microcuenca, en la cercanía al punto de descarga del cauce principal. Se destina principalmente a la producción de maíz forrajero, mediante el suplemento de agua rodada. El agua para riego se obtiene por bombeo en pozos y la conducción se vierte por canal y mediante gravedad.



Figura 19. Agricultura de riego en el municipio de Tepetlaoxtoc

Fuente: Imagen obtenida con Drone DJI. Autor, Fernando Gómez Santamaría

Agricultura de temporal (AT). Se desarrolla a lo largo de todo el gradiente altitudinal, los principales cultivos son maíz en grano para alimentación humana y con fines forrajeros, asociados con frijol y calabaza; en la parte media y alta se cultiva avena y cebada con propósitos forrajeros. El ciclo vegetativo de los cultivos con total dependencia del agua de lluvia, de tal manera que el éxito productivo depende de la precipitación y de las condiciones del suelo cultivable.



Figura 20. Agricultura de temporal en la localidad de San Pedro Chiautzingo

Minas a cielo abierto. Esta actividad se ha registrado de manera histórica en el espacio de la microcuenca, sin embargo, en los pasados 5 años mostró un alto crecimiento debido a los requerimientos de materiales pétreos que demandaba el megaproyecto del Nuevo Aeropuerto de la Ciudad de México (NAICM), lo que propició la apertura de nuevas minas o la ampliación de las existentes en perjuicio de la pérdida o degradación de los ecosistemas forestales. Los principales productos que se extraen consisten en piedra bola y braza, arena, grava, tezontle y tepetate. Con la cancelación del proyecto del NAICM se ha frenado el ritmo y volumen de extracción de materiales pétreos que implican la modificación de las condiciones originales de los sitios (Figura 21).

Espacio urbano construido. Representado por la presencia de tres localidades principales, Tepetlaoxtoc de Hidalgo que corresponde a la cabecera municipal, así como los poblados de San Pedro Chiautzingo y San Bernardo Tlalmimilolpan. De la misma manera se registran diversos sitios con referencia de construcciones y asentamientos humanos, los cuales se distribuyen de forma dispersa y aislada por el espacio de la microcuenca, lo cual permite pronosticar el crecimiento de los espacios urbanos y la problemática sanitaria asociada a dichos espacios (Figura 22).



Figura 21. Mina a cielo abierto para la extracción de tezontle



Figura 22. Espacio urbano construido

Áreas naturales protegidas y áreas de conservación de la biodiversidad

Se identificaron cercanas a la microcuenca dos áreas naturales protegidas de orden federal, la ANP Molino de las Flores Nezahualcóyotl (5.63 km) y ANP Iztaccíhuatl - Popocatepetl (9.94 km), en el orden estatal se encuentra la ANP Sierra Tetzcotzingo (1.81 km) y ANP Sierra Patlachique, de la cual una superficie de 354 ha queda comprendida en el territorio de la microcuenca río Sila.

La microcuenca se encuentra flanqueada por dos regiones hidrológicas prioritaria (RHP) Llanos de Apan a 5.67 km al este y RHP Remanentes del complejo lacustre de la Cuenca de

México a 4.89 km al este de la microcuenca. De la misma manera, a 3.52 km al sur de la microcuenca se localiza la región terrestre prioritaria RTP Sierra Nevada (Figura 23).

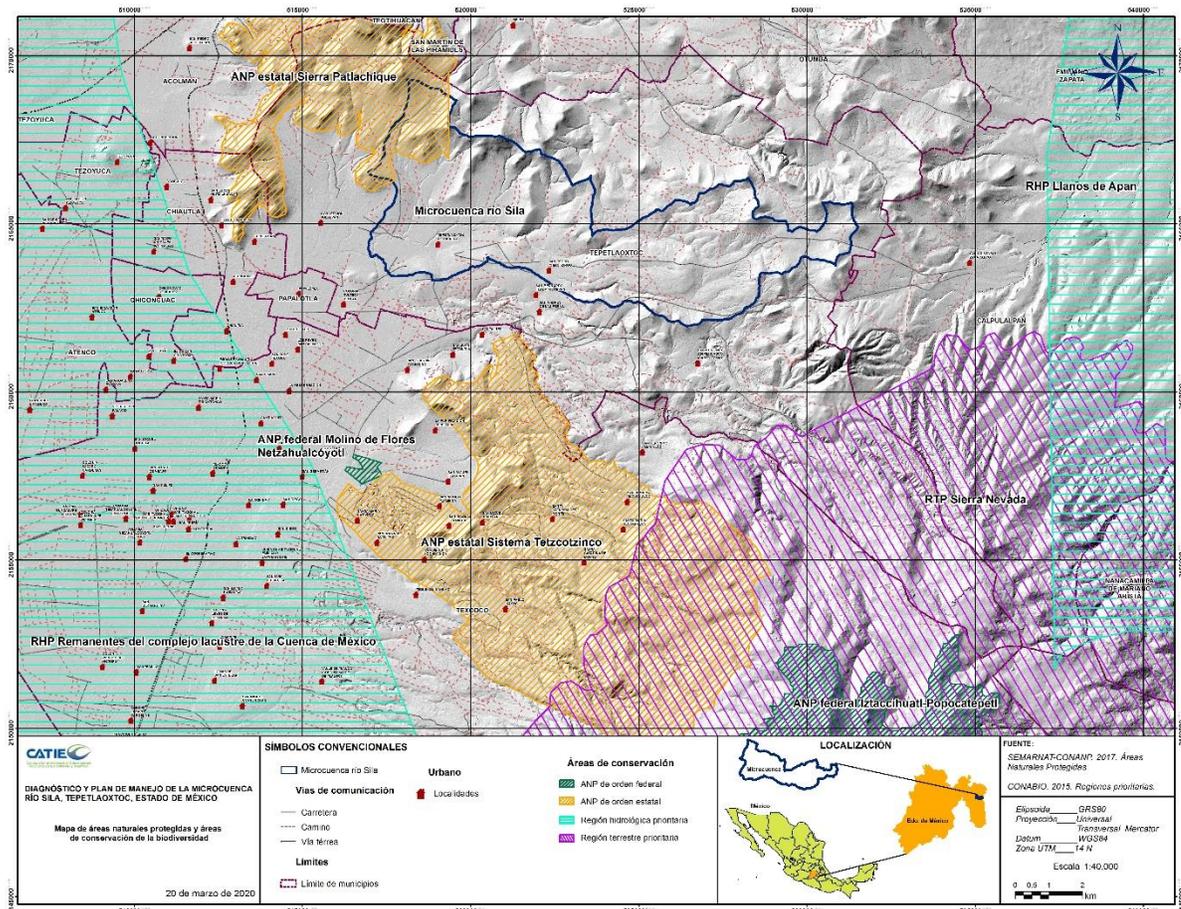


Figura 23. Relación de la microcuenca con áreas naturales protegidas y áreas de conservación de la biodiversidad

5.2.4 Uso de suelo y tipo de vegetación

En la microcuenca se identificaron cinco usos de suelo y cuatro tipos de vegetación. En el 57.58 % de la superficie de la microcuenca se desarrollan ecosistemas forestales nativos e inducidos con distintos niveles de conservación, la actividad agrícola cubre el 26.18 %, los espacios construidos representados principalmente por las localidades de Tepetlaoxtoc de Hidalgo, San Pedro Chiantzingo y San Bernardo Tlalmimilolpan ocupan el 14.41 %, las minas a cielo abierto el 1.71 % y los cuerpos de agua que corresponden a pequeños abrevaderos o jagüeyes solo el 0.12 % (Cuadro 17 y Figura 24).

Cuadro 17. Usos de suelo y tipos de vegetación en la microcuenca Río Sila

Uso de suelo y tipo de vegetación	Superficie (ha)	%
Agricultura de riego	37.19	0.83
Agricultura de temporal	1,132.51	25.35

Bosque inducido	540.20	12.09
Cuerpos de agua	5.26	0.12
Matorral crasicaule	1,176.86	26.34
Mina a cielo abierto	76.54	1.71
Pastizal inducido	57.30	1.28
Espacio Urbano construido	643.93	14.41
Bosque templado	798.32	17.87
Total	4,468.11	100.00

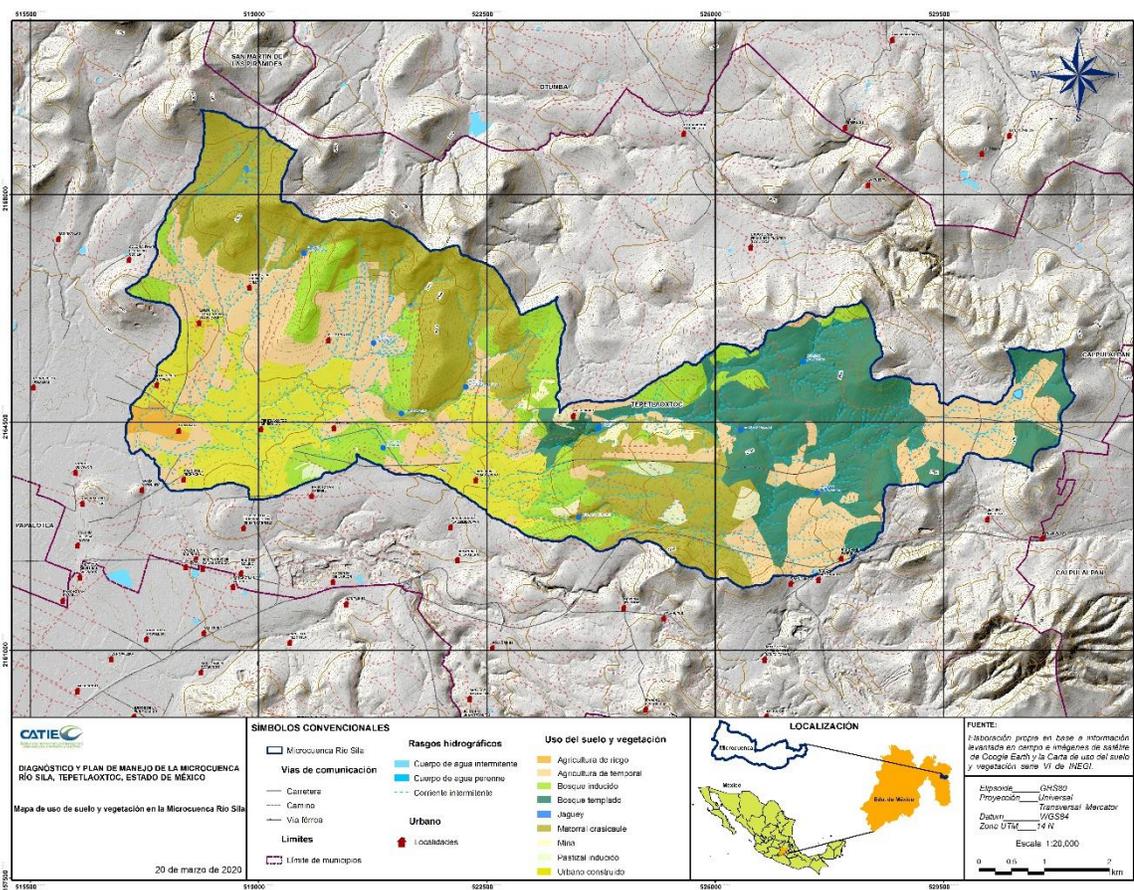


Figura 24. Uso de suelo y tipo de vegetación en la microcuenca

5.2.5 Caracterización socioeconómica

En el espacio de la MRS se localizan las localidades de Tepetlaoxtoc de Hidalgo (cabecera municipal), San Pedro Chiantzingo y San Bernardo Tlalmimilpan, pertenecientes al territorio del municipio de Tepetlaoxtoc (Figura 25).

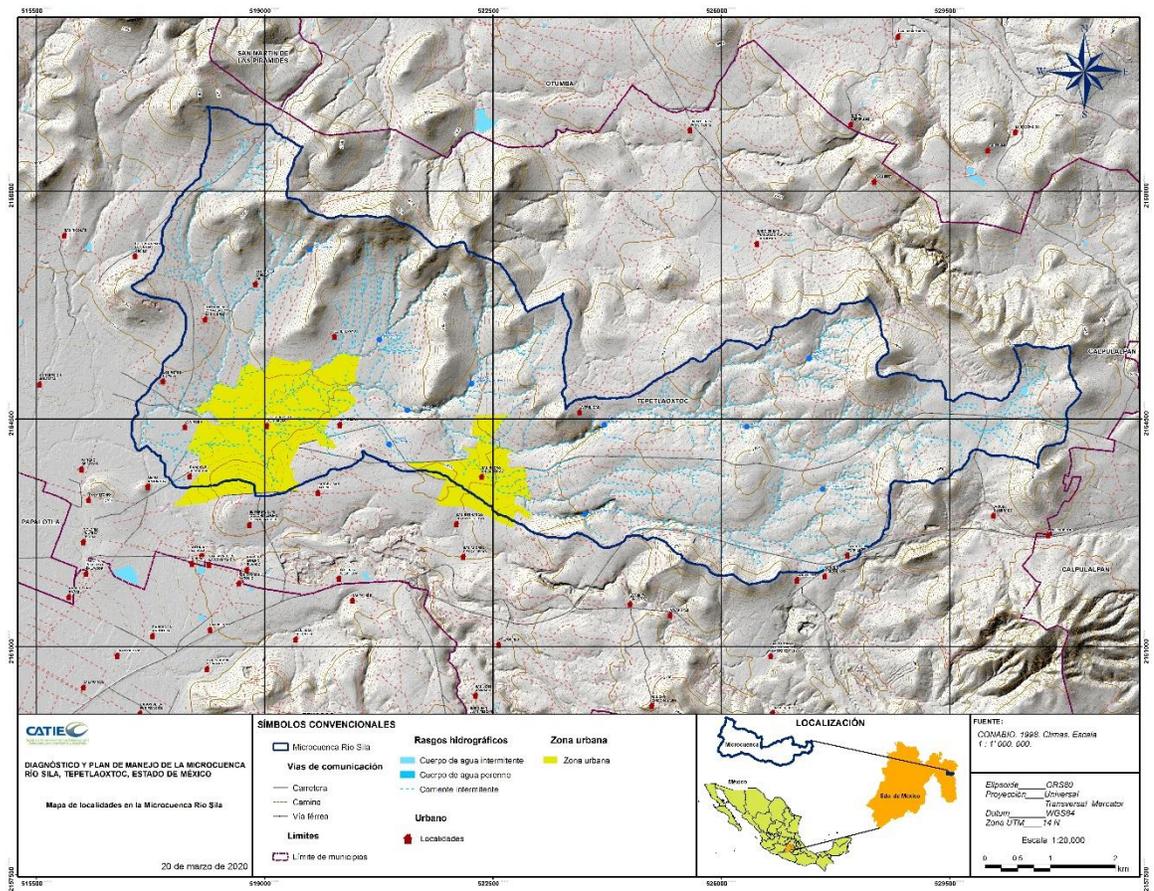


Figura 25. Localidades en la microcuenca Río Sila

Información demográfica. De acuerdo con la información de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y Censo de Población y Vivienda (2010), la población que habita en la microcuenca es de 11,241 personas, de las cuales 5,761 son mujeres y 5,480 hombres (Figura 26). La dinámica demográfica en el periodo de 2010 a 2015 se mantuvo estable con respecto al periodo 2000 a 2010, al mostrar una tasa de crecimiento poblacional de 2 % (Plan de Desarrollo Urbano Municipal de Tepetlaoxtoc, 2019), llegando a 11,456 habitantes en 2015 y una población estimada de 11,685 en el año 2020. La estructura de edades de la población se presenta en la Figura 27.

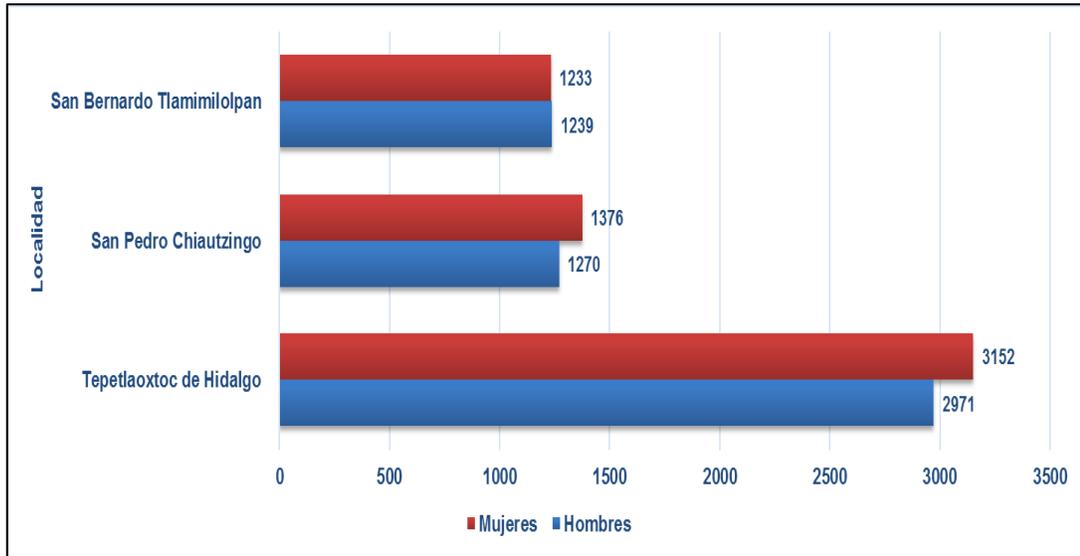


Figura 26. Cantidad de hombres y mujeres en la MRS

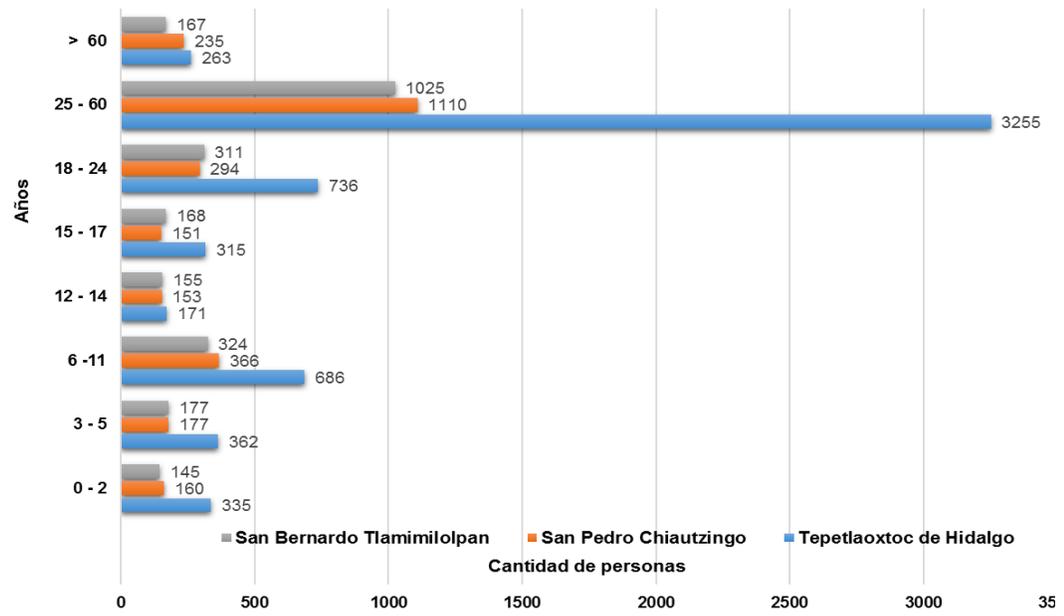


Figura 27. Distribución de edades de la población en la microcuenca

Elaboración propia con datos de INEGI, 2015

Salud y Seguridad Social. En el municipio de Tepetlaotoc se presenta deficiencia en cobertura de Salud y Seguridad Social (Plan de Desarrollo Urbano Municipal Tepetlaotoc, 2019). Para el espacio de la MRS se localizan cuatro Unidades Médicas (Cuadro 18), las cuales presentan carencia de infraestructura y personal, por lo tanto, para satisfacer las necesidades médicas, la población recurre a consultorios privados dentro de la MRS o se traslada a principalmente al municipio de Texcoco.

Cuadro 18. Unidades Médicas Oficiales del Municipio

Localidad	Nombre	Tipo de Unidad	Tipología	Adscripción	Atención
San Bernardo Tlalmimilolpan	San Bernardo Tlalmimilolpan	Consulta externa	A, Rural de 01 núcleo básico	Instituto de Salud del Estado de México	Lunes-sábado 8:00 - 16:00
San Pedro Chiautzingo	Unidad Médica "San Pedro Chiautzingo"	Consulta externa	A, Rural de 01 núcleo básico		Lunes sábado 8:00 - 16:00
Tepetlaoxtoc de Hidalgo	CEAPS Tepetlaoxtoc	Consulta externa	CAP , CEAPS		Todo el año 24 horas
	Centro de asistencia de Desarrollo para la familia	Consultas médicas y odontológicas	Instalaciones Centrales DIF cabecera Municipal	Ayuntamiento municipal	Intermitente

El 42 % de la población no tiene acceso a servicios de salud pública (Cuadro 19), en contraste con el resto de los habitantes pueden acudir a los servicios estatales y federales de salud. Destaca el Seguro Popular, que proporciona el gobierno federal, el cual atiende al 35 % de la población asegurada (Cuadro 20).

Cuadro 19. Población con acceso a servicio de salud en instituciones públicas

Concepto	San Bernardo Tlalmimilolpan	San Pedro Chiautzingo	Tepetlaoxtoc de Hidalgo
Población sin derechohabiente a servicios de salud	1,192	1,134	2,411
Población derechohabiente a servicios de salud	1,280	1,512	3,712
Total	2,472	2,646	6,123

Cuadro 20. Población con servicio de salud pública, estatal o federal

Institución	San Bernardo Tlalmimilolpan	San Pedro Chiautzingo	Tepetlaoxtoc de Hidalgo
Población derechohabiente del IMSS	309	193	1,080
Población derechohabiente del ISSSTE	58	91	368
Población derechohabiente de Salud estatal	23	6	53
Población derechohabiente por el Seguro Popular	798	1,141	1,987

Institución	San Bernardo Tlalmimilolpan	San Pedro Chiautzingo	Tepetlaoxtoc de Hidalgo
Otros (SEDENA, MARINA, etc.)	92	81	224
Total	1,280	1,512	3,712

INEGI Censo de Población y Vivienda 2010.
INEGI Encuesta Intercensal 2015

Educación. De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda realizado por INEGI (2010), se establece que el grado promedio de escolaridad en la microcuenca es de 8.42 años (Cuadro 21), el 64.5 % ha cursado de forma completa o incompleta la instrucción primaria, secundaria y postbásica; el 3.12 % de la población mayor a 15 años de edad es analfabeta, el 2.6 % de la población de 6 a 14 años de edad no asiste a la escuela, y el 2.4 % de población de 15 años o más no registra escolaridad.

Cuadro 21. Población de la microcuenca con escolaridad básica y postbásica

Edad	Nivel educativo	Tepetlaoxtoc de Hidalgo	San Bernardo Tlalmimilolpan	San Pedro Chiautzingo
≥ 15 años	Primaria completa	650	331	327
	Primaria incompleta	444	214	255
	Secundaria completa	1,078	521	552
	Secundaria incompleta	207	93	93
≥ 18 años	Postbásica	1,701	367	418
Grado promedio de escolaridad (años)		9.29	7.96	8.01

Vivienda. Según INEGI (2010) en el espacio de la microcuenca se registran se tiene un total de 2,651 viviendas particulares habitadas (Cuadro 22). Del total de viviendas, es importante señalar que el 10.4 % carece del servicio de agua entubada, el 6.3 % no cuenta con drenaje y el 4.1 % presenta en sus viviendas pisos de tierra.

Cuadro 22. Viviendas con carencias de servicios

Viviendas	Tepetlaoxtoc de Hidalgo	San Pedro Chiautzingo	San Bernardo Tlalmimilolpan
Particulares habitadas	1,511	584	556
Con piso de tierra	48	39	22
Sin drenaje	21	115	33
Sin energía eléctrica	5	9	2
Sin agua entubada	44	150	83
Sin sanitario	33	77	21

Movilidad terrestre. En las localidades de la microcuenca se cuenta con transporte público para el desplazamiento intramunicipal e intermunicipal, el cual está concesionado a empresas privadas. Otra alternativa de movilidad lo representa el servicio de taxi público y transporte vía aplicaciones móviles. El transporte de carga es de afluencia moderada y corresponde principalmente a uso particular y comercial, para el reparto de mercancía a establecimientos comerciales, y de traslado a otros municipios y estados de la República por parte de empresas establecidas en el municipio (Plan de Desarrollo Urbano Municipal, 2019). No se cuenta con un reglamento de tránsito municipal, de tal manera que se rige por el de orden estatal.

Agua potable y saneamiento. De acuerdo con el Plan de Desarrollo Municipal 2016-2018, en la localidad de Tepetlaoxtoc de Hidalgo, se cuenta con dos depósitos para la distribución de agua potable y tres pozos profundos, uno propiedad del gobierno municipal y los dos restantes, administrados por habitantes de las localidades; en San Pedro Chiantzingo se cuenta con un depósito de agua potable y un pozo de agua potable (Plan de Desarrollo Urbano Municipal, 2013); finalmente, la localidad de San Bernardo Tlalmimilolpan cuenta con un depósito de agua potable y un pozo de agua potable (Plan de Desarrollo Urbano Municipal, 2013).

Tratamiento de aguas residuales. En el espacio de la microcuenca se dispone de dos plantas de tratamiento de aguas residuales, una en la localidad de Tepetlaoxtoc (CONAGUA, 2014) en proceso de rehabilitación y bajo la operación del ayuntamiento municipal y otra, en la localidad de de San Pedro Chiantzingo la cual está funcionando en un 50 % de su capacidad total. Las aguas tratadas son descargadas al cauce del río Papalotla (Plan de Desarrollo Urbano Municipal, 2019).

Manejo de residuos. El manejo de los residuos provenientes de la limpieza de lugares públicos y viviendas, se lleva a cabo mediante la contratación de una empresa particular especializada la cual realiza la recolección, transporte y disposición final en lugares de acopio y tratamiento fuera del municipio, toda vez que no se cuenta con relleno sanitario.

Actividades productivas primarias

Agricultura. El desarrollo de la actividad agrícola se clasifica como baja, debido a la escasez de recursos, presencia de tierras de mala calidad y con serias limitantes hídricas. Los cultivos principales son maíz, frijol, cebada, alfalfa, algunas hortalizas y maguey. Destaca la extracción de pulque como actividad generalizada en la microcuenca para consumo doméstico y comercialización. Existen no más de tres organizaciones de productores agrícolas y maguey, como la Cooperativa Maguey Xóchitl de Tepetlaoxtoc y Cebaderos Unidos de Tepetlaoxtoc" A.L.P.R. Ante las limitantes hídricas los productores han tomado como alternativa el establecimiento de cultivos forrajeros como cebada y avena. Una pequeña porción de productores ha implementado el establecimiento de cultivos alternativos de bajo consumo hídrico y mayor rentabilidad económica como la producción de nopal de verdura y xoconostle.

Producción pecuaria. La producción de bovinos es bajo dos propósitos: producción de carne y producción de leche. Para la producción de carne, mediante pastoreo extensivas y la engorda intensiva de bovinos en corral. La engorda intensiva es de importancia en la economía de la región, se desarrolla por 300 productores en categoría de pequeños y medianos (Plan de Desarrollo Urbano Municipal Tepetlaoxtoc, 2016). La mayor parte de la producción de carne tiene como mercado el área metropolitana y la Ciudad de México. La producción porcina se realiza a nivel de traspatio y representa una alternativa de ahorro familiar. La producción avícola muestra un creciente desarrollo al abastecer más de la mitad del volumen total de carne en el municipio. Existe una organización de productores denominada "Asociación ganadera del Municipio de Tepetlaoxtoc" UGOCP, que agrupa a 35 ganaderos. La producción de leche se realiza con ganado estabulado en ranchos; los productos son enviados a queserías de Texcoco y Ciudad de México

Actividades productivas secundarias. En la microcuenca se localiza una planta industrial, Grupo Cooperativo Papelera S.A DE C.V. (Plan de Desarrollo Urbano Municipal Tepetlaoxtoc, 2016).

Actividades productivas terciarias. Destaca este sector con el crecimiento de establecimientos comerciales y servicios.

Patrimonio cultural. En la microcuenca se localizan diversos elementos naturales, sitios culturales y templos históricos, como el Parque Estatal Sierra Patlachique, Puente San Vicente, Fuente antigua de piedra, museo Fray Domingo de Betanzos, Capilla de San Vicente Ferrer y Parroquia de Santa María Magdalena (Plan de Desarrollo Urbano Municipal Tepetlaoxtoc, 2019). De acuerdo al Plan de Desarrollo Municipal Tepetlaoxtoc (2013), Tepetlaoxtoc fue declarado monumento nacional en 1933, y en 1997, fue declarado patrimonio cultural del Estado de México.

Según el Plan de Desarrollo Municipal Tepetlaoxtoc (2016), el 25 de febrero de 2015, el INAH confirmó la existencia de construcciones arqueológicas y posibles pirámides, en el barrio de El Calvario y en la comunidad Prolongación La Era, La Alboreda y Los Tlateles en Tepetlaoxtoc, en donde ubicaron 34 montículos que se presume forma parte de un sitio arqueológico prehispánico. Al respecto el historiador José Omar Tinajero ha remarcado la importancia del centro antiguo de Tepetlaoxtoc, donde hay una pirámide circular dedicada a Quetzalcóatl.

Fuentes de empleo e ingresos. De acuerdo al Plan de Desarrollo Urbano Municipal Tepetlaoxtoc (2016), las actividades económicas principales en la microcuenca corresponden a agricultura, ganadería, comercio y minería. Es importante destacar el movimiento constante de población que emigra de las localidades rurales de la microcuenca hacia las zonas urbanas de la Ciudad de México y Texcoco, para participar en actividades de los sectores secundario y terciario. La Población Económicamente Activa (PEA) de la microcuenca representa el 40 % de la población total, la población económicamente inactiva (PEI) el 35 % (Cuadro 23). De igual manera, la población desocupada representa el 4.5 % de la PEA (INEGI, 2010).

Cuadro 23. Distribución de la población de acuerdo al nivel de ocupación y empleo

Localidad	Población total	PEA	PEA Hombres	PEA Mujeres	PEI	Población ocupada	Población desocupada
Tepetlaoxtoc de Hidalgo	6123	2,558	1,670	888	2,142	2,442	116
San Bernardo Tlalmimilolpan	2472	954	670	284	852	907	47
San Pedro Chiautzingo	2646	1,035	698	337	886	994	41
Total	11,241	4547	3,038	1,509	3,880	4,343	204

Principales amenazas naturales en la microcuenca

Hidrometeorológicos

Sequía. Utilizando información de CENAPRED (2019a) y la clasificación en cinco categorías obtenidas por el método natural break, que van de muy bajo a muy alto peligro por sequía. Se establece, de manera general, que el grado de peligro por sequía en la microcuenca tiene un nivel medio, lo que indica que la susceptibilidad a la sequía puede ser del tipo meteorológico y sus afectaciones poco severas.

Heladas. Según el Plan de Desarrollo Urbano Municipal 2013, las heladas inician en el mes de octubre, se intensifican en los meses de diciembre, enero y febrero, y llegan a ser tan severas que provocan serias afectaciones en la población más vulnerable, afectando también algunos cultivos de invierno. Con la información proporcionada por CENAPRED (2019a), se tiene que la parte noreste de la microcuenca predominan heladas de 40-60 días y en la parte sureste heladas de 20-40 días, ambas con categoría "baja", mientras que, en la parte suroeste predominan las heladas de 60-80 días y 80-100 días que se clasifican como categoría "media".

Inundaciones. De acuerdo con la información de CENAPRED (2019a), la microcuenca queda inscrita en los tres tipos de inundaciones, predominando la nula/baja, debido al relieve que presenta, por lo que el peligro de inundación es nulo. En los campos agrícolas o en los asentamientos humanos se registra un valor medio, que refiere la posibilidad de inundación como caso muy extraordinario; y, finalmente, el valor alta probabilidad de inundación, se ubica en un área pequeña en la parte baja de la microcuenca asociado al espacio urbanizado, donde se concentra las aguas pluviales que descienden de las partes altas de la microcuenca.

Contaminación

Aire. Una fuente importante de contaminación, la constituyen las minas de grava y arena que se ubican al este de la cabecera municipal, provocando grandes tolvaneras. Asimismo, la carencia de un relleno sanitario para el manejo de residuos sólidos promueve el depósito de estos en laderas de ríos y barrancas, lotes y predios baldíos, generando malos

lores y partículas suspendidas totales (Plan de Desarrollo Urbano Municipal de Tepetlaoxtoc, 2013).

Agua. De acuerdo con el Plan de Desarrollo Urbano Municipal de Tepetlaoxtoc, 2013, una de las principales fuentes de contaminación del agua es la descarga de aguas residuales sin tratamiento hacia los cauces de arroyos y ríos que cruzan de este a oeste la microcuenca y que desembocan en el ex vaso del Lago de Texcoco, todo ello, como resultado de la matanza de animales de forma clandestina y la descarga de desechos domésticos arrojados a través de los desagües y coladeras de las viviendas. CENAPRED (2019a), evaluó el grado de contaminación por coliformes fecales que existen en el área de la microcuenca y corresponde a un nivel “muy bajo” conforme a la NMX-AA-042-SCFI-2015.

Geológicos

Deslizamientos. De acuerdo con los datos obtenidos de CENAPRED (2019a), la mayor parte de la microcuenca se caracteriza por tener un peligro muy bajo o nulo a deslizamientos debido a que existen laderas no muy alteradas, con poca perturbación por factores externos e internos, sin embargo, en la parte noreste de la microcuenca se localiza un peligro medio y bajo; dicha zona forma parte del área natural protegida Patlachique. Dicha área presenta algunas fallas, agrietamientos moderados, cuya condición topográfica hace más propensa la ocurrencia de deslizamientos, sin embargo, no existen antecedentes de deslizamientos en el sitio o región. El lado suroeste de la microcuenca también presenta mayor susceptibilidad a deslizamientos que van desde muy bajo o nulo hasta un riesgo medio.

Vulcanismo. La microcuenca forma parte del campo volcánico Apan-Tezontepec, compuesto de conos de escoria, volcanes escudo y domos alineados al NE-SO de composición basáltico-andesítica, del Pleistoceno. En cuanto a caídas de materiales volcánicos el volcán Popocatepetl representa el principal peligro en el área de la microcuenca, sin embargo, el impacto de peligro es bajo. No obstante, existe una mayor probabilidad de caída de cenizas en el área de estudio, esto de acuerdo con CENAPRED (2019a).

5.3 Objetivo 3. Determinación de la capacidad de uso de la tierra

5.3.1 Etapa de pre-campo

Se llevó a cabo la recopilación, análisis y procesamiento de información cartográfica y documental, relativa a los aspectos de uso de suelo y tipo de vegetación, relieve (expresado por topoformas), tipos de suelo, subtipos climáticos y geología (tipo de rocas) de la microcuenca, así como, información socioeconómica y de actividades productivas de uso de la tierra.

Del análisis de la información cartográfica y el reconocimiento en campo fue necesario reprocesar la cartografía de usos de suelo y tipos de vegetación, topoformas y tipos de suelo para contar con las características y condiciones actuales de la microcuenca. De la sobreposición de los mapas biofísicos, se construyeron unidades homogéneas mediante la interrelación de sus características biofísicas (Cuadro 24), bajo un criterio de conformar

polígonos ≥ 5 ha. Asimismo, se excluyeron para el análisis las unidades homogéneas con uso de cuerpos de agua (imperceptibles), minas y espacios urbanos construidos, de tal manera, que de las 4,582.28 ha de la superficie total, se definió un área de trabajo de 3,886.173 ha.

Cuadro 24. Variables biofísicas para la construcción de las Unidades Homogéneas

USV	Topoforma	Tipo de suelo	Clima	Geología
V1.Agricultura de riego	T1.Lomerío	S1.Feozem	C1.C(wo)	G1.Aluvión
V2.Agricultura de temporal	T2.Pie de monte	S2.Litosol	C2.C(w1)	G2.Adesito
V3.Bosque inducido	T3.Planicie	S3.Regosol		G3.Basalto
V4.Cuerpo de agua		S4.Vertisol crómico		G4.Brecha sedimentaria
V5.Matorral crasicaule		S5.Vertisol pélico		G5.Brecha volcánico basáltica
V6.Minas				G6.Riolita
V7.Pastizal inducido				G7.Toba basáltica
V8.Urbano construido				
V9.Bosque templado				

Para las 3,886 ha, se definieron 123 polígonos que representan a un total de 75 unidades homogéneas, las UH quedaron identificadas mediante un número arábigo y los polígonos asociados a cada una de ellas con una letra mayúscula (Figura 28). Por ejemplo, 27B, que significa Unidad homogénea 27, polígono B de la misma UH. Debido al nivel exploratorio - semidetallado del estudio de capacidad de uso de la tierra, se estableció como criterio asignar un sitio de muestreo por cada 20 ha o 0.2 km² de UH, resultando en un total de 206 sitios para la obtención de datos en campo.

La ubicación de los sitios de muestreo se realizó de manera directa, apoyado en el reconocimiento del espacio de la microcuenca, la experiencia y con el objetivo de lograr representar las características de la UH que se analiza.

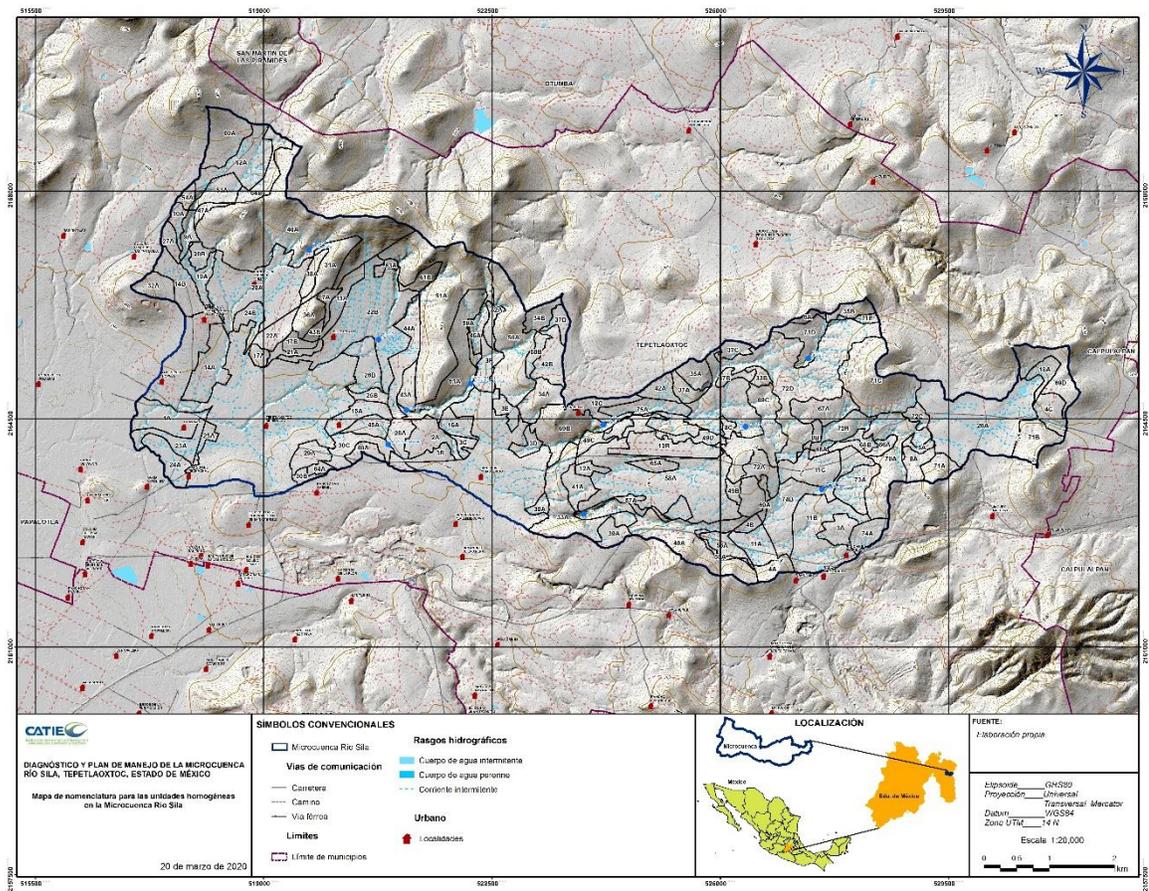


Figura 28. Unidades homogéneas en el espacio de la microcuenca río Sila

5.3.2 Obtención de información en campo

Para cada sitio de muestreo se registró información relativa a: coordenadas UTM mediante GPS Garmin, código de identificación del sitio, pendiente en porcentaje con clinómetro Suunto Pm5/360pc, erosión sufrida, profundidad efectiva, textura al tacto, pedregosidad, drenaje, inundación o anegamiento, periodo seco, neblina y viento. De acuerdo con Watler (2018), en la aplicación de la metodología propuesta, en la valoración del factor de fertilidad, se puede utilizar información disponible de estudios o bien no evaluarlos, mientras que los parámetros de toxicidad de cobre y salinidad, deberán evaluarse únicamente en aquellas zonas donde son reconocidos como limitantes a nivel local. Para el presente estudio únicamente se asoció el valor de fertilidad a lo indicado para cada tipo de suelo presente en la microcuenca, mientras que la toxicidad al cobre y salinidad no fueron considerados, al no ser reconocidos como limitantes. La información de los factores de cada sitio de muestreo se registró en una cedula de campo y como apoyo al trabajo, se integró un registro fotográfico (Figura 29).



Figura 29. Obtención de información en campo

5.3.3 Etapa de gabinete

La información obtenida para cada UH fue procesada y analizada con respecto a los valores de referencia de la metodología propuesta. Se obtuvieron los niveles de: 1) clase, 2) subclase y 3) unidad de manejo. De la misma manera, el trabajo se complementó con la elaboración de fichas específicas de las UH, de las cuales se presentan seis ejemplos (Figura 30, Figura 31 y Figura 32), de acuerdo a la variabilidad de usos de suelo presentes en la microcuenca.

Microcuenca Río Sila, Tepetlaoxtoc, estado de México		
Coordenadas UTM 14 Q	517880 m E	2164261 m N
UNIDAD HOMOGENEA	V1T3S5C1G1	Agricultura de riego en planicie de vértisol pellico, clima C(w _o) y rasgo geológico aluvión
PARAMETRO	CATEGORIA	CLASE
Pendiente (e1) %	2	I
Erosión sufrida (e2)	NULA	I
Profundidad efectiva (s1) cm	60 - 90	III
Textura	< 30 cm (s2)	FRANCO ARCILLOSO
	> 30 cm (s2)	ARENOSO
Pedregosidad (s3)	SIN PEDREGOSIDAD	I
Fertilidad (s4)		
Toxicidad al cobre		
Salinidad		
Drenaje (d1)	BUENO	I
Inundación (d2)	NULA	I
Zona de vida (c1)		
Periodo seco (c2)	FUERTE	III
Neblina (c3)	AUSENTE	I
Viento (c4)	VIENTO	I



Parte baja de la microcuenca

Unidad de Manejo	IIIIs12c2
-------------------------	------------------

Microcuenca Río Sila, Tepetlaoxtoc, estado de México		
Coordenadas UTM 14 Q	520565 m E	2165441 m N
UNIDAD HOMOGENEA	V2T3S5C2G7	Agricultura de temporal en planicie de vértisol pellico, clima C(w ₁) y rasgo geológico toba basáltica
PARAMETRO	CATEGORIA	CLASE
Pendiente (e1) %	1	I
Erosión sufrida (e2)	LIGERA A MODERADA	I
Profundidad efectiva (s1) cm	60 - 90	III
Textura	< 30 cm (s2)	FRANCO ARCILLOSO
	> 30 cm (s2)	ARENOSO
Pedregosidad (s3)	SIN PEDREGOSIDAD	I
Fertilidad (s4)		
Toxicidad al cobre		
Salinidad		
Drenaje (d1)	BUENO	I
Inundación (d2)	NULA	I
Zona de vida (c1)		
Periodo seco (c2)	FUERTE	III
Neblina (c3)	AUSENTE	I
Viento (c4)	VIENTO	I



Parte baja de la microcuenca

Unidad de Manejo	IIIe2s12c2
-------------------------	-------------------

Figura 30. Capacidad de uso de la tierra en UH de Agricultura de riego y temporal

Microcuenca Río Sila, Tepetlaoxtoc, estado de México		
Coordenadas UTM 14 Q	528999 m E	2163980 m N
UNIDAD HOMOGENEA	V2T1S2C2G7	Agricultura de temporal en lomerío de litosol, clima C(wo) y rasgo geológico toba basáltica
PARAMETRO	CATEGORIA	CLASE
Pendiente (e1) %	4	II
Erosión sufrida (e2)	LIGERA A MODERADA	III
Profundidad efectiva (s1) cm	50	IV
Textura	< 30 cm (s2)	FRANCO ARCILLOSO
	> 30 cm (s2)	FRANCO ARCILLOSO
Pedregosidad (s3)	SIN PEDREGOSIDAD	I
Fertilidad (s4)		
Toxicidad al cobre		
Salinidad		
Drenaje (d1)	BUENO	I
Inundación (d2)	NULA	I
Zona de vida (c1)		
Periodo seco (c2)	FUERTE	III
Neblina (c3)	AUSENTE	I
Viento (c4)	VIENTO	I



Parte alta de la microcuenca

Unidad de Manejo	IVs1
-------------------------	-------------

Microcuenca Río Sila, Tepetlaoxtoc, estado de México		
Coordenadas UTM 14 Q	523098 m E	2164837 m N
UNIDAD HOMOGENEA	V3T1S2C2G3	Bosque inducido en lomerío de Litosol, clima C(wo) y rasgo geológico de basalto
PARAMETRO	CATEGORIA	CLASE
Pendiente (e1) %	25	IV
Erosión sufrida (e2)	FUERTE	IV
Profundidad efectiva (s1) cm	5	VII
Textura	< 30 cm (s2)	ARCILLO ARENOSO
	> 30 cm (s2)	ARCILLO ARENOSO
Pedregosidad (s3)	PEDREGOSO	IV
Fertilidad (s4)		
Toxicidad al cobre		
Salinidad		
Drenaje (d1)	BUENO	I
Inundación (d2)	NULA	I
Zona de vida (c1)		
Periodo seco (c2)	FUERTE	III
Neblina (c3)	AUSENTE	I
Viento (c4)	VIENTO	I



Parte media de la microcuenca

Unidad de Manejo	VIIIs1
-------------------------	---------------

Figura 31. Capacidad de uso de la tierra en UH de Agricultura de temporal y bosque inducido

Microcuenca Río Sila, Tepetlaoxtoc, estado de México		
Coordenadas UTM 14 Q	521661 m E	2165869 m N
UNIDAD HOMOGENEA	V5T1S2C2G6	Matorral crasicaule en lomerío de litosol, clima C(wo) y rasgo geológico riolita
PARAMETRO	CATEGORIA	CLASE
Pendiente (e1) %	48	V
Erosión sufrida (e2)	FUERTE	III
Profundidad efectiva (s1) cm	20	V
Textura < 30 cm (s2)	ARCILLOSO	III
> 30 cm (s2)	ARCILLO ARENOSO	III
Pedregosidad (s3)	MUY PEDREGOSO	V
Fertilidad (s4)		
Toxicidad al cobre		
Salinidad		
Drenaje (d1)	BUENO	I
Inundación (d2)	NULA	I
Zona de vida (c1)		
Periodo seco (c2)	FUERTE	III
Neblina (c3)	AUSENTE	I
Viento (c4)	VIENTO	I



Parte media de la microcuenca

Unidad de Manejo	Ve1s13
-------------------------	---------------

Microcuenca Río Sila, Tepetlaoxtoc, estado de México		
Coordenadas UTM 14 Q	531017 m E	2164191 m N
UNIDAD HOMOGENEA	V9T1S2C2G5	Bosque templado en lomerío de litosol, clima C(wo) y rasgo geológico brecha volcánico basáltica
PARAMETRO	CATEGORIA	CLASE
Pendiente (e1) %	32	V
Erosión sufrida (e2)	LIGERA A MODERADA	III
Profundidad efectiva (s1) cm	60	III
Textura < 30 cm (s2)	FRANCO ARCILLOSO	III
> 30 cm (s2)	FRANCO ARCILLOSO	III
Pedregosidad (s3)	SIN PEDREGOSIDAD	I
Fertilidad (s4)		
Toxicidad al cobre		
Salinidad		
Drenaje (d1)	BUENO	I
Inundación (d2)	NULA	I
Zona de vida (c1)		
Periodo seco (c2)	FUERTE	III
Neblina (c3)	AUSENTE	I
Viento (c4)	VIENTO	I



Parte alta de la microcuenca

Unidad de Manejo	Ve1
-------------------------	------------

Figura 32. Capacidad de uso de la tierra en UH de Matorral crasicaule y Bosque Templado

5.3.4 Capacidad de uso de la tierra para las UH de la microcuenca río Sila

Para cada clase se identificaron la cantidad de UH que la integran y la superficie total asociada a la misma. Los resultados muestran que una superficie de 686.90 ha corresponden a 22 UH de Clase III, 695.96 ha con 30 UH de Clase IV, 878.10 ha con 23 UH de Clase V, 1,013.52 ha con 35 UH con Clase VI, y finalmente, 611.67 ha con 13 UH cuya Clase es VII. Las subclases estuvieron determinadas por erosión (e), suelo (s) y clima (c), debido a que el drenaje (d) no resultó ser un factor limitante, a pesar de ser considerado en la evaluación. Las unidades de manejo en su totalidad presentaron limitaciones alguna o más limitaciones de pendiente (e1) y erosión (e2), de profundidad efectiva (s1), textura (s2) y pedregosidad (s3), así como de período seco (d2). Los resultados evaluación de capacidad de uso de la tierra para cada UH se muestran en la Figura 33 y Cuadro 25 .

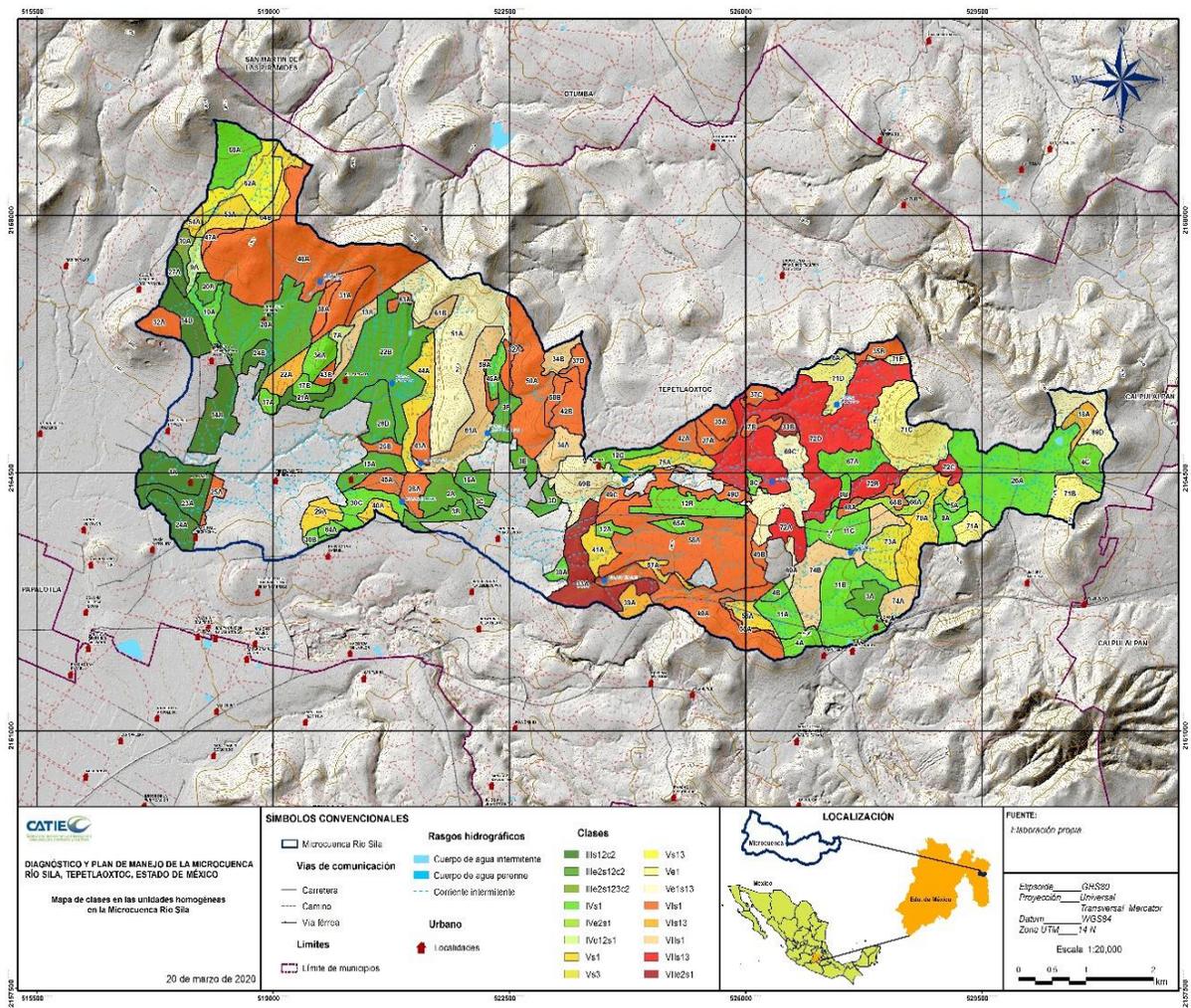


Figura 33. Unidades de manejo en el territorio de la microcuenca río Sila

Cuadro 25. Clase, subclase y unidad de manejo para las UH de la microcuenca río Sila

ID	Unidad homogénea	Superficie (ha)	Unidad de manejo	ID	Unidad homogénea	Superficie (ha)	Unidad de manejo
1A	V1T3S5C1G1	42.60	IIIe2s12c2	37A	V3T1S2C2G7	13.21	VI s1
2A	V2T1S1C2G3	30.94	IIIe2s12c2	37B	V3T1S2C2G7	8.86	VI s1
3A	V2T1S1C2G7	19.27	IIIe2s12c2	37C	V3T1S2C2G7	11.21	VI s1
3B	V2T1S1C2G7	17.79	IIIe2s12c2	37D	V3T1S2C2G7	11.38	VI s1
3C	V2T1S1C2G7	7.33	IIIe2s12c2	38A	V3T1S3C1G6	11.36	VI s1
3D	V2T1S1C2G7	11.15	IIIe2s12c2	39A	V3T1S3C2G2	15.06	VI s13
3E	V2T1S1C2G7	11.74	IIIe2s12c2	40A	V3T1S3C2G7	11.02	V s1
3F	V2T1S1C2G7	20.65	IIIe2s12c2	41A	V3T1S5C2G2	20.40	V s1
4A	V2T1S2C2G2	14.44	IV s1	42A	V3T1S5C2G7	16.01	VI s1
4B	V2T1S2C2G2	6.61	IV s1	42B	V3T1S5C2G7	29.65	VI s1
4C	V2T1S2C2G2	23.08	IV s1	43A	V3T2S2C2G6	15.14	VI s1
5A	V2T1S2C2G3	6.40	IV s1	43B	V3T2S2C2G6	5.82	VI s1
6A	V2T1S2C2G5	5.16	IVe12s1	44A	V3T2S3C2G7	40.43	V s1
7A	V2T1S2C2G6	7.76	IVe12s1	45A	V3T3S1C2G4	16.64	VI s1
8A	V2T1S2C2G7	16.72	IV s1	46A	V5T1S1C2G7	12.56	IV s1
8B	V2T1S2C2G7	6.26	IV s1	47A	V5T1S2C1G3	6.43	VI s1
8C	V2T1S2C2G7	5.13	IV s1	48A	V5T1S2C1G6	245.75	VI s1
9A	V2T1S3C1G3	11.89	IVe12s1	49A	V5T1S2C2G2	99.07	VI s1
10A	V2T1S3C1G7	10.23	IIIe2s123c2	49B	V5T1S2C2G2	6.61	VI s1
11A	V2T1S4C2G7	26.78	IV s1	49C	V5T1S2C2G2	10.44	VI s1
11B	V2T1S4C2G7	83.79	IV s1	49D	V5T1S2C2G2	23.31	VI s1
11C	V2T1S4C2G7	39.10	IV s1	50A	V5T1S2C2G3	93.08	VI s1
12A	V2T1S5C2G7	7.44	IV s1	51A	V5T1S2C2G6	181.93	Ve1s13
12B	V2T1S5C2G7	42.50	IV s1	52A	V5T1S2C2G7	9.97	VI s1
12C	V2T1S5C2G7	21.04	IV s1	53A	V5T1S3C1G3	23.26	V s1
13A	V2T2S3C2G7	19.68	VII s1	54A	V5T1S3C1G7	7.10	V s1
14A	V2T3S1C1G7	47.64	III s12c2	54B	V5T1S3C1G7	25.96	V s1
14B	V2T3S1C1G7	34.88	III s12c2	55A	V5T1S4C2G2	5.55	VI s1
15A	V2T3S1C2G4	25.03	IIIe2s12c2	56A	V5T1S4C2G7	16.55	V s1
16A	V2T3S1C2G7	16.53	IIIe2s12c2	57A	V5T1S5C2G2	8.69	V s1
17A	V2T3S2C2G6	7.86	IV s1	58A	V5T1S5C2G7	173.07	VI s1
17B	V2T3S2C2G6	9.32	IV s1	58B	V5T1S5C2G7	10.36	VI s1
18A	V2T3S2C2G7	14.16	VI s13	59A	V5T2S1C2G7	5.16	VI s1

ID	Unidad homogénea	Superficie (ha)	Unidad de manejo	ID	Unidad homogénea	Superficie (ha)	Unidad de manejo
19A	V2T3S3C1G3	19.39	IVs1	60A	V5T2S2C1G3	45.44	IVs1
20A	V2T3S3C1G7	116.96	IIIe2s12c2	61A	V5T2S2C2G6	73.74	VIIIs1
20B	V2T3S3C1G7	10.51	IIIe2s12c2	61B	V5T2S2C2G6	12.20	VIIIs1
21A	V2T3S3C2G6	10.43	IIIIs12c2	62A	V5T2S3C1G7	54.07	Vs13
22A	V2T3S3C2G7	19.92	VIIs13	63A	V5T2S3C2G7	5.57	VIIs1
22B	V2T3S3C2G7	140.37	IIIe2s12c2	64A	V7T1S1C2G7	5.67	IVs1
23A	V2T3S5C1G1	24.72	IIIIs12c2	65A	V7T1S5C2G7	11.16	IVs1
24A	V2T3S5C1G7	27.92	IIIIs12c2	66A	V9T1S1C2G3	14.19	IVe2s1
24B	V2T3S5C1G7	17.08	IIIIs12c2	67A	V9T1S1C2G5	33.34	IVs1
25A	V2T3S5C2G1	8.43	VIIs1	68A	V9T1S1C2G7	5.04	VIIs1
25B	V2T3S5C2G1	9.07	VIIs1	68B	V9T1S1C2G7	7.26	VIIs1
26A	V2T3S5C2G7	153.67	IVs1	69A	V9T1S2C2G2	5.86	VeIs13
26B	V2T3S5C2G7	32.08	IIIe2s12c2	69B	V9T1S2C2G2	54.87	VeIs13
27A	V3T1S1C1G7	11.08	IIIIs12c2	69C	V9T1S2C2G2	65.63	VeIs13
28A	V3T1S1C2G3	17.52	VIIs1	69D	V9T1S2C2G2	42.43	VeIs13
29A	V3T1S1C2G4	18.76	Vs1	70A	V9T1S2C2G3	72.82	Vs1
30A	V3T1S1C2G7	6.63	IVs1	71A	V9T1S2C2G5	16.90	Ve1
30B	V3T1S1C2G7	6.04	IVs1	71B	V9T1S2C2G5	30.83	Ve1
30C	V3T1S1C2G7	26.82	IVs1	71C	V9T1S2C2G5	90.31	Ve1
31A	V3T1S2C1G6	31.69	VIIs1	71D	V9T1S2C2G5	29.34	Ve1
32A	V3T1S2C1G7	19.42	VIIs1	71E	V9T1S2C2G5	5.29	Ve1
33A	V3T1S2C2G2	70.37	VIIe2s1	72A	V9T1S2C2G7	20.53	VIIIs13
33B	V3T1S2C2G2	7.31	VIIe2s1	72B	V9T1S2C2G7	24.65	VIIIs13
34A	V3T1S2C2G3	27.26	VIIIs1	72C	V9T1S2C2G7	9.32	VIIIs13
34B	V3T1S2C2G3	16.09	VIIIs1	72D	V9T1S2C2G7	244.01	VIIIs13
35A	V3T1S2C2G5	18.46	VIIs1	73A	V9T1S3C2G7	30.25	Vs3
35B	V3T1S2C2G5	13.82	VIIs1	74A	V9T1S4C2G7	19.59	VIIIs1
36A	V3T1S2C2G6	19.78	IVs1	74B	V9T1S4C2G7	66.93	VIIIs1
				75A	V9T1S5C2G7	25.41	Vs1

5.3.5 Evaluación de los conflictos de uso

Es necesario reconocer que el Sistema USDA-modificado bajo el enfoque de cuencas hidrográficas tiene el objetivo de agrupar unidades de tierra, basados en unidades cartográficas de suelos para fines agrícolas. En tanto, de acuerdo a la clasificación, se distinguen suelos

“arables”, aptos para la agricultura (ganadería y bosques), sin ninguna o con varios niveles de limitaciones y potencialidades para la producción; suelos “no arables”, no aptos para producir cultivos de labranza en forma sostenida, pero aptos para sostener vegetación permanente (ecosistemas forestales), pasturas inducidas y pastizal natural, sin o con limitaciones y potencialidades para su uso.

De acuerdo con la descripción de las clases de capacidad de uso de las tierras de Klingebiel y Montgomery (1961) y la metodología de capacidad de uso de las tierras de Costa Rica (Decreto N° 23214-MAG-MIRENEM) se asociaron las clases con los usos permisibles para delimitar el conflicto de uso, para lo cual se estableció como criterio lo siguiente:

Las clases I, II, III y IV quedan definidas para uso agrícola; de estas, solo la clase I no presenta limitaciones y de la II a la IV presentan algún nivel de limitación. Asimismo, estas clases pueden tener uso para la ganadería y ecosistemas forestales.

Las clases V, VI y VII se determinan para uso pecuario y ecosistemas forestales, de las cuales, la clase V no presenta limitaciones para los usos referidos, mientras que, VI y VII, presentan algún nivel de limitaciones.

Finalmente, la clase VIII, es apta solo para recreación, protección de la vida silvestre o abastecimiento de agua o propósitos estéticos y con limitaciones.

Por lo anterior, para determinar el conflicto de uso se consideró el criterio siguiente: “Si el uso actual corresponde al uso de capacidad de la tierra, se declara como “Sin conflicto”, en un segundo paso se determina la presencia o ausencia de “limitantes” así como de las potencialidades, esta última desde la perspectiva agrícola. En el Cuadro 26, se muestran los parámetros de valoración que se definieron para el uso y limitantes en función a las clases de la metodología utilizada.

Cuadro 26. Calificación del valor de uso actual del suelo con respecto a la capacidad de uso de la tierra

Uso	Clases	Valoración
Agricultura, ganadería y forestería	Clase I. Terrenos adecuados para cultivos agrícolas, pastos y bosques	Sin conflicto, sin limitaciones
	Clase II. Suelos con algunas limitantes que reducen la elección de plantas o requieren prácticas ligeras de conservación de suelos	Sin conflicto con limitantes ligeras
	Clase III. Suelos con severas limitaciones que reducen la selección de plantas o requieren prácticas especializadas de conservación de suelos o ambas	Sin conflicto con limitantes severas
	Clase IV. Suelos con limitantes muy severas que restringen la elección de cultivos o requieren de un manejo muy cuidadoso o ambos	Sin conflicto con limitantes muy severas

Uso	Clases	Valoración
Ganadería y forestería	Clase V. Terrenos para pastos y bosques, generalmente no aptos para cultivos	Sin conflicto, sin limitaciones
	Clase VI. Suelos con limitaciones severas que los hacen no aptos para su aprovechamiento bajo cultivos, pero que pueden ser utilizados en la producción de pastos, árboles o vida silvestre o cultivos especiales en cobertura	Sin conflicto con limitantes severas
	Clase VII. Suelos con limitaciones muy severas que los hacen no aptos para cultivos y restringen su uso a la producción de pastos o árboles o vida silvestre	Sin conflicto con limitantes muy severas
Recreación y protección	Clase VIII. Suelos con limitaciones tales que únicamente pueden ser utilizados para recreación, protección de la vida silvestre o abastecimiento de agua o propósitos estéticos	Sin conflicto con limitaciones

Para el total de las 123 UH o Unidades de Manejo, se determinó que solo cinco (5) presentan conflicto de uso (CC) y 118 no presentan conflicto (SC). De estas últimas, 23 no presentan limitaciones (SC), 52 con limitaciones severas (SC/LS), 32 con limitaciones muy severas (SC/LMS), 1 con potencial para uso agrícola con limitaciones severas (SC/PUA/LS) y 10 con potencial de uso agrícola con limitaciones muy severas (SC/PUA/LMS).

El resultado permite establecer que el 1.83 de la superficie de la microcuenca se encuentra en conflicto, 22.59 % sin conflicto, 42.14 % sin conflicto y con limitaciones severas, 28.46 % sin conflicto con limitaciones muy severas y sin conflicto y potencial de uso agrícola el 0.28 % aunque con limitaciones severas y 4.6 % con limitaciones muy severas. El detalle de superficie y conflictos se muestra en el Cuadro 27 y Figura 34.

Cuadro 27. Distribución de la superficie de la microcuenca de acuerdo a Conflicto de Uso

	Superficie ha	Uso actual	Clase de la capacidad	
En conflicto	71.27	Agrícola	VI y VII	
Sin conflicto	878.10	Ecosistema forestal	V	
Sin conflicto con limitaciones severas	1,637.75	675.82	Agrícola	III
		961.93	Ecosistema forestal	VI
Sin conflicto con limitaciones muy severas	1,106.33	524.33	Agrícola	IV
		591.99	Ecosistema forestal	VII
Sin conflicto con potencial de uso agrícola con limitaciones severas	11.07	Ecosistema forestal	III	
Sin conflicto con potencial de uso agrícola con limitaciones muy severas	181.62	Ecosistema forestal y pastizal inducido	IV	

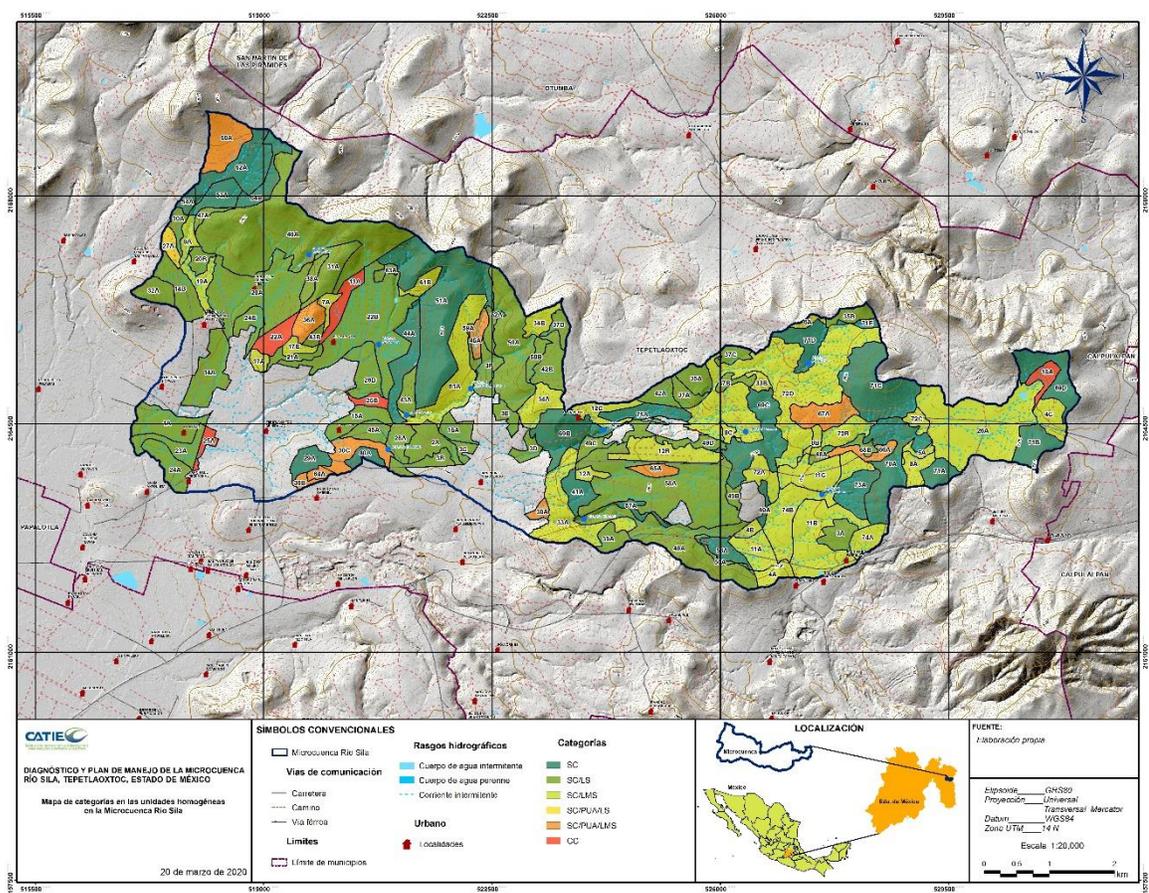


Figura 34. Conflictos de uso actual de la tierra respecto a su capacidad

5.3.6 Propuesta general de aplicación de prácticas de manejo y conservación de suelos y agua en relación a las clases de uso de las tierras

De acuerdo con Watler (2018), las limitantes de capacidad de uso de la tierra, como la pendiente, erosión sufrida, pedregosidad y fertilidad pueden corregirse parcial o totalmente con prácticas específicas de manejo y conservación de suelos y agua, el efecto del viento puede disminuirse con prácticas agronómicas; y, la limitación por meses secos puede corregirse con la implementación de sistemas de riego, sin embargo, desde una perspectiva personal la mejor alternativa para la limitante de humedad, corresponde a las tecnologías de siembra y cosecha de agua de lluvia para el espacio de la microcuenca.

Para cada UH o Unidades de manejo se asociaron las prácticas de manejo y conservación de suelos y aguas recomendadas, en función de la clase de capacidad establecidas en el sistema USDA-modificado (Cuadro 28); esto como apoyo al proceso de planificación del manejo y la gestión de la microcuenca. Las prácticas aplicadas de manera correcta permiten la conservación del suelo, potencian un uso más intensivo y el manejo sustentable de las tierras y los recursos naturales asociados.

Cuadro 28. Prácticas de manejo y conservación de suelos y agua sugeridas para su aplicación en los polígonos de las UH

Prácticas	Clases									
	III		IV		V		VI		VII	
Labranza de contorno	X		X							
Labranza mínima	X		X							
Labranza en fajas	X		X							
Reciclaje de residuos de cosechas	X		X							
Siembra de cultivos asociados	X		X		X				X	
Siembra de cultivos alternados	X		X		X				X	
Siembra de cultivos en fajas	X		X	4A, 4B, 4C, 5A, 6A, 7A, 8A, 8B, 8C, 9A, 11A, 11B, 11C, 12A, 12B, 12C, 17A, 17B, 19A, 26A, 30A, 30B, 30C, 36A, 46A, 60A, 64A, 65A, 66A y 67A	X				X	
Siembra de cultivos en rotación	X		X		X	29A, 40A, 41A, 44A, 51A, 53A, 54A, 54B, 56A, 57A, 62A, 69A, 69B, 69C, 69D, 70A, 71A, 71B, 71C, 71D, 71E, 73A y 75A			X	
Siembra de cultivos intercalados	X	1A, 2A, 3A, 3B, 3C, 3D, 3E, 3F, 10A, 14A, 14B, 15A, 16A, 20A, 20B, 21A, 22B, 23A, 24A, 24B, 26B y 27A	X		X				X	
Siembra de abonos verdes	X		X		X				X	
Establecimiento de cercas vivas	X		X		X		X		X	13A, 34A, 34B, 61A, 61B, 72A, 72B, 72C, 72D, 74A y 74B
Sistemas silvopastoriles	X		X		X		X	18A, 22A, 25A, 25B, 28A, 31A, 32A, 35A, 35B, 37A, 37B, 37C, 37D, 38A, 39A, 42A, 42B, 43A, 43B, 45A, 47A, 48A, 49A, 49B, 49C, 49D, 50A, 52A, 55A, 58A, 58B, 59A, 63A, 68A y 68B	X	
Siembra de bosque de protección	X		X		X		X		X	
Reforestación de zonas de acuíferos	X		X		X		X		X	
Siembra de cortinas rompevientos	X		X		X		X		X	
Diseño y mantenimiento de caminos	X		X		X		X		X	
Diseño y protección de taludes	X		X		X		X		X	
Control de cárcavas	X		X		X		X		X	
Estanque de agua	X		X		X		X		X	
Represa de agua	X		X		X		X		X	
Siembra en contorno	X		X							

5.4 Objetivo 4. Estimación de la erosión del suelo en la microcuenca

La estimación de erosión hídrica y eólica se realizó para la superficie de las unidades homogéneas con cubierta de vegetación forestal (natural e inducida) y los usos de suelo de agricultura de temporal y riego, se excluyeron las UH de espacio construido (EC), minas a cielo abierto (MI) y cuerpos de agua (CA). La exclusión obedece a que dichas áreas no contribuyen de manera significativa en el aporte de volumen de suelo arable como consecuencia de la erosión hídrica y eólica. El espacio de las MI ha sufrido la pérdida total de la capa arable o el suelo que representa el soporte y medio de crecimiento de la vegetación forestal, toda vez que en las mismas se lleva a cabo la extracción de arenas, gravas, piedra, que corresponde a material parental u horizontes muy profundos. Respecto a los CA, estos son pequeños jagüeyes que sirven de abrevadero para el ganado y que la mayor parte del año mantienen agua. Finalmente, los EC, aunque importantes por la superficie que ocupan dentro del espacio de la microcuenca, corresponden a espacios totalmente modificados donde el suelo natural se restringe a los patios o pequeños solares domésticos.

5.4.1 Erosión hídrica

Para estimar la erosión hídrica en la microcuenca río Sila se calcularon los valores de cada uno de los parámetros que integran la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (EUPS), desarrollada por Wischmeier y Smith, 1978, cuya expresión es la siguiente:

$$A = RKLSCP$$

Donde:

A= Pérdida de suelo (t/ha/año).

R= Erosividad de la lluvia (Mj mm/ha h año).

K= Erosionabilidad del suelo (t/h/Mj mm).

L= Factor por longitud de pendiente (adimensional).

S= Factor por grado de pendiente (adimensional).

C= Factor por cubierta vegetal (adimensional).

P= Factor por prácticas de manejo (adimensional).

La estimación de la erosión hídrica consideró los factores R, K, L, S y C, asignado el valor de la unidad al factor P, toda vez que en la microcuenca no se registró la aplicación de prácticas de manejo.

Para estimar R se emplea la ecuación propuesta por Cortés (1991), cuya expresión es:

$$R = 1.9967 * P + 0.003270 * P^2$$

Donde:

R = Erosividad de la lluvia Mj mm/ha h año;

P = Precipitación media anual.

Erosividad (R)

El valor de R se calculó para cada las 12 estaciones climatológicas del área de influencia de la microcuenca, y se obtuvieron valores extremos mínimo y máximo de 1,860 y 3,042 que corresponde a la estación Texcoco y La Venta, respectivamente (Cuadro 29). Los valores más altos de isoerosividad, se registran en la cabecera de la microcuenca y estos mantienen una tendencia decreciente en dirección al punto de descarga de la misma. Los valores fueron interpolados para obtener el mapa raster del parámetro de erosividad (Figura 35).

Cuadro 29. Valor del factor R de cada estación meteorológica

Clave	Nombre de la estación	R (MJ*mm/ha*h*año)
15263	Acolman	2,384.11
15008	Atenco	2,173.14
29006	Cuacula	2,634.00
15044	La Grande	2,143.06
29013	La Venta	3,041.54
15065	Otumba	1,896.66
15083	San Andres	2,259.27
15210	San Juan Totolapan	2,082.89
15097	San Martín de las Pirámides	2,474.40
15101	San Miguel Tlaixpan	2,097.44
15125	Texcoco	1,859.79
15135	Xochihuacan	2,621.61

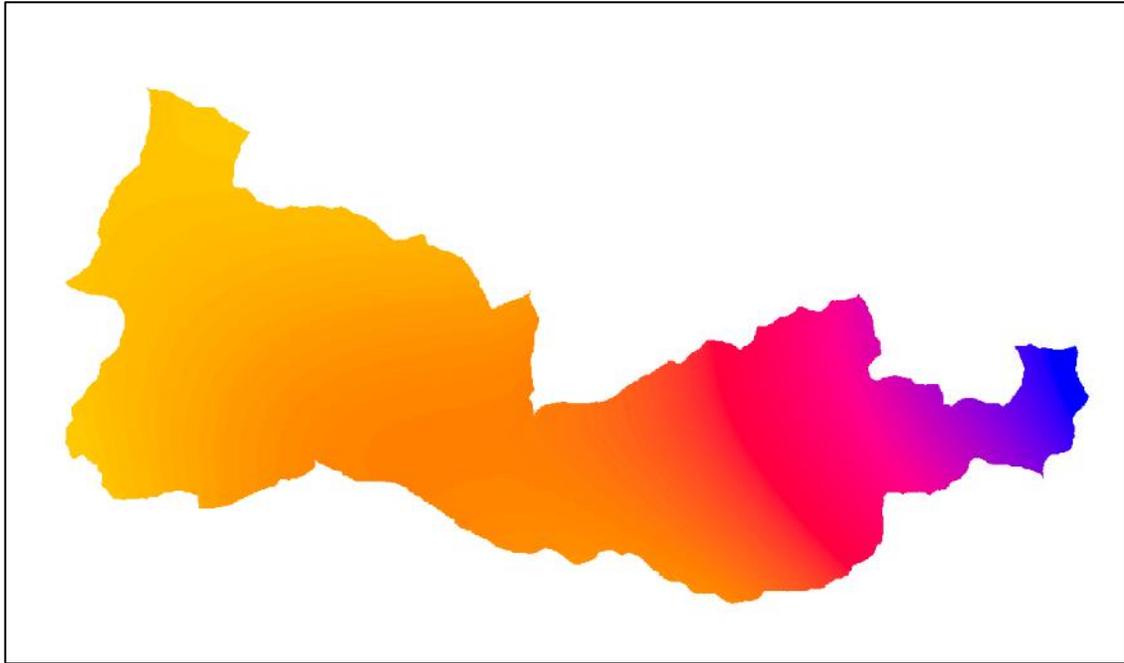


Figura 35. Valores de isoerosividad (R) en la microcuenca

Erosionabilidad del suelo (K)

Para la estimación del valor de K, cada uno de los tipos de suelo y textura presentes en la microcuenca se asoció con los valores de K propuestos por FAO (1980). Los valores correspondientes a cada tipo de suelo se muestran en el Cuadro 30 y su representación se presenta mediante la capa raster de la Figura 36.

Cuadro 30. Valores del factor de erosividad (K) en función de la unidad de suelo y su textura superficial

Unidades de suelo de acuerdo a la clasificación de la FAO		Valor por textura		
Símbolo	Tipo, subtipo y textura	Gruesa	Media	Fina
Hh/2	Feozem haplico, textura media	0.013	0.02	0.007
I/2	Litosol, textura media	0.013	0.02	0.007
Re/2	Regosol eútrico, textura media	0.026	0.04	0.013
Re/3	Regosol eútrico, textura fina	0.026	0.04	0.013
Vc/3	Vertisol crómico, textura media	0.053	0.079	0.026
Vp/3	Vertisol pélico, textura fina	0.053	0.079	0.026

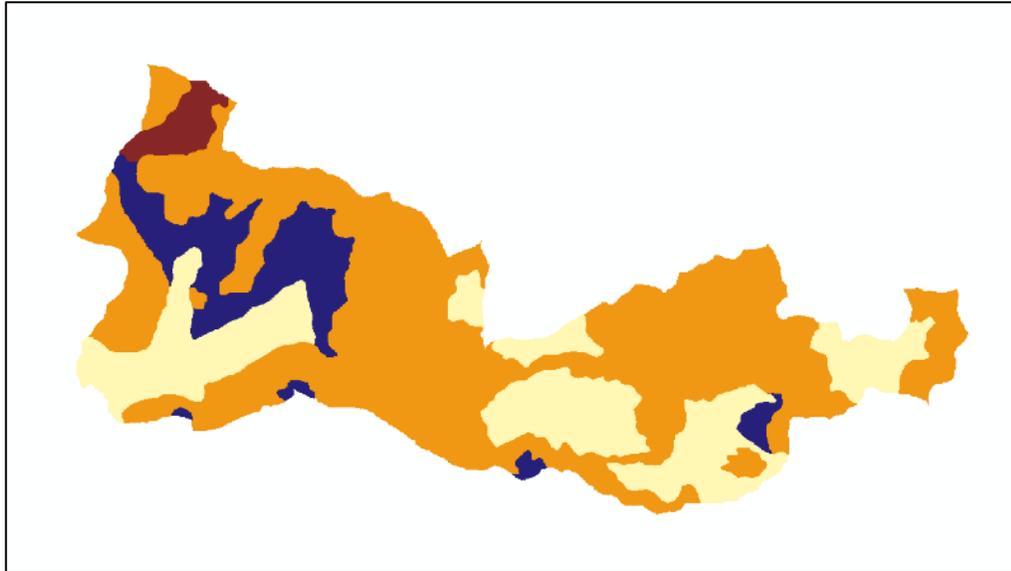


Figura 36. Mapa raster con los valores de (K) en la microcuenca

El valor más alto de erosionabilidad se presenta terrenos de agricultura de temporal de la parte baja de la microcuenca sobre suelos tipo regosol, en contraste los valores bajos, se asocian a tierras cubiertas con vegetación de matorral crasicaule y bosque templado en suelo de tipo litosol de la parte media y alta de la microcuenca.

Longitud y grado de pendiente (LS)

Los mapas raster de los factores L y S se construyeron a partir del modelo digital de elevación Lidar de INEGI con resolución espacial de 5 m, aplicando las ecuaciones para la obtención del ángulo de la pendiente (Φ), el exponente (m) y la longitud de la pendiente (λ) en el caso de L y ángulo de la pendiente (Φ) para el factor S (Figura 37 y Figura 38).

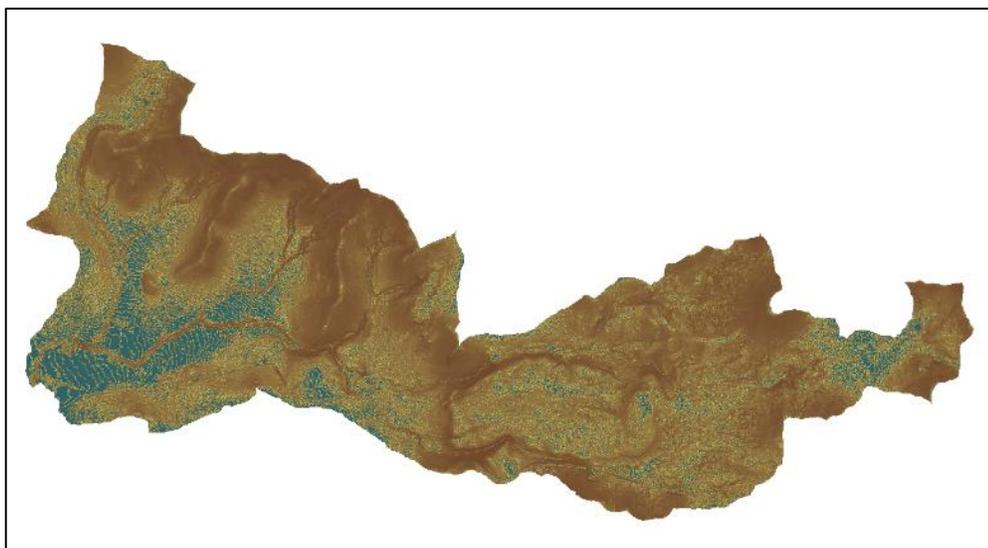


Figura 37. Representación del factor L en el espacio de la microcuenca

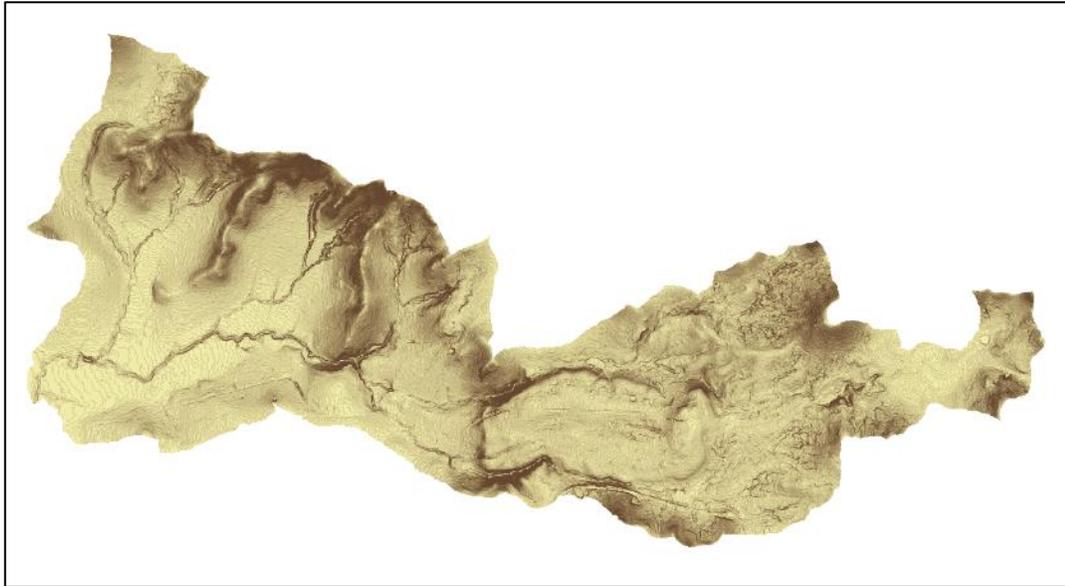


Figura 38. Mapa raster del factor S para la microcuenca río Sila

Factor de cubierta vegetal (C)

Para determinar el factor C se consideraron los valores propuestos por Figueroa et al. (1991) y se asociaron a los diferentes usos de suelo y tipo de vegetación presentes en la microcuenca (Cuadro 31); los valores se representaron mediante el mapa raster correspondiente (Figura 39).

Cuadro 31. Valores de del factor C

USV	Factor C
Agricultura de riego	0.39
Agricultura de temporal	0.39
Pastizal inducido	0.30
Matorral crasicaule	0.15
Bosque inducido	0.20
Bosque natural	0.20

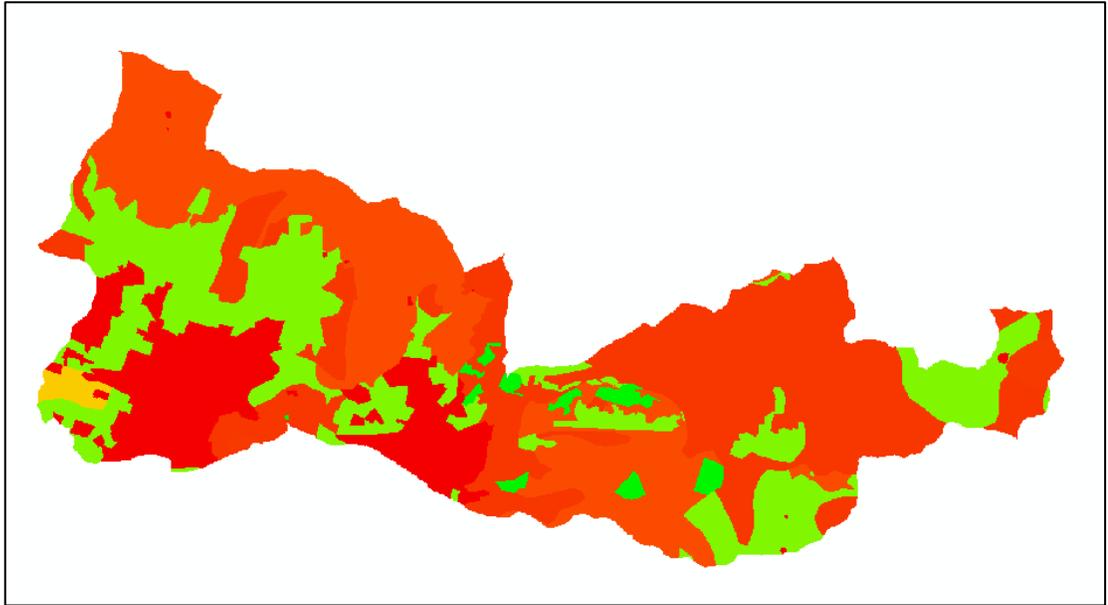


Figura 39. Representación del factor C para la microcuenca

Factor por prácticas de manejo (P)

El valor P varía de 0 a 1 en la EUPS, para el presente estudio se consideró el valor de 1, toda vez que en el espacio de la microcuenca no se observó la aplicación de prácticas de manejo en las actividades productivas agrícolas o en las áreas cubiertas por vegetación forestal nativa o inducida.

Erosión hídrica en la microcuenca y a nivel de las unidades homogéneas

Las capas raster de los factores de la EUPS se multiplicaron para dar como resultado el mapa de erosión hídrica, el cual representa los valores de tasas de erosión clasificados de acuerdo a los rangos de erosión propuestos por FAO - UNESCO, 1991 (Cuadro 32), como resultado se obtuvo el mapa de erosión hídrica para la microcuenca río Sila (Figura 41) y el mapa de niveles de erosión para las unidades homogéneas que integran el área de interés del estudio (Figura 41).

Cuadro 32. Niveles de pérdida de suelo en el área de estudio FAO - UNESCO, (1991)

<i>Nivel</i>	<i>Rango (t/ha/año)</i>
Ligera	0 - 10
Moderada	10 - 50
Alta	50 - 200
Muy alta	>200

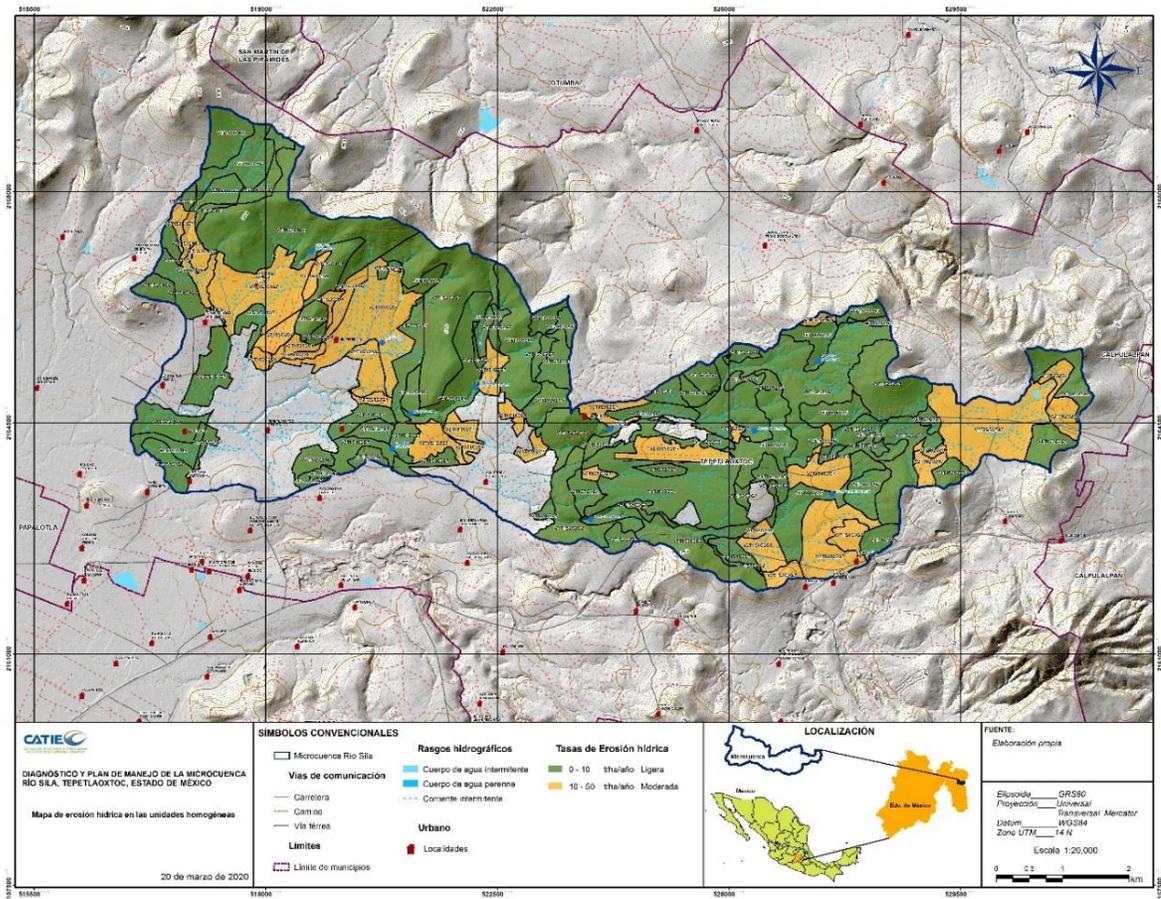


Figura 41. Erosión hídrica para las unidades homogéneas

Cuadro 33. Niveles de erosión hídrica para la Unidades Homogéneas de la microcuenca

Unidad homogénea	Superficie (ha)	Tasa de erosión (t/ha/año)	Volumen t/año	Nivel de erosión
V1T3S5C1G1	42.60	5.19	220.93	Ligera
V2T1S1C2G3	30.94	10.51	325.05	Moderada
V2T1S1C2G7	19.27	14.76	284.47	Moderada
V2T1S1C2G7	17.79	7.06	125.62	Ligera
V2T1S1C2G7	7.33	10.32	75.63	Moderada
V2T1S1C2G7	11.15	13.89	154.79	Moderada
V2T1S1C2G7	11.74	11.66	136.85	Moderada
V2T1S1C2G7	20.65	13.85	285.98	Moderada
V2T1S2C2G2	14.44	24.87	359.22	Moderada
V2T1S2C2G2	6.61	11.65	76.96	Moderada
V2T1S2C2G2	23.08	18.49	426.77	Moderada
V2T1S2C2G3	6.40	16.33	104.51	Moderada

Unidad homogénea	Superficie (ha)	Tasa de erosión (t/ha/año)	Volumen t/año	Nivel de erosión
V2T1S2C2G5	5.16	22.47	116.04	Moderada
V2T1S2C2G6	7.76	18.04	140.01	Moderada
V2T1S2C2G7	16.72	22.66	378.82	Moderada
V2T1S2C2G7	6.26	12.62	78.95	Moderada
V2T1S2C2G7	5.13	15.71	80.63	Moderada
V2T1S3C1G3	11.89	33.44	397.70	Moderada
V2T1S3C1G7	10.23	15.09	154.43	Moderada
V2T1S4C2G7	26.78	15.54	416.12	Moderada
V2T1S4C2G7	83.79	16.48	1381.13	Moderada
V2T1S4C2G7	39.10	13.15	514.09	Moderada
V2T1S5C2G7	7.44	13.67	101.76	Moderada
V2T1S5C2G7	42.50	11.79	500.99	Moderada
V2T1S5C2G7	21.04	13.40	281.91	Moderada
V2T2S3C2G7	19.68	25.34	498.55	Moderada
V2T3S1C1G7	47.64	6.97	331.92	Ligera
V2T3S1C1G7	34.88	8.86	309.01	Ligera
V2T3S1C2G4	25.03	9.01	225.55	Ligera
V2T3S1C2G7	16.53	13.66	225.83	Moderada
V2T3S2C2G6	7.86	12.67	99.57	Moderada
V2T3S2C2G6	9.32	15.10	140.72	Moderada
V2T3S2C2G7	14.16	21.53	304.91	Moderada
V2T3S3C1G3	19.39	21.66	419.93	Moderada
V2T3S3C1G7	116.96	17.23	2015.21	Moderada
V2T3S3C1G7	10.51	19.44	204.39	Moderada
V2T3S3C2G6	10.43	18.46	192.58	Moderada
V2T3S3C2G7	19.92	23.15	461.24	Moderada
V2T3S3C2G7	140.37	19.68	2761.86	Moderada
V2T3S5C1G1	24.72	4.14	102.38	Ligera
V2T3S5C1G7	27.92	4.69	130.79	Ligera
V2T3S5C1G7	17.08	8.31	141.93	Ligera
V2T3S5C2G1	8.43	3.55	29.96	Ligera
V2T3S5C2G1	9.07	14.77	134.04	Moderada
V2T3S5C2G7	153.67	12.36	1899.25	Moderada
V2T3S5C2G7	32.08	10.18	326.69	Moderada

Unidad homogénea	Superficie (ha)	Tasa de erosión (t/ha/año)	Volumen t/año	Nivel de erosión
V3T1S1C1G7	11.08	2.18	24.13	Ligera
V3T1S1C2G3	17.52	3.38	59.27	Ligera
V3T1S1C2G4	18.76	2.28	42.70	Ligera
V3T1S1C2G7	6.63	3.63	24.06	Ligera
V3T1S1C2G7	6.04	1.57	9.50	Ligera
V3T1S1C2G7	26.82	2.92	78.41	Ligera
V3T1S2C1G6	31.69	7.03	222.65	Ligera
V3T1S2C1G7	19.42	3.71	72.08	Ligera
V3T1S2C2G2	70.37	6.55	461.22	Ligera
V3T1S2C2G2	7.31	4.27	31.23	Ligera
V3T1S2C2G3	27.26	5.29	144.09	Ligera
V3T1S2C2G3	16.09	4.05	65.17	Ligera
V3T1S2C2G5	18.46	4.92	90.76	Ligera
V3T1S2C2G5	13.82	7.26	100.31	Ligera
V3T1S2C2G6	19.78	7.42	146.89	Ligera
V3T1S2C2G7	13.21	4.28	56.51	Ligera
V3T1S2C2G7	8.86	3.52	31.18	Ligera
V3T1S2C2G7	11.21	3.48	39.01	Ligera
V3T1S2C2G7	11.38	2.29	26.05	Ligera
V3T1S3C1G6	11.36	11.64	132.26	Moderada
V3T1S3C2G2	15.06	4.59	69.10	Ligera
V3T1S3C2G7	11.02	5.63	62.01	Ligera
V3T1S5C2G2	20.40	3.71	75.66	Ligera
V3T1S5C2G7	16.01	3.61	57.89	Ligera
V3T1S5C2G7	29.65	3.30	97.89	Ligera
V3T2S2C2G6	15.14	5.17	78.29	Ligera
V3T2S2C2G6	5.82	6.33	36.85	Ligera
V3T2S3C2G7	40.43	7.31	295.42	Ligera
V3T3S1C2G4	16.64	2.63	43.75	Ligera
V5T1S1C2G7	12.56	0.68	8.49	Ligera
V5T1S2C1G3	6.43	0.68	4.35	Ligera
V5T1S2C1G6	245.75	0.87	213.56	Ligera
V5T1S2C2G2	99.07	0.83	81.79	Ligera
V5T1S2C2G2	6.61	0.41	2.73	Ligera

Unidad homogénea	Superficie (ha)	Tasa de erosión (t/ha/año)	Volumen t/año	Nivel de erosión
V5T1S2C2G2	10.44	0.96	10.01	Ligera
V5T1S2C2G2	23.31	0.54	12.52	Ligera
V5T1S2C2G3	93.08	0.76	71.16	Ligera
V5T1S2C2G6	181.93	0.94	171.36	Ligera
V5T1S2C2G7	9.97	0.55	5.51	Ligera
V5T1S3C1G3	23.26	0.28	6.57	Ligera
V5T1S3C1G7	7.10	0.18	1.24	Ligera
V5T1S3C1G7	25.96	0.35	9.17	Ligera
V5T1S4C2G2	5.55	0.78	4.32	Ligera
V5T1S4C2G7	16.55	0.69	11.45	Ligera
V5T1S5C2G2	8.69	0.54	4.73	Ligera
V5T1S5C2G7	173.07	0.43	74.83	Ligera
V5T1S5C2G7	10.36	0.45	4.61	Ligera
V5T2S1C2G7	5.16	0.59	3.04	Ligera
V5T2S2C1G3	45.44	0.47	21.16	Ligera
V5T2S2C2G6	73.74	0.81	59.62	Ligera
V5T2S2C2G6	12.20	0.99	12.06	Ligera
V5T2S3C1G7	54.07	0.20	10.70	Ligera
V5T2S3C2G7	5.57	1.12	6.24	Ligera
V7T1S1C2G7	5.67	0.93	5.29	Ligera
V7T1S5C2G7	11.16	2.62	29.18	Ligera
V9T1S1C2G3	14.19	5.29	75.11	Ligera
V9T1S1C2G5	33.34	3.84	128.18	Ligera
V9T1S1C2G7	5.04	3.00	15.11	Ligera
V9T1S1C2G7	7.26	3.56	25.85	Ligera
V9T1S2C2G2	5.86	3.27	19.16	Ligera
V9T1S2C2G2	54.87	6.67	365.98	Ligera
V9T1S2C2G2	65.63	4.63	303.76	Ligera
V9T1S2C2G2	42.43	6.78	287.59	Ligera
V9T1S2C2G3	72.82	5.08	369.65	Ligera
V9T1S2C2G5	16.90	6.30	106.53	Ligera
V9T1S2C2G5	30.83	8.08	249.22	Ligera
V9T1S2C2G5	90.31	7.33	662.20	Ligera
V9T1S2C2G5	29.34	5.11	149.93	Ligera

Unidad homogénea	Superficie (ha)	Tasa de erosión (t/ha/año)	Volumen t/año	Nivel de erosión
V9T1S2C2G5	5.29	5.09	26.91	Ligera
V9T1S2C2G7	20.53	2.42	49.76	Ligera
V9T1S2C2G7	24.65	4.01	98.73	Ligera
V9T1S2C2G7	9.32	3.74	34.90	Ligera
V9T1S2C2G7	244.01	4.50	1096.88	Ligera
V9T1S3C2G7	30.25	9.47	286.39	Ligera
V9T1S4C2G7	19.59	3.62	70.89	Ligera
V9T1S4C2G7	66.93	3.74	250.64	Ligera
V9T1S5C2G7	25.41	3.76	95.59	Ligera

En las 3,886 ha que conforman las unidades homogéneas de la microcuenca río Sila, se estima un volumen de pérdida de suelo por erosión hídrica de 26,364 t/año, con niveles de erosión definidos como "ligera" y "moderada". El nivel "ligera" se presenta en 2,859 ha con un volumen de aporte de suelo perdido de 9,775 t/año. Respecto al nivel "moderada" este se registra en 1,027 ha (37 %) y el volumen de suelo perdido es de 16,590 t/año (63 %). De lo anterior, el mayor esfuerzo para frenar el proceso de degradación se deberá realizar en la cuarta parte de la superficie.

La erosión hídrica "moderada" se registra en 38 UH, con una tasa de erosión de 10.2 a 33.4 t/ha/año, se presenta principalmente en terrenos dedicados a agricultura de temporal, en topoformas de lomerío y planicie, en todos los tipos de suelo y subclases climáticas, así como, en las áreas con geología de basalto, riolita y toba basáltica.

La tasa de erosión para el nivel de erosión "ligera", va de 0.17 a 9.5 t/ha/año, se registra en 85 UH cubiertas por vegetación de pastizal inducido, matorral crasicaule, bosque inducido y bosque templado, en las topoformas de lomerío, pie de monte y planicie, en todos los tipos de suelo, clima y rasgos geológicos.

Al analizar las 10 UH de mayor superficie (7 nivel erosión ligera y 3 nivel erosión moderada), se observa que estas cubren 1,538 ha (39.58 % de la superficie total) y aportan 9,048 t/año, cuya cantidad representa el 34.31 % del volumen total de suelo perdido en la microcuenca, debido a erosión hídrica.

En referencia a los valores de tasa de erosión, los 15 valores más altos se presentan en 514 ha, con un volumen asociado de 10,058 t/año, de tal manera, que el 13,23 % de la superficie aporta el 38.15 % del volumen de pérdida de suelo.

Mediante los resultados de la erosión hídrica y eólica se identificaron, para las diferentes zonas de la microcuenca, el nivel y tipo de erosión presente; finalmente, se proponen medidas para reducir la erosión en la microcuenca.

Volumen de erosión hídrica por uso de suelo y tipo de vegetación

A nivel de uso de suelo y tipo de vegetación, la actividad agrícola con el 31 % de la superficie contribuye con el 67 % de suelo perdido, mientras que el matorral crasicaule con una superficie muy similar (29 %), apenas contribuye con el 3 % (Cuadro 34). Es importante destacar que este tipo de vegetación corresponde al ecosistema original previo al proceso de cambio de uso de suelo para destinarlo a otros usos.

Cuadro 34. Volumen de suelo perdido por año por uso de suelo y tipo de vegetación

Unidad	Superficie (ha)	%	t/año	%
Agricultura de riego	42.60	1.10	221	0.84
Agricultura de temporal	1,218.84	31.36	17,855	67.72
Bosque inducido	537.25	13.82	2,674	10.14
Matorral crasicaule	1,155.87	29.74	811	3.08
Pastizal inducido	16.83	0.43	34.5	0.13
Bosque templado	914.79	23.54	4,769	18.09
Total	3,886.17	100.00	26,365	100.00

Propuesta general de aplicación de tecnologías para la conservación del suelo

Los resultados del análisis de erosión en la microcuenca río Sila establecen que, las tasas de erosión más altas se registran en las tierras destinadas para uso agrícola.

Con el propósito de plantear alternativas para frenar el problema de degradación de suelos en la microcuenca, se elaboró una propuesta general de tecnologías para manejo de suelo y agua que pudieran ser aplicadas en el nivel de cada una de las unidades homogéneas. La selección de tecnologías consideró lo propuesto por FAO (2014), al establecer que estas deben ser el resultado de la experiencia tradicional y desarrollo técnico científico, que contribuyan a mejorar la eficiencia de los sistemas productivos e incluso, que puedan atenuar otros problemas como el cambio climático, el desplazamiento de tierras productivas y la biodiversidad biológica y cultural, producto de la habilitación, urbanización e industrialización de las tierras. Asimismo, se adoptó la definición de WOCAT que establece que las tecnologías son "manejos que previenen y controlan la degradación de la tierra y fortalecen la productividad del campo y se clasifican en agronómicas, vegetativas, estructurales y de manejo" (WOCAT, 2011).

Para la selección de las tecnologías se tomó en consideración el uso actual del suelo y tipo de vegetación, los distintos relieves (topoformas) y las características generales de los tipos de suelo de cada UH, así como la interrelación de los parámetros de acuerdo al Cuadro 35.

Cuadro 35. Características del USV, Relieve y tipo de suelo para la determinar tecnologías de conservación de suelo

Criterios				
USV	Relieve		Suelo	
	Topoforma	Pendiente	Tipo	Características generales
Agricultura de Riego	Lomerío		Feozem.	Capa superficial suave y rica en materia orgánica y nutrientes Profundos en terrenos planos Poco profundos en laderas con limitante la roca o cementación muy fuerte, bajos rendimientos y fácil de erosionarse. Su uso óptimo depende de la disponibilidad de agua.
Agricultura de Temporal	Pie de Monte		Litosol.	Profundidad menor de 10 cm, limitante la presencia de roca, tepetate o caliche endurecido. Su fertilidad natural y la susceptibilidad a la erosión es muy variable. Uso agrícola condicionado a la presencia de suficiente agua.
Bosque Inducido	Planicie		Regosol.	Suelo de poco desarrollo, pobre en materia orgánica, somero, con afloramientos de roca o tepetate. Fertilidad está condicionada a la profundidad y pedregosidad.
Matorral crasicaule			Vertisol	Posee estructura masiva y alto contenido de arcilla. Colapsables en seco formando grietas en la superficie o a determinada profundidad. Son muy fértiles pero su dureza dificulta la labranza Tienen baja susceptibilidad a la erosión
Pastizal inducido				
Bosque templado				

La selección de las tecnologías se llevó a cabo mediante la revisión de las diversas tecnologías aplicadas y validadas en México y América Latina (Cuadro 36). Como referencia se tiene los trabajos siguientes: Prácticas de conservación de suelos y aguas con enfoque de

adaptación al cambio climático de FAO-WOCAT para América Latina y el Caribe; Prácticas para la Conservación de Suelo y Agua en Zona Áridas y semiáridas de INIFAP-CONAZA-SAGARPA; Catálogo de Obras y Prácticas de Conservación de Suelo y Agua del Colegio de Postgraduados; Manual de Conservación de Suelos, Manual de Obras y prácticas de protección, restauración y conservación de suelos forestales y Guía de Mejores Prácticas de Manejo 2010, estos tres últimos de la Comisión Nacional Forestal; y, Estrategias de conservación de suelos en agroecosistemas de México de la Fundación Río Arronte I.A.P.

En las tierras de agricultura de riego y temporal se definieron prácticas agronómicas y obras propias de este uso, y adecuadas a las características del relieve, así como a la profundidad del suelo, contenido de materia orgánica, limitantes hídricas y susceptibilidad a la erosión de los tipos de suelo involucrados en el uso. En el caso de los espacios cubiertas con vegetación forestal nativa o inducida, las tecnologías propuestas se enfocan en conservar y mejorar la cubierta vegetal, para lograr un manejo integral de los recursos naturales asociados, tales como el suelo, el agua y la fauna silvestre (Cuadro 42).

Cuadro 36. Catálogo de Tecnologías para la conservación de suelo en la UH

Tecnologías para la conservación de suelos	
Prácticas para la conservación de suelos	
AV	Abonos verdes
BV	Barreras vivas
CC	Cultivo en contorno
CF	Cultivo en fajas
CM	Cultivo múltiple
CR	Cortinas rompe vientos
CV	Cercos vivos
IAV	Incorporación de Abonos verdes
IRC	Incorporación de Residuos de Cultivos
L ₀	Labranza cero (siembra directa)
LC	Labranza sobre cubierta (mulch)
LMR	Labranza Mínima o reducida
R.MSS	Restauración ecológica activa. Manejo de sucesión secundaria
R.NU	Restauración ecológica activa. Nucleación
R.RE	Restauración ecológica activa. Reforestación o plantación
R.RNA	Restauración ecológica activa. Regeneración natural asistida
R.SD	Restauración ecológica activa. Siembra directa
RC	Rotación de cultivos
RE	Repastización
RP	Restauración ecológica pasiva

SB	Subsoleo
Obras para la conservación de suelos	
BP	Barreras de piedras
CC	Cabeceo de cárcavas
ET	Estabilización de taludes
OA	Ollas de agua
PPA	Presa de piedra acomodada
PR	Presas de ramas
TB	Terrazas de banco
TFS	Terrazas de formación sucesiva
ZT	Zanjas de trinchera

Cuadro 37. Tecnologías de conservación de suelo recomendadas para los niveles de erosión y condiciones de cada una de las UH.

Unidad homogénea	Superficie (ha)	Nivel de erosión Hídrica	Conservación de suelos	
			Prácticas	Obras
V1T3S5C1G1	42.60	Ligera	CM, CR, RC	
V2T1S1C2G3	30.94	Moderada	CC, CF, CM, CR, IAV, IRC, LMR, RC	TB, TFS
V2T1S1C2G7	19.27	Moderada	CC, CF, CM, CR, IAV, IRC, LMR, RC	TB, TFS
V2T1S1C2G7	17.79	Ligera	CC, CF, CM, CR, IAV, IRC, LMR, RC	TB, TFS
V2T1S1C2G7	7.33	Moderada	CC, CF, CM, CR, IAV, IRC, LMR, RC	TB, TFS
V2T1S1C2G7	11.15	Moderada	CC, CF, CM, CR, IAV, IRC, LMR, RC	TB, TFS
V2T1S1C2G7	11.74	Moderada	CC, CF, CM, CR, IAV, IRC, LMR, RC	TB, TFS
V2T1S1C2G7	20.65	Moderada	CC, CF, CM, CR, IAV, IRC, LMR, RC	TB, TFS
V2T1S2C2G2	14.44	Moderada	CC, CF, CR, IRC, LMR, RC	TFS
V2T1S2C2G2	6.61	Moderada	CC, CF, CR, IRC, LMR, RC	TFS
V2T1S2C2G2	23.08	Moderada	CC, CF, CR, IRC, LMR, RC	TFS
V2T1S2C2G3	6.40	Moderada	CC, CF, CR, IRC, LMR, RC	TFS
V2T1S2C2G5	5.16	Moderada	CC, CF, CR, IRC, LMR, RC	TFS
V2T1S2C2G6	7.76	Moderada	CC, CF, CR, IRC, LMR, RC	TFS
V2T1S2C2G7	16.72	Moderada	CC, CF, CR, IRC, LMR, RC	TFS
V2T1S2C2G7	6.26	Moderada	CC, CF, CR, IRC, LMR, RC	TFS
V2T1S2C2G7	5.13	Moderada	CC, CF, CR, IRC, LMR, RC	TFS
V2T1S3C1G3	11.89	Moderada	CC, CF, CR, IRC, LMR, RC	TFS
V2T1S3C1G7	10.23	Moderada	CC, CF, CR, IRC, LMR, RC	TFS
V2T1S4C2G7	26.78	Moderada	CC, CF, CM, RC, CR, SB	TB, TFS
V2T1S4C2G7	83.79	Moderada	CC, CF, CM, RC, CR, SB	TB, TFS
V2T1S4C2G7	39.10	Moderada	CC, CF, CM, RC, CR, SB	TB, TFS

Unidad homogénea	Superficie (ha)	Nivel de erosión Hídrica	Conservación de suelos	
			Prácticas	Obras
V2T1S5C2G7	7.44	Moderada	CC, CF, CM, RC, CR, SB	TB, TFS
V2T1S5C2G7	42.50	Moderada	CC, CF, CM, RC, CR, SB	TB, TFS
V2T1S5C2G7	21.04	Moderada	CC, CF, CM, RC, CR, SB	TB, TFS
V2T2S3C2G7	19.68	Moderada	CC, CF, CR, IRC, LMR, RC	TB, TFS
V2T3S1C1G7	47.64	Ligera	CF, CM, CR, IRC,RC	
V2T3S1C1G7	34.88	Ligera	CF, CM, CR, IRC,RC	
V2T3S1C2G4	25.03	Ligera	CF, CM, CR, IRC,RC	
V2T3S1C2G7	16.53	Moderada	CF, CM, CR, IRC,RC	
V2T3S2C2G6	7.86	Moderada	CF, CM, CR, IRC,RC,SB	
V2T3S2C2G6	9.32	Moderada	CF, CM, CR, IRC,RC,SB	
V2T3S2C2G7	14.16	Moderada	CF, CM, CR, IRC,RC,SB	
V2T3S3C1G3	19.39	Moderada	CF, CM, CR, IRC,RC,SB	
V2T3S3C1G7	116.96	Moderada	CF, CM, CR, IRC,RC,SB	
V2T3S3C1G7	10.51	Moderada	CF, CM, CR, IRC,RC,SB	
V2T3S3C2G6	10.43	Moderada	CF, CM, CR, IRC,RC,SB	
V2T3S3C2G7	19.92	Moderada	CF, CM, CR, IRC,RC,SB	
V2T3S3C2G7	140.37	Moderada	CF, CM, CR, IRC,RC,SB	
V2T3S5C1G1	24.72	Ligera	CF, CM, CR, IRC,RC	
V2T3S5C1G7	27.92	Ligera	CF, CM, CR, IRC,RC	
V2T3S5C1G7	17.08	Ligera	CF, CM, CR, IRC,RC	
V2T3S5C2G1	8.43	Ligera	CF, CM, CR, IRC,RC	
V2T3S5C2G1	9.07	Moderada	CF, CM, CR, IRC,RC	
V2T3S5C2G7	153.67	Moderada	CF, CM, CR, IRC,RC	
V2T3S5C2G7	32.08	Moderada	CF, CM, CR, IRC,RC	
V3T1S1C1G7	11.08	Ligera	REA.MSS, REA.RE, REASD	BP, PPA, PR, ZT
V3T1S1C2G3	17.52	Ligera	REA.MSS, REA.RE, REASD	BP, PPA, PR, ZT
V3T1S1C2G4	18.76	Ligera	REA.MSS, REA.RE, REASD	BP, PPA, PR, ZT
V3T1S1C2G7	6.63	Ligera	REA.MSS, REA.RE, REASD	BP, PPA, PR, ZT
V3T1S1C2G7	6.04	Ligera	REA.MSS, REA.RE, REASD	BP, PPA, PR, ZT
V3T1S1C2G7	26.82	Ligera	REA.MSS, REA.RE, REASD	BP, PPA, PR, ZT
V3T1S2C1G6	31.69	Ligera	REA.NU, REA.RE	BP, PPA, PR, ZT
V3T1S2C1G7	19.42	Ligera	REA.NU, REA.RE	BP, PPA, PR, ZT
V3T1S2C2G2	70.37	Ligera	REA.NU, REA.RE	BP, PPA, PR, ZT
V3T1S2C2G2	7.31	Ligera	REA.NU, REA.RE	BP, PPA, PR, ZT
V3T1S2C2G3	27.26	Ligera	REA.NU, REA.RE	BP, PPA, PR, ZT
V3T1S2C2G3	16.09	Ligera	REA.NU, REA.RE	BP, PPA, PR, ZT
V3T1S2C2G5	18.46	Ligera	REA.NU, REA.RE	BP, PPA, PR, ZT
V3T1S2C2G5	13.82	Ligera	REA.NU, REA.RE	BP, PPA, PR, ZT
V3T1S2C2G6	19.78	Ligera	REA.NU, REA.RE	BP, PPA, PR, ZT
V3T1S2C2G7	13.21	Ligera	REA.NU, REA.RE	BP, PPA, PR, ZT

Unidad homogénea	Superficie (ha)	Nivel de erosión Hídrica	Conservación de suelos	
			Prácticas	Obras
V3T1S2C2G7	8.86	Ligera	REA.NU, REA.RE	BP, PPA, PR, ZT
V3T1S2C2G7	11.21	Ligera	REA.NU, REA.RE	BP, PPA, PR, ZT
V3T1S2C2G7	11.38	Ligera	REA.NU, REA.RE	BP, PPA, PR, ZT
V3T1S3C1G6	11.36	Moderada	REA.NU, REA.RE	BP, PPA, PR, ZT
V3T1S3C2G2	15.06	Ligera	REA.NU, REA.RE	BP, PPA, PR, ZT
V3T1S3C2G7	11.02	Ligera	REA.NU, REA.RE	BP, PPA, PR, ZT
V3T1S5C2G2	20.40	Ligera	R.MSS, R.RE, R.SD	BP, PPA, PR, ZT
V3T1S5C2G7	16.01	Ligera	R.MSS, R.RE, R.SD	BP, PPA, PR, ZT
V3T1S5C2G7	29.65	Ligera	R.MSS, R.RE, R.SD	BP, PPA, PR, ZT
V3T2S2C2G6	15.14	Ligera	R.MSS, R.RE, R.SD	BP, PPA, PR, ZT
V3T2S2C2G6	5.82	Ligera	R.MSS, R.RE, R.SD	BP, PPA, PR, ZT
V3T2S3C2G7	40.43	Ligera	R.MSS, R.RE, R.SD	BP, PPA, PR, ZT
V3T3S1C2G4	16.64	Ligera	R.MSS, R.RE, R.SD	BP, PPA, PR, ZT
V5T1S1C2G7	12.56	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V5T1S2C1G3	6.43	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V5T1S2C1G6	245.75	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V5T1S2C2G2	99.07	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V5T1S2C2G2	6.61	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V5T1S2C2G2	10.44	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V5T1S2C2G2	23.31	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V5T1S2C2G3	93.08	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V5T1S2C2G6	181.93	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V5T1S2C2G7	9.97	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V5T1S3C1G3	23.26	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V5T1S3C1G7	7.10	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V5T1S3C1G7	25.96	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V5T1S4C2G2	5.55	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V5T1S4C2G7	16.55	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V5T1S5C2G2	8.69	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V5T1S5C2G7	173.07	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V5T1S5C2G7	10.36	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V5T2S1C2G7	5.16	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V5T2S2C1G3	45.44	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V5T2S2C2G6	73.74	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V5T2S2C2G6	12.20	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V5T2S3C1G7	54.07	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V5T2S3C2G7	5.57	Ligera	R.MSS, R.RNA, RP	BP, PPA, ZT
V7T1S1C2G7	5.67	Ligera	CV, RE	BA, OA
V7T1S5C2G7	11.16	Ligera	CV, RE	BA, OA
V9T1S1C2G3	14.19	Ligera	R.MSS, R.NU, R.RE, R.RNA, R.SD	BP, CC, ET, PPA, PR, ZT

Unidad homogénea	Superficie (ha)	Nivel de erosión	Conservación de suelos	
		Hídrica	Prácticas	Obras
V9T1S1C2G5	33.34	Ligera	R.MSS, R.NU, R.RE, R.RNA, R.SD	BP, CC, ET, PPA, PR, ZT
V9T1S1C2G7	5.04	Ligera	R.MSS, R.NU, R.RE, R.RNA, R.SD	BP, CC, ET, PPA, PR, ZT
V9T1S1C2G7	7.26	Ligera	R.MSS, R.NU, R.RE, R.RNA, R.SD	BP, CC, ET, PPA, PR, ZT
V9T1S2C2G2	5.86	Ligera	R.MSS, R.NU, R.RE, R.RNA, R.SD	BP, CC, ET, PPA, PR, ZT
V9T1S2C2G2	54.87	Ligera	R.MSS, R.NU, R.RE, R.RNA, R.SD	BP, CC, ET, PPA, PR, ZT
V9T1S2C2G2	65.63	Ligera	R.MSS, R.NU, R.RE, R.RNA, R.SD	BP, CC, ET, PPA, PR, ZT
V9T1S2C2G2	42.43	Ligera	R.MSS, R.NU, R.RE, R.RNA, R.SD	BP, CC, ET, PPA, PR, ZT
V9T1S2C2G3	72.82	Ligera	R.MSS, R.NU, R.RE, R.RNA, R.SD	BP, CC, ET, PPA, PR, ZT
V9T1S2C2G5	16.90	Ligera	R.MSS, R.NU, R.RE, R.RNA, R.SD	BP, CC, ET, PPA, PR, ZT
V9T1S2C2G5	30.83	Ligera	R.MSS, R.NU, R.RE, R.RNA, R.SD	BP, CC, ET, PPA, PR, ZT
V9T1S2C2G5	90.31	Ligera	R.MSS, R.NU, R.RE, R.RNA, R.SD	BP, CC, ET, PPA, PR, ZT
V9T1S2C2G5	29.34	Ligera	R.MSS, R.NU, R.RE, R.RNA, R.SD	BP, CC, ET, PPA, PR, ZT
V9T1S2C2G5	5.29	Ligera	R.MSS, R.NU, R.RE, R.RNA, R.SD	BP, CC, ET, PPA, PR, ZT
V9T1S2C2G7	20.53	Ligera	R.MSS, R.NU, R.RE, R.RNA, R.SD	BP, CC, ET, PPA, PR, ZT
V9T1S2C2G7	24.65	Ligera	R.MSS, R.NU, R.RE, R.RNA, R.SD	BP, CC, ET, PPA, PR, ZT
V9T1S2C2G7	9.32	Ligera	R.MSS, R.NU, R.RE, R.RNA, R.SD	BP, CC, ET, PPA, PR, ZT
V9T1S2C2G7	244.01	Ligera	R.MSS, R.NU, R.RE, R.RNA, R.SD	BP, CC, ET, PPA, PR, ZT
V9T1S3C2G7	30.25	Ligera	R.MSS, R.NU, R.RE, R.RNA, R.SD	BP, CC, ET, PPA, PR, ZT
V9T1S4C2G7	19.59	Ligera	R.MSS, R.NU, R.RE, R.RNA, R.SD	BP, CC, ET, PPA, PR, ZT
V9T1S4C2G7	66.93	Ligera	R.MSS, R.NU, R.RE, R.RNA, R.SD	BP, CC, ET, PPA, PR, ZT
V9T1S5C2G7	25.41	Ligera	R.MSS, R.NU, R.RE, R.RNA, R.SD	BP, CC, ET, PPA, PR, ZT
Total	3,886.17			

5.5 Objetivo 5. Determinación del balance hídrico de la microcuenca

INE SEMARNAT- Pladeyra (2003) establecen que la evaluación de los recursos hídricos de una cuenca requiere de una estimación del balance hidrológico para comprender el ciclo en sus diferentes fases, la forma en que el agua recibida por precipitación se reparte en el proceso de evapotranspiración, escorrentía e infiltración. De igual manera, Ordoñez (2011) expresa que la ecuación de balance hidrológico es una expresión es muy simple, sin embargo, la cuantificación de sus términos es normalmente complicada, debido a la falta de mediciones directas en campo y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (a acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en una cuenca.

El balance hidrológico para la microcuenca río Sila, se obtuvo a partir de la fórmula general siguiente:

$$P = ETR + Esc + I$$

Donde:

I = Infiltración

P = Precipitación.

ETR = Evapotranspiración real

Esc = Esguerrimiento

Esguerrimiento. Para obtener su valor, se aplicó el método indirecto que se presenta en la NOM-011-CNA-2015, la cual tiene la siguiente expresión:

$$V_m = P_m A C$$

Dónde:

V_m = Volumen medio de esguerrimiento (m^3)

P_m = Precipitación media (m)

A = Área de la cuenca (m^2)

C = Coeficiente de esguerrimiento (adimensional)

El coeficiente de esguerrimiento (C_e) utiliza, a su vez, las ecuaciones siguientes, de acuerdo a su condicionante del valor K , el cual es un parámetro que depende del tipo y uso del suelo (Cuadro 38):

Cuadro 38. Ecuación C_e de acuerdo a los valores k

K; parámetro que depende del tipo y uso del suelo.	Coeficiente de Esguerrimiento Anual (C_e).
Si $K \leq 0.15$	$C_e = K (P - 250) / 2000$
Si $K > 0.15$	$C_e = K (P - 250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5$

Parámetro K. Se obtuvo mediante la vinculación de la textura (gruesa, media y fina) de los suelos de la microcuenca y las características del tipo de suelo (permeable, medianamente permeable y casi impermeable) para asignar el tipo de suelo A, B y C que establece la Norma. Con esta clasificación y su relación con el uso de suelo y tipo de vegetación y condición, se asignó el valor correspondiente que califica al parámetro K para los distintos usos que establece la Norma. Con dicha información se construyó el mapa raster del parámetro (Figura 42).



Figura 42. Valor K en la microcuenca Río Sila

Precipitación media (Pm). El valor de la precipitación media fue obtenido con los datos de las 12 estaciones climatológicas con incidencia en el territorio de la microcuenca; estos datos fueron interpolados para toda la microcuenca y se obtuvo el mapa raster de precipitación.

Coefficiente de escurrimiento (Ce). Con el valor obtenido del parámetro K, se obtuvo el coeficiente de escurrimiento aplicando cada una de las dos ecuaciones de acuerdo a las condiciones de K que se presentaban en la microcuenca; el proceso se realizó con el software Excel.



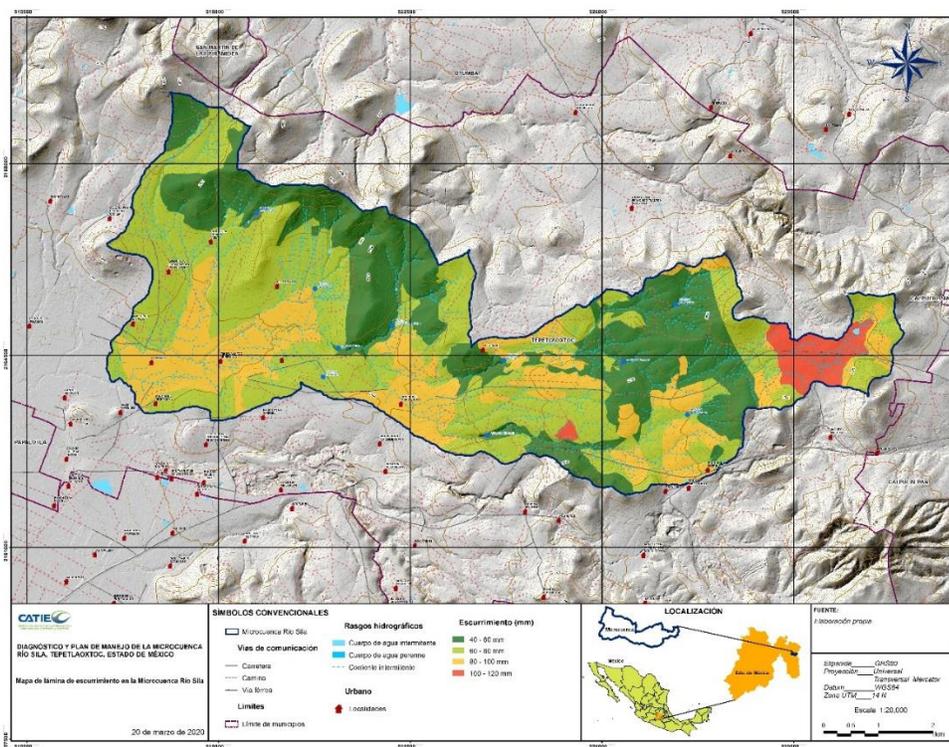
Figura 43. Valores de Ce para el espacio de la microcuenca

Estimación de la lámina de escurrimiento medio. La lámina de escurrimiento medio se obtuvo multiplicando el valor del coeficiente de escurrimiento (Ce) por el valor de la

precipitación media. De esta manera, se obtuvieron los valores de escurrimiento para cada una de las UH y para la superficie de la microcuenca.



Volumen medio de escurrimiento. El volumen de escurrimiento para cada una de la UH de la microcuenca se obtuvo de multiplicar la lámina de escurrimiento en metros por la superficie en metros cuadrados, obteniendo el mapa de escurrimiento y el volumen para cada una de las unidades homogéneas y la microcuenca.



Evapotranspiración real. Mediante la fórmula de Turc modificada por Cruz - Falcon (2007) y los datos de temperatura y precipitación media, se calculó la evapotranspiración para cada una de las estaciones meteorológicas, con el software Excel. Los datos resultantes se

interpolaron para obtener los valores de ETR para el espacio de las UH y microcuenca y se construyó el mapa raster correspondiente.

$$ETR = P \sqrt{1.5 + P/2L}$$

$$L = 300 + 25t + 0.05t^3$$

donde;

ETR = Evapotranspiración real.

P = Precipitación anual.

t = Temperatura media anual.

El volumen de evapotranspiración real para cada uso de suelo y tipo de vegetación se obtuvo de multiplicar su superficie en metros cuadrados por el valor de la evapotranspiración real en metros obtenido mediante la metodología descrita anteriormente.



Infiltración. La lámina de infiltración se obtuvo mediante álgebra de mapas por la diferencia entre la capa de precipitación menos la suma de las capas de evapotranspiración real y escurrimiento. Como resultado se obtuvo un valor de lámina de infiltración para cada UH y espacio de la microcuenca. El volumen de infiltración se obtuvo de la multiplicación de la lámina de infiltración por la superficie de las UH.

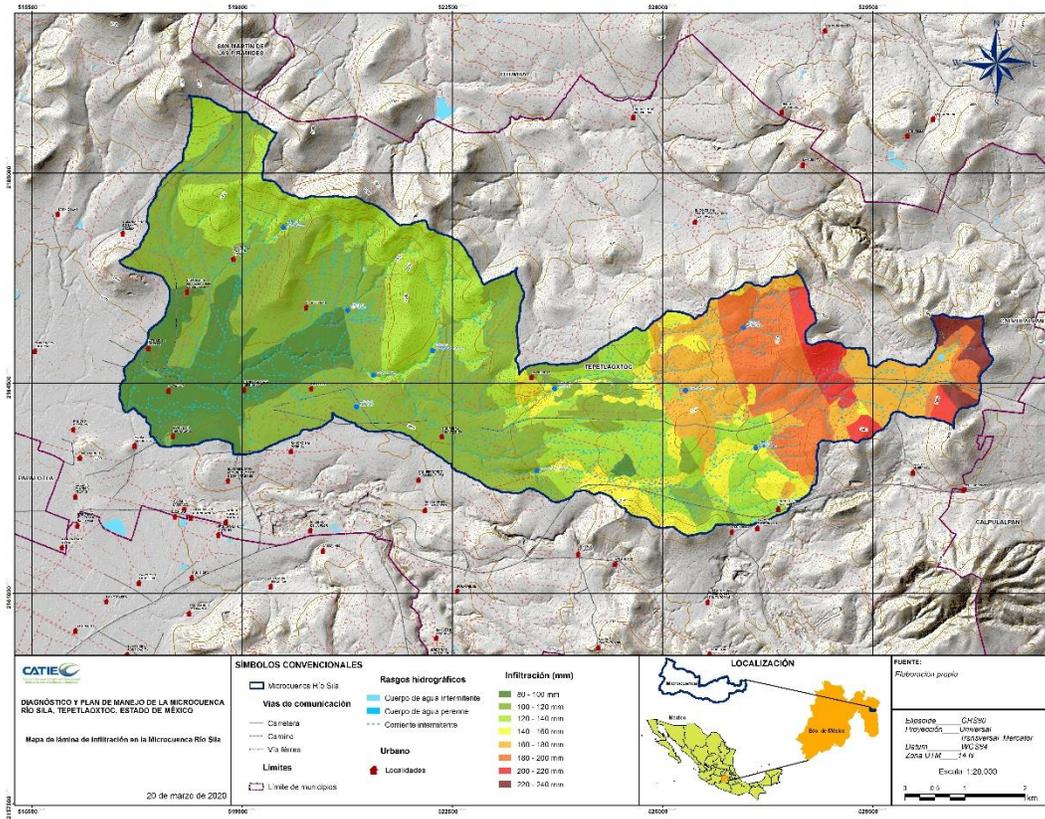


Figura 44. Mapa de infiltración para la microcuenca río Sila

5.5.1 Balance hídrico en la microcuenca

El análisis de balance hídrico permite establecer que para las 3,886 ha de la microcuenca se registra una lámina promedio de precipitación de 593.3681 mm (100%), la cual se distribuye de la manera siguiente: 65.97 % corresponde a evapotranspiración, 11.56 % a escurrimiento y 22.47 % a infiltración (Cuadro 39 y Figura 45). De lo anterior, poco más de dos terceras partes del agua de lluvia es utilizada en el proceso de evapotranspiración, cerca de una cuarta parte de la lluvia se infiltra a niveles inferiores del suelo y solo una décima parte del agua escurre por la superficie del terreno para alcanzar los cauces de la microcuenca y ser conducidos al punto de descarga de la misma.

Cuadro 39. Balance hídrico en la microcuenca río Sila

Superficie ha	Precipitación (mm)	Evapotranspiración real (mm)	Escurrimiento (mm)	Infiltración (mm)
3,886	593.3681	391.5808	68.4202	133.3671

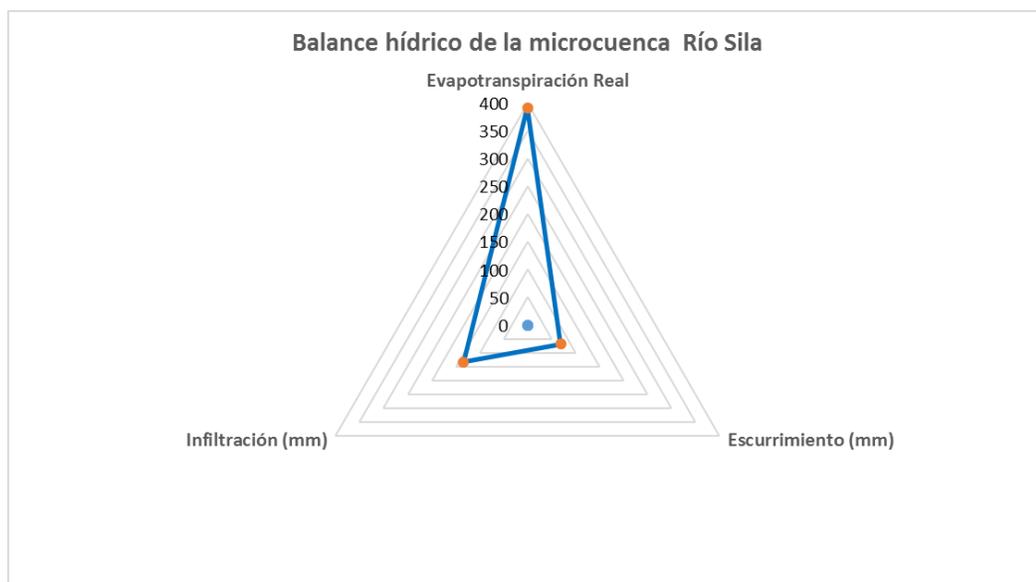


Figura 45. Representación de las variables del balance hídrico para la microcuenca río Sila

El balance hídrico a nivel de los usos de suelo y tipo de vegetación de la microcuenca se muestran en el Cuadro 40. De acuerdo a los resultados, se aprecia que el tipo de vegetación de bosque templado registra el valor más alto de evapotranspiración e infiltración, así como, el segundo más bajo de escurrimiento. La evapotranspiración se encuentra relacionada con las características de la estructura forestal del bosque templado, que está conformada por distintos estratos de vegetación (herbáceo, arbustivo y arbóreo, lo cual representa una amplia demanda de agua para sostener sus procesos fisiológicos. La infiltración está relacionada con la función que realiza la cubierta vegetal del bosque templado al interceptar el agua de lluvia, reduciendo la caída directa al suelo. Asimismo, el mantillo del suelo y la vegetación rasante reducen la velocidad del flujo del agua en el suelo, favoreciendo, en consecuencia, la infiltración. Finalmente, el escurrimiento, que corresponde al agua de lluvia que fluye por el terreno hacia los cauces de la microcuenca, representa un dato importante de análisis en el manejo del recurso hídrico.

El tipo de vegetación pastizal inducido registra el valor más alto de lámina de escurrimiento y el segundo más bajo de infiltración; el matorral crasicaule, posee el valor más bajo de escurrimiento y el segundo más alto en infiltración; el uso de agricultura de temporal, con valores de escurrimiento dentro de los altos y valor de infiltración medio.

Cuadro 40. Balance hídrico para los distintos usos de suelo y tipo de vegetación

Uso de suelo y tipo de vegetación	Superficie ha	Precipitación (mm)	Evapotranspiración real (mm)	Escurrimiento (mm)	Infiltración (mm)
Agricultura de riego	42.6	554	382	80.0	91.6

Agricultura de temporal	1,218.8	590	391	78.7	120.5
Bosque inducido	537.2	584	392	69.3	122.5
Matorral crasicaule	1,155.8	572	388	54.1	129.5
Pastizal inducido	16.8	583	393	82.6	107.8
Bosque templado	914.7	638	396	59.9	182.3
	3,886				

Se obtuvo para cada una de las UH los valores de láminas de precipitación, evapotranspiración real, escurrimiento e infiltración, los cuales se relacionaron con su superficie para estimar los volúmenes de los distintos factores en cada una de ellas (Cuadro 41). Reconociendo que el balance hidrológico es una ayuda para conocer la disponibilidad de agua en el tiempo y espacio, además de utilidad para identificar el conflicto de déficit o falta de agua, una vez que se compara con la demanda, se considera que los valores obtenidos de manera específica para las UH son un punto de partida para proponer algunas tecnologías para la siembra y cosecha de agua en el espacio de la microcuenca.

Cuadro 41. Balance hídrico a nivel de las unidades homogéneas

Unidad	Superficie ha	Vol. Precipitación (m ³)	Vol. ETR (m ³)	Vol. Escurrimiento (m ³)	Vol. Infiltración (m ³)
V1T3S5C1G1	42.6	236,010	162,899	34,095	39,016
V2T1S1C2G3	30.94	180,445	122,701	22,553	35,190
V2T1S1C2G7	19.27	118,368	74,731	15,290	28,347
V2T1S1C2G7	17.79	103,702	70,503	12,958	20,241
V2T1S1C2G7	7.33	42,779	29,084	5,351	8,344
V2T1S1C2G7	11.15	65,123	44,231	8,148	12,744
V2T1S1C2G7	11.74	68,552	46,610	8,574	13,367
V2T1S1C2G7	20.65	119,804	81,677	14,926	23,201
V2T1S2C2G2	14.44	84,771	55,390	10,987	18,395
V2T1S2C2G2	6.61	39,222	25,572	4,957	8,693
V2T1S2C2G2	23.08	161,161	94,126	22,665	44,369
V2T1S2C2G3	6.4	42,326	25,468	5,733	11,125
V2T1S2C2G5	5.16	33,149	20,483	4,385	8,281
V2T1S2C2G6	7.76	43,897	30,124	5,382	8,392
V2T1S2C2G7	16.72	109,822	66,333	14,898	28,591
V2T1S2C2G7	6.26	39,426	24,612	5,178	9,636
V2T1S2C2G7	5.13	31,181	20,154	4,000	7,026
V2T1S3C1G3	11.89	65,784	45,328	7,935	12,521
V2T1S3C1G7	10.23	56,535	38,957	6,832	10,747
V2T1S4C2G7	26.78	157,876	103,195	23,752	30,929

Unidad	Superficie ha	Vol. Precipitación (m ³)	Vol. ETR (m ³)	Vol. Escurrimiento (m ³)	Vol. Infiltración (m ³)
V2T1S4C2G7	83.79	508,879	324,117	77,846	106,916
V2T1S4C2G7	39.1	243,429	153,059	37,265	53,105
V2T1S5C2G7	7.44	43,502	29,377	6,533	7,592
V2T1S5C2G7	42.5	252,293	167,076	38,160	47,057
V2T1S5C2G7	21.04	123,840	83,232	18,606	22,003
V2T2S3C2G7	19.68	111,332	76,417	13,653	21,262
V2T3S1C1G7	47.64	266,713	183,273	32,981	50,459
V2T3S1C1G7	34.88	193,399	133,156	23,423	36,820
V2T3S1C2G4	25.03	144,832	98,641	18,172	28,019
V2T3S1C2G7	16.54	96,514	65,640	12,069	18,805
V2T3S2C2G6	7.86	44,418	30,438	5,492	8,489
V2T3S2C2G6	9.32	52,947	36,252	6,508	10,187
V2T3S2C2G7	14.16	99,209	57,900	13,936	27,373
V2T3S3C1G3	19.39	107,698	74,132	13,058	20,508
V2T3S3C1G7	116.96	654,590	450,025	79,732	124,832
V2T3S3C1G7	10.51	58,274	40,135	7,056	11,082
V2T3S3C2G6	10.43	59,298	40,587	7,293	11,419
V2T3S3C2G7	19.92	112,575	77,176	13,815	21,584
V2T3S3C2G7	140.37	800,000	548,057	98,556	153,387
V2T3S5C1G1	24.72	137,091	94,635	19,973	22,484
V2T3S5C1G7	27.92	154,383	106,719	22,073	25,591
V2T3S5C1G7	17.08	95,940	65,863	14,079	15,998
V2T3S5C2G1	8.43	47,217	32,478	6,913	7,826
V2T3S5C2G1	9.07	52,504	35,776	7,705	9,023
V2T3S5C2G7	153.67	1,047,202	619,309	171,060	256,833
V2T3S5C2G7	32.08	184,644	126,052	27,480	31,112
V3T1S1C1G7	11.08	61,233	42,183	6,907	12,143
V3T1S1C2G3	17.52	101,981	69,361	11,889	20,732
V3T1S1C2G4	18.76	107,865	73,555	12,469	21,841
V3T1S1C2G7	6.63	38,503	26,170	4,481	7,852
V3T1S1C2G7	6.04	34,683	23,657	4,006	7,020
V3T1S1C2G7	26.82	155,358	105,742	18,044	31,571
V3T1S2C1G6	31.69	177,762	122,340	20,221	35,201
V3T1S2C1G7	19.42	107,396	73,989	12,109	21,299
V3T1S2C2G2	70.37	408,817	277,215	47,571	84,032
V3T1S2C2G2	7.31	45,471	28,846	5,532	11,093
V3T1S2C2G3	27.26	159,216	108,102	18,608	32,506
V3T1S2C2G3	16.09	92,537	63,161	10,703	18,672
V3T1S2C2G5	18.47	111,590	72,763	13,324	25,503
V3T1S2C2G5	13.82	90,934	55,143	11,492	24,299
V3T1S2C2G6	19.78	111,999	76,792	12,819	22,388
V3T1S2C2G7	13.21	79,471	52,069	9,459	17,944
V3T1S2C2G7	8.86	54,433	34,929	6,570	12,934
V3T1S2C2G7	11.21	68,975	44,209	8,332	16,434
V3T1S2C2G7	11.38	65,716	44,717	7,618	13,381
V3T1S3C1G6	11.36	63,785	43,865	7,260	12,661
V3T1S3C2G2	15.06	87,121	58,903	10,106	18,112
V3T1S3C2G7	11.02	63,954	43,511	7,436	13,007

Unidad	Superficie ha	Vol. Precipitación (m ³)	Vol. ETR (m ³)	Vol. Escorrentía (m ³)	Vol. Infiltración (m ³)
V3T1S5C2G2	20.4	118,850	80,469	15,835	22,546
V3T1S5C2G7	16.02	95,539	63,161	12,916	19,462
V3T1S5C2G7	29.66	172,404	117,160	22,940	32,304
V3T2S2C2G6	15.14	87,799	59,823	10,206	17,770
V3T2S2C2G6	5.82	33,077	22,652	3,794	6,631
V3T2S3C2G7	40.43	232,863	159,072	26,943	46,848
V3T3S1C2G4	16.64	96,532	65,698	11,224	19,610
V5T1S1C2G7	12.56	72,275	49,429	5,973	16,873
V5T1S2C1G3	6.43	35,539	24,506	2,842	8,192
V5T1S2C1G6	245.75	1,365,591	941,867	109,879	313,845
V5T1S2C2G2	99.07	576,121	384,304	48,075	143,742
V5T1S2C2G2	6.61	39,501	25,728	3,355	10,418
V5T1S2C2G2	10.44	61,225	41,277	5,135	14,813
V5T1S2C2G2	23.31	138,995	91,716	12,430	34,849
V5T1S2C2G3	93.08	536,992	366,668	44,391	125,933
V5T1S2C2G6	181.93	1,036,206	710,819	84,790	240,597
V5T1S2C2G7	9.97	57,310	39,198	4,722	13,389
V5T1S3C1G3	23.26	128,422	88,619	14,462	25,341
V5T1S3C1G7	7.1	39,191	27,018	4,414	7,759
V5T1S3C1G7	25.96	143,062	98,910	16,090	28,062
V5T1S4C2G2	5.55	32,372	21,430	3,774	7,168
V5T1S4C2G7	16.55	96,755	63,878	11,316	21,561
V5T1S5C2G2	8.69	50,653	33,986	5,896	10,771
V5T1S5C2G7	173.07	1,019,626	677,768	119,444	222,413
V5T1S5C2G7	10.36	60,048	40,893	6,978	12,177
V5T2S1C2G7	5.17	29,844	20,379	2,483	6,982
V5T2S2C1G3	45.44	250,372	172,962	19,972	57,438
V5T2S2C2G6	73.74	426,419	291,036	35,299	100,083
V5T2S2C2G6	12.2	69,044	47,466	5,621	15,957
V5T2S3C1G7	54.07	297,867	205,843	32,858	59,167
V5T2S3C2G7	5.57	31,388	21,600	2,558	7,231
V7T1S1C2G7	5.67	32,666	22,262	4,318	6,086
V7T1S5C2G7	11.16	65,808	43,798	9,926	12,083
V9T1S1C2G3	14.19	91,572	56,061	8,267	27,244
V9T1S1C2G5	33.34	212,785	131,738	19,020	62,027
V9T1S1C2G7	5.04	31,741	19,800	2,823	9,118
V9T1S1C2G7	7.26	46,830	28,680	4,221	13,928
V9T1S2C2G2	5.86	35,313	22,770	3,019	9,525
V9T1S2C2G2	54.87	321,293	217,446	27,388	76,458
V9T1S2C2G2	65.63	402,875	257,581	34,931	110,363
V9T1S2C2G2	42.43	297,559	173,580	28,658	95,321
V9T1S2C2G3	72.82	472,715	287,885	42,823	142,006
V9T1S2C2G5	16.9	111,913	67,231	10,348	34,334
V9T1S2C2G5	30.83	213,064	125,045	20,281	67,738
V9T1S2C2G5	90.31	595,728	360,016	54,888	180,824
V9T1S2C2G5	29.34	187,762	116,319	16,815	54,628
V9T1S2C2G5	5.29	34,980	21,128	3,216	10,636
V9T1S2C2G7	20.53	124,876	80,143	10,751	33,982

Unidad	Superficie ha	Vol. Precipitación (m ³)	Vol. ETR (m ³)	Vol. Escurrimiento (m ³)	Vol. Infiltración (m ³)
V9T1S2C2G7	24.65	158,117	97,354	14,190	46,572
V9T1S2C2G7	9.32	62,216	37,253	6,155	18,809
V9T1S2C2G7	244.01	1,532,008	963,801	135,242	432,965
V9T1S3C2G7	30.25	191,141	118,531	16,950	55,661
V9T1S4C2G7	19.59	121,792	76,153	13,723	31,916
V9T1S4C2G7	66.93	409,832	260,449	49,263	100,119
V9T1S5C2G7	25.41	150,977	100,285	17,720	32,972

La información obtenida permite tener una visión general de conflicto de déficit o disponibilidad de agua para los diferentes usos que se hace de la tierra. A manera de ejemplificar la utilidad de la información se toma como referencia la Unidad Homogénea V2T3S2C2G6, cuyos datos de superficie, y volúmenes de precipitación, ETR, escurrimiento e infiltración se presentan en el Cuadro 42.

Cuadro 42. Valores de hídricos de la unidad homogénea "V2T3S2C2G6"

Superficie ha	Vol. Precipitación (m ³)	Vol. ETR (m ³)	Vol. Escurrimiento (m ³)	Vol. Infiltración (m ³)
7.857	44,418.144	30,437.625	5,491.576	8,488.943

El uso del suelo de la UH, es agricultura de temporal, destinada a cultivo de maíz criollo, con un ciclo de cultivo de 110 a 185 días (http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/380/702825118563/702825118563_2.pdf), y de acuerdo a la metodología de FAO (2013), se calculó el consumo vegetal a partir del valor de Evapotranspiración del cultivo (ETc) que asciende a 483 l/m² y su expresión en volumen para la UH en el orden de 37,949 m³, que corresponde a la necesidad de agua estimada para las condiciones del cultivo. De lo anterior, se establece que el requerimiento del cultivo es superior al volumen de ETR resultante, que sumado a la infiltración alcanza los 38,926.568 m³, muy cercanos al consumo vegetal, pero además que existe un volumen de poco más de 8,000 m³ de escurrimiento que pueden ser manejados para compensar el déficit de agua del cultivo, diversificar su producción o aplicar tecnologías para la siembra y cosecha de agua.

Los valores obtenidos, para los distintos usos de suelo y tipos de vegetación, permiten establecer que el 39 % del volumen de 2.5 millones de m³ de agua de escurrimiento en la microcuenca están disponibles en los polígonos de agricultura de temporal, 23 % en los sitios con vegetación de matorral crasicaule y 21 % en las cubiertas de bosque templado (Cuadro 43). Por lo anterior, existe la posibilidad de aprovechamiento de dicho volumen para usos productivos o de conservación de los ecosistemas forestales.

Cuadro 43. Balance del volumen hídrico en los usos de suelo y tipos de vegetación de la microcuenca

Unidad	Superficie ha	Vol. precipitación (m ³)	Vol. ETR (m ³)	Vol. Escurrimiento (m ³)	Vol. Infiltración (m ³)
Agricultura de riego	42.6	236,010	162,899	34,095	39,016
Agricultura de temporal	1,218.8	7,256,648	4,768,801	997,944	1,489,904
Bosque inducido	537.2	3,125,864	2,109,256	370,811	645,796
Matorral crasicaule	1,155.8	6,594,816	4,487,298	602,757	1,504,761
Patizal inducido	16.8	98,474	66,059	14,245	18,169
Bosque templado	914.8	5,807,085	3,619,249	540,692	1,647,145
Total	3,886	23,118,898	15,213,563	2,560,544	5,344,797

5.5.2 Propuesta de aplicación de tecnologías para la cosecha y siembra de agua

El déficit de agua en la microcuenca y en particular en los diferentes usos puede apoyarse mediante la cosecha de agua de lluvias. Siguiendo las recomendaciones de Ramakrishna (2019), en la determinación de las tecnologías asociadas a las unidades homogéneas se consideraron sus características biofísicas y la disponibilidad de agua de lluvia expresada en escurrimiento superficial. La propuesta de plantear tecnologías de cosecha de agua es pertinente con los principios de aplicación en las zonas climáticas de baja precipitación, ubicadas en las partes altas de las microcuencas, buscando la disponibilidad de agua en los meses de menor precipitación, centrada en mejorar la cobertura vegetal, el manejo y conservación de suelos, conservación y mejoramiento de la calidad del agua y manejo de cultivos, pensando en la cosecha de agua como alternativa de control de las descargas, minimizando el riesgo de inundaciones en las partes baja de la microcuenca.

Por otra parte, la selección de tecnologías para la siembra de agua está fuertemente vinculada con las prácticas de conservación de suelo y agua, en especial las de tipo vegetativo permanente. Tal como establece Ramakrishna (2019) toda cobertura verde contribuye a la infiltración del agua en el suelo y es la base para la siembra de agua. En el Cuadro 44, se presenta el listado de las tecnologías de cosecha y siembra de agua consideradas propuestas para su aplicación en la microcuenca. De la misma manera, en el Cuadro 45, se relacionan, para cada una de las UH, las tecnologías de cosecha y siembra que permitirán mejorar el uso y captación del recurso hídrico proveniente de las lluvias en beneficio del desarrollo de cultivos agrícolas, disposición de agua para el ganado bajo pastoreo extensivo, mejores condiciones de

humedad para el desarrollo natural e inducido de los ecosistemas forestales, mejores condiciones de hábitat para la fauna silvestre, y todo ello en beneficio de la población que habita en la microcuenca río Sila.

Cuadro 44. Inventario de catálogo de tecnologías para la cosecha y siembra de agua

Inventario de las alternativas para la cosecha de agua	
BT	Bordos de tierra
MPD	Micropresas desmontables
MT	Microterrazas
PI	Pozas de infiltración
PTI	Pozas en tierra e impermeabilizadas
RER	Reservorios excavados con revestimiento
RET	Reservorios excavados en tierra
ZT	Zanjas trincheras
Inventario de las alternativas para la siembra de agua	
MF	Manejo Forestal, bosques y matorrales
REP	Reforestación con especies pivotantes
R.MSS	Restauración ecológica activa. Manejo de sucesión secundaria
R.NU	Restauración ecológica activa. Nucleación
R.RNA	Restauración ecológica activa. Regeneración natural asistida
R.SD	Restauración ecológica activa. Siembra directa
SA	Sistemas agroforestales

Cuadro 45. Tecnologías de cosecha y siembra de agua para las unidades homogéneas

Unidad homogénea	Superficie (ha)	Tecnología	
		Cosecha	Siembra
V1T3S5C1G1	42.60		
V2T1S1C2G3	30.94	MDP	SA
V2T1S1C2G7	19.27	MDP	SA
V2T1S1C2G7	17.79	MDP	SA
V2T1S1C2G7	7.33	MDP	SA
V2T1S1C2G7	11.15	MDP	SA
V2T1S1C2G7	11.74	MDP	SA
V2T1S1C2G7	20.65	MDP	SA
V2T1S2C2G2	14.44	MDP	SA
V2T1S2C2G2	6.61	MDP	SA
V2T1S2C2G2	23.08	MDP	SA

Unidad homogénea	Superficie (ha)	Tecnología	
		Cosecha	Siembra
V2T1S2C2G3	6.40	MDP	SA
V2T1S2C2G5	5.16	MDP	SA
V2T1S2C2G6	7.76	MDP	SA
V2T1S2C2G7	16.72	MDP	SA
V2T1S2C2G7	6.26	MDP	SA
V2T1S2C2G7	5.13	MDP	SA
V2T1S3C1G3	11.89	MDP	SA
V2T1S3C1G7	10.23	MDP	SA
V2T1S4C2G7	26.78	MDP	SA
V2T1S4C2G7	83.79	MDP	SA
V2T1S4C2G7	39.10	MDP	SA
V2T1S5C2G7	7.44	MDP	SA
V2T1S5C2G7	42.50	MDP	SA
V2T1S5C2G7	21.04	MDP	SA
V2T2S3C2G7	19.68	RER, RE	SA
V2T3S1C1G7	47.64	RER, RE	SA
V2T3S1C1G7	34.88	RER, RE	SA
V2T3S1C2G4	25.03	RER, RE	SA
V2T3S1C2G7	16.53	RER, RE	SA
V2T3S2C2G6	7.86	RER, RE	SA
V2T3S2C2G6	9.32	RER, RE	SA
V2T3S2C2G7	14.16	RER, RE	SA
V2T3S3C1G3	19.39	RER, RE	SA
V2T3S3C1G7	116.96	RER, RE	SA
V2T3S3C1G7	10.51	RER, RE	SA
V2T3S3C2G6	10.43	RER, RE	SA
V2T3S3C2G7	19.92	RER, RE	SA
V2T3S3C2G7	140.37	RER, RE	SA
V2T3S5C1G1	24.72	RER, RE	SA
V2T3S5C1G7	27.92	RER, RE	SA
V2T3S5C1G7	17.08	RER, RE	SA
V2T3S5C2G1	8.43	RER, RE	SA
V2T3S5C2G1	9.07	RER, RE	SA
V2T3S5C2G7	153.67	RER, RE	SA
V2T3S5C2G7	32.08	RER, RE	SA
V3T1S1C1G7	11.08	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T1S1C2G3	17.52	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T1S1C2G4	18.76	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T1S1C2G7	6.63	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T1S1C2G7	6.04	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T1S1C2G7	26.82	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU

Unidad homogénea	Superficie (ha)	Tecnología	
		Cosecha	Siembra
V3T1S2C1G6	31.69	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T1S2C1G7	19.42	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T1S2C2G2	70.37	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T1S2C2G2	7.31	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T1S2C2G3	27.26	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T1S2C2G3	16.09	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T1S2C2G5	18.46	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T1S2C2G5	13.82	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T1S2C2G6	19.78	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T1S2C2G7	13.21	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T1S2C2G7	8.86	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T1S2C2G7	11.21	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T1S2C2G7	11.38	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T1S3C1G6	11.36	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T1S3C2G2	15.06	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T1S3C2G7	11.02	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T1S5C2G2	20.40	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T1S5C2G7	16.01	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T1S5C2G7	29.65	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T2S2C2G6	15.14	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T2S2C2G6	5.82	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T2S3C2G7	40.43	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V3T3S1C2G4	16.64	BT, MT, PI,ZT	REP, R.MSS,R.NU
V5T1S1C2G7	12.56	BT	MF, R.MSS
V5T1S2C1G3	6.43	BT	MF, R.MSS
V5T1S2C1G6	245.75	BT	MF, R.MSS
V5T1S2C2G2	99.07	BT	MF, R.MSS
V5T1S2C2G2	6.61	BT	MF, R.MSS
V5T1S2C2G2	10.44	BT	MF, R.MSS
V5T1S2C2G2	23.31	BT	MF, R.MSS
V5T1S2C2G3	93.08	BT	MF, R.MSS
V5T1S2C2G6	181.93	BT	MF, R.MSS
V5T1S2C2G7	9.97	BT	MF, R.MSS
V5T1S3C1G3	23.26	BT	MF, R.MSS
V5T1S3C1G7	7.10	BT	MF, R.MSS
V5T1S3C1G7	25.96	BT	MF, R.MSS
V5T1S4C2G2	5.55	BT	MF, R.MSS
V5T1S4C2G7	16.55	BT	MF, R.MSS
V5T1S5C2G2	8.69	BT	MF, R.MSS
V5T1S5C2G7	173.07	BT	MF, R.MSS
V5T1S5C2G7	10.36	BT	MF, R.MSS
V5T2S1C2G7	5.16	BT	MF, R.MSS
V5T2S2C1G3	45.44	BT	MF, R.MSS
V5T2S2C2G6	73.74	BT	MF, R.MSS

Unidad homogénea	Superficie (ha)	Tecnología	
		Cosecha	Siembra
V5T2S2C2G6	12.20	BT	MF, R.MSS
V5T2S3C1G7	54.07	BT	MF, R.MSS
V5T2S3C2G7	5.57	BT	MF, R.MSS
V7T1S1C2G7	5.67	BT, PTI, RER, RET	
V7T1S5C2G7	11.16	BT, PTI, RER, RET	
V9T1S1C2G3	14.19	PTI, RER, RET, ZT	MF, REP, R.MSS, RNU, R.RNA. RSD
V9T1S1C2G5	33.34	PTI, RER, RET, ZT	MF, REP, R.MSS, RNU, R.RNA. RSD
V9T1S1C2G7	5.04	PTI, RER, RET, ZT	MF, REP, R.MSS, RNU, R.RNA. RSD
V9T1S1C2G7	7.26	PTI, RER, RET, ZT	MF, REP, R.MSS, RNU, R.RNA. RSD
V9T1S2C2G2	5.86	PTI, RER, RET, ZT	MF, REP, R.MSS, RNU, R.RNA. RSD
V9T1S2C2G2	54.87	PTI, RER, RET, ZT	MF, REP, R.MSS, RNU, R.RNA. RSD
V9T1S2C2G2	65.63	PTI, RER, RET, ZT	MF, REP, R.MSS, RNU, R.RNA. RSD
V9T1S2C2G2	42.43	PTI, RER, RET, ZT	MF, REP, R.MSS, RNU, R.RNA. RSD
V9T1S2C2G3	72.82	PTI, RER, RET, ZT	MF, REP, R.MSS, RNU, R.RNA. RSD
V9T1S2C2G5	16.90	PTI, RER, RET, ZT	MF, REP, R.MSS, RNU, R.RNA. RSD
V9T1S2C2G5	30.83	PTI, RER, RET, ZT	MF, REP, R.MSS, RNU, R.RNA. RSD
V9T1S2C2G5	90.31	PTI, RER, RET, ZT	MF, REP, R.MSS, RNU, R.RNA. RSD
V9T1S2C2G5	29.34	PTI, RER, RET, ZT	MF, REP, R.MSS, RNU, R.RNA. RSD
V9T1S2C2G5	5.29	PTI, RER, RET, ZT	MF, REP, R.MSS, RNU, R.RNA. RSD
V9T1S2C2G7	20.53	PTI, RER, RET, ZT	MF, REP, R.MSS, RNU, R.RNA. RSD
V9T1S2C2G7	24.65	PTI, RER, RET, ZT	MF, REP, R.MSS, RNU, R.RNA. RSD
V9T1S2C2G7	9.32	PTI, RER, RET, ZT	MF, REP, R.MSS, RNU, R.RNA. RSD
V9T1S2C2G7	244.01	PTI, RER, RET, ZT	MF, REP, R.MSS, RNU, R.RNA. RSD
V9T1S3C2G7	30.25	PTI, RER, RET, ZT	MF, REP, R.MSS, RNU, R.RNA. RSD
V9T1S4C2G7	19.59	PTI, RER, RET, ZT	MF, REP, R.MSS, RNU, R.RNA. RSD
V9T1S4C2G7	66.93	PTI, RER, RET, ZT	MF, REP, R.MSS, RNU, R.RNA. RSD
V9T1S5C2G7	25.41	PTI, RER, RET, ZT	MF, REP, R.MSS, RNU, R.RNA. RSD

5.6 Objetivo 6. Determinación de los principales problemas y soluciones de la microcuenca (diagnóstico)

La información resultante de la caracterización biofísica y socioeconómica de la microcuenca, el registro de evidencias recopiladas en campo respecto al estado actual del medio social y ambiental, así como, el análisis de la capacidad de uso de la tierra, erosión del suelo y balance hídrico, constituyeron la base para la elaboración del diagnóstico de la microcuenca río Sila.

La identificación de la problemática, sus causas, consecuencias y alternativas de solución se asumen como el principio para elaborar el plan de manejo de la microcuenca. De un total de 16 problemas identificados se definió el problema central de la microcuenca denominado degradación ambiental de la microcuenca, se construyó su árbol de problemas (Figura 46), árbol de objetivos (Figura 47) y la matriz de marco lógico (Cuadro 46).

ÁRBOL DE PROBLEMAS

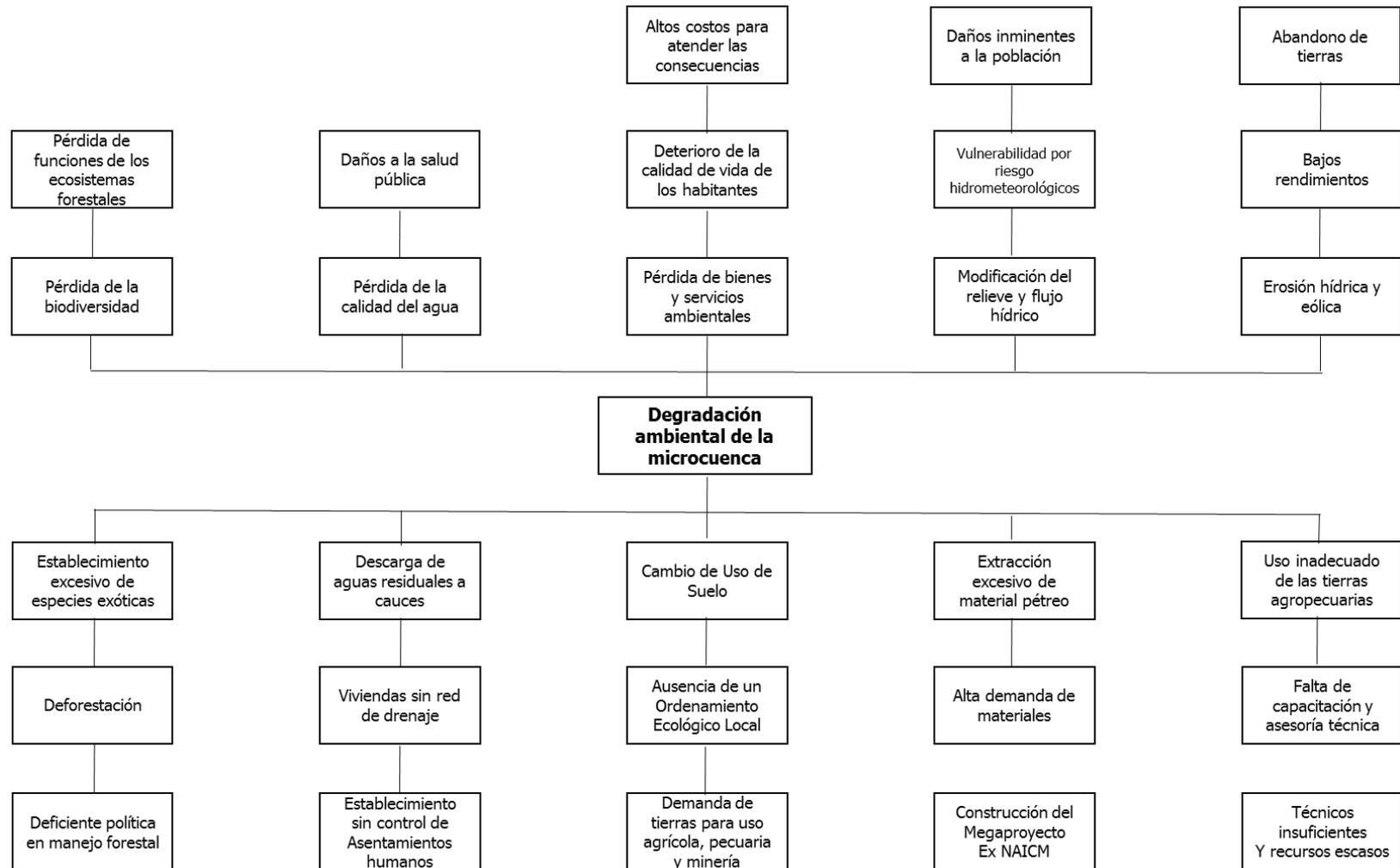


Figura 46. Árbol de problemas de la microcuenca río Sila

ÁRBOL DE OBJETIVOS

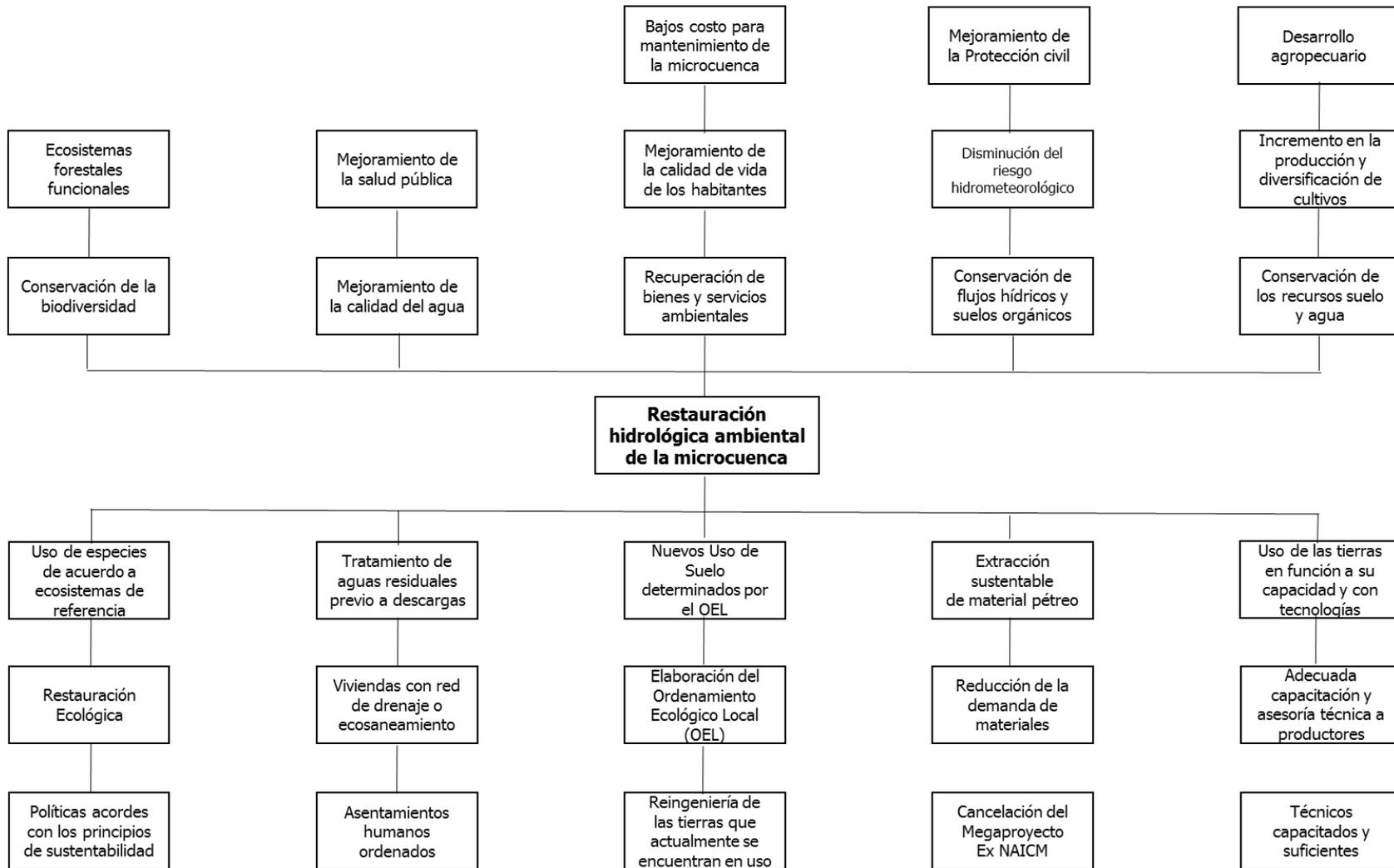


Figura 47. Árbol de objetivos de la microcuenca río Sila

Cuadro 46. Matriz de marco lógico

Objetivos, resultados y actividades	Indicadores	Fuentes de verificación	Supuestos o hipótesis
Objetivo general			
Restauración hidrológica ambiental de la microcuenca río Sila en beneficio de sus habitantes	Cantidad de tierras (superficie) incluidas en las acciones del Plan de Manejo con respecto a su superficie total.	Inventario periódico de tierras bajo el Plan de Manejo (superficie y productores) Entrevista a los distintos actores y habitantes de la microcuenca.	Las instituciones públicas y privadas, organizaciones, productores agropecuarios, dueños de las minas y población en general reconocen la importancia de la restauración y participan en las acciones del Plan.
Objetivo específico			
Lograr el manejo sustentable de la microcuenca	Cantidad de superficie agrícola y pecuaria atendida con principios de sustentabilidad. Cantidad de productores, organizaciones y habitantes que aplican prácticas conservacionistas.	Inventario periódico de tierras bajo el Plan de Manejo (superficie y productores)	Las instituciones públicas y privadas, organizaciones, productores agropecuarios, dueños de las minas y población participan en el desarrollo del Plan.
Resultados/Productos			
1. Conservación de la biodiversidad	La estructura y composición vegetal, así como la riqueza faunística corresponde al tipo de ecosistema a conservar.	Inventario florístico y faunístico	Los Ejidos mantienen disposición para la llevar a cabo las Acciones de Restauración Ecológica Los ejidatarios destinan un espacio para el desarrollo de unidades de manejo de vida silvestre

			Se cuenta con el apoyo presupuestal y técnico por las autoridades municipales
2. Mejoramiento de la calidad del agua.	Niveles de calidad del agua en los cauces del río Sila y en los puntos de descarga	Monitoreo de la calidad del agua a lo largo en distintos puntos de la microcuenca con especial atención en fuentes de aguas residuales Población que realiza acciones manejo de RSU y descarga de aguas residuales	Las instituciones públicas, organizaciones, productores agropecuarios y población participan en el programa de manejo de aguas residuales. La población adopta y desarrolla acciones de saneamiento desde el hogar Se cuenta con el apoyo presupuestal y técnico por las autoridades municipales
3. Recuperación de bienes y servicios ambientales	Programa de Ordenamiento Ecológico Local Volumen de producción y calidad de los productos Diversificación de la producción agrícola Servicios ecoturísticos que se ofertan y cantidad de visitantes	Documento del POEL publicado Estadísticas de producción anual de cultivos Tipología de cultivos en la cuenca Estadísticas de afluencia turística	Las autoridades municipales desarrollan el POEL. Participación activa, comprometida e integral de los productores agropecuarios con prácticas de menor impacto Reducción en el uso de productos agroquímicos Apropiación de prácticas conservacionistas en el desarrollo de actividades productivas
4. Recuperación de los flujos hídricos y paisaje natural	Superficie de minas atendida mediante restauración geomorfológica	Inventario periódico de superficie atendida.	Aplicación de acciones integrales de manejo, conservación y protección

	Registro anual de inundaciones por año		Se cuenta con el apoyo presupuestal
5. Conservación de los recursos suelo y agua.	Volumen de suelo retenido por obras de conservación de suelo en la parte media y alta de la cuenca	Inventario de pérdida de suelo en distintos sitios de la cuenca Inventario de obras de conservación de suelo y agua Registro de viviendas que aplican tecnologías de cosecha de agua	Voluntad política de las autoridades para el desarrollo de las acciones. Se cuenta con el apoyo presupuestal
Actividades principales			
<p>Resultado 1: Se conserva la biodiversidad de la microcuenca en función a la riqueza florística y faunística.</p> <p>1.1. Utilizar solo especies vegetales propias de los ecosistemas de referencia en las acciones de restauración</p> <p>1.2. Implementar la metodología de restauración ecológica en las acciones de manejo de los recursos de la microcuenca.</p> <p>1.3. Establecer Unidades de Manejo de Vida Silvestre (UMA) intensivas para la conservación, producción y aprovechamiento de especies de flora y fauna de importancia ecológica y económica.</p> <p>1.4. Desarrollar programas de educación ambiental para el conocimiento de los recursos naturales de la microcuenca.</p>			<p>Para alcanzar los resultados:</p> <p>Existe la voluntad política de las autoridades y la participación de los actores clave en el desarrollo de las acciones</p> <p>Existe la disposición de recursos económicos en tiempo y forma.</p>
<p>Resultado 2: Se mejora la calidad del agua que se descarga de los asentamientos urbanos a los cauces de la microcuenca.</p> <p>2.1. Implementar un Programa de Rehabilitación y funcionamiento eficiente de las plantas de tratamiento de aguas residuales.</p> <p>2.2. Implementar acciones de instalación de tecnologías de eco saneamiento en viviendas alejadas de la red de drenaje.</p> <p>2.3. Regular el crecimiento de Asentamientos humanos de forma ordenada y bajo un programa de Protección Civil</p> <p>2.4. Implementar un programa de concienciación a los habitantes sobre la problemática local del agua, su valor y las soluciones</p> <p>2.5. Llevar a cabo monitoreo constante de la calidad del agua</p>			<p>Para alcanzar los resultados:</p> <p>Existe la voluntad política de las autoridades y la participación de los actores clave en el desarrollo de las acciones</p> <p>Existe la disposición de recursos económicos en tiempo y forma.</p>

<p>Resultado 3: Se brindan de manera sustentable los bienes y servicios ambientales que proporciona el espacio de la microcuenca</p> <ol style="list-style-type: none"> 3.1. Elaboración del Ordenamiento Ecológico Local (OEL) del municipio como instrumento determinante del uso del espacio de la microcuenca 3.2. Desarrollar un proceso de Reingeniería productiva de las tierras actualmente en uso para su adecuado aprovechamiento. 3.3. Regular la Extracción de material pétreo bajo principios de sustentabilidad con acertadas medidas de mitigación, compensación y remediación del sitio 3.4. Implementar un programa de Restauración de servicios en agroecosistemas mediante agricultura amigablemente amiga. 	<p>Para alcanzar los resultados:</p> <p>Existe la voluntad política de las autoridades y la participación de los actores clave en el desarrollo de las acciones</p> <p>Existe la disposición de recursos económicos en tiempo y forma.</p>
<p>Resultado 4: Se recuperarán los flujos hídricos y paisaje en los sitios de minas de materiales pétreos que han concluido su aprovechamiento</p> <ol style="list-style-type: none"> 4.1. Implementar un programa de Restauración geomorfológica en minas o porciones de ellas que han concluido su aprovechamiento. 4.2. Se elaborará un programa de Protección Civil municipal donde se incluya el espacio de la microcuenca. 4.3. Regular la Extracción de material pétreo bajo principios de sustentabilidad con acertadas medidas de mitigación, compensación y remediación del sitio 	<p>Para alcanzar los resultados:</p> <p>Existe la voluntad política de las autoridades y la participación de los actores clave en el desarrollo de las acciones</p> <p>Existe la disposición de recursos económicos en tiempo y forma.</p>
<p>Resultado 5: Se realiza conservación de los recursos suelo y agua.</p> <ol style="list-style-type: none"> 5.1. Planificar el uso de las tierras de la microcuenca en función a su capacidad de uso, y mediante la implementación de tecnologías de conservación 5.2. Incorporar tecnologías de siembra y cosecha de agua en los diferentes espacios de ecosistemas naturales y en los espacios de usos productivos, los hogares, las instituciones públicas, los servicios y la industria 5.3. Desarrollar jornadas de capacitación y asesoría técnica a los productores, población y usuarios del agua en temas de cultura del agua 5.4. Concientizar a la sociedad sobre la problemática local del agua, su valor y las soluciones 5.5. Establecer un programa obligatorio de cultura del agua en las escuelas de los distintos niveles de educación del municipio 5.6. Capacitar a los técnicos y directivos encargados de la atención de la conservación de suelo y agua 	<p>Para alcanzar los resultados:</p> <p>Existe la voluntad política de las autoridades y la participación de los actores clave en el desarrollo de las acciones</p> <p>Existe la disposición de recursos económicos en tiempo y forma.</p>

6 Análisis de la experiencia de la realización del estudio, de los alcances y limitaciones de los resultados y las lecciones aprendidas

Es necesario reiterar que la metodología de la Guía de ruta metodológica para la gestión de cuencas construida por el CATIE representa un instrumento de aplicación en los procesos de manejo y gestión de cuencas hidrográficas de México.

Los resultados obtenidos en los temas de capacidad del uso de la tierra, erosión y balance hídrico representan información importante para la microcuenca río Sila, para ser considerada en las actividades y responsabilidades cotidianas por los productores agropecuarios, la población en general y las autoridades gubernamentales, las cuales en su conjunto inciden en el mejoramiento de la forma en que se usan actualmente los recursos naturales en beneficio del espacio que habitan y en consecuencia en su calidad de vida.

El enfoque multidisciplinario debe ser la estrategia de actuación en el manejo y gestión de cuencas hidrográficas, a fin de construir un proceso técnico, científico, social, ambiental, económico y político con características de fortaleza, transparencia, democrático y participativo para el logro de los objetivos y metas de mejor beneficio para los actores de las cuencas.

La posibilidad de mejorar el proceso participativo en el espacio de la microcuenca río Sila, requiere de una estrategia de comunicación intensiva dirigida primordialmente al reconocimiento de la problemática ambiental que se enfrenta y del pronóstico que se avecina de continuar con el manejo actual del espacio de la microcuenca.

7 Conclusiones y recomendaciones

Los 15 actores clave identificados responden a intereses diversos, distinto nivel de poder y legitimidad. Los ejidos y el gobierno municipal y estatal son actores dominantes, mientras que la industria minera expresa la fuerza. La junta de agua, órgano de importancia en el tema central de la microcuenca se clasifica como marginado y las poblaciones que representan a la mayoría de los habitantes se definen como vulnerables. Es de importancia promover la gobernanza en la población mediante un proceso dinámico de divulgación de información, promoción de la participación y organización para la gestión e involucramiento en las decisiones del presente y futuro de las acciones referentes al manejo de la microcuenca.

La microcuenca río Sila, con una superficie de 4,582 ha (45.82 km²) es considerada pequeña, su forma es oval oblonga a rectangular alargada. De acuerdo a su característica de drenaje, su susceptibilidad a la degradación es baja, asimismo, su valor de pendiente favorece parcialmente la escorrentía, mientras que, la curva hipsométrica revela una microcuenca en equilibrio en fase de madurez. No obstante lo anterior, la microcuenca enfrenta un proceso de degradación ambiental que se manifiesta mediante erosión, pérdida de la cubierta vegetal, cambio de uso de suelo, desplazamiento de fauna silvestre, contaminación por residuos sólidos urbanos, descarga de aguas residuales a los cauces naturales y modificación del relieve como consecuencia de la extracción minera, entre otros.

La precipitación de solo 600 mm anuales asociada a la presencia de suelos someros: Litosol y Regosol en el 57 % de la superficie, limita el uso de más de la mitad de la superficie de la microcuenca para usos agrícolas, situación acrecentada por el afloramiento de roca o tepetate. A pesar de las limitantes de uso, aún se presenta la apertura de las tierras para la producción de cultivos forrajeros. Por lo anterior, es primordial promover la conservación de la vegetación nativa de matorral crasicaule que guarda una estrecha relación de equilibrio con las características de suelo, relieve y precipitación.

La biodiversidad de la microcuenca está representada por una riqueza de 129 especies de flora y fauna distribuidas en agroecosistemas y ecosistemas de matorral crasicaule, bosque templado de pino, encino y junípero, así como, ecosistemas inducidos de bosque de eucalipto y casuarina y pastizales. Se registraron 11 especies enlistadas en la NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, 10 de fauna, 4 de ellas amenazadas (A), 4 en protección especial (PR) y 2 en peligro de extinción (P), mientras que la especie de flora, se inscribe en protección especial. No basta con plantear estrategias de conservación de los ecosistemas debe generarse alternativas de uso como, el turismo rural, pago por servicios ambientales, establecimiento de unidades de manejo de vida silvestre, manejo productivo conservacionista del ecosistema de matorral crasicaule, entre otros.

En la microcuenca se identificaron cinco usos de suelo y cuatro tipos de vegetación; el 57.58 % de la superficie está ocupada por ecosistemas forestales nativos e inducidos con distintos niveles de conservación, la actividad agrícola cubre el 26.18 %, los espacios construidos el 14.41 %, las minas a cielo abierto el 1.71 % y los cuerpos de agua, que corresponden a pequeños abrevaderos o jagüeyes, solo el 0.12 %. De lo anterior se establece que más de la mitad de la microcuenca aún mantiene el potencial de brindar servicios ambientales para una población que ocupa el 14 % de la superficie y beneficiar al 26 % de la superficie que se destina a la producción agrícola. Asimismo, es posible hacer compatible la conservación de los ecosistemas forestales con la ganadería extensiva debidamente planificada.

La población de 11,241 personas de la microcuenca presenta deficiencia en cobertura de salud pública (42 %); la escolaridad promedio es de 8.42 años con instrucción primaria, secundaria y postbásica completa e incompleta y solo el 3.12 % de la población mayor a 15 años de edad es analfabeta; se registran 2,651 viviendas particulares habitadas de las cuales el 10.4 % carece del servicio de agua entubada, el 6.3 % no cuenta con drenaje y el 4.1 % presenta en sus viviendas pisos de tierra. Es de vital importancia atender el tema de drenaje para aminorar el problema de contaminación de los cauces, asimismo, la promoción de alternativas de cosecha de agua que contribuyan en la demanda de agua a los habitantes que no disponen del servicio.

Es de vital importancia promover y fortalecer la administración de agua potable y saneamiento en las localidades de la microcuenca, mediante la participación del gobierno municipal y los habitantes de las localidades, gestionar la adecuada y continua operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales que evite las descargas hacia los cauces y cuya trayectoria concluye en el ex lago de Texcoco.

En materia de manejo de residuos sólidos urbanos es preciso promover la participación de los municipios aledaños para el establecimiento de un relleno sanitario ante la perspectiva de crecimiento de la región de la montaña del Oriente del Valle de México y el inminente aumento del volumen de residuos urbanos.

Es necesario fortalecer el valor del patrimonio cultural histórico de la microcuenca donde se albergan elementos naturales, sitios culturales y templos históricos, como las construcciones arqueológicas y posibles pirámides de origen prehispánico, lo cual representa una alternativa de recursos económicos para la población y en consecuencia frenar la degradación ambiental debido al crecimiento del cambio de uso de suelo.

La población económicamente activa de la microcuenca es del 40 % de la población total, con centros de trabajo en las zonas urbanas de Texcoco y la Ciudad de México, ocupados en los sectores secundario y terciario; de igual manera, el 4.5 % corresponden a población desocupada. Las actividades económicas principales en la microcuenca corresponden a agricultura, ganadería, comercio y minería.

Las amenazas naturales hidrometeorológicas y en particular la sequía, es clasificada como grado de peligro "medio" con afectaciones poco severas; las heladas son severas con afectaciones a la población más vulnerable y algunos cultivos de invierno; para la mayor parte de la superficie se establece que las inundaciones son de categoría "nula/baja".

La contaminación del aire se presenta por el funcionamiento de minas a cielo abierto provocando tolveneras, así la generación de malos olores y partículas suspendidas debido a la disposición de residuos sólidos en laderas de ríos y barrancas; el agua presenta problemas de contaminación debido a la descarga de aguas residuales hacia los cauces de arroyos y ríos. Por lo anterior, es necesario la implementación de acciones de manejo y disposición final de residuos sólidos, así como la implementación de tecnologías de saneamiento.

Las amenazas geológicas, como los deslizamientos no representan problemas al ser valorados como de peligro muy bajo o nulo. Respecto al vulcanismo, a pesar de encontrarse a 60 km del cráter, se clasifica de peligro el área de la microcuenca, sin embargo, el impacto es bajo, ante la probabilidad de caída de cenizas ante la presencia de un evento eruptivo.

En relación a capacidad de uso de la tierra, en la microcuenca se presentan las siguientes clases: III (687 ha), IV (696 ha), V (878 ha), VI (1,013 ha) y VII (612 ha). Se presenta conflicto de uso en 5 unidades homogéneas, mientras que, las restantes 118 no enfrentan conflicto de uso. Sin embargo, 52 presentan limitaciones severas y 32 con limitaciones muy severas, tanto para uso agrícola como para sustentar ecosistemas forestales. De la misma manera, 11 unidades homogéneas tienen posibilidad de ser utilizadas para agricultura, pero su desarrollo estaría sujeto a limitantes severas y muy severas. Es fundamental la implementación de prácticas de conservación del suelo a fin de potenciar el manejo sustentable de las tierras y los recursos naturales asociados.

En la superficie total de 4,582 ha de la microcuenca río Sila, se estimó un volumen de erosión del suelo de 28,6652 t/año. Las tasas de erosión registradas en la microcuenca se clasifican en niveles de erosión "ligera" y "moderada" y los valores más altos se presentan en el uso de suelo de mina, lo cual resulta importante en función al deterioro de la calidad del aire por la emisión de partículas suspendidas de materiales del subsuelo, toda vez que el suelo fértil ha sido eliminado desde origen del funcionamiento de dicha industria.

En la superficie de 3,886 ha que conforman las unidades homogéneas, la agricultura de temporal (AT) registra las tasas de erosión más altas, los valores medios asociados al bosque templado (BT) y bosque inducido (BI) y los valores más bajos a los suelos cubiertos con vegetación de matorral crasicaule (MC). En 2,570 ha (66 %) se registra una tasa de erosión igual o menor a 7.2 t/ha/año que corresponde al valor máximo reportado por Adame y Martínez (1999), para la cuenca río Texcoco y en condiciones sin manejo, y cuyos valores además concuerdan con los reportados por Martínez y Fernández (1983) para las cuencas del Altiplano Mexicano. De igual manera, se destaca la importancia y necesidad de comparar los resultados obtenidos de erosión eólica con respecto a otras metodologías aplicables a fin de tener mayor certeza sobre los mismos.

Para la superficie de 3,886 ha de la microcuenca que conforman las unidades homogéneas se registra una lámina promedio de precipitación de 593.4 mm, de los cuales el 65.97 % corresponde a evapotranspiración, 11.56 % a escurrimiento y 22.47 % a infiltración. La décima parte del agua que escurre ($2.5 \times 10^6 \text{ m}^3$) por la superficie del terreno representa una alternativa de aprovechamiento para usos productivos agropecuario y de conservación de los ecosistemas forestales.

Los resultados obtenidos en los objetivos uno al cinco, representan la base para la integración de un plan de manejo para la microcuenca río Sila, sin embargo, el diagnóstico del objetivo 6 requiere un proceso de mayor tiempo y con participación más amplia de los actores de la microcuenca, no obstante, deja indicados de manera general las acciones a implementar en base a un problema central muy amplio que corresponde a la degradación ambiental de la microcuenca.

8 Literatura citada

Adame Martínez S. y Martínez Menez MR. 1999. Efecto del manejo integral de la cuenca del río Texcoco, sobre la producción de agua y sedimentos. *In* Investigaciones Geográficas Boletín 39, 53 – 57. México.

AGUA.ORG. Legislación del Agua. Consultado 20 ene. 2020. Disponible en <https://agua.org.mx/legislacion-del-agua/>

Altwater, E. 2001. Time and Space of Urban Agglomeration. In Conference Urbanization and Environment (12001, Belo Horizonte, Brazil). Belo Horizonte, Brazil. 56 p.

Ávila, K. 2007. Gestión integrada de recursos hídricos en México: un análisis a través de los organismos de cuenca. Tesis de Maestría. México. El Colegio de México. 119 p.

Birkel, C. 2018. Hidrología para el manejo de cuencas hidrográficas: Unidad 1. (en línea, curso). Turrialba, Costa Rica. Consultado 12 ago. 2019. Disponible en <http://campusvirtual.catie.ac.cr/course/view.php?id=250>

Brieva C. 2018. Caracterización de cuencas: Proyecto Específico 1133022 "Caracterización y análisis multidisciplinario de la información hidrológicas en cuencas". Edición 1. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Mendoza, Argentina. 161 p.

Caballero, C. 2012. Materiales de apoyo a licenciatura de biología (en línea, sitio web). Instituto de Geofísica, UNAM. Consultado 28 sep. 2019. Disponible en http://usuarios.geofisica.unam.mx/cecilia/cursos/Ccias_tierra_tarbuck-Ch4-RsIg.pdf

Campos, A. 1987. Procesos del ciclo hidrológico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Vol. 1, t. 1/2. San Luís Potosí. México. P. 2-52.

Ceballos Melgar, M. 2004. Manual para el desarrollo del mapeo de actores claves – MAC". SERCITEC. Jarabacoa, República Dominicana. 31 p.

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRE (CENAPRED). 2018. INUNDACIONES EN MEXICO. Consultado 22 oct. 2019. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/336984/1._180503_SRI_Inundaciones.pdf

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRE (CENAPRED). 2012. Mapas de Índice de Riesgo a Escala Municipal por Fenómenos hidrometeorológicos. Consultado 20 nov. 2019. Disponible en <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/descargas/Metodologias/Hidrometeorologico.pdf>

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRE (CENAPRED). 2019a. Atlas Nacional de Riesgos. Consultado 22 sep. 2019: Disponible en <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/portal/fenomenos/>

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRE (CENAPRED). 2019b. Tormentas severas. Consultado 22 sep. 2019: Disponible en <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/189-FASCCULOTORMENTASSEVERAS.PDF>

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED). 2006. Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y riesgos: fenómenos geológicos. Encontrado en: <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/55.pdf>

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED). 2009. Atlas de riesgo del estado de Tamaulipas. Encontrado en: <https://www.tamaulipas.gob.mx/proteccioncivil/wp-content/uploads/sites/36/2011/12/ATLAS-DE-RIESGOS-MPIOS-TAMPICO-MADERO-Y-ALTAMIRA.pdf>

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED). 2016. Memoria técnica del mapa de peligros del volcán Popocatepetl. Encontrado en: <http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/270-INFOGRAFAPOPOCATPETL-DISPERSINDECENIZA.PDF>

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED). S.F. Incendios forestales. Consultado 22 sep. 2019. Disponible en <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/115.pdf>

Chevalier, JM y Buckles, DJ. 2009. Guía para la Investigación Colaborativa y la Movilización Social: Análisis Social CLIP (Colaboración, Conflicto, Legitimidad, Intereses, Poder) (en línea). México. Consultado 10 dic. 2019. Disponible en <http://ecosad.org/laboratorio-virtual/phocadownloadpap/METODO-IMPLICATIVAS/sas2-chevallier-y-buckles-2009%201.pdf>

COLEGIO DE POSTGRADUADOS. S.f. Catálogo de obras y prácticas de conservación de suelo y agua (Ver. 1.0). Consultado 31 ene. 2020. Disponible en <https://es.slideshare.net/demetriofernandez313/catlogo-de-obras-y-prcticas-de-conservacin-de-suelo-y-agua-v-10>

Comisión Europea. 2001. Manual Gestión del Ciclo de Proyecto. 2 ed. 45 p.

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1997. Provincias biogeográficas de México: Catálogo de metadatos geográficos. (en línea). Tlalpan, México. Consultado 12 dic. 2019. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2010. Regiones Económicas de México: Catálogo de metadatos geográficos. (en línea). Tlalpan, México. Consultado 12 dic. 2019. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2015. Áreas Naturales Protegidas Estatales, Municipales, Ejidales y Privadas de México: Catálogo de

metadatos geográficos (en línea). México. Consultado 10 dic. 2019. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1999. Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves: Catálogo de metadatos geográficos (en línea). México. Consultado 10 dic. 2019. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2002. Regiones hidrológicas prioritarias: Catálogo de metadatos geográficos (en línea). México. Consultado 10 dic. 2019. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2004. Regiones terrestres prioritarias: Catálogo de metadatos geográficos (en línea). México. Consultado 10 dic. 2019. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2010. Guía de Mejores Prácticas de Manejo (GMPM) 2010. (en línea). México. 23 p. Consultado 31 ene. 2020. Disponible en [http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/6/861Gu%c3%ada%20de%20mejores%20pr%c3%a1cticas%20de%20manejo%20\(GMPM\)%202010.pdf](http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/6/861Gu%c3%ada%20de%20mejores%20pr%c3%a1cticas%20de%20manejo%20(GMPM)%202010.pdf)

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2018. Protección, restauración y conservación de suelos forestales Manual de obras y prácticas. 3ª. reimpresión. (en línea). 298 p. Consultado 31 ene. 2020. Disponible en <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/20/1310Manual%20de%20Conservacion%20de%20Suelos%20.pdf>

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2000. Planeación de proyectos orientada a objetivos: método Zopp. Distrito Federal, México. 37 p.

CONANP (Comisión de Áreas Naturales Protegidas). 2017. Áreas Naturales Protegidas Federales de México.

Cortés Torres HG. 1991. Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 168p.

Cruz-Falcón, A. (2007). Caracterización y Diagnóstico del Acuífero de La Paz B.C.S. Mediante Estudios Geofísicos y Geohidrológicos. Tesis de Doctorado, IPN-CICIMAR. 139 pp.

Decreto No. 23214-MAG-MIRENEM, 1994. Metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica. Gaceta No. 107. (en línea). Consultado 25 feb. 2020. Disponible en <http://www.mag.go.cr/informacion/imagenes-nama-cafe-taller/Decreto-Ejecutivo-23214-MAG-MIRENEM.pdf>

Díaz Delgado, C.; Mamadou Bâ, K.; Iturbe Posadas, A.; Esteller, MV.; Reyna Sáenz, F. 1999. Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: caso del curso alto del río Lerma, Estado de México. (en línea). CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva, 6(2). Consultado 31 ene. 2020. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=104/10401504>

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2015. NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. (en línea). Ciudad de México, México. Consultado 12 dic. 2019. Disponible en http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5387027&fecha=27/03/2015

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2015. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. (en línea). Ciudad de México, México. Consultado 22 dic. 2019. Disponible en https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2020. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1º de diciembre de 1992, Texto vigente última reforma publicada 06-01-2020. Consultado 25 ene. 2020. Disponible en <https://www.dof.gob.mx/>

Duarte, F. 2015. Diagnóstico de la microcuenca los Amates, Cuenca grande de Zacapa. Tesis de Grado. Guatemala. Universidad Rafael Landívar. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. 85 p.

Fallas, J.; Valverde, C. 2008. Manejo y Programación de cuencas Hidrográficas: principios, variables e indicadores. Tesis de Licenciatura. Heredia, Costa Rica. Universidad Nacional. Escuela Ciencias Ambientales Ingeniería en Ciencias Forestales. 51 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1976. Esquema para la Evaluación de Tierras. Boletín de suelos de la FAO No. 32. Roma Italia. 66 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2000. A new framework for: Conservation-effective land management and desertification control in Latin America and the Caribbean. <http://www.fao.org/ag/agl/agll/gaez/index.htm>.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1980. Metodología Provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma Italia. 80 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2008. Base referencial mundial del recurso suelo. (en línea). Roma, Italia. Consultado 10 dic. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-a0510s.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2014. Sistematización de prácticas de conservación de suelos y aguas con enfoque de adaptación al

cambio climático. Metodología basada en WOCAT para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, 123 pp.

FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1985. Evaluación de tierras con fines forestales. Estudio FAO: Montes No. 48. Roma, Italia. 106 p.

Feldman, A. Hydrologic Modelling System HECHMS, Technical reference manual. U. S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, HEC, Davis, CA, 157 p.

Figuroa Sandoval, B; Amante Orozco, A; Córtez Torres, HG.; Pimentel López, J; Osuna Ceja, ES.; Rodríguez Olvera, JM.; Morales Flores, FJ. 1991. Manual de Predicción de pérdidas de Suelo por erosión. Colegio de Postgraduados. México. 150 p

Gaceta del gobierno del Estado de México. 2000. Programa De Manejo Del Parque Estatal "Sierra Patlachique". Consultado 4 nov. 2019. Disponible en <https://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/gct/2000/jun165.PDF>

García, E. 2004. Modificación al sistema de clasificación climática de Koppen. Quinta edición Instituto de Geografía UNAM 90 pp file:///C:/Users/HP/Documents/modific_al_sis.pdf

García, I.; Avelino C; Martínez, O.; Vidriales, G. 2003. Balance hídrico de la cuenca del río Pixquiac: delimitación de zonas prioritarias y evaluación de los mecanismos existentes para pago de servicios ambientales hidrológicos en la cuenca del río Pixquiac. Veracruz, México. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. y de la Agencia de los Estados Unidos de América para el Desarrollo Internacional (USAID). 29 p.

Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G. E., Denegri, G.; Delgado, M. I. & Besteiro, S. 2012. Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. Revista Electrónica del Comité de Medio Ambiente. AUGMDOMUS, 4, 143-158. Recuperado de: <https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/download/476/505/>

González, M. 1991. La Ecuación Universal de pérdidas de suelo, pasado, presente y futuro. Madrid, España. Ecología No. 5. P. 13-50.

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. P. 311-329.

GTZ (Cooperación Guatemala-Alemania). sf. ZOPP Planificación de Proyectos Orientada a Objetivos (en línea). 35 p. Consultado 12 dic. 2019. Disponible en <http://unrn.edu.ar/blogs/pt/files/2013/03/00-M%C3%A9todo-zopp.pdf>

Guerra, F. y González, J. 2002. Caracterización morfométrica de la cuenca de la quebrada La Bermeja, San Cristóbal, Estado Táchira, Venezuela. (en línea) Geoenseñanza, 7(1-

2), 88-108. Consultado 12 de diciembre de 2019. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=360/36070208>

Gutiérrez, PM. 2007. Mapas sociales: método y ejemplos prácticos". Documento bajado del sitio www.preval.org.

Hernández Cruz, M.G. 2013. Hidrología de los ríos del oriente del valle de México y funcionamiento hidráulico en conjunto con el lago de Texcoco. Tesina Especialista en Hidráulica. Distrito Federal, México, Universidad Nacional Autónoma de México. 112 p.

Honorable Ayuntamiento Constitucional de Tepetlaoxtoc 2013 - 2015. 2013. Plan de Desarrollo Urbano Municipal de Tepetlaoxtoc (en línea). Consultado 4 oct. 2019. Disponible en https://www.ipomex.org.mx/recursos/ipo/files_ipo/2015/47/4/a65141282ea5f7aef9db625c545f2ce0.pdf

Honorable Ayuntamiento Constitucional de Tepetlaoxtoc 2019-2021. 2019. Plan de Desarrollo Urbano Municipal de Tepetlaoxtoc 2019-2021. Consultado 24 ene. 2020. Disponible en https://www.municipiotepetlaoxtoc.gob.mx/contenidos/municipiotepetlaoxtoc/docs/PDM_TEPETLAOXTOC_2019_2021_REGISTRO_PDF_2019_10_9_204632.PDF

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

Ibáñez, E.A. y Brie R. 2001. Diccionario de Sociología. Ed. Claridad. Madrid, España.

Ibáñez, J. 2006. La Erosión del Suelo: Tipos de Procesos Erosivos. Un Universo invisible bajo nuestros pies. <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/03/11/15557>

Ibisate González de Matauco 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.* N° 38, 2004, p. 311-329.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México). 2004. Guía para la interpretación de cartografía. Edafología (en línea, sitio web). Consultado 14 oct. 2019. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825231736>.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México). 2005. Guía para la interpretación de cartografía. Geológica (en línea, sitio web). Consultado 08 oct. 2019. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825231767>.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2018. Conjunto de datos vectoriales geológicos de la carta E14-2 escala 1:250,000

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México). 2019. México en cifras: Población. Consultado 10 oct. 2019. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/>

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2000 Diccionario de datos fisiográficos: vectorial: escala 1: 1 000 000. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825223892/702825223892_1.pdf

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2005. Guía para la interpretación de cartografía. Climatológica Impreso en México. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825231781/702825231781_1.pdf

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2017. Diccionario de datos edafológicos. Escala 1:250 000. Versión 4 México 72 p. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825092023.pdf

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2005. Guía para la interpretación de cartografía. Climatológica. (en línea, sitio web). Consultado 14 oct. 2019. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825231781>

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1973. Carta edafológica impresa, Escala 1:50 000.

INEGI. 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consultado 20 sep. 2019. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/sistemas/scitel/consultas/index#>

Jardí, M. 1985. Forma de una cuenca de drenaje: Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*, nº XIX, pp. 41-68

Jiménez, F. 2018. Caracterización, diagnóstico, zonificación y línea base para formular un plan de manejo de cuencas. Unidad 3. (en línea, curso). Turrialba, Costa Rica. Consultado 14 ago. 2019. Disponible en <http://campusvirtual.catie.ac.cr/course/view.php?id=250>

Klingebiel, A.; Montgomery, P. 1961. Land capability classification. Washington, D.C., EE.UU Agricultural Handbook. USDA. Soil Conservation Service. 210 p.

Komives; Lucke; Ritchers. 1985. Notas sobre el uso de la tierra. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 9 p.

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

Llorenz, P. La evaluación y modelización del balance hidrológico a escala de cuenca. *Revista Ecosistemas, Norteamérica*, 12, may. 2003. Disponible en: <<https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/323>>. Fecha de acceso: 15 ago. 2019.

López, F. s.f. La planificación conservacionista del uso de las tierras. Mérida, Venezuela. *Serie Suelos y Clima* 49 p.

López-Pérez, A., Martínez-Menes, M. R., & Fernández Reynoso, D. S. (enero-febrero, 2015). Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(1): 121-137.

Martínez, MR. y Fernández V. 1983. Evaluación de la degradación específica a nivel nacional a partir de cuencas hidrológicas. Dirección General de Conservación del Suelo y Agua. México.

Mendoza Barrera AF. 2008. Mecanismos de financiamiento sostenibles para el plan de manejo de la cuenca hidrográfica del río Santa María, Panamá. Tesis MCs. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 190 p.

Mendoza Morales, J. 1999. Conceptos Básicos de Cuencas Hidrográficas. Managua, Nicaragua. UNA, Managua.

Meza Aliaga, M.; Rodríguez Valdivia, A.; Corvacho Ganahín, O.; Tapia Tosetti, A. (2014). Análisis morfométrico de microcuencas afectadas por flujos de detritos bajo precipitación intensa en la quebrada Camiña, Norte Grande de Chile. *Diálogo andino*, (44), 15-24. <https://dx.doi.org/10.4067/S0719-26812014000200003>

Miall, A.D. (1977): *Fluvial Sedimentology*, Canadian Soc. of Petro. Geologists, Calgar, 859 pp

Miranda, M. y N. Pereira. 2002. Caracterización Biofísica y Socioeconómica de la Subcuenca de Brakira, Comunidad De Tuapi, RAAN. Puerto Cabezas; Bilwi. URACCAN, Bilwi

Naturalista. (2014). Cuenca del río Papalotla. (en línea). Consultado 4 nov. 2019. Disponible en <https://www.naturalista.mx/projects/cuenca-del-rio-papalotla>

Naturalista. (2017). Parque Estatal Sierra de Patlachique. (en línea). Consultado 28 nov. 2019. Disponible en <https://www.naturalista.mx/projects/parque-estatal-sierra-de-patlachique>

Ordoñez Gálvez, JJ. 2011. "Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico": Balance hídrico superficial. Sociedad Geográfica de Lima – Global Water Partnership. Lima, Perú. 44 p

Ortegón E.; Pacheco JF.; Prieto A. 2015. Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas: Serie Manuales. (en

línea) Santiago, Chile. 127 p. Consultado 12 dic. 2019. Disponible en https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5607/S057518_es.pdf

Perevochtchikova, M.; Arellano-Monterrosas, J. 2008. Gestión de cuencas hidrográficas: experiencias y desafíos en México y Rusia., *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales.*, vol. 4, núm. 3, p 313-325.

Pladeyra, 2003, Estudio de paisajes hidrológicos y balance hídrico de la cuenca Lerma-Chapala, Instituto Nacional de Ecología, México.

Ramakrishna, B. 2019. Alternativas para siembra y cosecha de agua en territorios rurales. Unidad 4. (en línea, curso). Turrialba, Costa Rica. Consultado 20 sep. 2019. Disponible en <http://campusvirtual.catie.ac.cr/course/view.php?id=250>

Ramakrishna, B. 2019. Enfoques y alternativas tecnológicas para la conservación de suelos y agua. Unidad 2. (en línea, curso). Turrialba, Costa Rica. Consultado 20 sep. 2019. Disponible en <http://campusvirtual.catie.ac.cr/course/view.php?id=250>

Ramírez, C. 2011. El enfoque territorial del desarrollo desde la perspectiva municipal: Algunos problemas metodológicos y prácticos. *Análisis del medio rural latinoamericano.* p 39-64.

Rietbergen Mc Cracken, J., & Narayan, D. Participation and Social Assessment: tools and techniques. Washington: World Bank. 65-70 p

Rietbergen-McCracken, J.; Narayan, D. 1998. Participation and Social Assessment: Tools and Techniques. Washington, DC. The International Bank of Reconstruction and Development/the World Bank.

Ritchers, J. 1995. Manejo del uso de la tierra en América Central: hacia el aprovechamiento sostenible del recurso tierra. San José, C.R. IICA. 440 p.

Rodríguez, SR; Morales, WV, 2010. Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz: Geología. (en línea, sitio web). Xalapa, Veracruz. 22 p. Consultado 28 sep. 2019. Disponible en <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/9648/02GEOLOGIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sánchez, F. 2001, El ciclo hidrológico. Departamento de Geología. Salamanca España. Universidad de Salamanca España. http://hidrologia.usal.es/temas/Ciclo_hidrol.pdf

Schumm, SA. 1963. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. *In Bulletin of Geological Society of America*, 74, (9).

SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2003. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México: Compendio de Estadísticas Ambientales 2002. México.

SEMARNAT. 2003. Capítulo 3. Suelos; La degradación de los suelos en México (en línea). 20 p. Consultado 25 feb. 2020. Disponible en https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/03_suelos/cap3_2.html

Senciales, J.M. y E. Ferre. 1992. Análisis morfométrico de la cuenca del río Benamargosa (provincia de Málaga) en López B. F., C. Conesa y M.A. Romero: Estudios de Geomorfología en España. Actas de la II Reunión Nacional de Geomorfología, Murcia, S.E.G. 365-375 p.

SGM (SERVICIO GEOLOGICO MEXICANO). 2017. Vulcanismo. Consultado 28 sep. 2019. Disponible en <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Vulcanismo.html>

SSN (SERVICIO SISMOLÓGICO NACIONAL). 2019. Catálogo de sismos. Consultado 22 sep. 2019. Disponible en <http://www2.ssn.unam.mx:8080/catalogo/>

Tapella, E. 2007. El mapeo de Actores Claves, documento de trabajo del proyecto Efectos de la biodiversidad funcional sobre procesos ecosistémicos, servicios ecosistémicos y sustentabilidad en las Américas: un abordaje interdisciplinario. Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Córdoba, Inter-American Institute for Global Change Research.

Témez, J.R. 2003. Facetas del cálculo hidrometeorológico y estadístico de máximos caudales. Rev. Obras Púb. N°3.430, 47-51.

Umaña, E. 2002. Taller de capacitación educación ambiental con enfoque en manejo cuencas y prevención de desastres Módulo: Manejo de anejo de cuencas hidrográficas y protección de fuentes de agua.

Urrutia, A. 2004. Identificación de los Actores Claves para el Manejo Integrado de las Subcuencas de los ríos Los Hules, Tinajones y Caño Quebrado: primera Aproximación. Implementado con la Asistencia Técnica de la AED bajo contrato con la USAID https://rportal.net/library/content/Water_Watershed_Management/panama-documents/identificacion-de-actores-subcuencas-lh-t-y-cq-130904.pdf/view

Vélez Upegui JJ. y Botero Gutiérrez A. Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales. Universidad Nacional de Colombia. Consultado 31 ene. 2020. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v78n165/a06v78n165.pdf>

Watler, W. 2018. Sistema de clasificación del uso de las tierras (sistema USDA y esquema FAO). Unidad 2. (en línea, curso). Turrialba, Costa Rica. Consultado 25 sep. 2019. Disponible en <http://campusvirtual.catie.ac.cr/course/view.php?id=250>

Wischmeier, W. 1978. Use and misuse of the Universal Soil Loss Equation. Soil and Water Conseration, 31: 5-9.

Wischmeier, W; Smith, D. 1962. Soil estimation as a tool in soil and water management planning. In. AJIJC. Hydrol, 59: 148-159.

WOCAT. (2011). Donde la tierra es más verde. Estudios de caso y análisis de iniciativas de conservación de tierras y aguas en todo el mundo. Parte 2. Lininger, H., Critchley, W. (Eds.). WOCAT

9 Anexos

Listado florístico registrado en la microcuenca Río Sila.

Familia	Nombre científico	Nombre común	Forma biológica	Tipo de hábitat	Usos	Nativa, Endémica, Exótica	NOM 059	IUCN	CITES
Agavaceae	<i>Agave salmiana var. ferox</i>	Maguey manso o pulquero	Suculenta	Bosque inducido	Alimento, Forraje y Construcción	Nativa			
Anacardiaceae	<i>Schinus molle</i>	Pirul	Árbol	Matorral crasicaule	Medicinal y Farmacológico	Exótica			
Anthericaceae	<i>Echeandia leptophylla</i>	Coyamol	Hierba	Matorral crasicaule	Medicinal	Nativa y Endémica		LC	
Apiaceae	<i>Eryngium comosum</i>	Raíz del sapo	Hierba	Bosque de pino	Medicinal	Nativa y Endémica			
Apiaceae	<i>Apium leptophyllum/ Cyclosporum leptophyllum</i>	Apio silvestre	Hierba	Matorral crasicaule	Forraje y Medicinal	Nativa			
Asparagaceae	<i>Yucca filifera</i>	Palma pita, Izote	Árbol	Bosque de juniperus	Alimento, Forraje, Farmacéutico	Nativa y Endémica			
Asparagaceae	<i>Milla biflora</i>	Estrellita	Hierba	Matorral crasicaule	Ornamental y Medicinal	Nativa y Endémica			
Asteraceae	<i>Senecio saligmus</i>	Azomiate, Jarilla	Arbusto	Bosque de pino	Medicinal	Nativa			
Asteraceae	<i>Baccharis conferta</i>	Escoba, Azoyate	Arbusto	Bosque de encino	Medicinal y Elaboración de escobas	Nativa			
Asteraceae	<i>Zaluzania augusta</i>	Limpia tuna	Hierba	Bosque de encino	Medicinal y Elaboración de escobas	Nativa y Endémica			
Asteraceae	<i>Stevia serrata</i>	Burrillo	Hierba	Matorral crasicaule	Medicinal, Alimenticio y Catalizador	Nativa			
Asteraceae	<i>Taraxacum officinale</i>	Diente de león	Hierba	Pastizal	Medicinal, Melífera y Culinario	Exótica			
Asteraceae/Compositae	<i>Gnaphalium oxyphyllum/ Pseudognaphalium oxyphyllum</i>	Gordolobo	Hierba	Pastizal	Medicinal	Nativa			
Bromeliaceae	<i>Tillandsia recurvata</i>	Heno	Hierba	Bosque de encino, Matorral crasicaule	Medicinal y Ornamental	Nativa		LC	
Cactaceae	<i>Opuntia streptacantha</i>	Nopal cardón	Árbol	Matorral crasicaule	Alimento y Medicinal	Endémica		LC	
Cactaceae	<i>Opuntia robusta</i>	Nopal tapón	Árbol	Matorral crasicaule	Alimento, Forraje, Ornamental y Restauración de suelos	Endémica		LC	
Cactaceae	<i>Opuntia hyptiacantha</i>	Nopal cascarón	Árbol	Matorral crasicaule	Alimento, Ornamental y Forrajero	Endémica		LC	
Cactaceae	<i>Ferocactus sp</i>	Biznaga	Suculenta	Matorral crasicaule	Ornamental	Nativa y Endémica		LC	
Cactaceae	<i>Echinocactus sp</i>	Biznaga	Suculenta	Matorral crasicaule	Ornamental	Nativa			

Familia	Nombre científico	Nombre común	Forma biológica	Tipo de hábitat	Usos	Nativa, Endémica, Exótica	NOM 059	IUCN	CITES
Cactaceae	<i>Mammillaria rhodantha</i>	Biznaga de flores rosadas	Suculenta	Matorral crasicaule	Ornamental	Endémica		LC	
Casuarinaceae	<i>Casuarina equisetifolia</i>	Casuarina	Árbol	Bosque inducido	Agropecuario, Combustible-Biocomustible y Rehabilitación de suelos	Exótica		LC	
Cistaceae	<i>Helianthemum glomeratum</i>	Cenicillo amarillo	Hierba	Matorral crasicaule	Medicinal	Nativa			
Cupressaceae	<i>Juniperus deppeana</i>	Sabino o Táscate	Árbol	Bosque de juniperus	Aromatizante, Forrajero y Maderable	Nativa		LC	
Cupressaceae	<i>Juniperus fláccida</i>	Enebro triste	Árbol	Bosque de juniperus	Maderable	Nativa		LC	
Cupressaceae	<i>Juniperus monosperma</i>	Cedro	Árbol	Bosque de juniperus	Combustible y Medicinal	Nativa		LC	
Cupressaceae	<i>Cupressus lusitanica</i>	Cedro blanco	Árbol	Bosque inducido	Ornamental, Medicinal y Maderable	Nativa	Pr	LC	
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia dentata</i>	Hierba de la araña	Hierba	Matorral crasicaule	Artesanal y Forraje	Nativa			
Fabaceae	<i>Eysenhardtia polystachya</i>	Palo dulce	Árbol	Bosque de encino, Matorral crasicaule	Forraje y Medicinal	Nativa		LC	
Fabaceae	<i>Prosopis laevigata</i>	Mezquite	Árbol	Matorral crasicaule	Alimento, Forraje, Medicinal, Maderable y Controlador de erosión	Nativa		LC	
Fabaceae	<i>Acacia farnesiana</i>	Huizache	Árbol	Matorral crasicaule	Alimento, Forraje, Ornamental, Medicinal, Maderable y Controlador de erosión	Nativa			
Fabaceae	<i>Mimosa aculeaticarpa var. biuncifera</i>	Uña de gato	Arbusto	Matorral crasicaule	Restauración ecológica	Nativa			
Fabaceae	<i>Dalea reclinata</i>	Escoba silvestre de monte	Hierba	Matorral crasicaule	Forraje, Oranamental y Melífera	Nativa y Endémica			
Fabaceae	<i>Astragalus strigulosus</i>	Cola de borrego	Hierba	Matorral crasicaule	Medicinal	Nativa y Endémica			
Fagaceae	<i>Quercus rugosa</i>	Encino quiebra hacha	Árbol	Bosque de encino	Combustible y Reforestación	Nativa y Endémica		LC	
Fagaceae	<i>Quercus deserticola</i>	Encino blanco	Árbol	Bosque de encino	Maderable	Endémica		LC	APÉNDICE II
Hypoxidaceae	<i>Hypoxis mexicana</i>		Hierba	Bosque de encino		Nativa			APÉNDICE II
Iridaceae	<i>Sisyrinchium schaffneri</i>	Zacate de muela	Hierba	Bosque de encino		Endémica			APÉNDICE II
Lamiaceae	<i>Salvia elegans</i>	Mirto	Arbusto	Bosque de encino	Alimento y Medicinal	Endémica			

Familia	Nombre científico	Nombre común	Forma biológica	Tipo de hábitat	Usos	Nativa, Endémica, Exótica	NOM 059	IUCN	CITES
Lamiaceae	<i>Marrubium vulgare</i>	Marrubio	Hierba	Matorral crasicaule	Medicinal	Exótica			
Lamiaceae	<i>Salvia lavanduloides</i>	Alucema	Hierba	Bosque de pino	Ornamental, Alimento y forraje silvestre	Nativa y Endémica			
Liliaceae	<i>Calochortus barbatus</i>	Ayatito	Hierba	Matorral crasicaule	Ornamental	Nativa y Endémica			
Myrtaceae	<i>Eucalyptus globulus</i>	Alcanfor	Árbol	Bosque inducido	Medicinal	Exótica		LC	
Myrtaceae	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Eucalipto	Árbol	Bosque inducido	Maderable	Exótica		NT	
Nemastylis	<i>Nemastylis tenuis</i>	Zacaya	Hierba	Bosque de encino		Nativa			
Onagraceae	<i>Gaura coccinea</i>	Onagra de olor	Hierba	Matorral crasicaule	Medicinal	Nativa			
Onagraceae	<i>Oenothera rosea</i>	Hierba del golpe	Hierba	Matorral crasicaule	Medicinal	Nativa			
Oxalidaceae	<i>Oxalis corniculata</i>	Acedera	Hierba	Matorral crasicaule	Alimento	Nativa			
Papaveraceae	<i>Hunnemannia fumariifolia</i>	Amapola amarilla	Hierba	Bosque de encino	Ornamental	Nativa y Endémica			
Papaveraceae	<i>Argemone ochroleuca</i>	Cardo santo	Hierba	Matorral crasicaule	Medicinal y Colorante	Endémica			
Pinaceae	<i>Pinus montezumae</i>	Pino Chamaite, Ocote	Árbol	Bosque de pino	Maderable	Nativa		LC	
Pinaceae	<i>Pinus Ponderosa</i>	Pino Real Americano	Árbol	Bosque de pino	Maderable	Nativa		LC	
Pinaceae	<i>Pinus halepensis</i>	Pino halepo	Árbol	Bosque inducido	Reforestación y Maderable	Nativa		LC	
Pinaceae	<i>Pinus radiata</i>	Pino de Monterrey	Árbol	Bosque inducido	Industrial y Maderable	Nativa		EN	
Pinaceae	<i>Pinus gregii</i>	Pino prieto	Árbol	Bosque inducido	Restaurador de suelos y Ornamental	Nativa y Endémica		VU	
Poaceae	<i>Bouteloua gracilis</i>	Navajita	Hierba	Bosque de encino, Pastizal	Medicinal	Nativa			
Poaceae	<i>Sporobolus sp.</i>	Navajita azul	Hierba	Bosque de encino	Elaboración de escobas y Forraje	Nativa			
Poaceae	<i>Bouteloua triaena</i>	Zacate	Hierba	Matorral crasicaule	Forraje	Nativa y Endémica			
Poaceae	<i>Bouteloua hirsuta</i>	Navajita velluda	Hierba	Matorral crasicaule	Forraje	Nativa			
Poaceae	<i>Bouteloua simplex</i>	Navajita simple	Hierba	Matorral crasicaule	Forraje	Nativa			
Poaceae	<i>Buchloe dactyloides</i>	Zacate chino	Hierba	Matorral crasicaule	Forraje	Nativa			
Poaceae	<i>Muhlenbergia rigida</i>	Zacatón	Hierba	Matorral crasicaule	Forraje	Nativa			
Poaceae	<i>Muhlenbergia robusta</i>	Zacate de escobillas	Hierba	Matorral crasicaule	Artesanal y Forraje	Endémica			
Poaceae	<i>Aegopogon cenchroides</i>	Zacate barbón	Hierba	Pastizal	Forraje	Nativa		LC	
Poaceae	<i>Bothriochloa saccharoides</i>	Pasto blanco	Hierba	Pastizal	Forraje y Ornamental	Nativa			
Poaceae	<i>Bouteloua curtipendula</i>	Banderilla	Hierba	Pastizal	Forraje, Ornamental y Control de erosión	Nativa			
Poaceae	<i>Bromus porteri</i>	Bromo frondoso	Hierba	Pastizal	Forraje	Nativa			
Poaceae	<i>Festuca lívida</i>		Hierba	Pastizal	Forraje	Nativa			

Familia	Nombre científico	Nombre común	Forma biológica	Tipo de hábitat	Usos	Nativa, Endémica, Exótica	NOM 059	IUCN	CITES
Poaceae	<i>Hilaria cenchroides</i>	Espina negra	Hierba	Pastizal	Control de erosión	Endémica			
Poaceae	<i>Lycurus phleoides</i>	Zacate lobo	Hierba	Pastizal	Forraje y Controlador de erosión	Nativa			
Poaceae	<i>Muhlenbergia implicata</i>	Zacatón	Hierba	Pastizal	Forraje	Nativa			
Poaceae	<i>Sporobolus confusus/ Muhlenbergia confusa</i>	Liendrilla	Hierba	Pastizal	Forraje	Endémica			
Polemoniaceae	<i>Loeselia mexicana</i>	Espinosilla	Hierba	Bosque de pino	Medicinal	Nativa			
Polygonaceae	<i>Fallopia convolvulus</i>	Enredadera negra	Hierba	Matorral crasicaule	Medicinal	Exótica			APÉNDICE II
Pteridaceae	<i>Myriopteris aurea</i>	Helecho dorado	Hierba	Matorral crasicaule	Ornato	Nativa			
Pteridaceae	<i>Myriopteris myriophylla</i>	Helecho cola de zorra	Hierba	Matorral crasicaule	Ornato	Nativa			
Resedaceae	<i>Reseda luteola</i>	Acelguilla euroasiática	Hierba	Matorral crasicaule	Melífera	Exótica			
Rosaceae	<i>Crataegus sp</i>	Tejocote	Árbol	Bosque de encino	Alimenticio, Medicinal e Industrial	Nativa y Endémica		LC	
Rubiaceae	<i>Bouvardia ternifolia</i>	Trompetilla	Hierba	Bosque de pino, Matorral crasicaule	Medicinal	Nativa			
Scrophulariaceae	<i>Buddleja cordata</i>	Tepozán	Árbol	Bosque de encino	Medicinal	Nativa y Endémica			
Scrophulariaceae	<i>Lamourouxia dasyantha</i>	Chupamiel rosa	Hierba	Matorral crasicaule	Ritual y Ornamental	Endémica			
Selaginellaceae	<i>Selaginella pallescens</i>	Doradilla	Hierba	Matorral crasicaule	Medicinal	Nativa			
Solanaceae	<i>Jaltomata procumbens</i>	Jaltomate	Hierba	Matorral crasicaule	Alimento y Medicinal	Nativa			
Solanaceae	<i>Solanum nigrescens</i>	Hierba mora	Hierba	Matorral crasicaule	Medicinal	Nativa			
Talinaceae/Montiaceae	<i>Talinum napiforme/Phemeranthus napiformis</i>	Verdolaga	Hierba	Matorral crasicaule	Ornamental y Medicinal	Nativa			

LC: Preocupación menor; NT: Casi amenazada; EN: En peligro de extinción; démica; VU: Vulnerable

Listado faunístico registrado en la microcuenca Río Sila.

Grupo	Familia	Nombre científico	Nombre común	Hábitat	Procedencia	NOM 059	Iucn
ANFIBIOS	Bufoidea	<i>Anaxyrus compactilis</i>	Sapo de meseta	Zonas de arbustos tropicales o subtropicales y secos y marismas de agua dulce.	ENDÉMICA	NA	LC
	Bufoidea	<i>Incilius occidentalis</i>	Sapo de los pinos	Habita entre los 610 y 2400 m	ENDÉMICA	NA	LC
	Hylidae	<i>Hyla arenicolor</i>	Ranita de cañón	Zonas rocosas	ENDÉMICA	NA	LC
REPTILES	Phrynosomatidae	<i>Sceloporus torquatus</i>	Lagartija espinosa de collar	Viven entre las rocas, troncos y grietas.	ENDÉMICA	NA	LC
	Phrynosomatidae	<i>Sceloporus mucronatus</i>	Lagartija espinosa de grieta	Áreas rocosas con clima templado	ENDÉMICA	NA	LC
	Phrynosomatidae	<i>Sceloporus grammicus</i>	Lagartija espinosa del mezquite	Vive en áreas cubiertas por asociaciones vegetales de coníferas y encinares	ENDÉMICA	PR	LC
	Phrynosomatidae	<i>Phrynosoma orbiculare</i>	Camaleón de montaña	Esta especie se encuentra en zonas abiertas, entre plantas arbustivas crasas, pastos, yucas y plantas herbáceas	ENDÉMICA	A	LC
	Colubridae	<i>Pituophis deppei</i>	Alicante	El cincuate presenta preferencia por habitar en ambientes templados como los bosques de encino y de pino-encino, así como en ambientes áridos como el matorral xerófilo y chaparral.	ENDÉMICA	A	LC
	Colubridae	<i>Salvadora mexicana</i>	Culebra chata del pacífico	Se localizan en los bosques caducifolios y bosques subperenifolios, matorrales xerófilos y pastizales	ENDÉMICA	PR	LC
	Colubridae	<i>Conopsis lineata</i>	Culebra terrestre de centro	Su hábitat se compone de bosque tropical y subtropical húmedo y seco, y espacios abiertos como sabanas. Su rango altitudinal oscila entre 0 y 1500 msnm	ENDÉMICA	NA	LC
MAMÍFEROS	Felidae	<i>Lynx rufus</i>	Gato montes	Áreas boscosas, así como en ambientes semidesérticos, de borde urbano, de borde forestal y de pantanos.	ENDÉMICA	NA	LC
	Cervidae	<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado de cola blanca	Bosques secos de las laderas montañosas	NATIVA	NA	LC
	Didelphidae	<i>Didelphis virginiana</i>	Tlacuache nortero	Zonas cálidas y templadas de México	INTRODUCIDA	NA	LC
	Cricetidae	<i>Microtus mexicanus</i>	Metorito mexicano	Habita entre los 1200 a 4115 msnm. Bosque de coníferas.	NATIVA	NA	LC

Grupo	Familia	Nombre científico	Nombre común	Hábitat	Procedencia	NOM 059	Iucn
	Cricetidae	<i>Neotoma mexicana</i>	Rata cambalachera mexicana	Zonas de encino pino, tipo de suelo pedregoso	ENDÉMICA	NA	LC
	Cricetidae	<i>Peromyscus maniculatus</i>	Ratón ciervo	En alpinos, bosques boreales, desiertos, praderas, pastizales, zonas agrícolas y regiones áridas.	NATIVA	A	LC
	Sciuridae	<i>Otospermophilus variegatus</i>	Ardillón de roca	Pinos (<i>Pinus teocote</i>), cipreses (<i>Cupressus sp.</i>) y magueyes (<i>Agave sp.</i>)	ENDÉMICA	NA	LC
	Mephitidae	<i>Mephitis macroura</i>	Zorrillo listado sureño	Praderas, desiertos y en las estribaciones de las montañas	NATIVA	NA	LC
	Leporidae	<i>Sylvilagus cunicularius</i>	Conejo de monte	Bosques caducifolios tropical, templado y seco, matorrales densos, pastizales y tierras cultivadas o perturbadas	ENDÉMICA	NA	LC
	Leporidae	<i>Sylvilagus floridanus</i>	Conejo serrano	Bosques, pastizales, desiertos y campos de cultivo en altitudes desde 0 hasta más de 3000 msnm	NO ENDEMICA	NA	LC
	Cricetidae	<i>Peromyscus melanotis</i>	Ratón orejas negras	Altitudes mayor a 2500 msnm	ENDÉMICA	NA	LC
	Heteromyidae	<i>Heteromys irroratus</i>	Ratón espinoso mexicano	En matorrales secos en altitudes de hasta 3000 msnm	ENDÉMICA	NA	LC
	Canidae	<i>Canis latrans</i>	Coyote	Habita en una gran diversidad de ecosistemas, tropicales, templados y áridos	NO ENDEMICA	NA	LC
	Procyonidae	<i>Bassariscus astutus</i>	Cacomixtle norteño	Vive en zonas áridas y rocosas	ENDÉMICA	A	LC
AVES	Emberizidae	<i>Aimophila ruficeps</i>	Zacatonero Corona Canela	Arbustos y árboles bajos árticos, matorrales de sauce	NATIVA	NA	LC
	Corvidae	<i>Aphelocoma ultramarina</i>	Chara Transvolcánica	Bosques templados montañosos	ENDÉMICA	NA	LC
	Strigidae	<i>Bubo virginianus</i>	Búho cornudo	Bosques deciduos, bosques mixtos de pino-encino, manglares (<i>Avicennia</i>), bosques pantanosos, desiertos, páramos, vegetación secundaria, áreas abiertas asociadas a zonas boscosas, plantaciones de café y pastizales con árboles aislados	ENDÉMICA	NA	LC
	Caprimulgidae	<i>Antrostomus vociferus</i>	Tapacaminos Cuerporruín Norteño	Bosques de pinos y robles ubicados en montañas	ENDÉMICA	NA	NT
	Strigidae	<i>Athene cunicularia</i>	Tecolote llanero	Hábitats abiertos o semiabiertos como pastizales, praderas, y llanos	ENDÉMICA	NA	LC

Grupo	Familia	Nombre científico	Nombre común	Hábitat	Procedencia	NOM 059	Iucn
	Accipitridae	<i>Buteo jamaicensis</i>	Aguillilla cola roja	Zonas abiertas con árboles dispersos como en vegetación moderadamente cerrada	NO ENDEMICA	PR	LC
	Cathartidae	<i>Cathartes aura</i>	Zopilote aura	Habita una variedad de zonas abiertas y semiabiertas, incluyendo bosques subtropicales, matorrales, pastizales y desiertos	NATIVA	NA	LC
	Cuculidae	<i>Geococcyx californianus</i>	Correcamino norteño	Vegetación xerófito, de matorral desértico, matorral espinoso tamaulipeco, chaparral, etc.	NO ENDEMICA	NA	LC
	Parulidae	<i>Geothlypis trichas</i>	Mascarita común	Habitan en humedales con densa vegetación baja, y también se le puede encontrar en otras áreas con matorral denso	NO ENDEMICA	NA	LC
	Emberizidae	<i>Junco hyemalis</i>	Junco ojos negros	Bosques de coníferas y mixtos	NO ENDEMICA	P	LC
	Crapimulgidae	<i>Nyctidromus albicollis</i>	Chotacabras pauraque	Bosques tropicales y subtropicales, manglares tropicales, matorrales, pastizales, y plantaciones	NO ENDEMICA	NA	LC
	Tyrannidae	<i>Onychorhynchus mexicanus</i>	Mosquero real centroamericano	Selvas húmedas tropicales y de regiones bajas	ENDÉMICA	P	LC
	Odontophoridae	<i>Philortyx fasciatus</i>	Codorniz barrada	Vive en matorrales de zonas subtropicales, tropicales o semiáridas	ENDÉMICA	NA	LC
	Picidae	<i>Picoides scalaris</i>	Carpintero mexicano	Bosques templados y fríos de México	NATIVA	NA	LC
	Passerellidae	<i>Pipilo erythrophthalmus</i>	Toquí pinto	Bosques abiertos, matorrales y bordes de áreas con arbustos	ENDÉMICA	NA	LC
	Emberizidae	<i>Pipilo fuscus</i>	Rascador pardo	Lugares secos y templados, en desiertos, matorrales y bosques de montaña donde existen arbustos u hojarasca	NO ENDEMICA	NA	LC
	Troglodytidae	<i>Thryomanes bewickii</i>	Saltapared cola larga	Matorrales, maleza, jardines	NO ENDEMICA	NA	LC
	Mimidae	<i>Toxostoma curvirostre</i>	Cuittlacoche Pico Curvo	Vive en desiertos y zonas semidesérticas, en vegetaciones de matorrales, de arbustos y cactus	NO ENDEMICA	NA	LC
	Turdidae	<i>Turdus migratorius</i>	Mirlo primavera	Ciudades, pueblos, pastizales, tierras de cultivo, bosques	NO ENDEMICA	NA	LC

Grupo	Familia	Nombre científico	Nombre común	Hábitat	Procedencia	NOM 059	Iucn
	Accipitridae	<i>Accipiter cooperii</i>	Gavilán de cooper	Bosques maduros, de hojas anchas o grandes; también en bosques riparios, bosques de coníferas maduros, bosques de pino-encino, plantaciones de pino, bosques semiáridos, tierras con algunas partes abiertas y árboles espaciados y en algunos lugares cerca de ríos o lagos	NATIVA	PR	LC
	Tytonidae	<i>Tyto alba</i>	Lechuza de campanario	Bosques, arboledas, granjas, graneros, pueblos y acantilados	NO ENDEMICA	NA	LC

NA: No Aplica; A: Amenazada; PR: Sujeta a protección especial; LC: Preocupación menor; E: Endémica; NE: No endémica; NT: Casi amenazada.