



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

PROGRAMA DE POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

**PRIORIZACIÓN MULTINIVEL PARA PROYECTOS DE
CONSERVACIÓN DE SUELO Y AGUA DE LA SUBCUENCA
DEL RÍO SAN MARCOS**

IBETH LILIANA MARTÍNEZ TORRES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2017

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Ibeth Liliana Martínez Torres, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Dr. Enrique Ojeda Trejo, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis

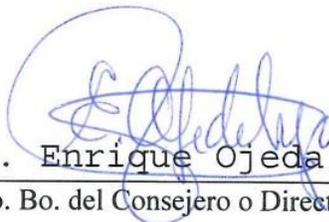
Priorización multinivel para proyectos de conservación de suelo y agua de la subcuenca del Río San Marcos

y de los producto de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 08 de noviembre de 2017



Firma del
Alumno (a)



Dr. Enrique Ojeda Trejo
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: “**Priorización multinivel para proyectos de conservación de suelo y agua de la subcuenca del río San Marcos**” realizada por la alumna: “**Ibeth Liliana Martínez Torres**”, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. ENRIQUE OJEDA TREJO

ASESOR



DR. MARIO ROBERTO MARTÍNEZ MENEZ

ASESOR



M.C. LENOM CAJUSTE BONTEMPS

Montecillo, Texcoco, Estado de México, 1 de diciembre de 2017.

PRIORIZACIÓN MULTINIVEL PARA PROYECTOS DE CONSERVACIÓN DE SUELO Y AGUA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN MARCOS

Ibeth Liliana Martínez Torres, M. en C.
Colegio de Postgraduados

RESUMEN

El problema de erosión de los suelos y las acciones para su control se han documentado ampliamente, pero aún prevalece el problema de priorización de zonas de atención para asignación de programas de gobierno. La presente investigación se enfocó en desarrollar una metodología multi escala de priorización de zonas de atención para conservación de suelo y agua a tres niveles: subcuenca, microcuenca y nano cuenca considerando los límites políticos estados-municipios, localidades y predios.

Para el nivel de subcuenca se utilizaron indicadores compuestos de tipo ambiental, económico y social aplicando el método de asignación presupuestaria. A nivel de microcuenca la priorización se realizó considerando la caracterización morfométrica, disponibilidad media anual de agua superficial, erosión de suelo, tasa de cambio de vegetación y uso de suelo, parámetros (social, económico, demográfico e infraestructura). Para la priorización de nano cuencas se utilizó la metodología de transectas de la Evaluación Local de Degradación de Tierras y se realizó un levantamiento fotogramétrico (orto mosaico) para determinar la Degradación de Suelo Causada por el Hombre.

A nivel de microcuenca el municipio prioritario para conservación de suelo y agua fue Acaxochitlán, Hidalgo, a nivel de microcuenca el resultando fue la microcuenca 17 la que resultó de mayor prioridad, en el tercer nivel fue prioritario trabajar en la nano cuenca 9 La Mesa, por lo que se concluye que es posible conciliar aspectos sociales, ambientales, económicos y demográficos bajo un enfoque de territorio (cuenca) para priorizar así zonas de atención de acuerdo al nivel y escala requerida, en este caso para su utilización en políticas públicas enfocadas a la conservación de suelo y agua.

Palabras clave: Erosión hídrica, fotointerpretación, dron, nano cuenca.

MULTILEVEL PRIORITIZATION FOR SOIL AND WATER CONSERVATION PROJECTS OF THE SAN MARCOS RIVER SUBCUENCA

Ibeth Liliana Martínez Torres, M. en C.
Colegio de Postgraduados

ABSTRACT

The problem of soil erosion and the actions for its control have been widely documented, but the problem of prioritizing areas of attention for allocation of government programs still prevails. The present investigation focused on developing a multi-scale methodology of prioritization of attention zones for soil and water conservation at three levels: sub-basin, micro-basin and nano basin, considering the political boundaries of states-municipalities, localities and properties.

For the sub-basin level, composite indicators of environmental, economic and social type were used, applying the budgetary allocation method. At the microwatershed level, prioritization was made considering the morphometric characterization, average annual availability of surface water, soil erosion, rate of vegetation change and land use, parameters (social, economic, demographic and infrastructure). For the prioritization of nano basins, the transect methodology of the Local Assessment of Land Degradation was used and a photogrammetric survey (ortho mosaic) was carried out to determine the soil degradation caused by man.

At the microwatershed level, the priority municipality for soil and water conservation was Acaxochitlán, Hidalgo, at the microwatershed level, the result was the microbasin 17, which was the highest priority, at the third level it was a priority to work on the nano basin 9 La Mesa, so it is concluded that it is possible to reconcile social, environmental, economic and demographic aspects under a territorial approach (basin) to prioritize areas of attention according to the level and scale required, in this case for use in public policies focused on the conservation of soil and water.

Keywords: Water erosion, photointerpretation, drone, nano cuenca.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo para la realización de estudios de maestría

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillos por la oportunidad para seguirme formando. A los doctores Enrique Ojeda Trejo, Mario R. Martínez Menez y Lenom Cajuste Bontemps por la paciencia y apoyo en todo momento.

A IGA Ingeniería Geoespacial Aplicada S.A. de C.V. por facilitar el uso del Vehículo Aéreo No Tripulado, así como el equipo para el procesamiento de información.

Fue a Emanuel Carballo a quien Nellie le dijo:

“Amar al pueblo no es sólo gritar con él en fiestas patrias, ni hacer gala de hombría besando una calavera de azúcar, ni rayar un caballo, ni deglutir de un sorbo media botella de tequila. Amar a nuestro pueblo es enseñarle el abecedario, orientarlo hacia cosas bellas, por ejemplo, hacia el respeto a la vida, a su propia vida y, claro está, a la vida de los demás: enseñarle cuáles son sus derechos y cómo conquistar estos derechos .

En fin, enseñarle con la verdad, con el ejemplo que nos han legado los grandes mexicanos, esos ilustres mexicanos a los cuales no se les hace justicia. ¿Será porque no hemos tenido tiempo? ¿Porque los ignoramos? Se podría decir: ¿Porque no sabemos?

Elena Poniatowska

Las siete cabritas.

DEDICATORIA

*Para todas aquellas personas que me han apoyado aún en los peores momentos
y más aún para quienes me han hecho crecer.*

Agosto 1

Madre nuestra que estás en la tierra

En los pueblos de los Andes, la madre tierra, la Pachamama, celebra hoy su fiesta grande. Bailan y cantan sus hijos, en esta jornada inacabable, y van convidando a la tierra un bocado de cada uno de los manjares de maíz y un sorbito de cada uno de los tragos fuertes que les mojan la alegría.

Y al final, le piden perdón por tanto daño, tierra saqueada, tierra envenenada, y le suplican que no los castigue con terremotos, heladas, sequías, inundaciones y otras furias.

Ésta es la fe más antigua de las Américas

Así saludan a la madre, en Chiapas, los mayas tojolabales:

*Vos nos das frijoles,
Que bien sabrosos son
Con chile, con tortilla.
Maíz nos das, y buen café
Madre querida,
Cuídanos bien, bien.
Y que jamás se nos ocurra
Venderte a vos.*

Ella no habita el Cielo. Vive en las profundidades del mundo, y allí nos espera: la tierra que nos da de comer es la tierra que nos comerá.

Eduardo Galeano - Los Hijos de los Días

CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE FIGURAS	xv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	3
III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	4
3.1 Objetivo general.....	4
3.2 Objetivos específicos.....	4
3.3. Hipótesis.....	5
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
4.1 Experiencias de planeación y manejo de recursos naturales a nivel mundial.....	5
4.1.1 Formulación de planes de Desarrollo Regional Integrado en Estudios de Recursos Naturales en República Dominicana.....	5
4.1.2 Experiencias de Planeación Participativa enfocada al sector primario en América Latina	6
4.1.3 Estrategia de Innovación Rural Participativa (IRP) Colombia.....	7
4.1.4. Programa de Manejo de Recursos Naturales Colombia	9
4.1.5. Evaluación Local de la Degradación de Tierras Áridas (LADA).....	9
4.2. Experiencias de planeación y manejo de recursos naturales en México.....	11
4.3 Construcción de índices compuestos.....	19
4.3.1 Requerimientos técnicos	21
4.3.2 Etapas en la construcción de indicadores compuestos.....	23

4.3.3 Tipo de indicadores o índices compuestos.....	24
V. METODOLOGÍA.....	29
5.1 Descripción de área de estudio.....	29
5.2. Nivel 1. Subcuenca: priorización de estados y municipios. Método de asignación presupuestaria (Budget Allocation-BA)	30
5.2.1. Construcción de indicadores sociales, ambientales, económicos simples y compuestos.....	30
5.2.2. Método de asignación presupuestaria (Budget Allocation-BA)	30
5.3 Nivel 2. Microcuencas: priorización de localidades. Comparación de indicadores agua, suelo, vegetación y social, económico, demográfico e infraestructura	37
5.3.1 Delimitación de microcuencas	37
5.3.2 Caracterización morfométrica de microcuencas	37
5.3.3 Erosión Hídrica Actual (2015) (RUSLE 3D)	40
5.3.4 Tasa de cambio de vegetación y uso de suelo	43
5.3.5 Disponibilidad media anual de agua superficial	50
5.3.6 Análisis clúster de Indicadores Social – Económico – Demográfico y de Infraestructura	53
5.4. Nivel 3. Nano cuenca: priorización de predios. Evaluación cualitativa de la degradación de tierras	55
5.4.1 Caracterización de transectas.....	55
5.4.2 Muestreo de suelos.....	56
5.4.3 Delimitación de nano cuencas	57
5.5 Levantamiento fotogramétrico y degradación de suelo causada por el hombre en nano cuenca 9 La Mesa	57
VI. RESULTADOS	63

6.1. Nivel 1. Subcuenca: Priorización de estados y municipios.....	63
6.2. Nivel 2. Microcuencas: priorización de localidades	70
6.2.1 Caracterización morfométrica.....	70
6.2.2 Erosión de suelo.....	74
6.2.3 Tasa de cambio de vegetación y uso de suelo	80
6.2.4 Disponibilidad media anual de agua superficial	82
6.2.5 Análisis Clúster.....	82
6.3. Nivel 3. Nano cuenca: priorización de predios. Evaluación cualitativa de la degradación de tierras	86
6.3.1 Caracterización de transectas.....	86
6.3.2 Muestreo de suelos.....	93
6.3.3 Degradación de suelo causada por el hombre.....	93
6.3.4 Delimitación de nano cuencas	97
6.3.5 Levantamiento fotogramétrico y degradación de suelo causada por el hombre de nano cuenca 9 La Mesa.....	100
VII. CONCLUSIONES	107
VIII. LITERATURA CITADA	108
IX. ANEXOS.....	115

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Fases de ejecución de la metodología de Mejoramiento Tecnológico Participativo.	8
Cuadro 2. Condiciones básicas de un indicador compuesto.....	22
Cuadro 3. Indicadores compuestos, tipos y métodos de agregación.	25
Cuadro 4. Escala de preferencias para valoración de AHP.	26
Cuadro 5. Métodos de normalización para indicadores simples y compuestos.	28
Cuadro 6. Indicadores para la priorización de microcuencas de la subcuenca del río San Marcos RH27Cb.	30
Cuadro 7. Pesos de cada sector o indicador.....	32
Cuadro 8. Clases de valores de compacidad.....	38
Cuadro 9. Clases de densidad de drenaje.	39
Cuadro 10. Características del tipo de uso de suelo.	51
Cuadro 11. Densidad mínima recomendada de estaciones pluviométricas y densidad de estaciones de la región (microcuenca 16 y 17), Hidalgo.....	52
Cuadro 12. Valores de K para uso de suelo.....	52
Cuadro 13. Análisis de laboratorio realizados a las muestras de suelo de la microcuenca Acaxochitlán, Hidalgo.....	56
Cuadro 14. Datos de puntos de control terrestre tomados en la nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.	57
Cuadro 15. Variables climáticas de la estación Acaxochitlán, Hidalgo del día 21 de marzo de 2017.....	58
Cuadro 16. Parámetros de clasificación de degradación de suelo causada por el hombre. .	62
Cuadro 17. Parámetros de clasificación de degradación de suelo causada por el hombre (continuación).....	62

Cuadro 18. Estados y municipios de la subcuenca del río San Marcos.....	63
Cuadro 19. Resultados de priorización por dimensión, estado y área con más alta convertibilidad.....	65
Cuadro 20. Parámetros morfométricos de las microcuencas 16 y 17, Acaxochitlán, Hidalgo.	70
Cuadro 21. Relación de bifurcación de las microcuencas 16 y 17, Acaxochitlán, Hidalgo.	71
Cuadro 22. Pérdida de suelo y características de las localidades de la microcuenca 16, Acaxochitlán, Hidalgo.....	75
Cuadro 23. Pérdida de suelo y características de las localidades de la microcuenca 17, Acaxochitlán, Hidalgo (Parte I).....	76
Cuadro 24. Pérdida de suelo y características de las localidades de la microcuenca 17, Acaxochitlán, Hidalgo (Parte II).	77
Cuadro 25. Resumen de la situación de cambio en las microcuencas 16 y 17.....	80
Cuadro 26. Clases de conglomerados de la microcuenca 16 Acaxochitlán, Hidalgo.	83
Cuadro 27. Clases de conglomerados de la microcuenca 17 Acaxochitlán, Hidalgo.	83
Cuadro 28. Resumen de indicadores para priorización de microcuencas de Acaxochitlán, Hidalgo.	85
Cuadro 29. Transecta 1 Acaxochitlán – Tlatempa de la microcuenca 17, Hidalgo.	89
Cuadro 30. Transecta 2 Acaxochitlán – Chimalapan de la microcuenca 17, Hidalgo.	90
Cuadro 31. Transecta 3 Acaxochitlán – Los Reyes microcuenca 17, Hidalgo.	91
Cuadro 32. Transecta 4 Acaxochitlán – La Mesa de la microcuenca 17, Hidalgo.....	92
Cuadro 33. Resultados de laboratorio de muestreo de suelos de la microcuenca 17, Acaxochitlán, Hidalgo.....	93
Cuadro 34. Degradación de suelo causada por el hombre a nivel de faceta terrestre de la microcuenca 17 Acaxochitlán, Hidalgo.....	94

Cuadro 35. Superficie y localidades de las nano cuencas que integran la microcuenca 17 Acaxochitlán, Hidalgo.	97
Cuadro 36. Tipos de degradación de los suelos de la microcuenca 17 Acaxochitlán, Hidalgo.	99
Cuadro 37. Uso de suelo y vegetación de la nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.	101
Cuadro 38. Tipo de degradación de suelo causada por el hombre y vegetación o uso de suelo asociada de la nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.	103
Cuadro 39. Resultados de los indicadores de priorización de la subcuenca del río San Marcos (parte I).	118
Cuadro 40. Resultados de los indicadores de priorización de la subcuenca del río San Marcos (parte II).	119
Cuadro 41. Grado de priorización de los indicadores de la subcuenca del río San Marcos (parte I).	120
Cuadro 42. Grado priorización de los indicadores de la subcuenca del río San Marcos (parte II).	121
Cuadro 43. Índice de importancia de los indicadores de priorización de la dimensión social.	122
Cuadro 44. Índice de importancia de los indicadores de priorización de la dimensión económica.	123
Cuadro 45. Índice de importancia de los indicadores de priorización de la dimensión ambiental.	124
Cuadro 46. Tasa de cambio en vegetación y uso de suelo microcuenca 16.	125
Cuadro 47. Tasa de cambio en vegetación y uso de suelo microcuenca 17.	126
Cuadro 48. Datos del cálculo de escurrimiento medio anual de la microcuenca 16.	129
Cuadro 49. Datos del cálculo de escurrimiento medio anual de la microcuenca 17.	129

Cuadro 50. Volumen de aprovechamientos superficiales de la microcuenca 16.	129
Cuadro 51. Volumen de aprovechamientos superficiales de la microcuenca 17.	130
Cuadro 52. Estaciones con datos de precipitación promedio anual (mm) e interpolación de datos de las microcuencas 16 y 17, Acaxochitlán, Hidalgo (Parte I).	134
Cuadro 53. Estaciones con datos de precipitación promedio anual (mm) e interpolación de datos de las microcuencas 16 y 17, Acaxochitlán, Hidalgo (Parte II).	135
Cuadro 54. Estaciones con datos de precipitación promedio anual (mm) e interpolación de datos de las microcuencas 16 y 17, Acaxochitlán, Hidalgo (Parte III).	136

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metodología de la estrategia de Innovación Rural Participativa.	8
Figura 2. Módulo demostrativo de conservación de suelos en el Rancho de la Flor.	12
Figura 3. Metodología establecida para el desarrollo de proyectos de restauración hidrológica ambiental en cuencas.	17
Figura 4. Ubicación del área de estudio, municipio de Acaxochitlán, Hidalgo.	29
Figura 5. Tipos de curvas hipsométricas.	39
Figura 6. Regiones de erosividad de la lluvia.	42
Figura 7. Generación de falso color de imágenes de satélite (izquierda) y resultado de la composición de falso color (derecha).	45
Figura 8. Proceso de segmentación (izquierda) y parámetros de cálculo (derecha).	45
Figura 9. Herramienta SEGTRAIN.	46
Figura 10. Proceso de SEGTRAIN (izquierda) e imagen en falso color con la segmentación (derecha).	47
Figura 11. Generación de campos de entrenamiento.	47
Figura 12. Procedimiento de clasificación supervisada, herramienta maxlike.	48
Figura 13. Resultado de clasificación supervisada.	48
Figura 14. Herramienta SEGCLASS.	49
Figura 15. Resultado de herramienta SEGCLASS.	49
Figura 16. Recorrido hipotético de dos transectas con distintos Tipos de Uso de la Tierra.	55
Figura 17. Programación de rutas de vuelo de la nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.	58
Figura 18. Fotografías aéreas con UAV y puntos de control terrestre de la nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.	59

Figura 19. Cámaras calibradas (verde) y no calibradas (rojo) de la nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.	60
Figura 20. Nube de puntos densa con puntos de control terrestre de la nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.	60
Figura 21. Priorización social de municipios de la subcuenca del río San Marcos.....	66
Figura 22. Priorización económica de municipios de la subcuenca del río San Marcos.....	67
Figura 23. Priorización ambiental de municipios de la subcuenca del río San Marcos.	68
Figura 24. Priorización económica de municipios de la sub	68
Figura 25. Priorización final de municipios de la subcuenca del río San Marcos.....	69
Figura 26. Perfil longitudinal de la microcuenca 16, Acaxochitlán, Hidalgo.	72
Figura 27. Perfil longitudinal del cauce de la microcuenca 17, Acaxochitlán, Hidalgo.	72
Figura 28. Microcuencas 16 y 17 del municipio de Acaxochitlán, Hidalgo.	73
Figura 29. Erosión en la localidad la Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.	74
Figura 30. Erosión hídrica y grado de marginación de las microcuencas 16 y 17, Acaxochitlán, Hidalgo.....	78
Figura 31. Erosión hídrica y población total de las microcuencas 16 y 17, Acaxochitlán, Hidalgo.	79
Figura 32. Situación de cambio de uso 2000 – 2016 de las microcuencas 16 y 17, Acaxochitlán, Hidalgo.	81
Figura 33. Disponibilidad media anual de agua superficial de las microcuencas 16 y 17. .	82
Figura 34. Dendrograma que utiliza un enlace Ward, combinación de clúster de sustancias re-escalada.....	84
Figura 35. Matriz ANOVA.....	85
Figura 36. Degradación de suelo (tipo 1) de la microcuenca 17, Acaxochitlán, Hidalgo...	88
Figura 37. Transectas de la microcuenca 17, Acaxochitlán, Hidalgo.	88

Figura 38. Degradación de suelo (tipo 1) de la microcuenca 17, Acaxochitlán, Hidalgo...	95
Figura 39. Degradación de suelo (tipo 2) de la microcuenca 17, Acaxochitlán, Hidalgo...	96
Figura 40. Degradación de suelo de la nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo. ..	97
Figura 41. Nano cuencas de la microcuenca 17, Acaxochitlán, Hidalgo.	98
Figura 42. Arado tracción animal en zona de cárcavas dentro de la nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.	101
Figura 43. Erosión hídrica de tipo fuerte Hs3.00(+), de la nanocuanca 9.	102
Figura 44. Ortofoto de nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.	104
Figura 45. Uso de suelo de nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.	105
Figura 46. Degradación de suelo causada por el hombre de nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.	106
Figura 47. Municipios pertenecientes a la subcuenca del río San Marcos.	115
Figura 48. Microcuencas pertenecientes a la subcuenca del río San Marcos.	116
Figura 49. Convertibilidad agropecuaria municipal de la subcuenca del río San Marcos.	117
Figura 50. Convertibilidad agropecuaria de los municipios pertenecientes a la subcuenca del río San Marcos.	118
Figura 51. Uso de suelo del año 2000 de las microcuencas 16 y 17, Acaxochitlán, Hidalgo.	127
Figura 52. Uso de suelo del año 2016 de las microcuencas 16 y 17, Acaxochitlán, Hidalgo.	128
Figura 53. Formato de encuesta a productores (parte 1).	131
Figura 54. Formato de encuesta a productores (parte 2).	132
Figura 55. Formato de encuesta a productores (parte 3).	133

I. INTRODUCCIÓN

El sector agropecuario en México enfrenta hoy en día diversos problemas, como la degradación de suelos, el abatimiento de la fertilidad y capacidad productiva que originan bajos rendimientos de los cultivos e inciden en la pobreza de la población en el medio rural. Para atenuar estos problemas el gobierno federal a través de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGARPA) ha establecido variedad de políticas públicas y programas de apoyo al campo, como son los de fomento a la agricultura y desarrollo rural (SAGARPA, 2015), diseñado para incrementar la producción y productividad de las unidades económicas rurales agrícolas y el componente de Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua (COUSSA) cuyo objetivo es apoyar las zonas con mayor grado de deterioro, escasez o sobre explotación de sus recursos productivos primarios (suelo, agua y vegetación) y con alto grado de marginación, así como, los programas para el mejoramiento y conservación de terrenos forestales que opera la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) dependiente de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

La operación de programas de apoyo para conservación de recursos naturales son definidos en reglas de operación que publica cada secretaría de estado, donde se define a la población objetivo, los conceptos de apoyo y municipios prioritarios. Los recursos económicos se entregan como subsidios a los productores quienes aportan solo un bajo porcentaje y aceptan el concepto de apoyo para la conservación de suelo y agua o mejoramiento o la restauración de suelos, así como los apoyos que les dan para la elaboración de proyectos.

La operación de los programas se rigen a nivel federal y se operan a nivel estatal con los gobiernos de los estados o con dependencias del sector encargadas de estas funciones. La priorización de las acciones se rige por los montos y conceptos de apoyos, son los prestadores de servicios profesionales y los despachos técnicos quienes en coordinación con las dependencias estatales y federales realizan la promoción de los apoyos y elaboran los proyectos sin que exista una metodología bien definida de priorización para la asignación de recursos y sin contar con una planeación participativa con los beneficiarios.

Esta situación ha originado que se realicen acciones, se cumplan las metas, se atienda a la población objetivo, pero no se ha logrado un apoderamiento de los proyectos y lo que es más crítico es que no existe una metodología bien definida para la implementación de los programas de conservación de suelos en zonas agrícolas, ganaderas y forestales que conlleve a un uso eficiente de los escasos recursos destinados a estos programas.

El aislamiento en la operación de los programas refleja una carencia de planeación desde el territorio y en una clara desarticulación de los programas en las zonas marginadas, los programas “ocurren” y no “concurren como una estrategia que vincula a diferentes sectores que atienden un mismo problema en el territorio. Los habitantes de los territorios marginados no participan activamente en la planeación de su desarrollo, son receptores pasivos de la mayoría de los programas (IICA, 2012).

Debido a esto se ha detectado como necesidad realizar estudios a nivel regional que sustenten técnicamente y socialmente la orientación de apoyos. La presente investigación se centra en la elaboración de una metodología de priorización basado en el enfoque de cuenca utilizando indicadores ambientales, sociales, económicos y de infraestructura, para ello se tomó como área de estudio la subcuenca del río San Marcos.

El desarrollo metodológico se plantea en tres niveles; en primero es regional (subcuenca) que corresponde a la visión del sector gubernamental en cuanto a que estados y municipios son prioritarios de atención, el segundo es local (microcuenca) para ubicar aquellas localidades, para finalmente llegar al tercero nivel que corresponde a parcela (nano cuenca), para llegar a definir de manera precisa las zonas que requieren mayor atención para proyectos productivo conservacionista que pueden resolver los problemas de degradación de suelos.

II. JUSTIFICACIÓN

En México, garantizar la producción de alimentos y erradicar la pobreza se ubica en nuevos escenarios del desarrollo y de desigualdad, avances tecnológicos, velocidad en la difusión de la información en un entorno de globalización y nuevas políticas públicas (Torres, 2002). Aun cuando no puede establecerse una relación directa de la degradación ambiental con la pobreza o el crecimiento económico, existen diversos estudios que se orientan a hacer evidente ese vínculo, ya sea como causa o como una posible solución para superarla (CONEVAL, 2016). En los últimos 20 años el sector primario de la economía es el que presenta menor dinamismo, pues es ahí en donde menor inversión y más carencias enfrentan y particularmente en el ámbito de la pequeña producción, el crecimiento promedio anual del PIB para este sector entre 1994 y 2014 es de 1.8% anual.

En lo referente a la situación ambiental a nivel nacional el 64% de los suelos en México presentan algún signo de degradación (INE, 2011). Las principales causas de la degradación de los suelos en México son la deforestación (24%), el cambio de uso de suelo (25%), el sobrepastoreo (25%) y las prácticas agrícolas ineficientes (16%) (SEMARNAT, 2005). Esta situación en términos económicos significa que se están perdiendo por lo menos el equivalente de 38.3 a 54.5 USD\$/ ha (Cotler *et al.*, 2007). Es un escenario grave pues se trata del empobrecimiento de los recursos suelo y agua que en el sector rural que son sustento de actividades productivas, donde al menos el 60% del ingreso familiar de las áreas rurales marginadas depende de la producción agropecuaria, el 74.25% de las Unidades Económicas de Rurales (UEP, de transición y subsistencia) orientan su producción para autoconsumo hablando de la agricultura familiar en México (SAGARPA-FAO, 2013), lo anterior solo refleja la importancia del suelo y agua no solo como recursos ambientales sino también como su degradación incide en otros problemas de tipo económico y social.

Han sido diversas las estrategias utilizadas para atacar esta problemática, sin embargo, el diseño de políticas públicas requiere conciliar aspectos sociales, ambientales y económicos bajo un enfoque territorial, debido a que cualquier decisión sobre el manejo, aprovechamiento de recursos naturales implica un impacto en los otros sectores, pese a ello

no son considerados, ya que se prioriza la atención a la sociedad considerando solo el aspecto económico o social. El propio CONEVAL reconoce la dificultad de integrar la política social, ni el CONEVAL ni los programas sociales, ni aquellos diseñados para abatir la pobreza, consideran la información sobre el estado de los ecosistemas o el entorno ambiental. Por ejemplo, no existe una evaluación de los vínculos, ni la congruencia que debe haber entre los programas de protección implementados por la SEMARNAT, y los programas de la SEDESOL. (Informe de Evaluación de la Política de Desarrollo Social 2010).

Los tomadores de decisiones de los sectores social y hacendario, deberían incorporar a la sustentabilidad ambiental como un eje de la política pública y considerarlo un criterio rector en el fomento institucional de las actividades productivas, porque como ya se ha expresado, las personas en situación de pobreza son especialmente dependientes de los bienes ambientales y son más vulnerables a los riesgos ambientales (PNUMA, 2013).

III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1 Objetivo general

- Desarrollar una metodología de planeación multi escala con indicadores a tres niveles para priorización de zonas de atención de conservación de suelo y agua.

3.2 Objetivos específicos

- Generar índices compuestos a nivel de la subcuenca del río San Marcos para la priorización de municipios de atención para conservación de suelo y agua.
- Generar tres indicadores ambientales y un indicador social compuesto a nivel de microcuenca para priorizar localidades con necesidades de conservación de suelo y agua.
- Cartografiar la degradación del suelo utilizando fotogrametría UAV a nivel de nano cuenca en función de los usos del suelo definiendo las áreas degradadas que requieren conservación del suelo y agua.

3.3. Hipótesis

- 🌐 La generación de índices compuestos permite mezclar información cualitativa y cuantitativa de aspectos ambientales, económicos y sociales para identificar áreas que requieren mayor atención en cuanto a conservación de suelo y agua.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

Se realiza un análisis de las políticas de conservación de recursos naturales a nivel mundial, enfocando en experiencia en Latinoamérica la cual conserva similitudes con México, experiencias basadas en estudios ambientales y con un enfoque participativo, por otra parte, se analiza la política de conservación de suelo en México, desde sus inicios en 1940 hasta 2016, centrándose en el tipo de planeación que se realizó para destinar recursos económicos.

4.1 Experiencias de planeación y manejo de recursos naturales a nivel mundial

4.1.1 Formulación de planes de Desarrollo Regional Integrado en Estudios de Recursos Naturales en República Dominicana

El estudio de caso de la República Dominicana comprende la descripción de tres estudios llevados a cabo con propósitos diferentes pero relacionados (OEA, 1984); El Inventario de Recursos Naturales (1964-1966) creó una base de datos de recursos nacionales para la planificación del desarrollo, ayudó a los planificadores a identificar proyectos para implementación inmediata, y permitió al gobierno planear actividades de desarrollo a un plazo más largo para las zonas ricas en recursos.

Trabajando con la Oficina Nacional de Planificación, el equipo produjo mapas integrados que contenían datos sobre vegetación, uso de la tierra, hidrología, geología, suelos y capacidad productiva de la tierra, distribución de población y redes de transporte. También propuso proyectos de estudios sobre riego, drenaje, control de inundaciones, diversificación de cultivos y producción agrícola, así como programas de investigación en desarrollo minero, evaluación de recursos de agua subterránea.

El Plan de Acción de Desarrollo de la Línea Noreste (1973-1975) para ayudar a revitalizar la economía regional y crear un modelo de planificación para la región. El Distrito ayudó a la Secretaría Técnica de la Presidencia y al Ministerio de Agricultura a formular un plan de acción que incluía 18 proyectos de inversión organizados en cuatro programas. Las inversiones propuestas se concentraban en silvicultura, minería suelos y conservación de agua, producción agrícola, investigación ganadera, extensión y crédito agrícola, telecomunicaciones, caminos rurales, educación, cooperativas y turismo.

El tercer estudio (1978-1979) fue diseñado para crear una estrategia general de desarrollo para la región de Cibao y una estrategia más afinada para la subregión oriental incluida dentro del CIBAO, trabajando con ONAPLAM, el DDR propuso 130 proyectos de inversión en agricultura, silvicultura, minería, agroindustria, recursos hídricos, turismo, conservación de recursos, servicios sociales y construcción de caminos. Mediante políticas y propuestas de mecanismos para la consolidación de instituciones, estos proyectos se ligaron con la estrategia de desarrollo social, económico y espacial.

Todos estos estudios demuestran los beneficios de crear una base de planificación del desarrollo a través de un inventario de recursos naturales, la finalidad fue ayudar a los funcionarios a identificar proyectos de desarrollo y justificar los estudios de inversión relacionados con los mismos. Esas entidades dispusieron de capacidad técnica para identificar, asignar prioridades, seleccionar e implementar proyectos y además están en condiciones de apreciar la importancia de planificar proyectos complementarios en un espacio limitado para multiplicar su correspondiente impacto colectivo, que es la esencia del desarrollo regional.

4.1.2 Experiencias de Planeación Participativa enfocada al sector primario en América Latina

Varias experiencias en América Latina han acogido este nuevo planteamiento y han ejecutado procesos exitosos que involucran a los agricultores como sus protagonistas. Entre ellos están: el caso Campesino a Campesino de la Universidad Nacional Agraria de Nicaragua; los Comités de Investigación Agrícola Local (CIAL) en centro y sur América, promovidos y acompañados por el CIAT-IPRA; los grupos de agricultores experimentadores

apoyados por el Programa Regional de Investigación Agrícola de Granos Básicos (PRIAG); grupos de productores que aplican manejo integrado de plagas (MIP), promovidos por el proyecto MIP-CATIE/NORAD en Nicaragua; las escuelas de campo de agricultores (ECA's), iniciadas por FAO y ejecutadas en centro y sur América; el Programa de Fito mejoramiento Participativo con pequeños agricultores en Cuba, auspiciado por el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA); así como la experiencia de Innovación Tecnológica e Investigación Participativa Revalorizada, acompañada en Bolivia por la Universidad Agroecológica de Cochabamba (AGRUCO), entre otros (Prins, 2005).

4.1.3 Estrategia de Innovación Rural Participativa (IRP) Colombia

Estrategia desarrollada por la Corporación para el Desarrollo Participativo y Sostenible de los Pequeños Productores Rurales (Corporación PBA) en Colombia. Este enfoque inicia en la finca de cada uno de los agricultores y asciende hacia la vereda, el municipio, la provincia y el departamento hasta finalizar en el conjunto de la región, con lo que garantiza la recolección de iniciativas y el establecimiento de prioridades y necesidades, que en la dinámica propia del avance de cada uno de ellas se convierten en objetivo final de cada trabajo en desarrollo (Perry, 2003) (Cuadro 1 y Figura 1).

Los momentos clave de la metodología se plantean de la siguiente manera:

- 📍 Identificación de los lugares de intervención
- 📍 Identificación de los actores locales (comunidades, instituciones).
- 📍 Promoción (creación de condiciones locales, socialización, divulgación, primeros talleres).
- 📍 Creación de Grupos Participativos Locales (GPL) y promoción del desarrollo organizativo.
- 📍 Formulación participativa de proyectos
- 📍 Investigación agrícola participativa, dirigida en especial al mejoramiento tecnológico participativo.
- 📍 Empoderamiento
- 📍 Desarrollo empresarial
- 📍 Expansión de nuevas comunidades.

Esta metodología si bien incluye la conservación de la agro biodiversidad no contempla la realización de una línea base ni una valoración de los recursos ambientales con los que se

cuenta el sitio para su mejoramiento o aprovechamiento, es un método social desarrollado con la finalidad de impulsar el aspecto económico y social de los pequeños productores. A reserva de poder ser mejorado con la realización de una valoración participativa de la situación ambiental, social y económica que permita posterior análisis y evaluación de cumplimiento de metas.

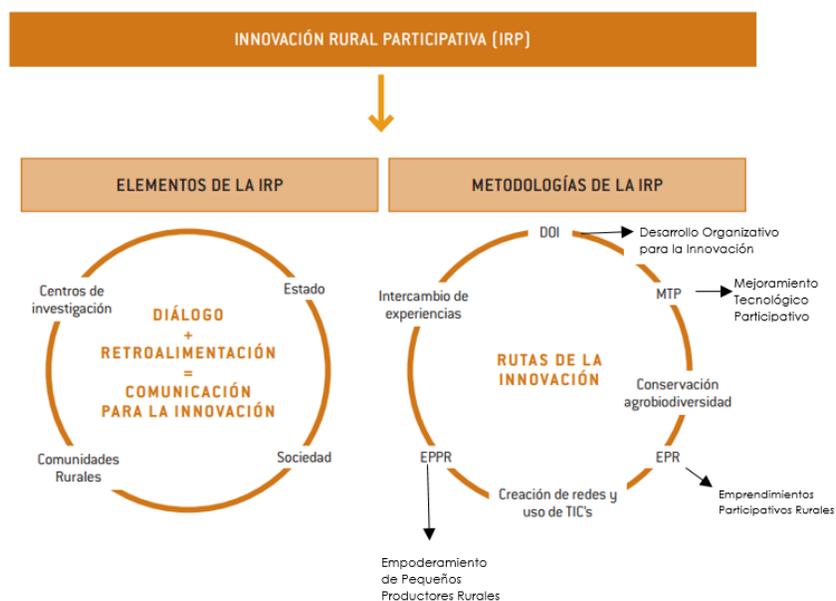


Figura 1. Metodología de la estrategia de Innovación Rural Participativa.

Cuadro 1. Fases de ejecución de la metodología de Mejoramiento Tecnológico Participativo.

Fase	Paso
Diagnóstico agroambiental participativo	Contacto, reconocimiento y acuerdo inicial, entre la comunidad, acompañantes y facilitadores. Priorización de problemas agroambientales; organización y validación de la información y elaboración final de línea base
Formulación participativa de alternativas de solución	Definición de alternativas de solución, revisión de fuentes secundarias, identificación de aliados estratégicos; formulación estructurada de propuestas de investigación, identificación y presentación a financiadores y construcción de la estructura organizacional de los equipos de trabajo
Alistamiento de procesos de investigación participativa	Establecimiento de ruta crítica; preparación de experimentos y adquisición y/o contratación de equipos
Desarrollo de núcleos de investigación participativa (NIP)	Establecimiento de núcleos de investigación, monitoreo y registro de información en los núcleos de investigación, sostenimiento de los NIP, seguimiento y análisis de los avances y resultados parciales y análisis, evaluación y sistematización de resultados

Fase	Paso
Escalamiento y difusión	Aplicación de los resultados de investigación en sistemas productivos, seguimiento, evaluación y sistematización participativa del proceso de innovación. Diseño de estrategias de socialización y difusión a otras comunidades. Organización de líderes multiplicadores; identificación de nuevas necesidades y gestión y conformación de alianzas y redes

Fuente: Adaptado de García *et al.*, 2011.

4.1.4. Programa de Manejo de Recursos Naturales Colombia

El Programa de Manejo de Recursos Naturales (PRMN) estuvo dirigido principalmente a promover la conservación de bosques y la biodiversidad del Pacífico colombiano, estimular la recuperación de áreas degradada en las cordilleras central y occidental y a mejorar el manejo de los recursos naturales a través del fortalecimiento de la base institucional y técnica en forma coordinada y descentralizada. El Programa incluyó 4 subprogramas; Política y Desarrollo Estratégico, Rehabilitación de Microcuencas, Manejo Integral de Parques Nacionales y Educación, Capacitación e Investigación.

4.1.5. Evaluación Local de la Degradación de Tierras Áridas (LADA)

La metodología de Evaluación Local de la Degradación de Tierras Áridas (Lada-L) se desarrolló dentro del Proyecto que lleva el mismo nombre y ha sido desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), dicho proyecto desarrolla herramientas y métodos para evaluar y cuantificar la naturaleza, alcance, gravedad y los efectos de la degradación de las tierras en los ecosistemas de tierras secas, las cuencas hidrográficas, el almacenamiento de carbono y la diversidad biológica en una gama de escalas espaciales y temporales, a su vez constituye la capacidad a nivel nacional, regional e internacional para analizar, diseñar, planificar y ejecutar las intervenciones para mitigar la degradación y establecer prácticas sostenibles de gestión de la tierra. LADA aplica un método participativo, integrado, descentralizado e impulsado por los países y hace un amplio uso de evaluaciones rurales participativas, evaluaciones de expertos, mediciones sobre el terreno, teledetección, sistemas de información geográfica, modelización y otros instrumentos modernos de generación y procesamiento de datos, creación de redes y

tecnologías de comunicaciones para compartir la información a nivel nacional e internacional.

La metodología LADA para la evaluación de la degradación de las tierras a nivel local se ha preparado en colaboración con la Universidad de East Anglia y el Panorama mundial de enfoques y tecnologías de conservación (World Overview of Conservation Approaches and Technologies WOCAT). Consiste en un manual y varios anexos que proporcionan directrices para la caracterización de las áreas locales en términos de degradación de las tierras y medidas de conservación.

Las capacidades desarrolladas y la base de conocimientos producida por el proyecto constituyen una plataforma para la elaboración de planes de acción a nivel nacional y mundial. LADA comunica e intercambia información sobre la degradación de las tierras con el objetivo de vincular la investigación al proceso de toma de decisiones y lo lleva a cabo mediante orientación en materia de políticas (con los programas de acción nacionales regionales y subregionales de la CLD), con el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) y otros organismos de ejecución en el control de la degradación de la tierra y la identificación de acciones prioritarias, como la formulación de políticas y reformas institucionales y el desarrollo de inversiones a todos los niveles.

4.2. Experiencias de planeación y manejo de recursos naturales en México

Se han implementado diversas estrategias de planeación de recursos naturales enfocadas a su conservación, algunas veces influenciadas por políticas de planeación implementadas en otros países o por el modelo económico dominante de la época. A continuación, se describen las principales acciones de conservación de suelo.

En México la conservación del suelo y agua se inició desde la época prehispánica con los trabajos de recuperación de suelos que realizaban los aztecas y los mayas, estas culturas dominaron las montañas conformando pequeños terraplenes o bancales para el establecimiento de zonas de cultivo, los mixtecos por otra parte construían pequeños bordos o joyas donde establecían sus cultivos, finalmente los yaquis y mayos aprovecharon las avenidas para captar los escurrimientos y los sedimentos con la finalidad de formar playas como zonas de riego en apoyo a la producción de los cultivos básicos.

A partir de 1942 se crea el Departamento de Conservación de Suelos dependiente de la Comisión Nacional de Irrigación (SAGARPA, 2005), encargada de realizar estudios de suelos y obras y prácticas en diferentes partes del país a través de los Distritos de Conservación de Suelos que funcionarían como marco operativo territorial, por influencia del modelo estadounidense (Trueba, 1991).

En el periodo de 1947 – 1982 se iniciaron las acciones de conservación de suelo, este periodo se caracterizó por la implementación de módulos demostrativos donde personal técnico estableció obras y prácticas y realizó un programa de divulgación de tal manera de que funcionara como motor para magnificar el impacto, esta estrategia de conservación consistía solo en la capacitación a productores sin ningún tipo de apoyo económico gubernamental (Martínez, s/f).

Para apoyar las acciones de conservación de suelos, en 1946 se aprobó la Ley General de Conservación de Suelo y Agua (LGCSA) que se publicó el 19 de junio de 1946, nunca se reglamentó y fue derogada en 1996. Para cumplir con los enunciados de la LGCSA en 1946

se creó la Dirección General de Conservación de Suelo y Agua (DGCSA), dependiente de la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG).

Durante el periodo 1940 – 1982 el recurso suelo fue concebido como un bien público y el gobierno federal asignaba recursos para los programas de conservación de suelos, los cuales se realizaban a nivel estatal. Al inicio de este periodo, los programas de conservación de suelos tenían un esquema de difusión y divulgación para dar a conocer las bondades de las prácticas de conservación de suelo y agua y establecían módulos demostrativos para que los productores analizaran sus bondades de las prácticas de conservación de suelo y agua y establecían módulos demostrativos para que los productores analizaran sus bondades (Figura 2) (Amigos de la Tierra, 1956).

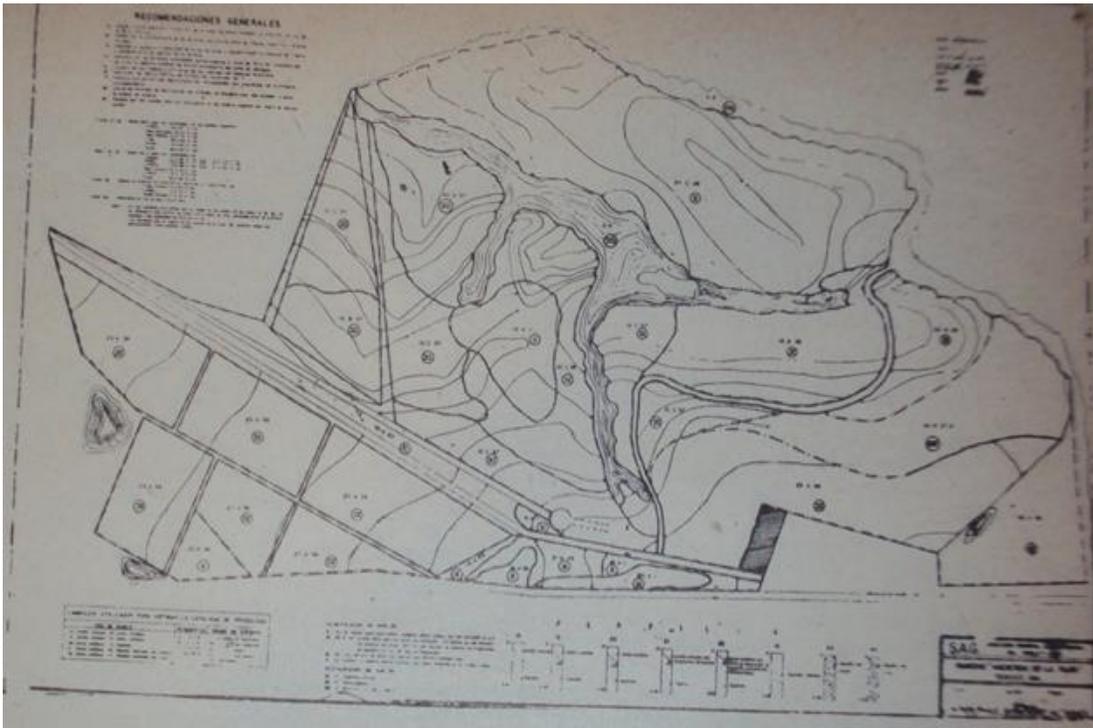


Figura 2. Módulo demostrativo de conservación de suelos en el Rancho de la Flor.

Los módulos demostrativos fueron un ejemplo de la planeación de las prácticas y obras de conservación del suelo y agua ya que planteaban “que la conservación de suelo, no es solo la hechura de zanjas de nivel o construcción de terrazas, sino de otras muchas prácticas, tales como escarificación de suelos, incorporación de materia orgánica, surcado al contorno,

siembra de leguminosas, construcción de estanques, presas, jagüeyes, aljibes o cisternas, establecimiento de cortinas rompe vientos, repoblación de árboles, rotación de cultivos, siembras en fajas, control de torrenteras. Estos criterios sirvieron para realizar la planeación de las acciones de conservación a nivel estatal y que estas sirvieran de ejemplo para el resto de los productores, quienes aceptaban sin necesidad de subsidios las acciones de conservación de suelos (Martínez, s/f).

A fines de los años 50's las acciones de conservación se transformaron en una estrategia de apoyo a los productores cuando se presentaban siniestros, de tal manera que, se convirtieron en pago de mano de obra para realizar los trabajos de conservación y posteriormente se tenían programas de apoyo a la conservación en los programas anuales y de contingencias ambientales, situación que desvió la filosofía de convencimiento y aceptación de las obras de conservación por parte de los productores.

A partir de los años 60's la conservación de suelos se realizaba con subsidio del gobierno y con pago de mano de obra para su construcción y los productores veían a lo programas como fuentes de empleo, más no como esquemas de mejoramiento de suelos. Esta tendencia generó un importante gasto público y se trató de normar, ya que los esquemas de planeación fueron quedando atrás y se volvió un programa operativo anual a nivel nacional que no tenía un buen seguimiento ya que no se llevaba un inventario de lo realizado, por tanto, de los avances alcanzados.

A partir de 1982, se promueve en México el modelo económico neoliberal, para ello se realizaron modificaciones a su legislación, éste modelo promueve la participación de la iniciativa privada, delegándole al estado las funciones de regulación y se busca desconcentrar el poder (Cadena, 2010; Rolland y Vega, 2010). Esperando que fueran los productores, los dueños de la tierra, quienes fueran los responsables de su conservación de acuerdo con la modificación al artículo 27 constitucional donde el ejido pasa a ser propiedad privada.

En 1985 la DGCSA fue suprimida para “adelgazar el aparato burocrático” (Becerra, 1998). En 1988 la Dirección de Conservación de Suelos pasa a ser una Subdirección de Conservación de Suelos dependiente de la SARH, en 1994 pasa a ser un Departamento de

Conservación de Suelos dependiente de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR), sin asignación de recursos federales y se convierte en un área normativa.

Para este mismo año se creó la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) la cual nace de la necesidad de planear el manejo de recursos naturales y políticas ambientales en nuestro país desde un punto de vista integral y en la SEMARNAP se crea la Dirección General de Restauración y Conservación de Suelos.

Para 1988 se publica la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente con última reforma en 2012, en el Título Tercero, Capítulo II Preservación y Aprovechamiento Sustentable del Suelo y sus Recursos, se establecen las declaratorias sobre la preservación y aprovechamiento sustentable del suelo, sus recursos y sobre la prevención y control de la contaminación (DOF, 2012).

En el periodo de 1995 – 2008 los esquemas de planeación para la conservación de suelos se manejaron a través de programas emergentes para mitigar o resarcir pérdidas, esto para la atención de emergencias, principalmente sequías (SAGARPA, 2005). Un ejemplo es el Programa de Empleo Temporal (FIRCO, 1997), donde se beneficiaron con obras de conservación; 346 204 hectáreas, 50 223 kilómetros y 35 898 obras, con una inversión de 282 millones de pesos (Martínez, 2014).

La estrategia para atender de manera preventiva la sequía fue con el Programa Integral de Agricultura Sostenible y Reconversión Productiva en Zonas de Sequía Recurrente (PIASRE) (DOF, 2002), los proyectos se enfocaban en reducir el riesgo de siniestralidad y de baja productividad y que estaban orientados a la construcción, mejoramiento o conservación de los activos fijos. La entidad encargada no tenía un diagnóstico actualizado sobre la problemática relacionada con la actividad del PIASRE. Sin embargo, se contaba con varios documentos que en su momento sirvieron como base para configurar un diagnóstico general sobre la problemática que sustentó la razón de ser del programa (SAGARPA, 2008) y poco a poco se fue convirtiendo en un programa de desarrollo de infraestructura hidráulica para el almacenamiento de agua en apoyo a la producción primaria.

En el periodo de 2000 – 2002 se modifica la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal dando origen a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), con un nuevo diseño institucional y una nueva estructura orgánica ya que la política ambiental se tornó una política de estado, por lo que el medio ambiente adquiere gran importancia (DOF, 2003).

El 23 de octubre de 2003 se presenta a la Cámara de Diputados la iniciativa de Ley para la Restauración y Conservación de Tierras, donde en su cuarto título se definen los instrumentos para la prevención y combate a la degradación y desertificación de la tierra, ésta fue presentada anteriormente en diciembre de 1999 como Ley de Restauración y Conservación de Suelos (CDDHCU, 2003).

En el periodo de 2008 – 2015 SEMARNAT impulsa la elaboración de la Estrategia Nacional de Manejo Sustentable de Tierras (ENMST) como parte del Sistema Nacional de Lucha Contra la desertificación y Degradación de los Recursos Naturales (SINADES) y para insertarse en el cumplimiento de los compromisos adquiridos con la Convención de Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación (CNULD) (Campos, 2017).

La SAGARPA a finales de 2007 crea el componente de Conservación y Uso Sustentable del Suelo y Agua (COUSSA) que suple al PIASRE y formó parte del Programa de Uso Sustentable de Recursos Naturales para la Producción Primaria (2008 – 2010) y del Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales (2001 – 2012) (SAGARPA, 2012).

El componente COUSSA consideró para su ejecución cuatro modalidades:

1. Concurrencia: con el propósito de contribuir a solventar el problema de degradación de suelos, sobre explotación de la vegetación y la falta de disponibilidad de agua. La planeación y priorización de acciones las realizan de manera conjunta las secretarías de desarrollo rural estatales y las delegaciones de SAGARPA, utilizando los criterios de alto grado de marginación y problemas de erosión.

2. Desarrollo de Zonas Áridas: cuyo propósito es el desarrollo territorial de estas regiones a través de obras y prácticas para almacenar agua y conservar suelo para un mejor aprovechamiento de los agostaderos. La planeación y priorización las realiza cada

Delegación de la SAGARPA en conjunto con la Comisión Nacional de Zonas áridas (CONAZA) como instancia ejecutora.

3. Pequeñas Obras Hidráulicas (POH): enfocada a atender pequeña infraestructura de captación y almacenamiento de agua, buscando generar fuentes de empleo para la mano de obra local. La planeación y priorización se da de manera conjunta con las Delegaciones Estatales de la SAGARPA y CONAZA.

4. COUSSA – PESA: asociada al Programa Estratégico de Seguridad Alimentaria, tiene el propósito de construir obras de captación y almacenamiento de agua para dar viabilidad a los proyectos de las unidades de producción familiar en comunidades marginadas. En esta modalidad la planeación y priorización se realiza a través del Grupo Operativo responsable del PESA mientras que la operación está a cargo de los gobiernos estatales.

Estos esquemas de operación del componente COUSSA funcionaban de manera independiente y los criterios de priorización de las acciones a seguir se realizaban con el apoyo de los Prestadores de Servicios Profesionales (PSP) y despachos especializados, quienes eran los responsables de elaborar los proyectos ejecutivos que eran sometidos a la autorización de las dependencias operativas, sin que existiera una metodología de planeación de acciones de conservación y se convirtieron en la identificación de una obra ancla (presa de almacenamiento) y obras de conservación de la zona de abasto de agua de la obra.

En 2008 la Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola a través de la Gerencia de los Distritos de Temporal Tecnificado, iniciaron el establecimiento de proyectos de restauración hidrológica ambiental en las partes medias y altas de siete cuencas de los estados de Chiapas y Tabasco, esta iniciativa se dio debido a que se buscó atención debido a inundaciones en Villahermosa, Tabasco (CONAGUA, 2009) (Figura 3).

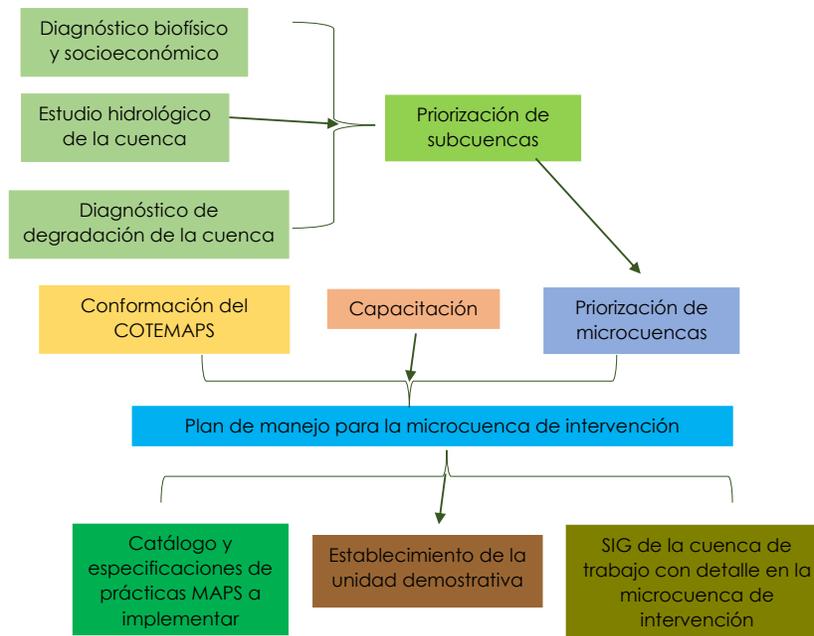


Figura 3. Metodología establecida para el desarrollo de proyectos de restauración hidrológica ambiental en cuencas.

Fuente: CONAGUA, 2009.

Las políticas forestales por periodos de tiempo se detallan a continuación (CONAFOR, 2001):

De 1917 a 1948 fue el periodo de explotación forestal selectiva, extensiva y de conservación que se caracterizó por orientar la política a la conservación a través de parques y concesiones. Existe ausencia de programas y proyectos definidos.

De 1948 a 1977 periodo de producción forestal industrial nacional basada en concesiones: expedición de Ley Forestal de 1960, en 1965 se elaboró el Plan Nacional Forestal, integración de gran parte de los ejidos y comunidades forestales, se consolidó la formulación de planes de ordenación forestal para el manejo técnico.

De 1977 a 1986 periodo de producción nacional y desarrollo social caracterizado por una fuerte desconcentración de funciones a las delegaciones estatales, en 1986 se expidió una nueva Ley Forestal para consolidar la producción y la ordenación territorial por cuencas hidrográficas.

De 1996 a 2000 se considera como el periodo inicial del manejo forestal sustentable y conservación, entre algunas cosas por la integración e instrumentación del Programa Sectorial Forestal y de Suelo 1995 – 2000, con el Programa Nacional de Reforestación se produjeron más de 1500 millones de árboles.

Para el 2001 se crea la Comisión Nacional Forestal (Decreto Presidencial el 4 de abril de 2001), la cual se enfoca en la restauración de suelos degradados mediante los programas; Programa Nacional Forestal, Programa de Compensación Ambiental por Cambio de Uso de Suelo, Programa de Restauración de Microcuencas en zonas prioritarias que presenten procesos de degradación o desertificación o graves desequilibrios ecológicos.

De acuerdo con el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2015) en el 2014 se crea el Programa Integral de Desarrollo Rural (PIDER) con el objetivo de atender el problema de inseguridad alimentaria. Se integraron programas que venían operando y se apoyaron 11 componentes: 1) Agricultura familiar periurbana y de traspatio, 2) Atención a desastres naturales en el sector agropecuario y pesquero, 3) Coordinación para la integración de proyectos, 4) Desarrollo de las zonas áridas, 5) Desarrollo integral de cadenas de valor, 6) Extensión e innovación productiva (CEIP), 7) Fortalecimiento a organizaciones rurales, 8) Conservación y uso sustentable de suelo y agua (COUSSA), 9) Modernización sustentable de la agricultura tradicional (MASAGRO), 10) Proyecto Estratégico de Seguridad Alimentaria, 11) Vinculación con organismos de la Sociedad Civil (OSC).

Para el componente COUSSA los conceptos de apoyo son pequeñas obras de captación y almacenamiento de agua, prácticas de conservación de suelo y agua, elaboración de proyectos ejecutivos y soporte técnico COUSSA. Está dirigido a personas físicas organizadas en grupos de productores que se ubican en municipios clasificados por la SAGARPA. La metodología a seguir está determinada por el Comité Técnico de Selección de Proyectos en cada entidad federativa, dicho comité prioriza las regiones a atender, clasifica los municipios que serán considerados para el objetivo COUSSA, determina cuales son las acciones más pertinentes, valida y autoriza el listado de precios y los criterios de pago de proyectos, da seguimiento a la ejecución de los componentes y conoce los resultados

de los trabajos de supervisión. De modo que los beneficiarios del componente serán canalizados a aquellos proyectos que de acuerdo al Comité sean los más importantes a apoyar.

El Programa de Productividad Rural (PPR) inició operaciones en enero de 2016, en el marco de la nueva estructura programática de la SAGARPA el PPR es el resultado de la modificación del Programa Integral de Desarrollo Rural que dejó de operar. El propósito es que los pequeños productores agropecuarios incrementen su productividad total”, cuenta con 6 componentes; 1) Infraestructura Productiva para el Aprovechamiento Sustentable de Suelo y Agua (IPASA), 2) Desarrollo de las Zonas Áridas (CONAZA), 3) Proyecto Estratégico de Seguridad Alimentaria (PESA), 4) Desarrollo Comercial de la Agricultura Familiar, 5) Atención a Siniestros Agropecuarios y 6) Fortalecimiento a Organizaciones Rurales.

La SAGARPA está realizando un proceso de compactación de programas presupuestarios porque todavía no logra una definición del problema, la población que lo presenta y qué apoyos específicos debe entregar para revertir esa situación (CIESAS, 2016).

4.3 Construcción de índices compuestos

Un indicador o índice compuesto es una representación simplificada que busca resumir un concepto multidimensional en un índice simple con base en un modelo conceptual subyacente. Puede ser cualitativo o cuantitativo según los requerimientos de la investigación. Bauer (1996) señala que los indicadores son estadísticas o cualquier forma de indicación que nos facilita estudiar dónde estamos y hacia donde nos dirigimos con respecto a determinados objetivos y metas, así como evaluar programas específicos y determinar su impacto.

Un indicador, se define como una función de una o más variables que conjuntamente miden una característica o atributo de los individuos en un estudio. Se concibe a un indicador compuesto al que se construye como función de dos o más variables, en cuyo caso se están midiendo características multidimensionales – marginación, calidad ambiental, pobreza, etc.

La construcción de un indicador compuesto requiere de dos condiciones básicas:

-  Definición clara del atributo que se desea medir para darle sustento conceptual.

- La existencia de información confiable para poder realizar la medición para darle confiabilidad.

Los indicadores compuestos se construyen con el objetivo de medir el desempeño de una unidad de análisis – países, estados, municipios o áreas geográficas, en un área o tema determinado. Además, se consideran herramientas eficaces que contribuyen a la formulación y al análisis de políticas públicas, así como a su evaluación y comunicación (Bas, 2014). De esta forma, el uso de esta herramienta de medición facilita la interpretación de los escenarios que deben considerar los tomadores de decisiones, permite identificar tendencias generales y establecer una serie de prioridades políticas (Freudenberg, 2003; Saltelli, 2007).

Cox *et al.* (1992) exponen que las dificultades comunes que se plantean en la construcción de un indicador compuesto (IC) se centran en la asignación de pesos.

El cálculo de un índice compuesto supone considerar, no solo las variaciones de una característica, sino de un grupo de ellas, lo que representa un fenómeno complejo resultante del comportamiento de varios aspectos particulares. Y muchas veces la interacción entre estas variables. La elaboración de estos índices plantea dos posibles problemas:

- Determinación de sus componentes; número, naturaleza, método de ejecución y su ponderación.
- Cálculo del índice compuesto, que depende del objetivo que se pretenda alcanzar.

La construcción de índices compuestos se realiza para mostrar un conjunto de características comunes y su diferenciación, para ello se utiliza distintas variables que representan un fenómeno o aspecto que se desea analizar. Puede ser natural, económico, social o de desempeño de políticas (Schuschny y Soto, 2009). Generalmente se integra de un conjunto de índices simples, que pueden tener un mismo valor, es decir, que simplemente se refleja como un promedio simple o que pueden ser ponderados.

La selección de los índices se basa en la concepción e interpretación teórica, no obstante, existen dos enfoques con respecto a la asignación de pesos o ponderaciones de los índices:

🌐 Los pesos se determinan por consideraciones exógenas a los datos, generalmente considerando criterios de interpretación teórica. Esto es la combinación de distintas variables que en su conjunto o interacción puedan explicar un fenómeno.

🌐 Los pesos se determinan por consideraciones endógenas a los datos que forman los índices, generalmente basados en criterios de asociación entre variables, medidos mediante coeficientes de correlación y análisis de componentes principales.

La utilización de índices compuestos permite tipificar actividades económicas, sociales y naturales, así como catalogarlas por nivel de desarrollo económico, industrial, social, natural etc. Dichas tipologías se aplican geográficamente agrupándolas en regiones homogéneas según sus niveles de desarrollo, para lo cual se calcula el índice compuesto, utilizando las diversas variables que se considera presentan una alta asociación o correlación entre sí.

Entre los índices que se ha desarrollado están:

🌐 Calidad del aire

🌐 Sustentabilidad ambiental

🌐 Competitividad económica

🌐 Índices compuestos de la OECD (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos)

🌐 Índice de globalización

🌐 Índice de Desarrollo Humano

4.3.1 Requerimientos técnicos

De acuerdo con Asuad (s/a) al integrar un amplio conjunto de información de una unidad de análisis considerada, los indicadores compuestos permiten reducir la complejidad de la información que deviene de múltiples perspectivas, cabe mencionar que su elaboración requiere de implementarse mediante una serie de fases o etapas. Así logran integrar y resumir diferentes dimensiones de un tema; facilitan su interpretación dada la capacidad de síntesis, al reducir el tamaño de la lista de indicadores y permite comparabilidad entre unidades de análisis y su evolución. Las limitaciones se relacionan de manera específica con su construcción e interpretación; por lo que en su construcción se requieren análisis de

sensibilidad y robustez. Además de construir un elemento importante la selección de la información a formar parte del indicador compuesto.

Se debe considerar en la selección de la información que los datos estén disponibles y sus frecuencias de muestreo respondan a una periodicidad razonable con relación a los objetivos que se plantea al momento de diseñar el indicador y que las unidades de análisis hayan consensuado un tolerable nivel de armonización entre los indicadores y las estadísticas que se van a utilizar. Este aspecto de periodicidad es un aspecto importante sobre todo para las condiciones de México, donde los indicadores sociales, económicos, demográficos etc., se miden en periodos distintos y de acuerdo con lo planteado por las instituciones competentes, por lo que muchas veces no es posible uniformizar la información y se utiliza de acuerdo a su disponibilidad y confiabilidad.

Además, que la elección del uso de un indicador compuesto se realiza a partir de su relevancia política, es decir que su diseño debe de contribuir a la toma de decisiones informadas. Las principales críticas de la construcción de un IC se centran en aquellas etapas en las que se deben hacer juicios de valor; la selección de indicadores simples, el tratamiento de los datos, la elección del modelo de agregación, la asignación de pesos a los indicadores etc. (Bas, 2014). Siguiendo a Castro Bonaño (2002), es válido definir algunas condiciones técnicas que a priori deberían exigirse a un indicador compuesto (Cuadro 2).

Cuadro 2. Condiciones básicas de un indicador compuesto.

Condición	Descripción
1. Existencia y determinación	La función matemática que define un indicador debe existir y tener solución perfectamente determinada
2. Exhaustividad	El indicador compuesto debe ser tal que aproveche al máximo, sin redundancia y en forma útil la información suministrada por los indicadores y las variables que lo componen
3. Monotonía	El indicador debe responder positivamente al cambio positivo de sus componentes y viceversa
4. Unicidad	El indicador compuesto debe ser único para una situación dada
5. Invariancia	El indicador debe ser invariante frente a cambios de origen o de escala de sus componentes
6. Homogeneidad	La función matemática de un indicador compuesto debe ser homogénea de grado 1
7. Transitividad	Si (a), (b) y (c) son tres situaciones distintas que dan lugar a tres indicadores, debe verificarse que: si $I(a) > I(b)$ e $I(b) > I(c) = I(a) > I(c)$

4.3.2 Etapas en la construcción de indicadores compuestos

La construcción de un indicador compuesto, con rigor metodológico, requiere diversas etapas (Nardo *et al.*, 2008; Saisana, 2008):

- 🌐 **Desarrollo de un marco conceptual.** El desarrollo de un marco es fundamental puesto que sustenta de manera conceptual la generación del indicador compuesto. Es a partir de ese marco que se justifica la construcción del indicador, dando pertinencia y razón de ser a los valores que posteriormente serán analizados.
- 🌐 **Selección de los indicadores.** Una vez definido el marco conceptual, es necesario evaluar los indicadores que se desea sintetizar. El proceso previo consiste en una búsqueda de los indicadores que, dentro del marco conceptual definido, puedan ser contruidos o utilizados si es que ya existen, para posteriormente ser incorporados en un indicador compuesto.
- 🌐 **Análisis multivariado.** Cuando se han elegido los indicadores y variables que formarán parte del indicador compuesto, un proceso de análisis exploratorio es útil para evaluar si efectivamente los datos con la información seleccionada, están en concordancia con las ideas que dieron lugar a su elección. La falta o disponibilidad limitada de información puede generar diversos problemas, haciendo necesario recurrir a metodologías de imputación de datos perdidos o faltantes.
- 🌐 **Normalización de datos.** Los indicadores y variables seleccionados para la construcción del indicador compuesto, generalmente estarán medidos en distintas escalas, por lo que se hace necesario normalizarlos para que puedan ser agregados de manera comparable.
- 🌐 **Ponderación de la información y agregación de los indicadores simples.** Una vez hecho esto, es necesario definir el factor de peso que cada indicador o variable tendrá en la agregación, para finalmente generar el agregado y construir los valores del indicador compuesto. Constituye la etapa crucial de la composición de un IC, consiste en asignar pesos a los indicadores simples, para posteriormente, agregarlos en un único valor que represente el índice global. Existen tres grandes bloques; a)

método de ponderación equitativa, b) métodos de ponderación basados en modelos estadísticos y c) métodos de ponderación basados en modelos participativos.

🌐 Análisis de la robustez y sensibilidad. No se debe descuidar el aspecto de la validación final por medio de un análisis de sensibilidad, consistente en evaluar si pequeñas variaciones en los datos contenidos en los indicadores y variables que se incluyen en la agregación, conducen efectivamente a pequeñas variaciones en el valor del indicador compuesto, lo cual no está garantizado, pero es requerido como un elemento de robustez. Finalizado el proceso de construcción del indicador compuesto, será necesario presentarlo en un formato claro y entendible, ya sea de manera gráfica o tabular.

4.3.3 Tipo de indicadores o índices compuestos

Proceso Analítico Jerárquico (AHP). Es una de las técnicas de decisión multicriterio más utilizadas, fue propuesta por Saaty (1977, 1980). El método convencional proporciona prioridad, o importancia relativa, de los elementos comparados mediante; 1) la aplicación del método del auto vector principal normalizado según el modo distributivo para calcular las prioridades locales, 2) el principio de composición jerárquica para obtener las prioridades totales. Estas prioridades (totales) pueden ser utilizadas con distintos fines; selección de una o varias alternativas (problema tipo alfa), ordenación de todas ellas (problema tipo lamda), etc.

La unicidad del vector de prioridades locales se consigue en AHP mediante la normalización. Los métodos de normalización son el modo distributivo (dividir por la suma) y el modo ideal (dividir por el máximo) (Jiménez *et al.*, 2000). Debido a sus características es una metodología estructurada para la toma de decisiones que puede aplicarse a una gran variedad de situaciones, entre las experiencias en el ramo están el diseño y evaluación de políticas de desarrollo sustentable con participación ciudadana, priorización territorial. El AHP utiliza una escala con valores de 1 a 9 para calificar las preferencias relativas de los dos elementos (comparaciones pareadas) (Cuadro 4).

Por otra parte, existe una gran cantidad de tipos de indicadores compuestos, muchos de ellos obedecen a procedimientos matemáticos para uniformizar las variables involucradas, la decisión de que tipo utilizar estará siempre en función de las necesidades del proyecto o estudio (Cuadro 3).

Cuadro 3. Indicadores compuestos, tipos y métodos de agregación.

1. Sin ponderación de los sub indicadores	
1.1 Sin reconversión de escalas de medida de los sub indicadores	
1.1.1 Suma de rankings	$\sum_{t=1}^n Rank\ i$
1.1.2 Ranking medio	$\sum_{t=1}^n Rank\ i / N$
1.1.3 Porcentaje simple	$(\sum \text{cumplimientos de los sub indicadores} / \sum \text{de ocasiones en los que se evalúa cada sub indicador}) \times 100$
1.1.4 Media de cumplimientos	$(\sum \text{cumplimientos de los sub indicadores} / \sum \text{de ocasiones en los que se evalúa cada sub indicador}) \times 100$
1.1.5 Porcentaje de 100% de cumplimientos	$(\text{Casos en los que se cumplen todos los sub indicadores} / \text{número de sub indicadores evaluados}) \times 100$
1.1.6 Suma de número de sub indicadores por encima de la media menos número de sub indicadores por debajo de la media	$\sum_{t=1}^n sng\ [xi - \bar{x}i]$
1.2 Con reconversión de escalas de medida de los sub indicadores	
1.2.1 Suma de razones o de proporciones de las diferencias con la media	$\sum_{t=1}^N \frac{xi}{\bar{x}i} \text{ o } \sum_{t=1}^N \frac{xi - \bar{x}i}{\bar{x}i}$
1.2.2 Suma o media de los valores (absolutos o diferencias con medias) estandarizados	$\sum_{t=1}^N \frac{xi - \bar{x}i}{\sigma \bar{x}i} \text{ o } \sum_{t=1}^N \frac{xi}{\phi \bar{x}i}$
Solos a promediado a \sum en numerador y N en denominador	

1. Sin ponderación de los sub indicadores

1.2.3 Suma de valores reconvertidos en función de rango

$$\sum_{t=1}^N \frac{xi - \text{mín}(xi)}{\text{rango}(xi)}$$

2. Con ponderación de los sub indicadores

2.1 Análisis de componentes principales y análisis factorial

Combinaciones estadísticas de grupos de sub indicadores

Modelo de regresión múltiple con los sub indicadores como variables independientes y un indicador de referencia como dependiente

2.2 Regresión múltiple

2.3 Neutralización del efecto de las correlaciones entre sub indicadores

$$\sum [2 * (1 + r_{xy})] - 1/2 (xi + yi)$$

2.4 Distancia a frontera de eficiencia

Ponderación en función de los valores de referencia de la combinación de sub indicadores

2.5 Distancia a valores estándar

Ponderación en función de los valores-objetivo o estándar de cada sub indicador

2.6 Opinión de expertos (distribución de presupuesto imaginario)

Ponderación según cantidad otorgada a cada sub indicador

2.7 Opinión de la población

Ponderación según valor otorgado por consultas estructuradas a la población o sus representantes

2.8 Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

Utilización de métodos cuantitativos y cualitativos en comparaciones sucesivas por pares de sub indicadores

Cuadro 4. Escala de preferencias para valoración de AHP.

Planteamiento de la preferencia	Calificación
Igualmente, preferible	1
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
Moderadamente preferible	3
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
Fuertemente preferible	5
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
Muy fuertemente preferible	7
Entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
Extremadamente preferible	9

Entre la información que aporta un indicador está (Maldonado, 2015):

- 📍 Línea base. Es un punto de referencia que permite medir el cambio en el tiempo, el punto de partida inicial a partir del cual se define un indicador, da el valor inicial para medir el progreso.
- 📍 Comportamiento (dirección y ritmo).
- 📍 Comparación de avances VS metas programadas
- 📍 Desviaciones que implican toma de decisiones.

El comportamiento corresponde al comportamiento de la variable que mide el indicador, mientras que las desviaciones que implican la toma de decisiones pueden ser cuando algunos indicadores pueden ser prospectivos lo que indica la tendencia de la variable en el tiempo o espacio.

Finalmente existen diversos métodos de normalización de datos, donde al igual que el tipo de indicador (cualitativo o cuantitativo), disponibilidad de datos e incluso el comportamiento del mismo, Bas (2014) describe ocho tipos de normalización, así como el tipo de datos, ajustes requeridos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Métodos de normalización para indicadores simples y compuestos.

Metodología	Fórmula	Tipo de datos a los que se aplica	Ajuste de los indicadores a la misma escala de medida	Mantiene las distancias relativas	Ajuste de los indicadores al mismo rango de variación	Ajuste datos ante valores atípicos
Ranking	$I_{qc}^t = Rank(x_{qc}^t)$	Datos cualitativos (ordinales) + datos cuantitativos	Si	No	Si. Rango [1, M] con M: # de unidades de análisis)	No
Estandarización	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc=c}^t}{\delta_{qc=c}^t}$	Datos cuantitativos	Si. Medida adimensional	Si, puesto que la transformación es lineal	No. Para indicadores aprox. Normales el 95% de los valores transformados estará en el intervalo (-2,2)	No
Re-escalamiento	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - min_c(x_q^{t0})}{max_c(x_q^{t0}) - min_c(x_q^{t0})}$	Datos cualitativos + datos cuantitativos	Si. Medida adimensional	Si	Si. Rango: [0,1] para cada indicador	No
Distancia a una unidad de análisis referencial	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t}{x_{qc}^t}$ ó $I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qr}^{t0}}{x_{qr}^{t0}}$	Datos cuantitativos	Si. Medida adimensional	Si	No	No
Categorización de escalas	<p>Ejemplo: $I_{qc}^t =$</p> $\begin{cases} 0 \\ 20 \\ 40 \\ 60 \\ 80 \\ 100 \end{cases}$ <p>Si $x_{qc}^t < p^{15}$</p> <p>Si $p^{15} \leq x_{qc}^t < p^{25}$</p> <p>Si $p^{25} \leq x_{qc}^t < p^{65}$</p> <p>Si $p^{65} \leq x_{qc}^t < p^{85}$</p> <p>Si $p^{85} \leq x_{qc}^t < p^{95}$</p> <p>Si $p^{95} \leq x_{qc}^t$</p>	Datos cualitativos (ordinales) + datos cuantitativos	Si	No	Si. Rangos: [1,100] para cada indicador	Si. Fija la media y la desviación típica para un conjunto de percentiles elegidos.
Categorización de valores por encima o debajo	$I_{qc}^t = \begin{cases} 1 \\ 0 \\ -1 \end{cases}$ <p>si $w > (1 - p)$</p> <p>$\leq w \leq (1 + p)$</p> <p>si $w < (1 - p)$</p> <p>Donde: $w = \frac{x_{qc}^t}{x_{qc=c}^t}$</p>	Datos cuantitativos	Si	No	Si. Asignación de tres valores discretos [-1,0,1]	Si
Métodos de indicadores cíclicos	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - E_t(x_{qc}^t)}{E_t(x_{qc}^t - E_t(x_{qc}^t))}$	Datos cuantitativos	Si. Media adimensional	Si	No. Depende de la serie temporal del indicador	No
Porcentaje de diferencias anuales en años consecutivos	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc}^{t-1}}{x_{qc}^{t-1}} * 100$	Datos cuantitativos	Si. Media adimensional	No	No	Si

Fuente: Bas, 2014.

V. METODOLOGÍA

La metodología se centra en tres niveles; el primer nivel es subcuenca para priorización de estados y municipios mediante el método de asignación presupuestaria (Budget Allocation-BA); el segundo nivel es para identificar las microcuencas del municipio anteriormente priorizado y definir cuál es la que requiere mayor atención comparando indicadores de las microcuencas y finalmente el tercer nivel utilizando la microcuenca anteriormente definida, se priorizan nano cuencas mediante una evaluación cualitativa de degradación de tierras y para la nano cuenca elegida se realiza la fotointerpretación UAS (vehículo aéreo no tripulado) utilizando un orto mosaico georreferenciado para zonificar tipos de degradación de suelo causada por el hombre y uso de suelo y vegetación.

5.1 Descripción de área de estudio

La zona de estudio se divide en tres niveles; subcuenca, microcuenca y nano cuenca, la subcuenca río San Marcos (RH27Cb) la cual contempla parte de los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz se ubica hidrológicamente en la Región Hidrográfica RH27 Tuxpan – Nautla en la cuenca hidrográfica RH27C río Cazonas. La microcuenca de estudio se ubica en el municipio de Acaxochitlán, estado de Hidalgo al igual que la nano cuenca (Figura 4).

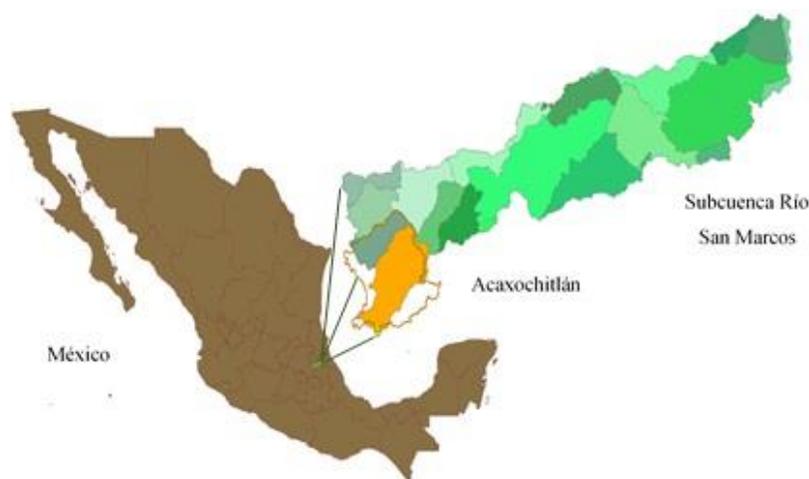


Figura 4. Ubicación del área de estudio, municipio de Acaxochitlán, Hidalgo.

5.2. Nivel 1. Subcuenca: priorización de estados y municipios. Método de asignación presupuestaria (Budget Allocation-BA)

5.2.1. Construcción de indicadores sociales, ambientales, económicos simples y compuestos

Los indicadores se seleccionaron con base en relevancia y pertinencia de acuerdo a su influencia en los procesos de degradación de suelo y agua de los sistemas de producción primario, en la disponibilidad de datos en fuentes oficiales a nivel municipal y nacional y la posibilidad de desarrollar correlaciones simples entre indicadores. En el Cuadro 6 se muestran los indicadores seleccionados para los aspectos social, económico y ambiental para este primer nivel de priorización.

Cuadro 6. Indicadores para la priorización de microcuencas de la subcuenca del río San Marcos RH27Cb.

Dimensión	Indicador	Fuente
Social	a) Grado de marginación	CONAPO, 2010
	b) Cruzada Nacional Contra el Hambre	SEDESOL, 2015
	c) Población con carencia por acceso a la alimentación	CONEVAL, 2010
Económico	d) Población ocupada en la actividad agropecuaria	INEGI, 2010
	e) Población con ingreso inferior a la línea de bienestar mínimo	INEGI, 2010
	f) Productividad agrícola	SAGARPA-SIAP, 2013
	g) Productividad pecuaria	SAGARPA-SIAP, 2014
	h) Productividad forestal	CONAFOR, 2014
Ambiental	i) Degradación de suelos	SEMARNAT-COLPOS, 2012
	j) Vulnerabilidad agropecuaria	MINAGRI, FAO, 2011 adaptado
	k) Peligro de sequía	CENAPRED, 2012

5.2.2. Método de asignación presupuestaria (Budget Allocation-BA)

La primera etapa de la metodología corresponde a la construcción de indicadores simples y compuestos para la priorización de municipios de la subcuenca San Marcos.

Las etapas de construcción de los indicadores de acuerdo con Nardo (2005) son:

🌐 Desarrollo de un marco conceptual. Para lo cual se define el objetivo de la construcción de indicadores. El objetivo es ubicar las zonas con mayor necesidad de implementación de proyectos de conservación de suelo y agua.

🌐 Selección de los indicadores. Estos indicadores deben cumplir con los criterios de;

- a) Relevancia política. Pertinencia de acuerdo a los objetivos de conservación de suelo y agua para proyectos productivo conservacionistas.
- b) Disponibilidad de datos. Información de fuentes oficiales a nivel municipal con disponibilidad para todo el país o contar con información para calcular el indicador.
- c) Correlación. Los indicadores simples de cada dimensión o subgrupo deben estar correlacionados.

🌐 Análisis multivariante. Identificar los subgrupos de indicadores individuales.

🌐 Imputación de datos perdidos. Sustitución de valores que no han sido levantados o con los que no se cuentan, en el presente estudio se utiliza el método de imputación por eliminación, el cual consiste en descartar en la determinación del índice global aquellos datos de los indicadores con los que no se cuente.

🌐 Normalización de los datos. Consiste en ajustar los datos para que tengan una misma unidad de medida, ajustar los datos para que no tengan diferentes intervalos de variación. El tipo de normalización empleada es el de categorización de escalas.

$$Ejemplo: I_{qc}^t = \begin{cases} 0 & Si x_{qc}^t < p^{15} \\ 20 & \\ 40 & Si p^{15} \leq x_{qc}^t < p^{25} \\ 60 & \\ 80 & Si p^{25} \leq x_{qc}^t < p^{65} \\ 100 & \\ & Si p^{15} \leq x_{qc}^t < p^{85} \\ & Si p^{85} \leq x_{qc}^t < p^{95} \\ & Si p^{95} \leq x_{qc}^t \end{cases}$$

🌐 Ponderación de la información. Consiste en asignar pesos a los indicadores simples, el cual puede hacerse asignándoles pesos de forma equitativa o diferentes pesos. El método utilizado es la ponderación basada en métodos participativos llamado método de

asignación presupuestaria (Budget Allocation-BA). Este método consiste en la asignación de pesos para cada indicador de acuerdo con la opinión de expertos, este método es óptima para un máximo de 12 indicadores simples (Bas, 2014).

La priorización se centrará con mayor peso en la dimensión económica (40%), seguido de la dimensión social y ambiental con el mismo peso (30%), de manera similar se le asignan pesos a cada indicador de acuerdo con su importancia (Cuadro 7).

Cuadro 7. Pesos de cada sector o indicador.

Dimensión	Indicador	Peso (porcentaje)
Social (30%)	a) Grado de marginación	40
	b) Cruzada Nacional Contra el Hambre	30
	c) Población con carencia por acceso a la alimentación	30
Económico (40%)	d) Población ocupada en la actividad agropecuaria	40
	e) Población con ingreso inferior a la línea de bienestar mínimo	30
	f) Productividad agrícola	10
	g) Productividad pecuaria	10
	h) Productividad forestal	10
Ambiental (30%)	i) Degradación de suelos	25
	j) Vulnerabilidad agropecuaria	30
	k) Peligro de sequía	45

 **Agregación de la información.** Consiste en agregar los indicadores simples en un único valor. La práctica que se utiliza es la agregación lineal ponderada (Nardo *et al.*, 2008).

Una vez definidos los indicadores se desarrollan de manera simple o compuesta;

a) Grado de marginación. Parámetro que mide el impacto global de las carencias de la población por falta de acceso a educación, la residencia en viviendas inadecuadas, la percepción de ingresos monetarios insuficientes y las relaciones con la residencia en localidades pequeñas.

b) Cruzada Nacional Contra el Hambre. Se definieron los municipios prioritarios con base en estudios y diagnósticos elaborados por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). Está orientada a la población que vive en

condición de pobreza multidimensional extrema y que presentan carencia de acceso a la alimentación, cuya contabilización se encuentra en permanente actualización por parte de las instancias competentes (DOF, 2013).

- c) **Población con carencia de acceso a la alimentación.** En términos de medición de pobreza, se considera que una persona está en situación de carencia por acceso a la alimentación si el hogar en el que reside presenta niveles de inseguridad alimentaria moderada o severa, es decir, si por falta de recursos, al menos algún miembro del hogar no contó en todo momento con comida suficientemente para llevar una vida activa y sana.

El concepto de seguridad alimentaria está basado en lo que establece la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2006). La construcción de esta dimensión se basa en la Escala Mexicana de Seguridad Alimentaria (EMSA), que permite identificar cambios en la calidad y cantidad de alimentos e incluso experiencias de hambre de las integrantes de los hogares. Esta escala mide la seguridad y tres niveles de inseguridad alimentaria: leve, moderada y severa. Elaborado con datos de carencia por alimentación obtenidos de los resultados que estima CONEVAL para la medición multidimensional de la pobreza a nivel municipal 2010.

- d) **Población ocupada en la actividad agropecuaria.** De acuerdo con la información sobre actividades económicas a nivel municipal basado en la información generada por INEGI en el Censo de Población y Vivienda 2010, se desglosa la población ocupada por actividad económica.

- e) **Población con ingreso inferior a la línea de bienestar mínimo 2010.** Población que presenta un ingreso inferior a la línea de bienestar mínimo, la cual equivale al valor monetario de la canasta alimentaria por persona al mes (CONEVAL, 2011).

- f) **Convertibilidad agrícola.** Total de la producción de cultivos entre valor de la producción de los mismos (SIAP, 2013).

- g) **Convertibilidad pecuaria.** Número de cabezas de ganado a nivel municipal de bovino, porcino, ovino, caprino, aves y guajolote entre el valor de la producción total (SIAP, 2013).

h) Convertibilidad forestal. La producción forestal (m^2) entre el precio de la producción, (precio a nivel estatal) (INEGI, 2007).

i) Degradación de suelos (COLPOS, 2000)

La secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) realizó la actualización de la degradación de suelos causada por el hombre, escala 1:250 000 generada por la Dirección General Forestal y de Suelos y el Colegio de Postgraduados. Se presenta la degradación química por salinización, contaminación, eutrofización, pérdida de nutrientes; degradación física como compactación, encostramiento y sellamiento, hundimiento, disminución de la disponibilidad de agua y pérdida de la función productiva, además erosión hídrica y erosión eólica.

n) Índice de vulnerabilidad agropecuaria

Con la finalidad de considerar el componente social del riesgo de desastres socio – naturales se propone utilizar el parámetro de vulnerabilidad agropecuaria. Se define vulnerabilidad como la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas (INISDR, 2009). En el presente se le atañe la palabra “agrícola” por referirse a las características y circunstancias de la población dedicada al sector agrícola que las hace susceptibles a efectos negativos ante la presencia de desastres naturales como inundaciones, sequías, erosión de suelos, tormentas de granizo, derrumbes entre otros.

Debido a que la vulnerabilidad no es una magnitud física cuantificable directamente, solo puede inferirse e interpretar cualitativamente, para ello se utiliza la teoría de indicadores que es la combinación de variables medibles que están correlacionadas y condicionan la susceptibilidad de la población presente en los sistemas de producción agrícola. La información utilizada se presenta a nivel municipal extraída del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007. Las variables utilizadas son los índices de; a) cobertura de crédito o seguro, b) organización de productores, c) cobertura de capacitación, d) ruralidad, e) balance riego/secano. Con base en lo anterior la fórmula de estación de a vulnerabilidad es:

$$Va = \sum_{i=1}^n fi * ki$$

Donde:

Va = Vulnerabilidad agrícola

Fi = Índices

Ki = importancia relativa del factor

n = Número total de factores considerados

Cálculo de índices de vulnerabilidad

 **Índice del balance riego/secano (IRS).** Este índice busca clasificar los municipios que están bajo la condición de secano (temporal) y que por tanto son más vulnerables a variaciones de precipitación, por el contrario, los municipios con mayor superficie bajo condiciones de riego presentarán menor vulnerabilidad. La variación del índice es de 0 a 1, donde el valor cercano a 0 presenta menor vulnerabilidad mientras que el valor cercano a 1 representará mayor vulnerabilidad. La fórmula contempla los datos de superficie total de riego y temporal que reporta el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2013) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).

$$IRS = \frac{SSEC}{ST}$$

Donde:

IRS = Índice del Balance Riego/Secano

SSEC = Superficie de cultivos de temporal

ST = Superficie total cultivada

 **Índice de ruralidad (IR).** Con este índice se busca ubicar los municipios que presenten mayor población rural (localidades con < 2500 habitantes), asociando la población rural al sector agropecuario se espera que las localidades rurales sean más susceptibles o vulnerables, en éstas el índice se acerca a 1, en un rango de 0 a 1. La fórmula para el cálculo se basa en información del Censo de Población y Vivienda 2010 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

$$IRU = \frac{PRUR}{PTOT}$$

Donde:

IRU = Índice de ruralidad

PRUR = Población rural (< 2500 habitantes)

PTOT = Población total

 **Índice de cobertura de seguro.** Al considerar la probabilidad de presentarse un desastre natural se asume que aquellos productores que cuentan con seguro son menos vulnerables, la variación del índice es de 0 a 1, donde el valor cercano a 1 indica mayor vulnerabilidad.

$$ICS = \frac{UPS}{UP}$$

Donde:

ICS = Índice de cobertura de seguro

UPS = Unidad de producción con seguro

UPT = Número total de unidades de producción

 **Organización de productores.** De acuerdo con la capacidad de organización de productores para realizar actividades productivas se asocia con su posible capacidad para enfrentar situaciones adversas, a diferencia de aquellas unidades de producción que no presentan constitución legal.

$$ICS = \frac{UPO}{UP}$$

Donde:

IO = Índice de organización

UPO = Unidad de producción con algún tipo de organización

UPT = Número total de unidades de producción

 **Peligro por sequía.** Información recopilada del mapa de análisis de sequías volumen I y II de México, muestra datos de sequía meteorológica a nivel municipal, el enfoque de las técnicas propuestas está orientado hacia las aplicaciones, sin descuidar los principios teóricos y restricciones que dan sustento a los procedimientos. Se espera que esta publicación brinde una herramienta suficiente de planeación que le permita

la adecuada toma de decisiones en situaciones de escasez de agua (CENAPRED, 2012).

5.3 Nivel 2. Microcuencas: priorización de localidades. Comparación de indicadores agua, suelo, vegetación y social, económico, demográfico e infraestructura

5.3.1 Delimitación de microcuencas

Una vez que se priorizo la atención al municipio de Acaxochitlán, estado de Hidalgo, se procede a delimitar microcuencas de la subcuenca del río San Marcos con el software Arc Gis 10.3, con ello se obtuvieron 17 microcuencas, dos de las cuales se ubican en el municipio.

5.3.2 Caracterización morfométrica de microcuencas

Se realizó la caracterización morfométrica de las dos microcuencas hidrográficas (16 y 17) pertenecientes al municipio de Acaxochitlán, Hidalgo y a la región hidrológica 27 (RH27).

Los parámetros morfo métricos calculados fueron:

 **Área de la cuenca.** Es el área en proyección horizontal inclinada del parteaguas, los tamaños relativos de estos espacios hidrológicos definen o determinan, aunque no de manera rígida, los nombres de microcuencas, subcuencas o cuencas.

 **Perímetro de la cuenca.** Es la longitud del parteaguas en proyección horizontal, es decir, el contorno de la cuenca, entiéndase por parteaguas de la cuenca a la línea imaginaria que une los puntos de mayor altitud entre dos ríos.

 **Forma de la cuenca:** coeficiente de compacidad. Es la relación entre el perímetro de la subcuenca y el de un círculo que tenga igual área que ésta; en la medida que el índice se acerque más a la unidad, la forma tiende a ser más redondeada y con mayor peligro de que se produzcan avenidas máximas.

Este valor adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de 1 para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Los valores de Kc nunca serán inferiores a 1.

El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano sea a la unidad, lo cual quiere decir que entre más bajo sea K_c , mayor será la concentración de agua. Existen tres categorías para la clasificación según el valor de este parámetro (Cuadro 8).

Cuadro 8. Clases de valores de compacidad.

Rangos K_c	Clase de compacidad
< 1.25	Redonda a oval redonda
1.25 - 1.50	De oval redonda a oval oblonda
1.50 - 1.75	De oval oblonda a rectangular oblonda

 **Pendiente promedio de la cuenca.** Es el promedio de las pendientes y está relacionado con la velocidad de los escurrimientos, el arrastre de sedimentos, además, es característica del relieve y un parámetro que define el uso de la tierra.

 **Sistema de drenaje:**

Perfil longitudinal del cauce principal. Las variaciones de altitud en el interior de la cuenca, así como su altitud media son datos esenciales para el estudio de la temperatura y la precipitación. En este sentido las diferencias de temperatura como consecuencia de la altitud, tienen un efecto importante sobre las pérdidas de agua por evaporación.

Orden de las corrientes de agua. Relación de bifurcación. Es una medida de ramificación del cauce principal a través de la jerarquización de cauces de acuerdo al número de orden de una corriente, los valores de relación de bifurcación se asocian con cuencas bien drenadas que pueden generar a su vez crecidas más violentas.

Densidad de drenaje. Se define como el resultado de dividir la sumatoria de las longitudes de las corrientes en la cuenca entre el área de la misma. La densidad de drenaje está relacionada con la ecología, topografía, las condiciones climáticas y las actividades antropogénicas. Este índice permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. En general, una mayor densidad de escurrimientos indica mayor estructuración de la red fluvial, o bien existe mayor potencial de erosión. La red de drenaje toma sus características, influenciada por las lluvias y la

topografía. Por esto para un valor alto corresponden grandes volúmenes de escurrimiento, al igual que mayores velocidades de desplazamiento de las aguas, lo que producirá ascensos de las corrientes (Cuadro 9).

Cuadro 9. Clases de densidad de drenaje.

Intervalo	Clase
1 - 1.8	Baja
1.9 - 3.6	Moderada
3.5 - 5.6	Alta

Pendiente media de la cuenca. Es el promedio de las pendientes de la cuenca y está relacionado con la velocidad de los escurrimientos, el arrastre de sedimentos y de la erosión dentro de las nano cuencas.

Curva hipsométrica. Está relacionada directamente con las áreas y elevaciones de las nano cuencas y representa gráficamente la distribución de la cuenca vertiente por tramos de altura. Con base en la curva hipsométrica se puede determinar la fase en la que se encuentra una cuenca dada y las características del ciclo erosivo y del tipo de cuenca (Figura 5).

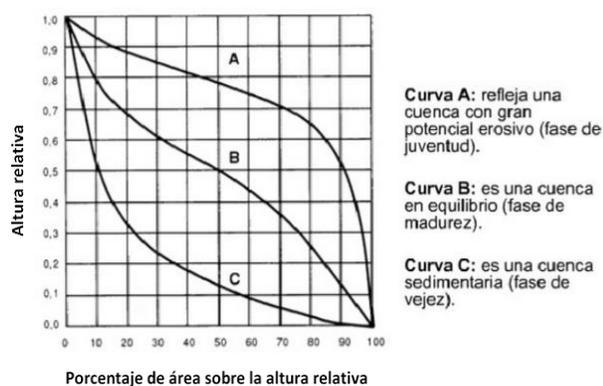


Figura 5. Tipos de curvas hipsométricas.

Tiempo de concentración. Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante. El tiempo de concentración de la cuenca es muy importante porque en los modelos lluvia-escorrentía, la duración de la lluvia se asume igual al tiempo de concentración de la cuenca, puesto

que es para esta duración cuando la totalidad de la cuenca está aportando al proceso de escorrentía, por lo cual se espera que se presenten los caudales máximos.

Procedimiento en ArcGis

- 1.- Descargar el modelo de Elevación Digital.
- 2.- Generar curvas de nivel a 100 m.
- 3.- Hacer un recorte de las curvas con el límite de las microcuencas.
- 4.- Unir el límite de la cuenca con las curvas de nivel recortadas y sacar el área entre curvas.
- 5.- Hacer un relleno a las imperfecciones del MDE con la herramienta hydrology (fill).
- 6.- Definir la dirección de flujo y la acumulación de flujo a partir del relleno con hydrology (flow direction y flow accumulation).
- 7.- Crear una red de drenaje a partir del flujo de acumulación en Map Algebra-> Raster calculator.
- 8.- Conectar las corrientes con Hydrology->Stream Link.
- 9.- Crear una orden de corrientes usando dos métodos o criterios Geomorfológico (STRAHLER)-> Stream Order e Hidrológico (HORTON)-> Se hizo manualmente.
- 10.- Convertir las corrientes a formato shp.
- 11.- Calcular la longitud de las corrientes y del cauce principal.
- 12.- Calcular la distancia del cauce principal entre cotas.

5.3.3 Erosión Hídrica Actual (2015) (RUSLE 3D)

En 1997, el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) presentó la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Revisada (RUSLE), el cual calcula la erosión laminar y en surcos generada por la precipitación y la escorrentía asociada, para un perfil de ladera. De entre los modelos para estimar pérdida de suelo por erosión se optó por utilizar el modelo RUSLE 3D el cual incorpora el impacto de la convergencia del flujo, donde el factor de longitud de pendiente (LS) es remplazado por el área de contribución aguas arriba (A) (Moore y Burch, 1986; Mitsova *et al.*, 1996). Este cambio en el factor LS ocasiona que el modelo RUSLE se le llame RUSLE 3D. Lo anterior debido a que el cálculo de la erosión de los modelos USLE y RUSLE sólo se considera a lo largo de las líneas de flujo sin incluir la

influencia del flujo de convergencia y divergencia (Moore y Burch, 1986; Mitsova *et al.*, 1996; García y Giménez, 2012).

Erosionabilidad del suelo (K)

El término erosionabilidad del suelo (K) sugerido por Cook (1936), se usa generalmente para indicar la susceptibilidad de un suelo particular a ser erosionado. Se han hecho muchos intentos para encontrar un índice de erosionabilidad basado en propiedades del suelo determinadas en campo o en laboratorio. El factor K se define como la tasa de pérdida de suelo por cada unidad adicional de EI30 cuando longitud de la pendiente (L), inclinación de pendiente (S), manejo C y prácticas de conservación (P) permanecen constantes y son iguales a 1, se expresa en t. ha.h/ha.MJ.mm (Figueroa *et al.*, 1991).

Se utilizó el factor K mediante la metodología propuesta por FAO (1980), calculada a partir de la textura superficial y la unidad de suelo a que pertenece, según la clasificación FAO/UNESCO.

Erosividad de la lluvia (R)

Se define como la habilidad potencial de una lluvia para causar erosión y para ciertas condiciones de suelo. El EI30 es uno de los índices de erosividad más utilizado, propuesto por Wischmeier (1959) y definido como el producto de la energía cinética total de la lluvia (E) por la intensidad máxima en 30 minutos (I₃₀).

La erosividad de la lluvia se estimó utilizando la precipitación media anual de las estaciones climáticas más cercanas a las microcuencas del año 2015 de la Red de Estaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, una vez obtenidos los datos se obtuvo el mapa de precipitación mediante la interpolación de los datos con el método de ponderación por distancia (IDW) usando la herramienta Arc Map, finalmente se utilizó el mapa de erosividad de la lluvia para la República Mexicana (Cortes, 1991) (Figura 6) de acuerdo a la zona donde se ubica el municipio, con lo que se obtuvieron los valores de erosividad de la lluvia (E_{I30}).

La ecuación cuadrática que se utilizó fue para la región IX, esto de acuerdo con la ubicación de Acaxochitlán dentro del mapa de regiones de erosividad de la lluvia en México realizado por Cortes (1991) (Figura 5) corresponde a:

$$Y = 7.0458X - 0.002096 X^2$$

Donde:

X= Precipitación media anual 2015

Y= Erosividad de la lluvia (EI30), MJ mm/ha h



Figura 6. Regiones de erosividad de la lluvia.

Fuente: SEMARNAT-UACH, 2002.

Longitud e inclinación de la pendiente (LS)

Mitasova *et al.* (1996) basándose en los estudios de Desmet & Goovers (1996), derivó una ecuación de forma continua para calcular LS en un punto $r = (x, y)$ sobre una pendiente. El insumo utilizado fue el Modelo de Elevación Digital de INEGI con resolución de 15 m:

$$LS(r) = (m+1) [A_e(r)/22.13]^m [\text{Sen } b(r) / \text{Sen } 5.143^\circ]^n$$

Donde:

A_e : Área específica obtenida a partir de la relación entre el área de contribución aguas arriba.

A: Unidad de ancho de contorno o curva de nivel

b: Ángulo de la pendiente en grados.

m, n: parámetros variables (0.4 y 0.6 para m y de 1.0 a 1.4 para n)

Manejo y cobertura del suelo (C)

El factor C es el cociente que se obtiene al dividir la pérdida de suelo obtenida en un terreno a cierto tipo de manejo entre la pérdida de suelo obtenida para el mismo terreno bajo cultivo

continuo. Este factor incluye el efecto combinada de las variables de manejo de cobertura, también depende del estado de crecimiento y desarrollo de la cobertura vegetal en el momento en que actúa el agente erosivo. Para lo anterior se designaron valores de acuerdo al uso de suelo actual cuyo insumo fue el mapa de uso de suelo y vegetación escala 1:250 000 de INEGI, asignándole un valor para el factor C, dando como resultados valoraciones de entre 0 y 1, las valoraciones fueron asignadas de acuerdo con estándares de SEMARNAT (2002) y Marchamalo (2007).

Prácticas de conservación (P)

Se consideró que no existen obras de conservación de agua y suelo en la zona por lo que se valor del factor de prácticas de conservación como 1 (nulo).

5.3.4 Tasa de cambio de vegetación y uso de suelo

Se ha considerado a la vegetación como uno de los indicadores más importantes de las condiciones naturales del territorio, y no solo de las naturales como clima, suelo y agua sino también de las influencias antrópicas recibidas. El análisis de los cambios producidos a la cobertura vegetal (deforestación, degradación, revegetación, etc.), considerando básicamente aquellos ocasionados por las actividades antrópicas, es un elemento fundamental en la caracterización del paisaje (Palacio - Prieto. J. L *et al.*, 2004).

Para conocer la dinámica de cambio de vegetación y uso de suelo se calculó la tasa de cambio, la cual utiliza siete tipos de indicadores (porcentaje de vegetación) con las siguientes características:

-  **Conservada.** Mide el porcentaje de superficie que no ha sufrido cambio en el periodo estudiado (la cobertura vegetal se mantiene).
-  **Deforestada.** Mide la cantidad de superficie que cambió su uso de suelo de formas de vida arbórea (bosques y selvas) a zonas de cultivos, pastizales inducidos y cultivados o a otro uso como el urbano.
-  **Revegetada.** Mide la cantidad de superficie donde anteriormente se llevaba alguna actividad agropecuaria (uso de suelo en cultivos o pastizales inducidos y cultivados)

y actualmente se encuentra ocupada por bosque, selva, matorral, vegetación hidrófila o pastizales naturales.

 **Degradada.** Mide la cantidad de superficie que presentó cambio en el uso de suelo, pérdida de cobertura vegetal no arbórea (otros tipos de vegetación, vegetación hidrófila, matorral y pastizales naturales), por pastizales inducidos y cultivados, cultivos y otras coberturas.

 **Por actividad productiva.** Mide la cantidad de superficie donde anteriormente se presentaba una cobertura de origen antrópico como: pastizales inducidos y cultivados o presenta algún uso de suelo urbano, o bien formaba parte de un cuerpo de agua, pero actualmente ha cambiado de actividad productiva.

 **Sin cambio.** Mide la cantidad de superficie de las zonas donde el uso de suelo correspondía a cultivos, pastizales inducidos y cultivados y otros usos y que actualmente se mantienen con el mismo tipo de uso.

 **Falso cambio.** Mide el cambio de uso de suelo con base en la tasa de cambio que presenta cada una de las formaciones vegetales utilizadas en el análisis.

El paso previo para calcular la tasa de cambio de uso y vegetación fue realizar la actualización de uso de suelo y vegetación para dos periodos (2010 y 2016) mediante la clasificación supervisada por el método de segmentación, este método se realizó de la siguiente manera:

1. Se obtuvieron las imágenes de satélite del sensor Landsat a clasificar, para los años 2000 (Landsat 5) y 2016 (Landsat 8), dichas imágenes fueron descargadas de la página: <https://earthexplorer.usgs.gov/> del Servicio Geológico de Estados Unidos (United States Geological Survey, USGS).
2. El primer paso fue generar una composición en falso color en el software Idrisi Selva con las bandas 2, 3 y 4 (para Landsat 5) y 3,4 y 5 (para Landsat 8) (Figura 7).

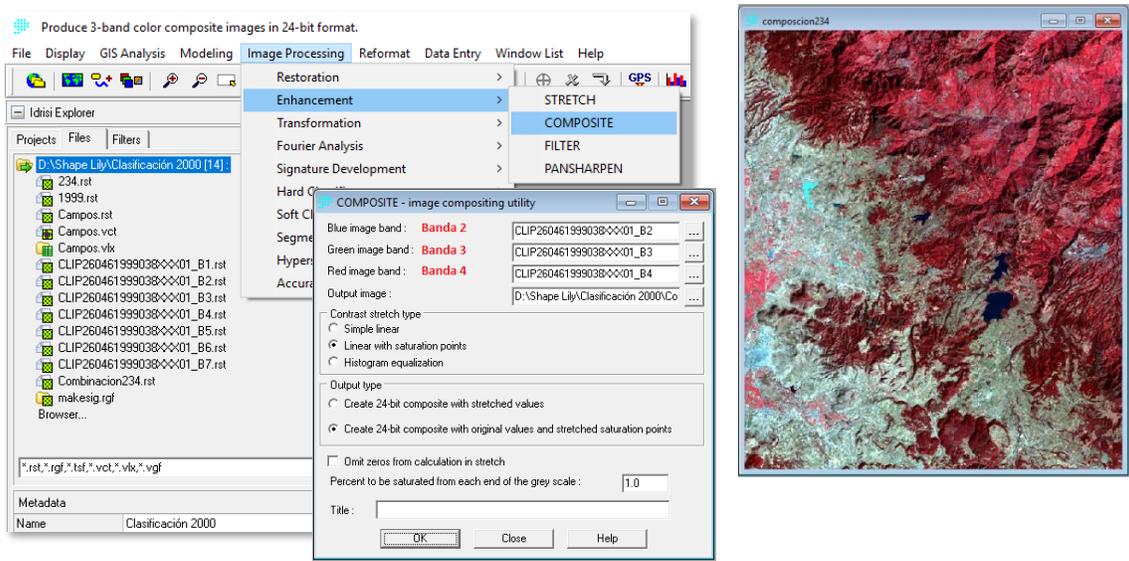


Figura 7. Generación de falso color de imágenes de satélite (izquierda) y resultado de la composición de falso color (derecha).

3. Posteriormente, sobre la imagen se realiza la segmentación con la herramienta segmentación de Idrisi Selva. Dentro de la ventana de la herramienta introducimos las bandas de nuestra imagen de satélite y en similarity tolerance colocamos los valores 10, 40, 60, dichas iteraciones se pueden modificar con base en los resultados obtenidos que mejor realicen la segmentación (Figura 8).

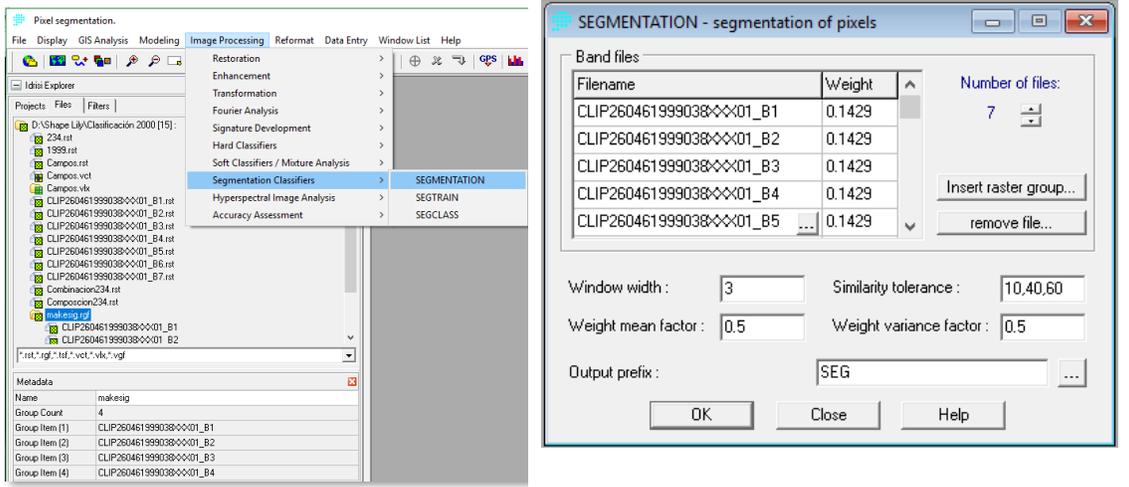


Figura 8. Proceso de segmentación (izquierda) y parámetros de cálculo (derecha).

4. Posteriormente aplicamos la herramienta de SEGTRAIN, para generar nuestros campos de entrenamiento (Figura 9). Dentro de la ventana de SEGTRAIN, introducimos el archivo generado en la segmentación, nuestra imagen en falso color (banda 2, 3 y 4) y colocamos un nombre a nuestro archivo de salida. Por último, seleccionamos en el icono de mapa para desplegar la imagen en falso color con la segmentación (Figura 10).

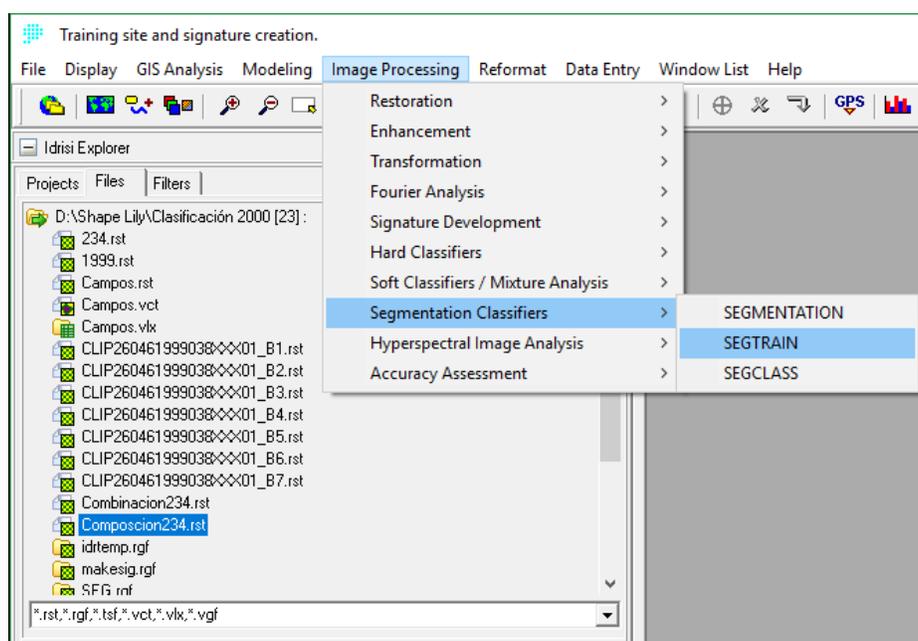


Figura 9. Herramienta SEGTRAIN.

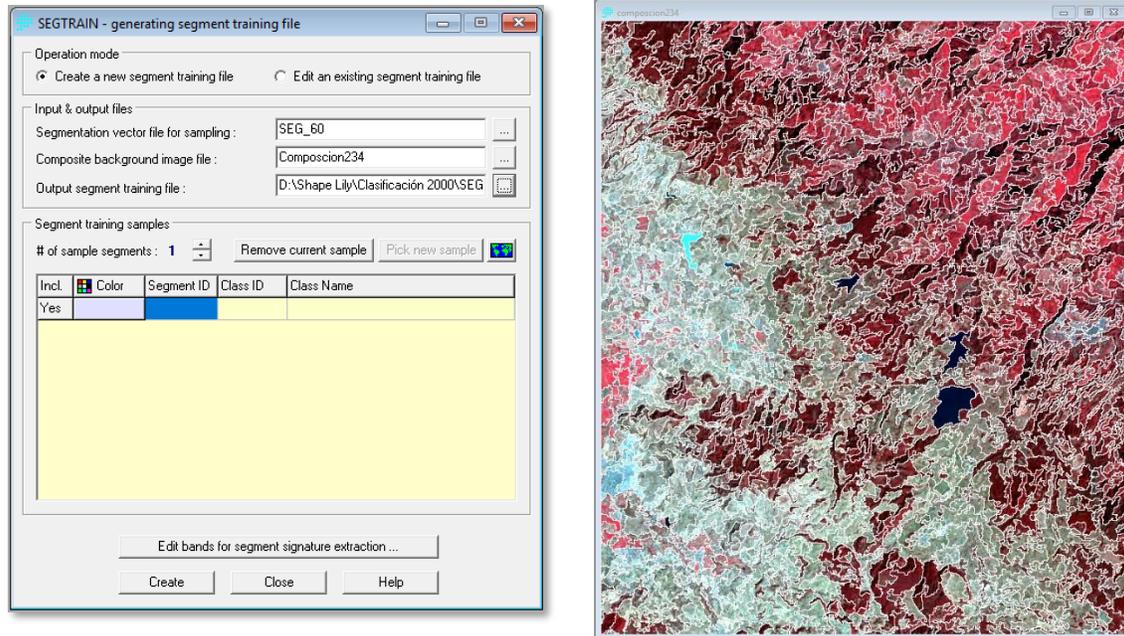


Figura 10. Proceso de SEGTRAIN (izquierda) e imagen en falso color con la segmentación (derecha).

5. Con las dos ventanas desplegadas podemos generar nuestros campos de entrenamiento, dando clic en Pick new simple, Damos doble clic dentro de un segmento y asignamos un Class ID (identificador de clase) y un Class Name (nombre de la clase) (Figura 11).

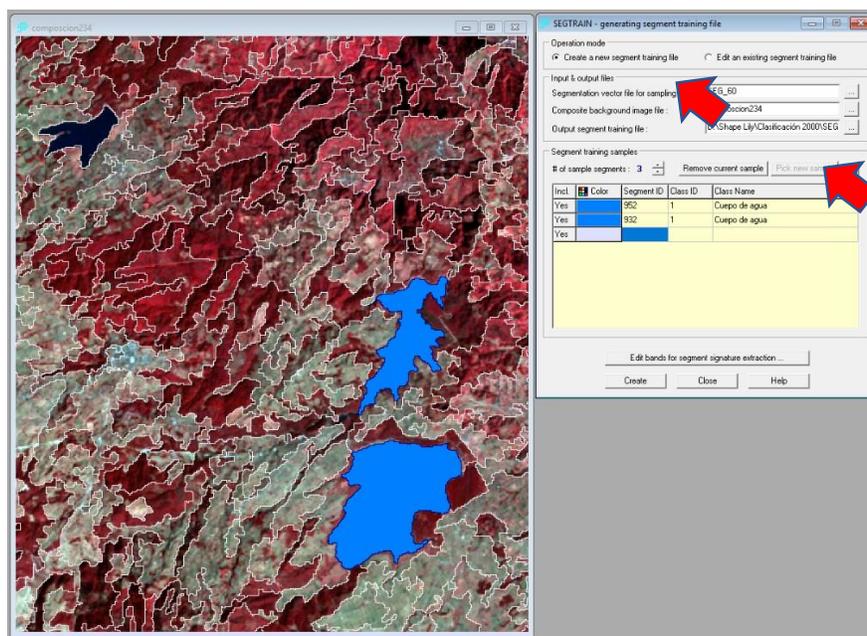


Figura 11. Generación de campos de entrenamiento.

6. Después de seleccionar segmentos con todas las clases presentes en nuestra zona de estudio, presionamos en el icono crear. Para realizar la clasificación supervisada, desplegamos la herramienta MAXLIKE. Dentro de la ventana MAXLIKE, damos clic en Insert signature group e introducimos el archivo generado con la herramienta SEGTRAIN, introducimos un nombre de archivo de salida y damos OK (Figura 12 y Figura 13).

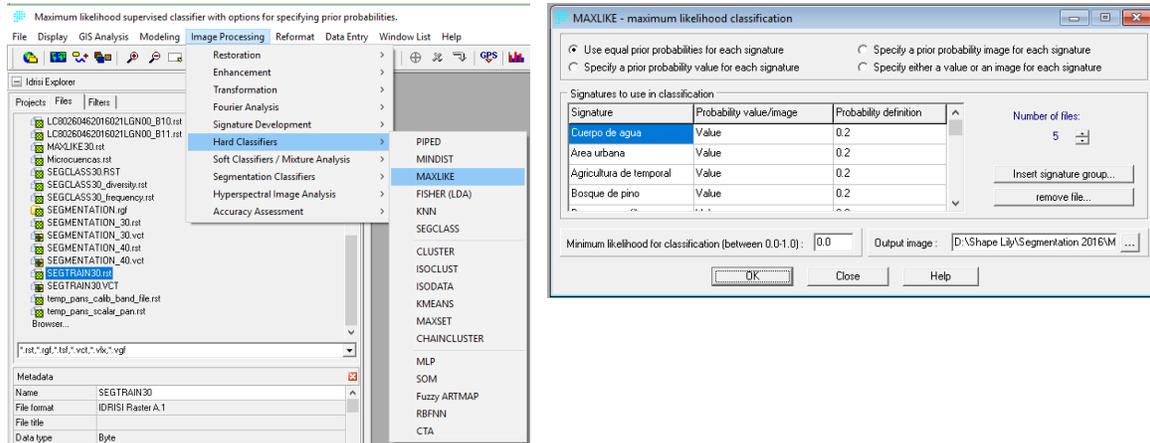


Figura 12. Procedimiento de clasificación supervisada, herramienta maxlike.

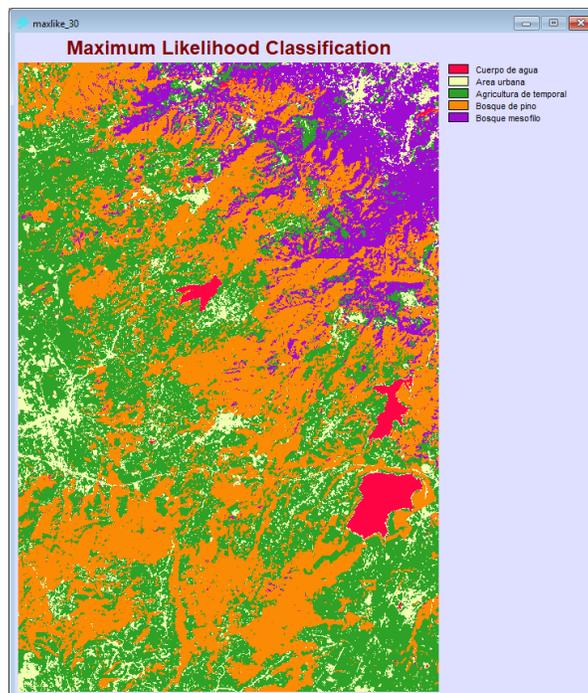


Figura 13. Resultado de clasificación supervisada.

7. Posteriormente aplicamos la herramienta SEGCLASS. Dentro de la ventana SEGCLASS introducimos nuestra imagen segmentada y la clasificación generada con MAXLIKE, seleccionamos un nombre de salida y damos OK (Figura 14 y Figura 15).

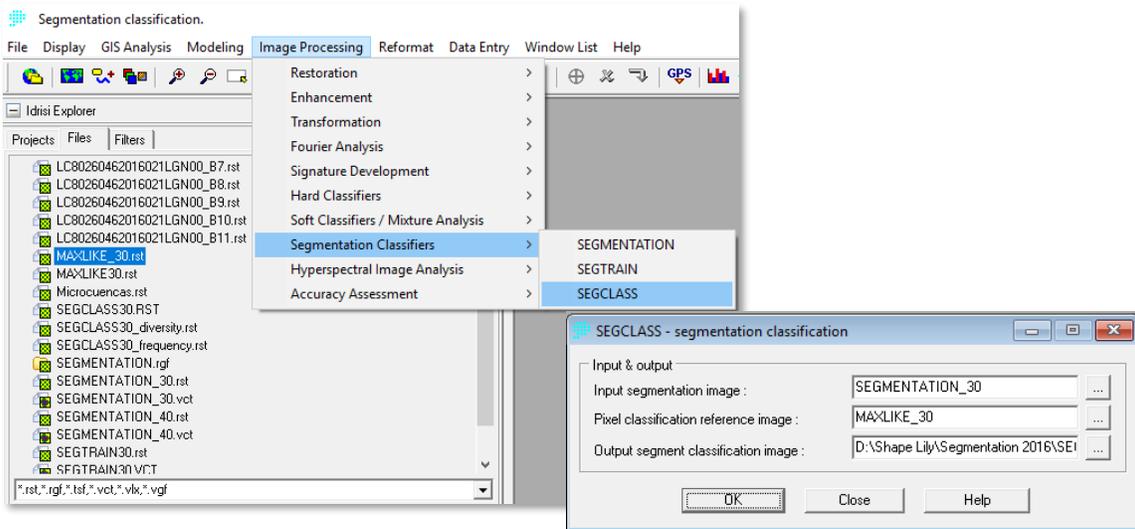


Figura 14. Herramienta SEGCLASS.

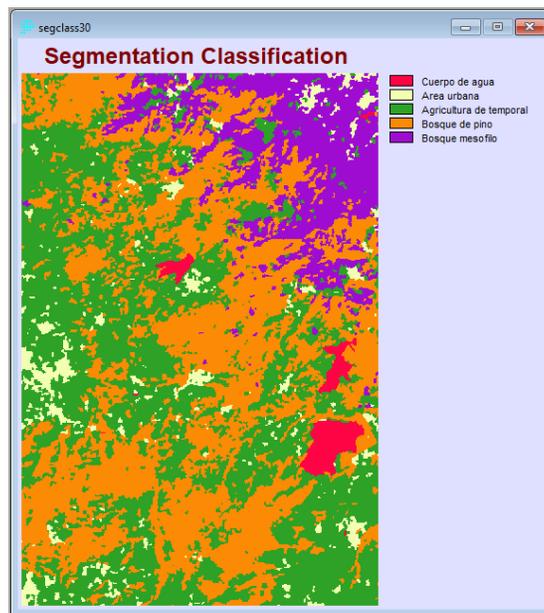


Figura 15. Resultado de herramienta SEGCLASS.

La metodología de clasificación se aplica para los dos años (2010 y 2016), para posteriormente llevar a cabo el cálculo de cambio de uso de suelo. Se realiza la sobre

posición geométrica de las coberturas digitales del uso del suelo y vegetación del primer año y la cobertura del año final con el software Arc Gis 10.3 mediante la herramienta de Spatial Analysis, para ello se aplica la fórmula de la tasa de cambio de la manera siguiente:

$$C = \frac{\left(\frac{T2}{T1}\right)^n - 1}{n - 1} * 100$$

Dónde:

C= Tasa de cambio

T1= Año de inicio

T2= Año actual o más reciente

n= Número de años entre T1 y T2

5.3.5 Disponibilidad media anual de agua superficial

Se utilizó la Norma Oficial Mexicana 011 la cual tiene como objetivo establecer el método base para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales para su explotación, uso o aprovechamiento. El método se considera como el requerimiento técnico mínimo obligatorio.

$$\text{Disponibilidad media anual de agua superficial} = \frac{\text{Volumen medio anual de escurrimiento}}{\text{Volumen anual actual comprometido}}$$

Volumen medio anual de escurrimiento

En caso de que la cuenca de estudio no se cuente con suficiente información de registros hidrométricos o esta sea escasa, para determinar el volumen medio anual de escurrimiento natural se aplica el método indirecto denominado precipitación – escurrimiento:

$$VAE = PAC * AC * CE$$

Dónde:

VAE = Volumen anual de escurrimiento natural de la cuenca

PAC = Precipitación anual de la cuenca

AC = Área de la cuenca

CE = Coeficiente de Escurrimiento

Para este método se requirió información de estaciones donde hubiera un registro mínimo de 20 años consecutivos o no consecutivos, dicha información fue recopilada de la Base de Datos Climatológica Nacional (Sistema CLICOM) del Servicio Meteorológico Nacional y

respetando la densidad mínima de estaciones pluviométricas de acuerdo a fisiografía establecida por la Organización Meteorológica Mundial (Cuadro 11). Se completaron los datos de las estaciones meteorológicas mediante interpolación con el método IDW para el periodo 1980 – 2009.

Coeficiente de escurrimiento. En función del tipo y uso de suelo y el volumen de precipitación anual de las microcuencas de estudio. Se determinó el valor de K con base en los usos de suelo de la carta de general de la República Mexicana de vegetación 1: 100 000 de la Secretaría de la Defensa Nacional e información de campo sobre el tipo de suelo, con base en los parámetros establecidos por la NOM 011 de CONAGUA.

Si en la microcuenca existen diferentes tipos y usos de suelo, el valor de K se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas y obtener el promedio ponderado de todas ellas. Una vez obtenido el valor de K, el coeficiente de escurrimiento anual (Ce) (Cuadro 10 y Cuadro 12) se calcula mediante las fórmulas siguientes:

Si K resulta menor o igual a 0.15:

$$Ce = K (P - 250)/2000$$

Si K es mayor de 0.15:

$$Ce = K \frac{P - 250}{2000} + \frac{K - 0.15}{1.5}$$

Dónde:

Ce = Coeficiente de escurrimiento (adimensional)

P = Precipitación anual en mm

Intervalo de validez: las fórmulas se consideran válidas para valores de precipitación anual entre 350 y 2150 mm. La evapotranspiración está incluida en el coeficiente de escurrimiento.

Cuadro 10. Características del tipo de uso de suelo.

Tipo de Suelo	Características
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loess poco compactos
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad; loess algo más compactos que los correspondientes a los suelos A; terrenos migajonosos.
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loess muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas.

Cuadro 11. Densidad mínima recomendada de estaciones pluviométricas y densidad de estaciones de la región (microcuenca 16 y 17), Hidalgo.

OMM (km ²) [†]	Unidad Fisiográfica	Área (km ²)	Número de estaciones
	Región		
Zona montañosa (2500)	Cañón	3920.293	11
	Sierra alta de laderas convexas		
	Sierra baja		
	Sierra volcánica con estrato volcanes o estrato volcanes aislados		
	Sierra volcánica de laderas tendidas		
	Lomerío de basalto		
	Lomerío de tobas		
	Lomerío de tobas con llanuras		
Llanuras interiores (5750)	Llanura aluvial	2147.38	14
	Llanura aluvial con cañadas		
	Llanura aluvial con lomerío		
	Llanura aluvial de piso rocoso o cementado		
	Meseta basáltica		
	Meseta compleja con lomerío		
Zonas escarpadas/ondulantes (5750)	Valle de laderas tendidas	4508.416	13
	Valle de laderas tendidas con llanuras		
	Sierra alta escarpada		
	Sierra volcánica de laderas escarpadas		
Total		10576.089	38

[†]Fuente: Organización Meteorológica Mundial, No. 168, 1994.

Cuadro 12. Valores de K para uso de suelo.

Uso del Suelo	Tipo de suelo		
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0.26	0.28	0.30
Cultivos en hilera	0.24	0.27	0.30
Legumbres o rotación de pradera	0.24	0.27	0.30
Cultivos de granos pequeños	0.24	0.27	0.30
Pastizal (> 75% de cobertura)	0.14	0.20	0.28
Pastizal (50 - 75% de cobertura)	0.20	0.24	0.30
Pastizal (<50% de cobertura)	0.24	0.28	0.30
Bosque (> 75% de cobertura)	0.07	0.16	0.24
Bosque (50 - 75% de cobertura)	0.12	0.22	0.26
Bosque (<50% de cobertura)	0.17	0.26	0.28
Bosque (<25% de cobertura)	0.22	0.28	0.30
Zonas urbanas	0.26	0.29	0.32
Caminos	0.27	0.30	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.30

5.3.6 Análisis clúster de Indicadores Social – Económico – Demográfico y de Infraestructura

La marginación es un fenómeno multidimensional y estructural originado, en última instancia, por el modelo de producción económica expresado en la desigual distribución del progreso, en la estructura productiva y en la exclusión de diversos grupos sociales, tanto del proceso como de los beneficios del desarrollo (CONAPO, 2011).

El indicador de marginación utilizado en la priorización de municipios, se retoma junto con la información de población total, población económicamente activa ocupada y viviendas con agua entubada para generar un indicador compuesto, para ello se realiza un análisis clúster y junto con la información de erosión de suelo, tasa de cambio de uso de suelo y vegetación y balance hídrico se priorizó la microcuenca de atención.

Ahora bien, el análisis clúster conocido como análisis de conglomerados es una técnica estadística multivariante que busca agrupar elementos (o variables) tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre grupos. Es una técnica descriptiva, atórica y no inferencial, es un método basado en criterios geométricos y se utiliza fundamentalmente como una técnica exploratoria, descriptiva pero no explicativa (De La Fuente, 2011).

Los métodos de análisis de conglomerados jerárquicos y los dendrogramas permiten una comparación de objetos o variables de esos mismos objetos alejados de la idea de “comparar solo lo comparable” (Marín, 2012). En este sentido, el análisis de conglomerados utiliza métodos de enlace (linkage) que miden la proximidad entre pares de individuos para unos grupos de individuos. Existen diversas formas de medir la distancia entre clúster que producen diferentes agrupaciones y diferentes dendrogramas. No hay un criterio para seleccionar cual es el algoritmo mejor. La decisión es normalmente subjetiva y depende del método que mejor refleje los propósitos de cada estudio en particular (Lara, 2007).

Con la finalidad de analizar los grupos categorizados anteriormente se realiza el análisis clúster de las 11 variables (indicadores) mediante el algoritmo jerárquico de tipo disociativo el cual es un método que entrega una jerarquía de divisiones del conjunto de elementos en

conglomerados que parte de un gran conglomerado y en pasos sucesivos se va dividiendo hasta que cada observación queda en un conglomerado distinto.

El método de conglomeración utilizado es el método de Ward (o método de pérdida de la inercia mínima). Cuando se unen dos conglomerados con independencia del método utilizado, la varianza aumenta, el método une los casos buscando minimizar la varianza dentro de cada grupo. Para ello se calcula la distancia entre cada caso y la media del conglomerado, sumando después las distancias en todos los casos.

Este método permite construir un árbol de clasificación o dendrograma que es una representación gráfica que resume el proceso de agrupación en un análisis de clúster. Para agrupar los indicadores de localidades de las microcuencas 16 y 17 se introdujeron las variables en el programa SPSS para realizar el análisis clúster la cual es una técnica que forma conglomerados con alto grado de homogeneidad. Los pasos para realizar dicho análisis son:

- 📍 Método de conglomeración: vinculación inter-grupos
- 📍 Medida- intervalo: Distancia euclídea al cuadrado
- 📍 Estandarización: de 0 a 1
- 📍 Selección de historial de conglomeración
- 📍 Gráficos: Selección de dendrograma
- 📍 Análisis de conglomerados de K-Means
- 📍 Estadísticos: Centros de conglomerados iniciales, tabla de ANOVA

5.4. Nivel 3. Nano cuenca: priorización de predios. Evaluación cualitativa de la degradación de tierras

5.4.1 Caracterización de transectas

La evaluación cualitativa de degradación de tierras de la microcuenca se realizó con la herramienta de caracterización de transectas desarrollada por la Evaluación Local de la Degradación de Tierras Áridas (LADA). La información cartográfica disponible de uso de suelo y vegetación, edafología, erosión de suelo (escala 1:250 000) e imagen de satélite se utilizaron para definir las transectas.

Herramienta de transectas. Estos recorridos deben atravesar los tipos de uso de suelo, áreas degradadas y erosionadas y áreas productivas o donde ha habido actividades de conservación de suelo, áreas comunales en las que todavía existan bosques o pasturas (ecosistemas de vegetación natural) y donde exista un patrón hidrológico notorio en el territorio (Ejemplo: Figura 16).

A lo largo del recorrido se realizaron entrevistas a productores, estas solo fueron como base exploratoria sobre las condiciones en las que se desarrollan las actividades primarias (Anexo I, II y III).

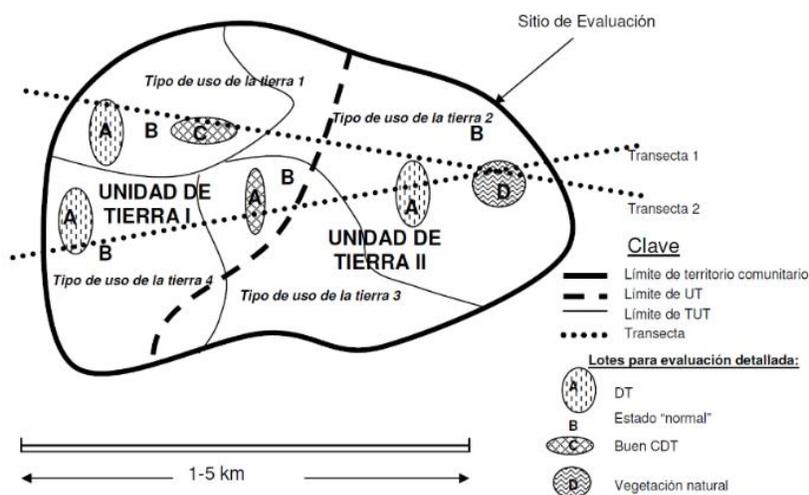


Figura 16. Recorrido hipotético de dos transectas con distintos Tipos de Uso de la Tierra.

Fuente: LADAWOCAT, 2007.

5.4.2 Muestreo de suelos

La evaluación de degradación se realizó a partir de muestreos de suelo, el número de muestras se definió con base en las características del mismo (tipos de suelo, pendiente, exposición entre otras) de manera general, se realizó al menos 1 muestra compuesta por cada tipo de uso de suelo identificado en las transectas, tanto en terrenos degradados como en terrenos estables.

Las características de cada muestra compuesta fueron:

- El número de submuestras fue variable, para cada unidad homogénea se tomaron entre 10 y 20 submuestras en zigzag.
- La profundidad fue de 0 - 20 ó 0 - 30 cm para cultivos agrícolas, 0 -10 a 0 - 15 cm para pastos y de 0 -30 a 0 - 40 cm para frutales y terrenos forestales.
- La densidad de muestreo fue baja debido a que se trató de un análisis exploratorio.

El total de muestras de la microcuenca fue de 5 muestreos de suelos y a cada una se le realizó análisis físicos y químicos (Cuadro 13). Con la información recabada se obtuvo el mapa final sobre Degradación de tierras y se analizaron las condiciones de los sistemas productivos, información con la que se priorizó la nano cuenca de atención.

Cuadro 13. Análisis de laboratorio realizados a las muestras de suelo de la microcuenca Acaxochitlán, Hidalgo.

Tipo de análisis	Determinación	
Químico	pH	Potencial de hidrógeno
	CO	Carbono orgánico
	MO	Materia orgánica
	N	Nitrógeno
	P	Fósforo
	CIC	Capacidad de intercambio catiónico
	K	Potasio
	Ca	Calcio
	Mg	Magnesio
Físico	Da	Densidad aparente
	Textura	Arena, limo y arcilla (%)

5.4.3 Delimitación de nano cuencas

Se delimitaron las nano cuencas de la microcuenca 17 Acaxochitlán con el software Arc Gis 10.3. A partir de la microcuenca 17 se delimitaron las nano cuencas, se escogió trabajar con la más pequeña para poder realizar el levantamiento fotogramétrico.

5.5 Levantamiento fotogramétrico y degradación de suelo causada por el hombre en nano cuenca 9 La Mesa

El primer paso fue la ubicación de puntos de control terrestre con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés de Global Positioning System) de precisión, realizado con el GPS Promark 3 con la modalidad de medición estático con post-proceso, cuyo rastreo de satélites es de 14 canales independientes, código L1 y rastreo satelital WASS/EGNOS. Se ubicaron 10 puntos de control terrestre (Cuadro 14). Durante el procesamiento de las imágenes en los softwares Pix 4Dmapper Pro y Agisoft PhotoScan se ubicaron los puntos de control terrestre que fueron utilizados para georreferenciar las fotografías.

Cuadro 14. Datos de puntos de control terrestre tomados en la nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.

Número	X	Y	Z	Tipo
1	580776.97	2219921.3	2465.927	Fijo
2	580845.34	2220197.3	2446.997	móvil
3	581215.08	2220215.2	2393.699	móvil
4	581525.1	2220050.2	2465.071	móvil
5	581355.8	2219722	2447.114	móvil
6	581313.47	2219491.7	2439.723	móvil
7	580404.75	2219708.5	2456.82	móvil
8	580338.52	2219810.3	2484.906	móvil
9	580698.74	2219096	2508.354	móvil
10	581254.19	2219187.3	2463.334	móvil

Se trazaron las rutas de vuelo mediante la aplicación Pix 4Dcapture versión 3.7.1, se elaboró el proyecto tipo malla de misión (Grid Mission), mejor para mapas 2D, con 13 misiones para cubrir la zona de estudio, cada una a una altura de vuelo de 100 m, sobre posición entre líneas de vuelo de 75%, velocidad vertical de 5 m s^{-1} y velocidad horizontal de 9 m s^{-1} (Figura 17).



Figura 17. Programación de rutas de vuelo de la nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.

Para el levantamiento de fotografías aéreas se utilizó un dron modelo Phantom 4 Pro de la marca DJI, el cual cuenta con un sistema de posicionamiento por satélite GPS/GLONASS, rótula de estabilización en 3 ejes (movimiento horizontal, vertical y rotación), un sistema de detección de obstáculos (0.2 – 7 m), portó una cámara con sensor 1” CMOS con una lente con campo de visión (FOV) 84° 8,8 mm (equivalente al formato 35 mm), el formato de las imágenes es JPEG.

Los vuelos se realizaron el día 21 de marzo de 2017 bajo condiciones atmosféricas adecuadas, esto es cielo despejado (sin nubosidad), velocidad de viento de 5.55 m s^{-1} (resistencia del dron a velocidad del viento máxima 10 m s^{-1}) y dentro del intervalo de temperatura de funcionamiento (0 a 40°C) (Cuadro 15).

Cuadro 15. Variables climáticas de la estación Acaxochitlán, Hidalgo del día 21 de marzo de 2017.

Indicador	Valor
Precipitación (mm)	0.00
Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$)	19.50
Temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$)	9.60
Temperatura media ($^{\circ}\text{C}$)	14.87
Velocidad del viento máxima (Km hr^{-1})	0.20

Indicador	Valor
Dirección de velocidad del viento máxima (grados azimut)	348.1 (N)
Velocidad del viento (Km hr ⁻¹)	0.03
Dirección del viento (grados azimut)	43.00 (SE)
Radiación Global (w/m ²)	458.09
Humedad relativa (%)	36.44
Evapotranspiración de referencia (mm)	ND
Evaporación potencial (mm)	5.36

Fuente: Red de estaciones climáticas Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP, 2017.

2.4.4.1 Generación de orto mosaico y modelo digital de superficie

Las fotografías aéreas se procesaron con el software Pix4Dmapper Pro para generar el orto mosaico georreferenciado y modelo digital de superficie (Figura 18, Figura 19, Figura 20), el procedimiento fue:

- 1. Crear un nuevo proyecto, cargar fotografías, definir propiedades de imágenes (geolocalización y orientación) y de la cámara.
- 2. Definir plantilla de opciones de procesamiento (Mapas 3D).
- 3. Realizar proceso inicial: definir resolución de MDS y orto mosaico.
- 4. Introducir puntos de control terrestre (GCP) y re optimizar.
- 5. Crear nube de puntos: definir escala de la imagen, densidad de puntos, número mínimo de emparejamiento, resolución de la malla 3D con textura.
- 6. Ejecutar la clasificación de la nube de punto en terreno/objetos (Beta)
- 7. Generar Modelo Digital de Superficie y orto mosaico

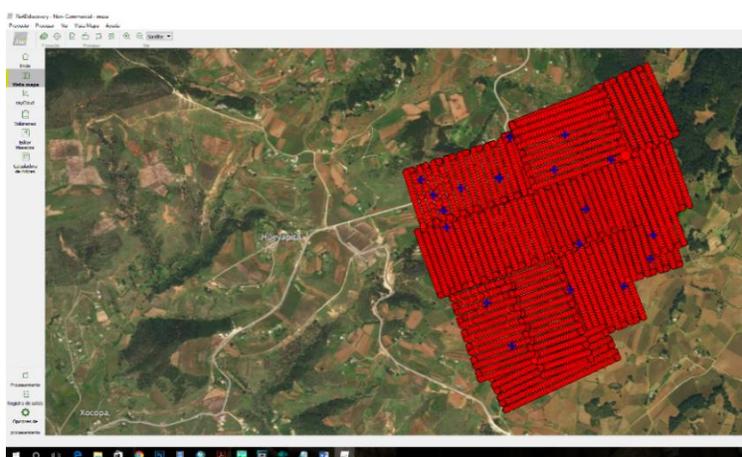


Figura 18. Fotografías aéreas con UAV y puntos de control terrestre de la nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.

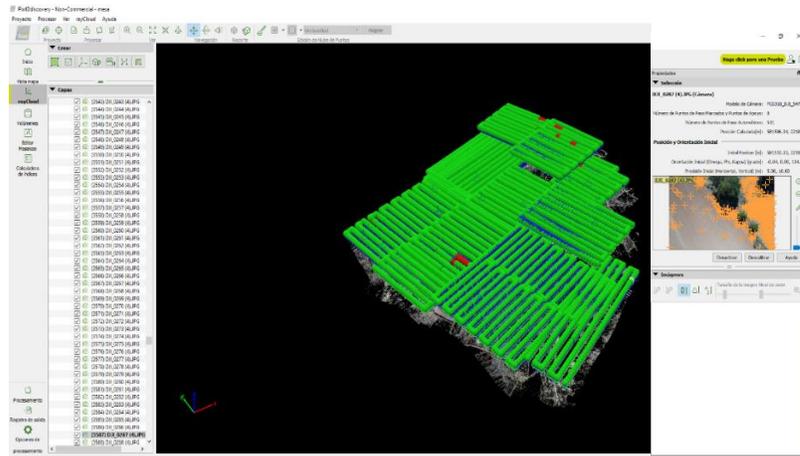


Figura 19. Cámaras calibradas (verde) y no calibradas (rojo) de la nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.

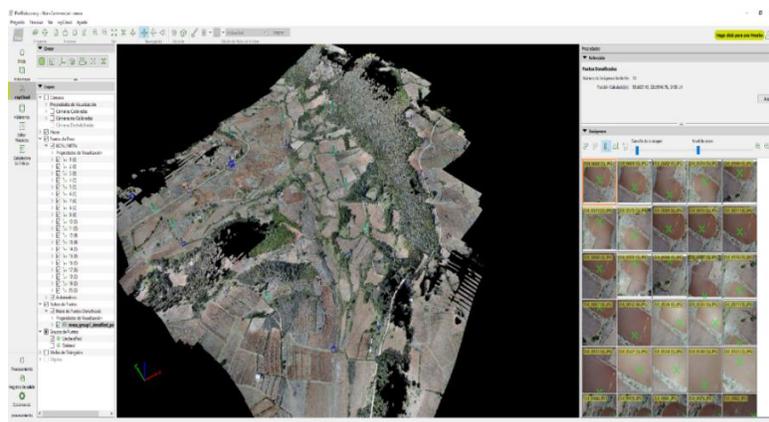


Figura 20. Nube de puntos densa con puntos de control terrestre de la nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.

De igual manera se realizó el procesamiento en el software Agisoft PhotoScan versión 1.2.6 para generar orto mosaico y modelo digital de superficie, el procedimiento fue:

- 📷 Añadir fotografías al programa
- 📷 Orientar fotografías, alineación máxima y pre-emparejamiento: referencia (puntos de apoyo).
- 📷 Crear nube de puntos densa. Filtración de mapas de profundidad: medio y agresivo.
- 📷 Crear malla. Bajo relieve/terreno, nube de puntos densa y resolución alta.
- 📷 Agregar puntos de control, renombrar puntos e importar tabla .CVS, calibrar mosaico y nube de puntos.
- 📷 Definir sistema de coordenadas

- 📍 Optimizar
- 📍 Crear nube de puntos densa. Filtración de mapas de profundidad: media y agresivo.
- 📍 Clasificar nube de puntos densa

2.4.4.2 Fotointerpretación y digitalización de zonas degradadas

Para la fotointerpretación de zonas erosionadas se utilizó el orto mosaico georreferenciado generado por el software Pix 4Dmapper Pro, se cargó al software Arc Gis 10.3 para su visualización y digitalización, lo primero fue delimitar el uso de suelo, posteriormente para se determinó el tipo de degradación de suelo causada por el hombre (apoyado en la información de recorridos de campo). Los tipos de degradación de suelo causada por el hombre de manera convencional (SEMARNAT-CP, 2002) se obtienen a con base en el levantamiento fisiográfico y se realizó a nivel de sistema terrestre (escala 1: 250 000). La tasa de degradación tiene la siguiente estructura (cada elemento ejemplifica un parámetro):

$$Qd\ 2.50(+)\ a$$

Dónde:

Q = tipo de degradación

d = subtipo

2 = grado

50 = porcentaje

(+) = tasa

a = causa

El tipo de degradación de suelo se determinó con base en el uso de suelo omitiendo el levantamiento fisiográfico, esto debido a la escala, dado que cada unidad de uso de suelo representa el 100% de determinado tipo de degradación, en la estructura de la fórmula de degradación el apartado correspondiente a porcentaje se colocó “000”, para el resto de la fórmula se utilizaron los parámetros establecidos (Cuadro 16 y Cuadro 17).

Cuadro 16. Parámetros de clasificación de degradación de suelo causada por el hombre.

Tipo		Causa	
H	Erosión hídrica	a	Actividades agrícolas
E	Erosión eólica	f	Deforestación
Q	Degradación química	e	Sobreexplotación de la vegetación para consumo
F	Degradación física	g	Sobrepastoreo
		i	Actividades industriales
		u	urbanización
Grado		Tasa	
1	Ligero	+	Activa
2	Moderado	0	Sin cambios
3	Fuerte	-	Recuperación
4	Extremo		
0 - 100%	Extensión de la degradación		

Cuadro 17. Parámetros de clasificación de degradación de suelo causada por el hombre (continuación).

Subtipo		Otros tipos	
Hs	Pérdida de suelo superficial	Terrenos estables	
Hc	Deformación del terreno (lineal o movimientos en masa)	SN	Natural
Ha	Efectos fuera de sitio		
Es	Pérdida de suelo superficial		Por el hombre (áreas reforestadas, terrazas etc.)
Ed	Deformación del terreno	SH	
Et	Efectos fuera de sitio		
Qd	Declinación de la fertilidad		
Qp	Contaminación	Terrenos sin uso	
Qs	Salinización/alcalinización	Nud	Desiertos
Qa	Acidificación	NUm	Regiones áridas montañosas
Qe	Eutroficación		
Fc	Compactación		
Fe	Encostramientos	NUr	Afloramientos rocosos
Fa	Anegamientos		
Fu	Pérdida de la capacidad productiva		
Fh	Hundimiento de suelos	NUc	Dunas costeras
Fd	Disponibilidad de agua	NUz	Planicies salinas

VI. RESULTADOS

6.1. Nivel 1. Subcuenca: Priorización de estados y municipios

La subcuenca del río San Marcos está compuesta por cinco municipios del estado de Hidalgo, once del estado de Puebla y siete de Veracruz de Ignacio de la Llave (Cuadro 18 y Anexos Figura 47), ahora bien, debido a que los límites políticos no corresponden con los límites físicos de las cuencas al comparar la superficie total del municipio con la de la parte correspondiente a la subcuenca son solo nueve municipios que superaran el 50% de la superficie que pertenece a la subcuenca, este dato puede ser utilizado como último parámetro de decisión para la intervención. Los indicadores de priorización se realizaron a nivel municipal, derivado de esto se decidió no realizar la ponderación de acuerdo a superficie debido a que la distribución espacial de las localidades es aleatoria el ponderar la información traería consigo un error de priorización.

Cuadro 18. Estados y municipios de la subcuenca del río San Marcos.

Estado	Municipio	Superficie			Parte de la cuenca
		Total, municipal (ha)	Parte de la cuenca Ha	Porcentaje	
Hidalgo	Acaxochitlán	23871.9	17331.5	72.6	Alta
	Cuautepec de Hinojosa	39113.6	387.4	1.0	
	Metepec	14624.0	138.3	0.9	
	Tenango de Doria	17652.0	3714.3	21.0	
	Tulancingo de Bravo	21726.6	33.1	0.2	
Puebla	Honey	6370.5	6085.4	95.5	Media
	Pahuatlán	9839.7	8519.9	86.6	
	Naupan	6105.9	5899.5	96.6	
	Huauchinango	25081.2	5684.9	22.7	
	Jalpan	20582.3	7303.5	35.5	
	Jopala	17027.5	0.2	0.0	
	Juan Galindo	2296.8	567.7	24.7	
	Tlacuilotepec	17322.5	7106.3	41.0	
	Xicoteppec	31237.7	27896.2	89.3	
	Zihuateutla	17615.2	12738.8	72.3	
	Venustiano Carranza	31643.5	8123.3	25.7	
Veracruz de Ignacio de la Llave	Coahuatlán	4174.8	0.0	0.0	Baja
	Coatzintla	27760.3	26663.8	96.1	
	Coyutla	23396.5	13202.6	56.4	
	Espinal	24085.5	1745.3	7.2	
	Papantla	145644.4	1986.0	1.4	
	Poza Rica de Hidalgo	6410.3	5458.6	85.2	
Tihuatlán	71823.9	3033.7	4.2		

Los resultados de priorización de municipios fueron variados, sin embargo, muestran similitud de acuerdo con la zona a la que pertenecen, debido a que se realizó la priorización por sector (social, económico y ambiental) y una priorización final, lo que permitió conocer los principales aspectos que potencializan o atenúan la degradación de suelos en la subcuenca. Así se observa; en la parte media de la subcuenca se encuentra la mayor población en el sector primario, mayor población con carencia a la alimentación, así como la mayor población con ingreso inferior a dos salarios mínimos a la vez que presenta mayor convertibilidad en el sector primario (agrícola y forestal) y condiciones de degradación más bajas (terrenos más estables), se observa mayor marginación en la parte media y mayor convertibilidad forestal en la parte alta y media,

Por otra parte, en la parte baja de la subcuenca se observa mayor apoyo por la Cruzada Nacional Contra el Hambre y mayor convertibilidad pecuaria (Anexos Cuadro 44). Mientras que los indicadores de vulnerabilidad agropecuaria y peligro por sequía son más o menos homogéneos en toda la subcuenca. Ahora bien los resultados de priorización por sector se dan en función de peso asignado a cada dimensión (social 40% e igual peso a la ambiental y económico (30%)), con ello para cada estado se obtuvo la priorización de municipios, esto es un ranking de priorización, a continuación se enlistan los municipios con valores más altos (arriba de 0.60) (Cuadro 19).

En la dimensión social los municipios prioritarios son; Acaxochitlán y Cuauhtpec de Hinojosa (estado de Hidalgo), Jopala, Tlacuilotepec, Zihuateutla y Pahuatlán (estado de Puebla) y Coahuatlán, Coyutla y Espinal (estado de Veracruz) (Figura 21).

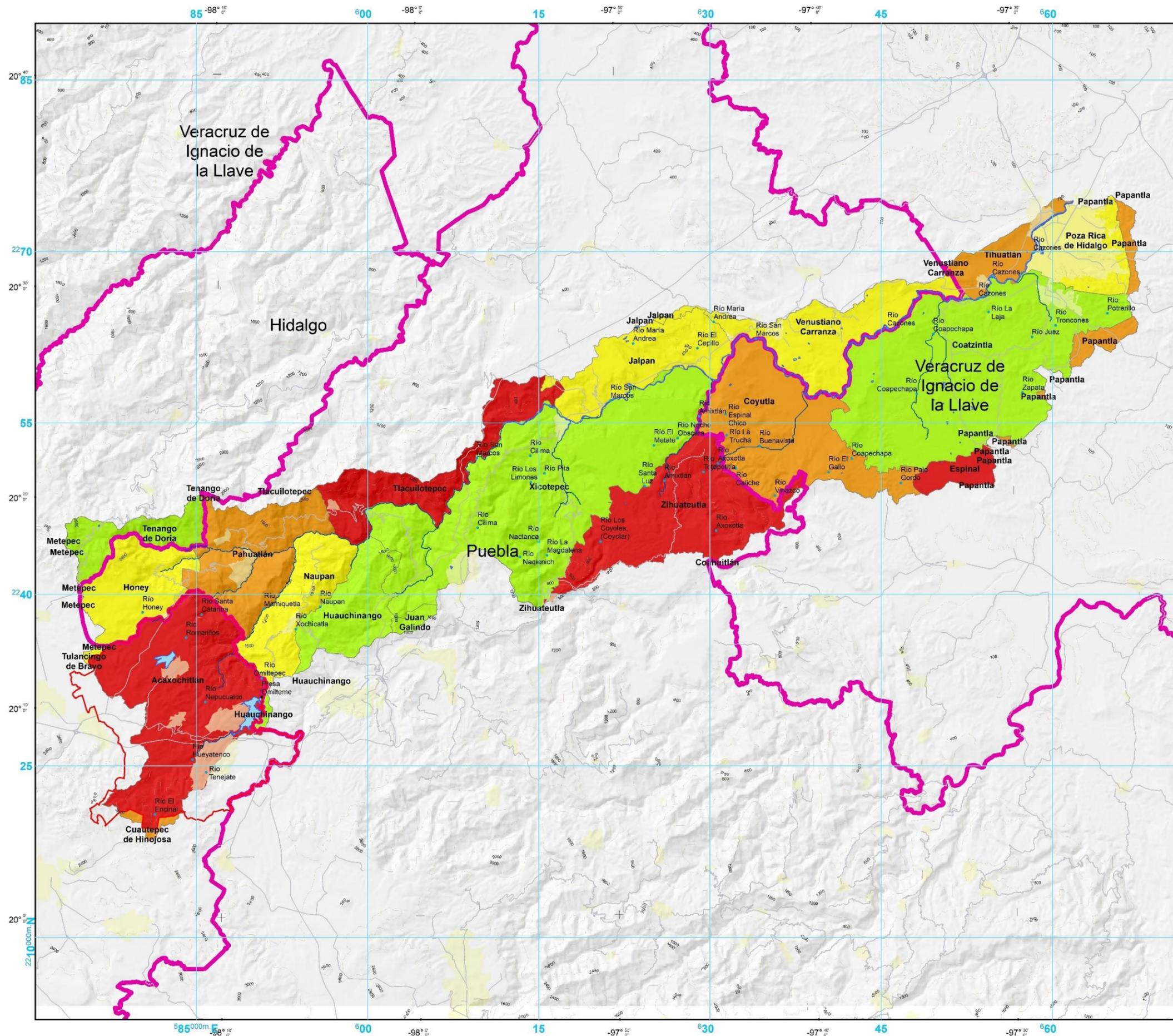
En la dimensión económica sobresalen municipios de Puebla; Tlacuilotepec, Jopala, Naupan, Jalpan, Pahuatlán y Zihuateutla, seguidos de Coyutla municipio de Veracruz de Ignacio de la Llave (Figura 22).

En la dimensión ambiental resultaron prioritarios los municipios de Tenango de Doria, Metepec, Acaxochitlán y Cuauhtpec de Hinojosa (en el estado de Hidalgo), Naupan, Honey Juan Galindo (estado de Puebla), Espinal, Coyutla, Papantla y Tihuatlán (estado de Veracruz) (Figura 23).

La priorización final muestra seis municipios con prioridad Alta en la subcuenca; Acaxochitlán (estado de Hidalgo), Jopala, Naupan y Tlacuilotepec (estado de Puebla), Coyutla y Espinal (estado de Veracruz) (Figura 25).

Cuadro 19. Resultados de priorización por dimensión, estado y área con más alta convertibilidad.

Estado	Municipio	Dimensión			Priorización		Área con más alta convertibilidad
		Social	Económico	Ambiental	Índice	Grado	
Hidalgo	Acaxochitlán	0.85	0.45	0.73	0.65	Alta	Forestal
	Cuautepec de Hinojosa	0.65	0.38	0.61	0.53	Media	Forestal
	Metepec	0.43	0.30	0.74	0.47	Media	Agrícola
	Tenango de Doria	0.35	0.38	0.77	0.49	Media	Forestal
	Tulancingo de Bravo	0.55	0.15	0.55	0.39	Baja	Agrícola/Forestal
Puebla	Jopala	0.93	0.65	0.33	0.64	Alta	Forestal/Agrícola
	Naupan	0.55	0.65	0.66	0.62	Alta	Agrícola-Forestal
	Tlacuilotepec	0.93	0.70	0.54	0.72	Alta	Agrícola-Forestal
	Honey	0.45	0.55	0.66	0.55	Media	Agrícola
	Huauchinango	0.28	0.48	0.49	0.42	Media	Agrícola/Forestal
	Jalpan	0.53	0.65	0.29	0.51	Media	Forestal/Agrícola
	Pahuatlán	0.63	0.63	0.26	0.52	Media	Forestal/Agrícola
	Zihuateutla	0.83	0.63	0.29	0.59	Media	Agrícola-Forestal
	Juan Galindo	0.33	0.25	0.60	0.38	Baja	Forestal
	Venustiano Carranza	0.43	0.35	0.36	0.37	Baja	Forestal/Agrícola
Veracruz de Ignacio de la Llave	Xicotepec	0.35	0.43	0.36	0.38	Baja	Agrícola/Forestal
	Coyutla	0.75	0.65	0.63	0.67	Alta	Ganadero/Agrícola-Forestal
	Espinal	0.75	0.58	0.75	0.68	Alta	Agrícola-Forestal
	Coahuatlán	0.93	0.53	0.33	0.59	Media	Ganadero/Agrícola
	Papantla	0.65	0.48	0.63	0.57	Media	Agrícola-Ganadero-Forestal
	Tihuatlán	0.65	0.33	0.62	0.51	Media	Agrícola-Ganadero-Forestal
	Coatzintla	0.33	0.15	0.49	0.30	Baja	Ganadero/Agrícola-Forestal
Poza Rica de Hidalgo	0.45	0.03	0.37	0.25	Baja	Forestal	



**COLEGIO DE POSGRADUADOS
Maestría en Ciencias en Edafología**



Gobierno del Estado de Hidalgo ACAXOCHITLÁN

**Priorización multinivel para
proyectos de conservación de suelo y
agua de la subcuenca del río San Marcos**

SIMBOLOGÍA

- | | | |
|----------------------------|--------------------|--|
| Límites políticos | Localidades | Índice y grado de la
dimensión social |
| Acaxochitlán | Urbana | Muy Alto (0.83) |
| Estado | | Muy Alto (0.75) |
| Vías terrestres | | Muy Alto (0.85) |
| Red vial | | Muy Alto (0.93) |
| Rasgos Hidrológicos | | Alto (0.63) |
| Presa | | Alto (0.65) |
| Ríos | | Alto (0.75) |
| Cuerpo de agua | | Medio (0.43) |
| Corrientes principales | | Medio (0.45) |
| Relieve | | Medio (0.55) |
| Curvas de nivel | | Bajo (0.28) |
| | | Bajo (0.33) |
| | | Bajo (0.35) |



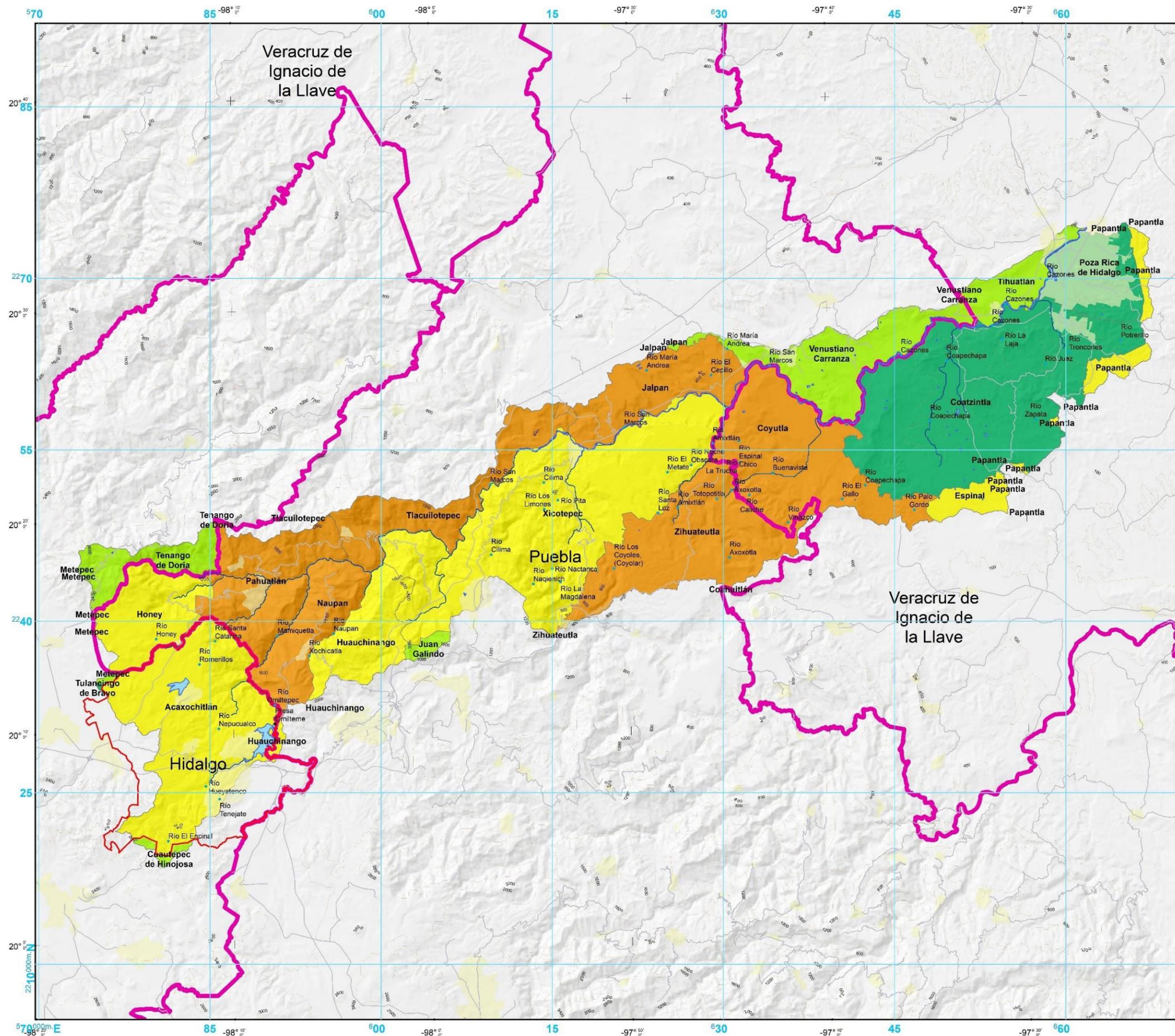
**Nivel 1. Priorización social de municipios
de la subcuenca del río San Marcos**

Información Cartográfica de Referencia:
Sistema de proyección: Universal Transversa de Mercator
Zona 14N
Proyección: World Geodetic System, WGS, 1984
Datum: WGS, 1984 Esferoide: WGS, 1984
Unidad: Metros

Fuentes de Información:
Marco Geoestadístico Nacional del Instituto Nacional de
Geografía y Estadística (INEGI, 2010).
Fecha de elaboración: Julio de 2014.

Escala gráfica **1:350,000**
0 2 4 8 12 16 Kilómetros

Figura 21. Priorización social de municipios de la subcuenca del río San Marcos.



**Priorización multinivel para
 proyectos de conservación de suelo y
 agua de la subcuenca del río San Marcos**

SIMBOLOGÍA

<p>Límites políticos</p> <ul style="list-style-type: none"> Acaxochitlán Estado <p>Rasgos Hidrológicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Presa Ríos Cuerpo de agua Corrientes principales <p>Relieve</p> <ul style="list-style-type: none"> Curvas de nivel 	<p>Localidades</p> <ul style="list-style-type: none"> Urbana <p>Vías terrestres</p> <ul style="list-style-type: none"> Red vial 	<p>Índice y grado de la dimensión económica</p> <ul style="list-style-type: none"> Alto (0.7) Alto (0.65) Alto (0.63) Medio (0.55) Medio (0.53) Medio (0.48) Medio (0.45) Medio (0.43) Medio (0.58) Bajo (0.38) Bajo (0.35) Bajo (0.33) Bajo (0.30) Bajo (0.25) Muy Bajo (0.15) Muy Bajo (0.03)
--	---	--



**Nivel 1. Priorización económica de municipios
 de la subcuenca del río San Marcos**

Información Cartográfica de Referencia:
 Sistema de proyección: Universal Transversa de Mercator
 Zona 14N
 Proyección: World Geodetic System, WGS, 1984
 Datum: WGS, 1984 Esferoide: WGS, 1984
 Unidad: Metros

Fuentes de Información:
 Marco Geoestadístico Nacional del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI, 2010).
 Fecha de elaboración: Julio de 2014.

1:350,000

Escala gráfica Kilómetros

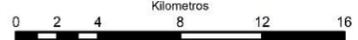
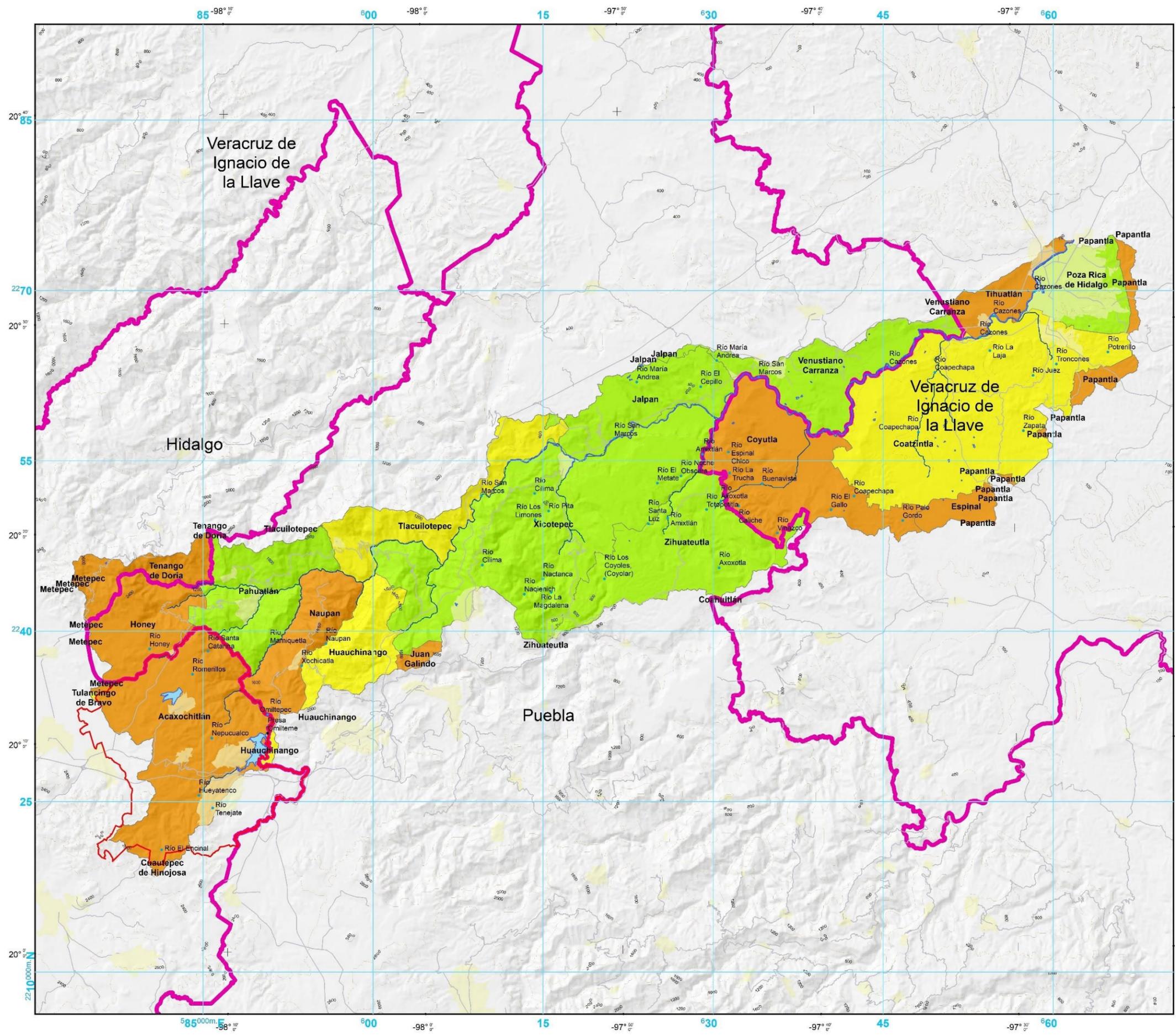


Figura 22. Priorización económica de municipios de la subcuenca del río San Marcos.



**COLEGIO DE POSGRADUADOS
Maestría en Ciencias en Edafología**



**Priorización multinivel para
proyectos de conservación de suelo y
agua de la subcuenca del río San Marcos**

SIMBOLOGÍA

- Límites políticos**
- Acaxochitlán
 - Estado

- Localidades**
- Urbana

- Rasgos Hidrológicos**
- Presa
 - Ríos
 - Cuerpo de agua
 - Corrientes principales

- Relieve**
- Curvas de nivel

- Vías terrestres**
- Red vial

**Índice y grado de la
dimensión ambiental**

Alto (0.77)
Alto (0.75)
Alto (0.74)
Alto (0.73)
Alto (0.66)
Alto (0.63)
Alto (0.62)
Alto (0.61)
Alto (0.60)
Medio (0.55)
Medio (0.54)
Medio (0.49)
Bajo (0.37)
Bajo (0.36)
Bajo (0.33)
Bajo (0.29)
Bajo (0.26)



**Nivel 1. Priorización ambiental de municipios
de la subcuenca del río San Marcos**

Información Cartográfica de Referencia:
 Sistema de proyección: Universal Transversa de Mercator
 Zona 14N
 Proyección: World Geodetic System, WGS, 1984
 Datum: WGS, 1984 Esferoide: WGS, 1984
 Unidad: Metros

Fuentes de Información:
 Marco Geoestadístico Nacional del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI, 2010).
 Fecha de elaboración: Julio de 2014.

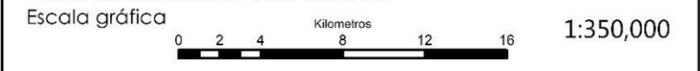


Figura 23. Priorización ambiental de municipios de la subcuenca del río San Marcos.

6.2. Nivel 2. Microcuencas: priorización de localidades

Una vez que se priorizó el municipio de Acaxochitlán del estado de Hidalgo se utilizaron las dos microcuencas que lo conforman y para estas se realizó la caracterización morfométrica (Figura 28), erosión hídrica actual, disponibilidad media anual de agua superficial, tasa de cambio de uso de suelo y se compilaron los datos de grado de marginación de las localidades (CONAPO, 2010) así como el número de casas que no disponen de agua entubada en la vivienda, población total y población económicamente activa ocupada (INEGI, 2010), toda esta información se analizó con la finalidad de conocer mejor la dinámica entre el aprovechamiento de recursos naturales, su cambio y condiciones (social, económico, demográfico y de infraestructura).

6.2.1 Caracterización morfométrica

La microcuenca 16 representa una cuenca sedimentaria que se encuentra en una etapa de vejez, lo que podría indicar la presencia de valles, además de que refleja un gran potencial erosivo, mientras que la microcuenca 17 tiene una curva que la representa como una cuenca en equilibrio y en etapa de madurez y resulta la de mayor superficie (Cuadro 20 y Figura 28).

Cuadro 20. Parámetros morfométricos de las microcuencas 16 y 17, Acaxochitlán, Hidalgo.

Parámetro	Microcuenca	
	16	17
Área (km ²)	87.32	133.94
Perímetro (km)	52.51	62.74
Longitud del cauce principal (km)	23.48	27.85
Cota más alta (msnm)	2,400.00	2,600.00
Cota más baja (msnm)	800.00	1,300.00
Índice de forma	0.27	0.42
Relación de circularidad	0.4	0.43
Coefficiente de compacidad	1.57	1.52
Proporción de elongación	0.59	0.73
Pendiente media de la cuenca (%)	25.63	7.06
Altura media de la cuenca (msnm)	1,562.05	1,970.70
Densidad de drenaje (km/km ²)	1.33	1.38
Tiempo de concentración (horas)	0.18	0.19

De acuerdo con Cuesta (2001) la relación de bifurcación relaciona el número de cauces de un orden con el número de cauces de orden inmediatamente superior. Los valores de Rb superiores a 4 indican una torrencialidad moderadamente alta (Strahler, 1964), esta comparación sólo es representativa entre cuencas que tengan el mismo orden, de modo que la microcuenca 16 en comparación con la microcuenca 17 de acuerdo es más torrencial con mayor relación de bifurcación en el orden 4.

Cuadro 21. Relación de bifurcación de las microcuencas 16 y 17, Acaxochitlán, Hidalgo.

Orden	Microcuenca 16		Microcuenca 17	
	Rb	Relación de bifurcación	Rb	Relación de bifurcación
1°	50	2.38	67	2.16
2°	21	2.33	31	1
3°	9	0.47	31	31
4°	19	19	1	0
5°	1	0		

El perfil longitudinal de cauce también proporciona información valiosa sobre la ubicación de la zona de interés dado que en las partes bajas de la cuenca suceden procesos de deposición de sedimentos. El perfil longitudinal del cauce principal de la microcuenca 16 muestra las comunidades y las diferentes altitudes a las que se encuentran, de esta misma forma se muestra el perfil longitudinal de las microcuencas 16 y 17 (Figura 26 y

Figura 27).

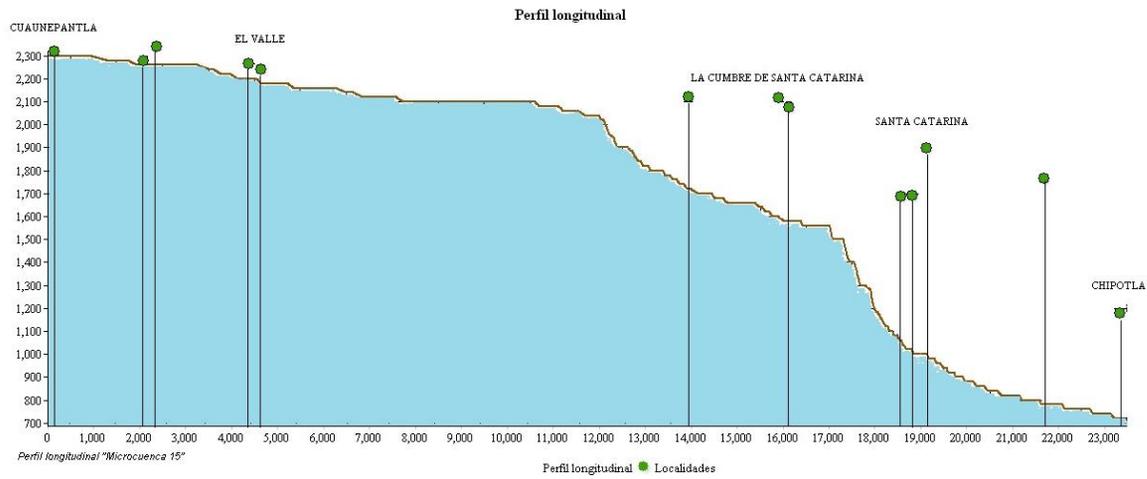


Figura 26. Perfil longitudinal de la microcuenca 16, Acaxochitlán, Hidalgo.

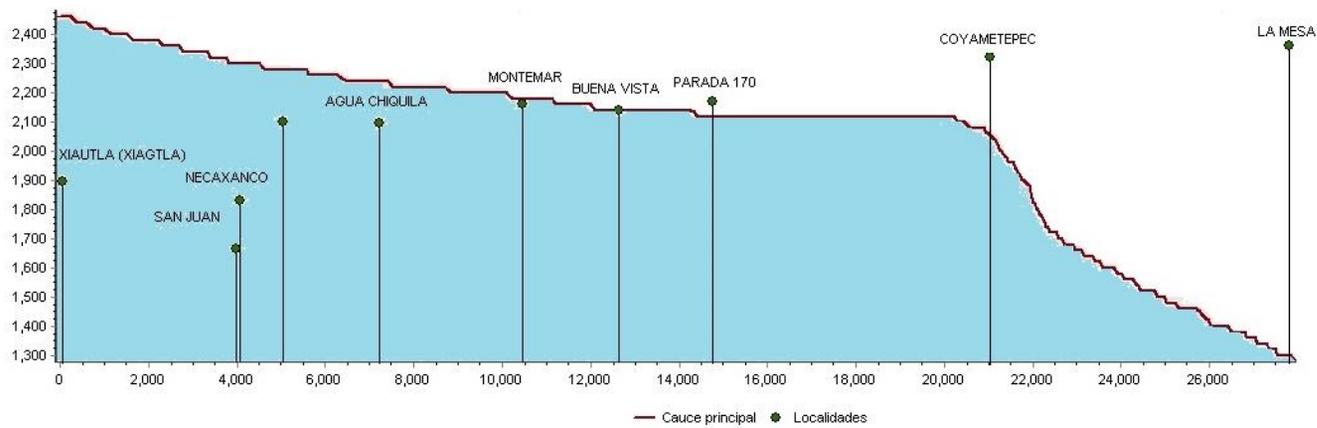
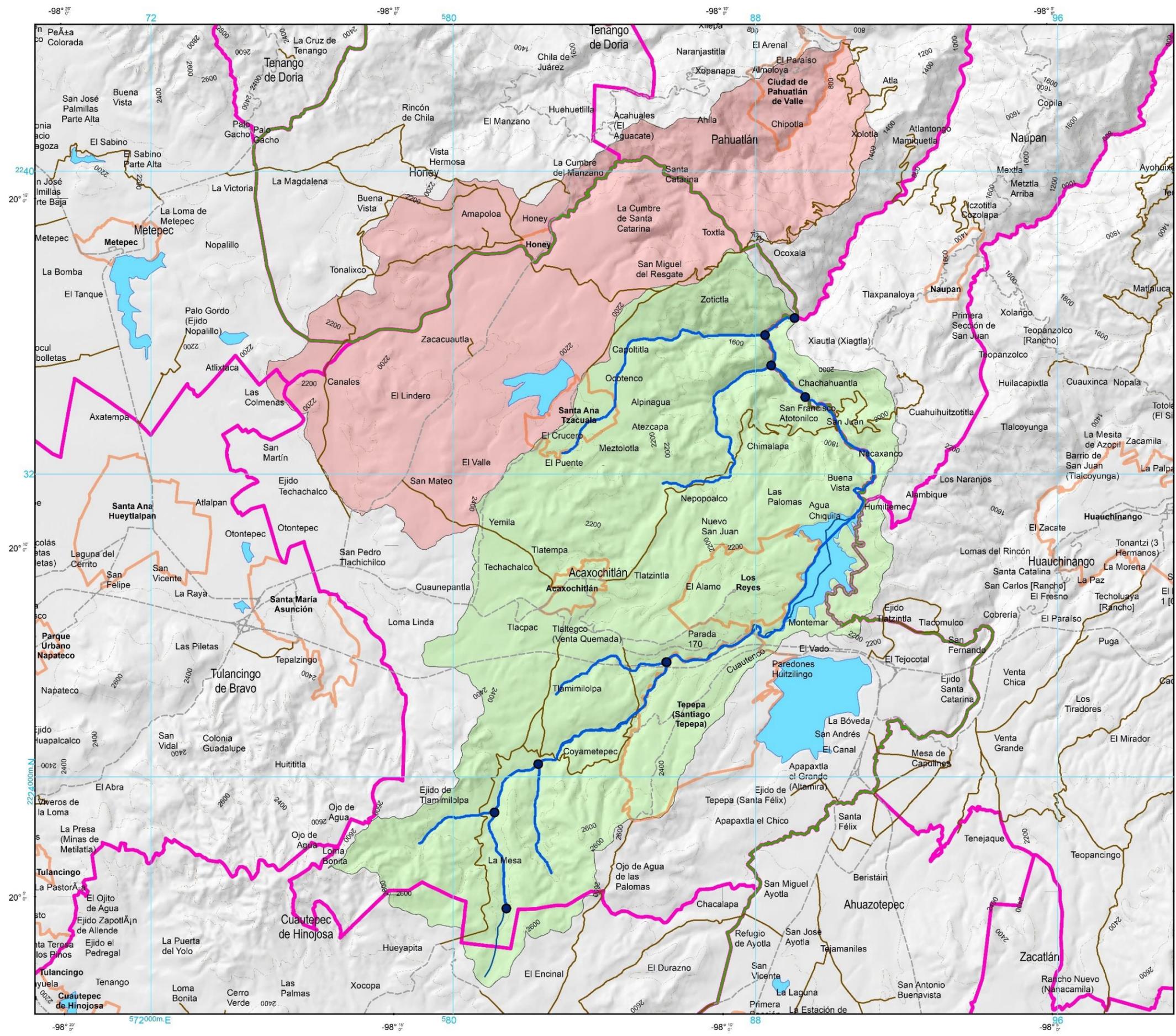


Figura 27. Perfil longitudinal del cauce de la microcuenca 17, Acaxochitlán, Hidalgo.



COLEGIO DE POSGRADUADOS
Maestría en Ciencias en Edafología

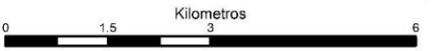




Priorización multinivel para proyectos de conservación de suelo y agua de la subcuenca del río San Marcos

SIMBOLOGÍA

<p>Limites políticos</p> <ul style="list-style-type: none"> Estatal Municipal Urbanas <p>Microcuenca</p> <ul style="list-style-type: none"> Microcuenca 16 Microcuenca 17 	<p>Vías terrestres</p> <ul style="list-style-type: none"> Caminos Carreteras <p>Rasgos hidrográficos</p> <ul style="list-style-type: none"> Cauce principal Cuerpo de agua superficial Corrientes ● Salida de nanocuenca 	<p>Relieve</p> <ul style="list-style-type: none"> ~ Curvas de nivel
--	---	---



1:105,000

Figura 28. Microcuencas 16 y 17 del municipio de Acaxochitlán, Hidalgo.

6.2.2 Erosión de suelo

El análisis de erosión hídrica se hizo en conjunto con el número de localidades que pertenecen a determinado grado erosivo, el grado de marginación que presentan (CONAPO, 2010) y el número de casas que no disponen de agua entubada en la vivienda. Los resultados de pérdida de suelo de la microcuenca 16 indican que 58.6% de la superficie presenta grado Medio y Alto de erosión, alberga a 38.2% de la población con Alto y Muy Alto grado de marginación y 67% de las casas de la microcuenca no disponen de agua entubada dentro de la vivienda, este podría ser una referencia para encausar atención a esta zona.

Por otra parte, se observa una única localidad (Honey) que presenta Muy Bajo grado erosivo y Muy Bajo grado de marginación, en contraste con localidades como Xolotla y Chipotla que presentan Muy Alto grado erosivo al igual que de marginación (Cuadro 22 y Figura 30). En la microcuenca 17 se observa que 45.1% de la superficie presenta grado Alto y Muy Alto de erosión y es la que presenta la mayor degradación hídrica (Figura 29) y alberga a 23.8% de la población con el 23.3% de viviendas sin agua entubada. En esta microcuenca se observa mayor cantidad de localidades con grado Muy Alto de erosión (11 localidades), también se observa que la mayor población se ubica en los extremos erosivos (Muy Baja y Muy Alta) (Cuadro 23, Cuadro 24 y Figura 31) y por consiguiente también el mayor número de viviendas sin servicio de agua entubada a diferencia de la microcuenca 16 dónde la población se concentra en zonas con grados de erosión de Media a Muy Alta.



Figura 29. Erosión en la localidad la Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.

Cuadro 22. Pérdida de suelo y características de las localidades de la microcuenca 16, Acaxochitlán, Hidalgo.

Grado (t ha año ⁻¹)	Superficie con pérdida de suelo		Localidades	Grado de marginación	Población total	Viviendas sin agua entubada	
	hectáreas	%				Número	%
Muy Baja (1 - 5)	1613.0	18.3	Honey	Muy Bajo	15	0	0.0
			Cumbre de Santa Catarina	Muy Alto	58	0	0.0
Baja (5 - 10)	239.3	2.7	Amapoloa	Alto	541	53	5.2
			Ahila	Alto	257	30	2.9
			Zacacuautla	Alto	1317	155	15.2
Media (10 - 50)	2939.5	33.4	Capoltitla	Muy Alto	14	0	0.0
			Canales	Alto	307	62	6.1
			San Mateo	Alto	2222	384	37.6
			El Lindero	Alto	338	54	5.3
Alta (50 - 200)	2220.3	25.2	Toxtla	Alto	145	5	0.5
			El Valle	Alto	34	1	0.1
			Santa Catarina	Muy Alto	443	2	0.2
Muy Alta (> 200)	1121.7	12.7	Xolotla	Alto	2770	211	20.6
			Chipotla	Alto	146	3	0.3
Zona urbana	551.5	6.3	Ciudad de Pahuatlán de Valle	Alto	3523	54	5.3
			Honey	Alto	1131	8	0.8
Cuerpos de agua	116.8	1.3					
Total	8802.1	100.0	13		13261	1022	100.0

Cuadro 23. Pérdida de suelo y características de las localidades de la microcuenca 17, Acaxochitlán, Hidalgo (Parte I).

Grado	Superficie con pérdida de suelo		Localidades	Grado de marginación	Población total	Viviendas sin agua entubada	
	hectáreas	%				Número	%
Muy Baja (1 - 5)	4242.8	31.1	Barrio de Tlacpac	Alto	1008	138	4.1
			Barrio Cuaunepantla	Alto	748	91	2.7
			Barrio Tlatempa	Alto	195	21	0.6
			Barrio Tlatzintla	Alto	586	95	2.9
			Barrio Taltegco (Venta Quemada)	Alto	740	80	2.4
			Montemar	Alto	340	54	1.6
Media (10 - 50)	994.7	7.3	La Mesa	Alto	897	128	3.8
			Barrio de Tlamimilolpa	Alto	1086	168	5.0
			Barrio Yemila	Alto	464	57	1.7
			Barrio Techachalco	Alto	552	44	1.3
			Alpinagua	Muy Alto	38	0	0.0
			El Crucero	Alto	13	4	0.1
Alta (50 - 200)	3285.1	24.1	Meztolotla	Muy Alto	42	1	0.0
			Barrio El Puente	Alto	11	3	0.1
			Atezcapa	Muy Alto	67	10	0.3
			Nuevo San Juan	Muy Alto	174	30	0.9

Cuadro 24. Pérdida de suelo y características de las localidades de la microcuenca 17, Acaxochitlán, Hidalgo (Parte II).

Grado	Superficie con pérdida de suelo		Localidades	Grado de marginación	Población total	Viviendas sin agua entubada	
	hectáreas	%				Número	%
Muy Alta (> 200)	2862.3	21.0	Ejido de Tlamimilolpa	Muy Alto	66	0	0.0
			Coyametepec	Alto	666	73	3.0
			Parada 170	Muy Alto	59	0	0.0
			Ocotenco	Alto	185	2	0.1
			San Miguel del Resgate	Alto	679	90	3.7
			Zotictla	Alto	169	18	0.7
			Chachahuantla	Alto	1140	25	1.0
			Buena vista	Alto	297	44	1.8
			San Juan	Alto	262	39	1.6
			San Francisco Atotonilco	Muy Alto	1573	204	8.5
Zona urbana	2031.5	14.9	Chimalapa	Muy Alto	2008	240	10.0
			Tepepa (Santiago Tepepa)	Alto	4830	381	15.8
			Los Reyes	Alto	3910	165	6.9
			Acaxochitlán	Medio	4026	914	38.0
Cuerpos de agua	230.5	1.7	Santa Ana Tzacuala	Alto	4156	212	8.8
			Total			24026	2407

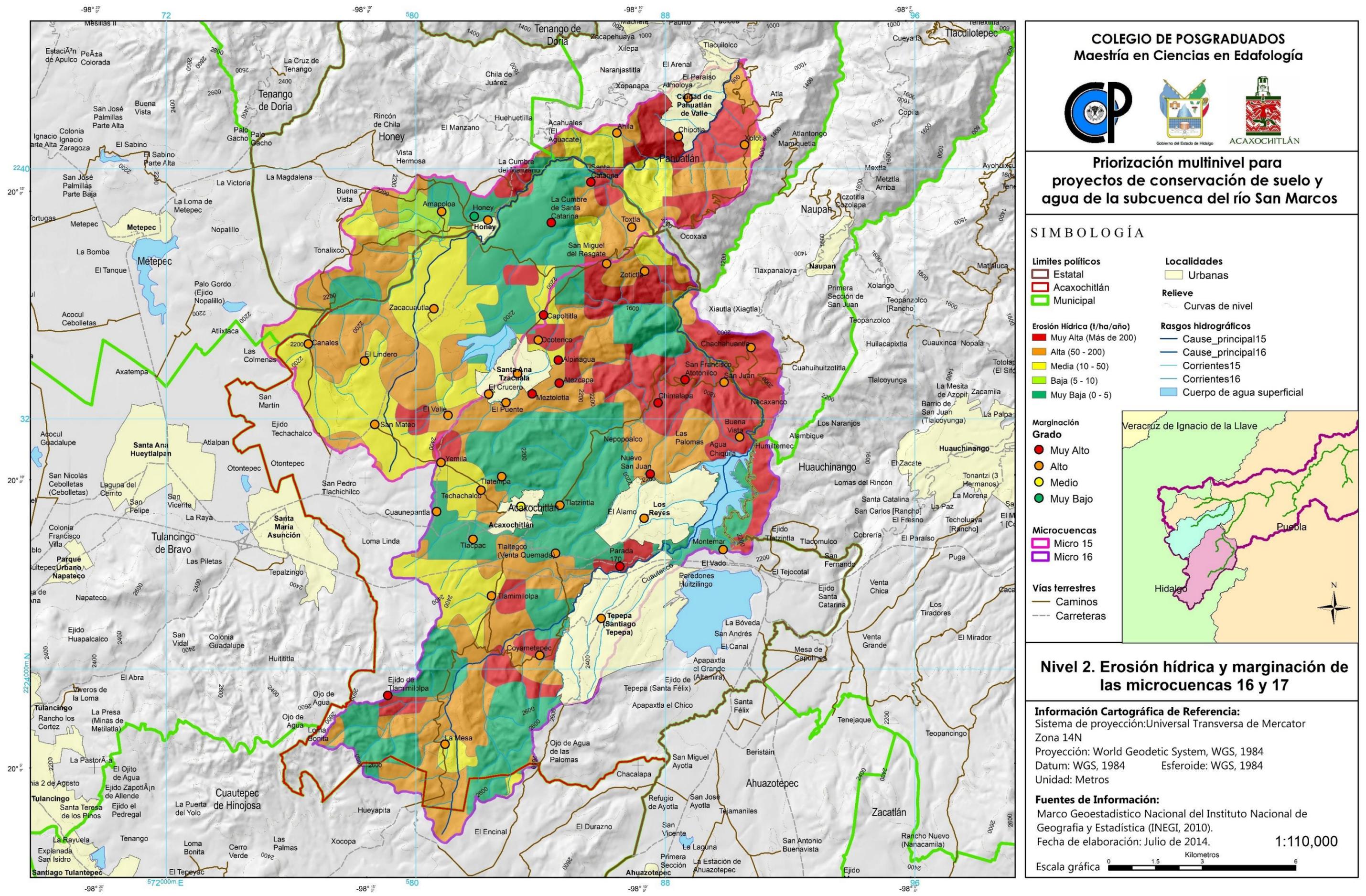


Figura 30. Erosión hídrica y grado de marginalización de las microcuencas 16 y 17, Acaxochitlán, Hidalgo.

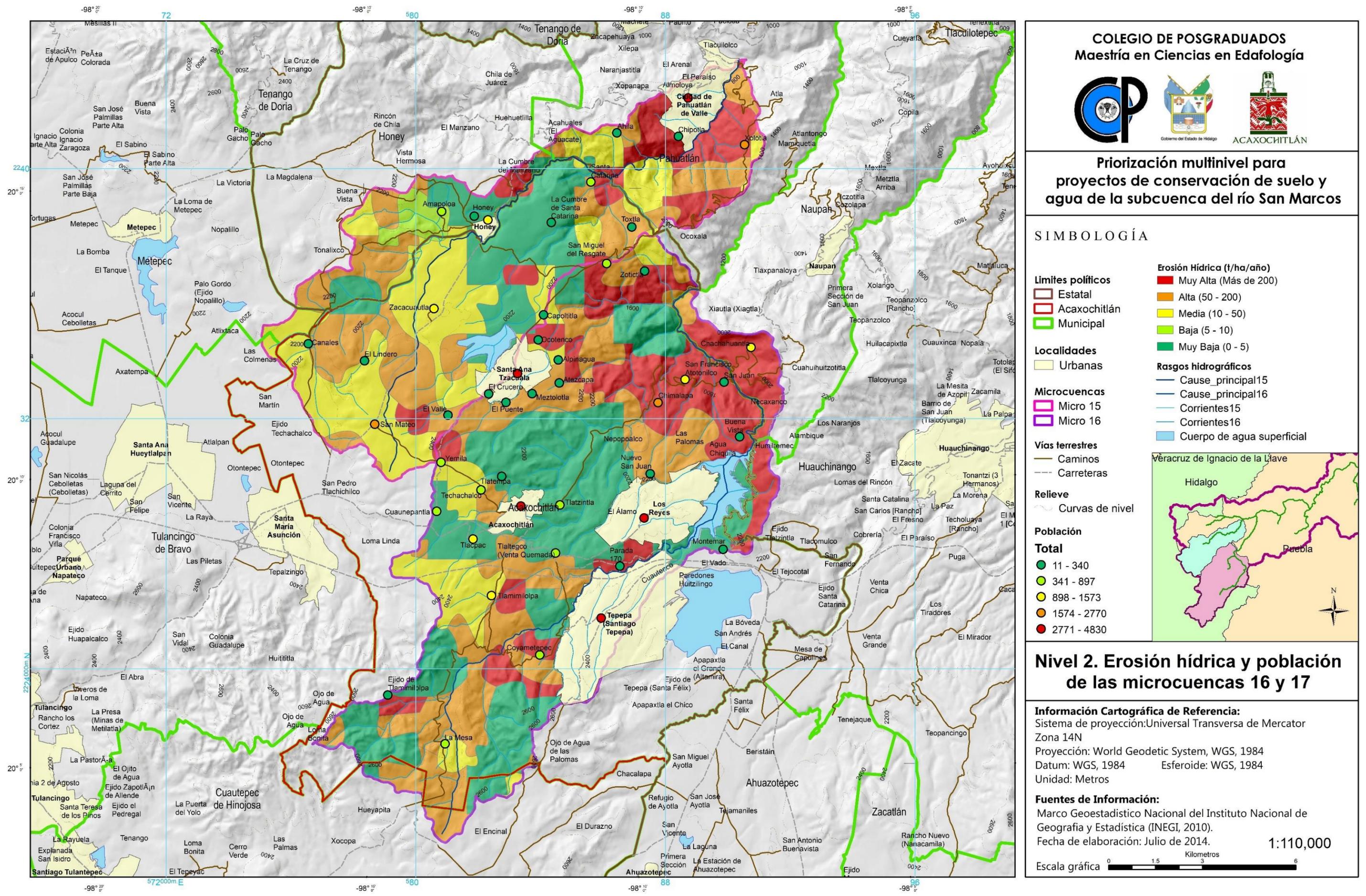


Figura 31. Erosión hídrica y población total de las microcuencas 16 y 17, Acaxochitlán, Hidalgo.

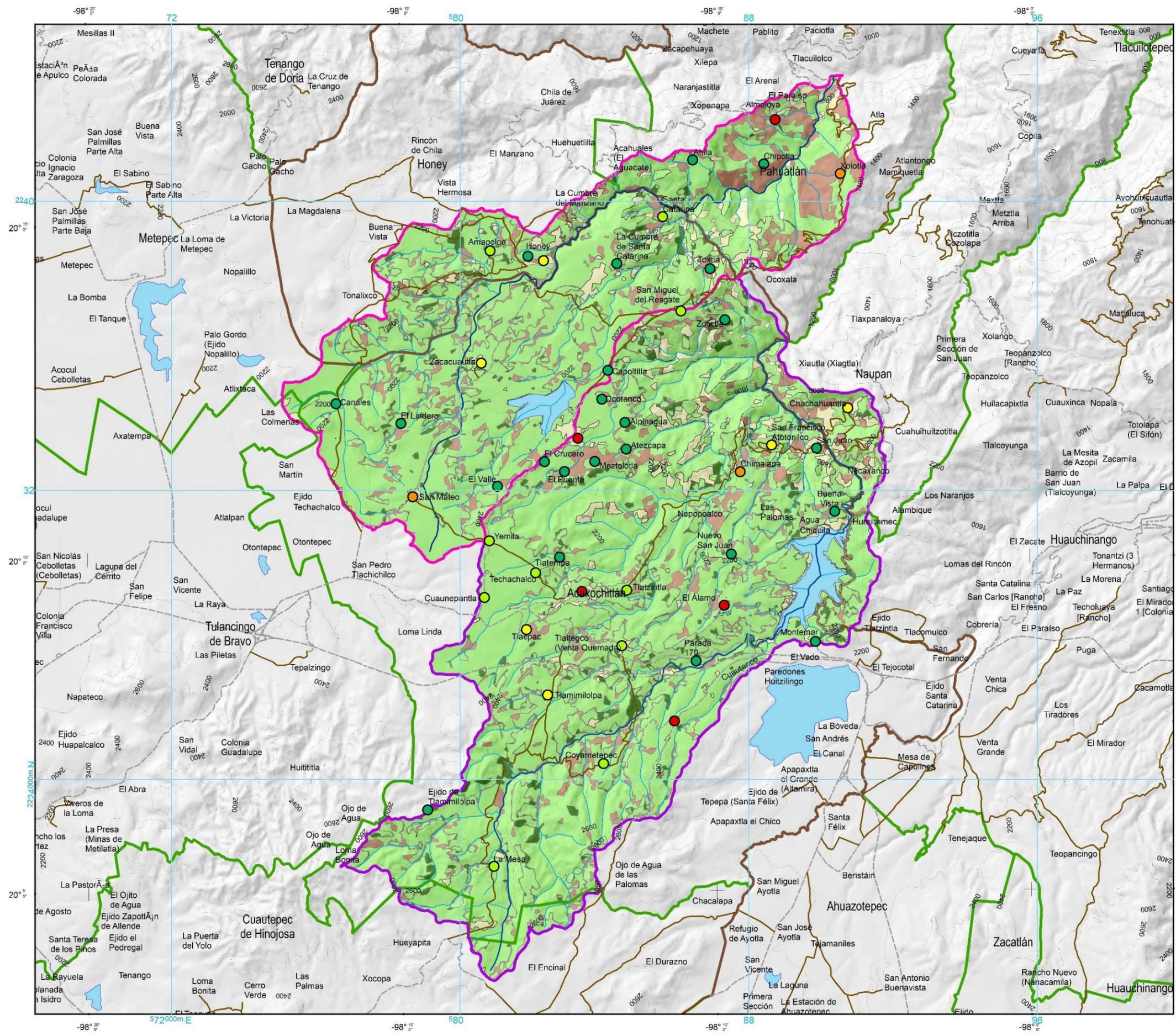
6.2.3 Tasa de cambio de vegetación y uso de suelo

Se ha considerado a la vegetación como uno de los indicadores más importantes de las condiciones naturales de un territorio, y no sólo de las naturales como clima, suelo y agua sino también de las influencias antrópicas recibidas. El análisis de los cambios producidos a la cobertura vegetal (deforestación, degradación, revegetación, etc.), considerando básicamente aquéllos ocasionados por las actividades antrópicas, es un elemento fundamental en la caracterización del paisaje.

Las zonas degradadas se ven representadas por la superficie que presentó cambio en el uso del suelo, pérdida de cobertura vegetal no arbórea (otros tipos de vegetación, matorral y pastizales naturales), por pastizales inducidos y cultivados, cultivos y otras coberturas por tanto, la microcuenca aumentó su degradación en 13.05% en la microcuenca 16 y 8.43% en la microcuenca 17 al aumentar la superficie deforestada, mientras que la superficie revegetada aumentó en 3 a 4% (Cuadro 25). Se observó en ambas microcuencas tendencias parecidas tanto de deterioro como de conservación y revegetación, para la microcuenca 16 se observa mayor deforestación en la zona norte, mientras que la microcuenca 17 se observa en la zona oeste (Figura 32).

Cuadro 25. Resumen de la situación de cambio en las microcuencas 16 y 17.

Situación de cambio	Microcuenca 16		Microcuenca 17	
	ha	%	ha	%
Deforestada	1138.99	13.05	1129.31	8.43
Conservada	6859.02	78.57	10927.4	81.62
Revegetada	262.49	3.01	554.3	4.14
Falso cambio	468.78	5.37	777.83	5.81
Total	8729.28	100	13388.8	100



**COLEGIO DE POSGRADUADOS
Maestría en Ciencias en Edafología**



**Priorización multinivel para
proyectos de conservación de suelo y
agua de la subcuenca del río San Marcos**

SIMBOLOGÍA

- Limites políticos**
 - Estatal
 - Municipal
- Microcuencas**
 - Micro 15
 - Micro 16
- Relieve**
 - Curvas de nivel
- Vías terrestres**
 - Caminos
 - Carreteras
- Población**
 - Total
 - 11 - 340
 - 341 - 897
 - 898 - 1573
 - 1574 - 2770
 - 2771 - 4830
- Cambio de uso de suelo y vegetación
Situación**
 - Deforestada
 - Conservada
 - Revegetada
 - Falso cambio
- Rasgos hidrográficos**
 - Cause_principal15
 - Cause_principal16
 - Corrientes15
 - Corrientes16
 - Cuerpo de agua superficial



**Nivel 2. Situación de cambio de uso
2000 - 2016 microcuencas 16 y 17**

Información Cartográfica de Referencia:
 Sistema de proyección: Universal Transversa de Mercator
 Zona 14N
 Proyección: World Geodetic System, WGS, 1984
 Datum: WGS, 1984 Esferoide: WGS, 1984
 Unidad: Metros

Fuentes de Información:
 Marco Geoestadístico Nacional del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI, 2010).
 Fecha de elaboración: Julio de 2014.

Escala gráfica 0 1.5 3 6 Kilómetros
 Escala numérica 1:110,000

Figura 32. Situación de cambio de uso 2000 – 2016 de las microcuencas 16 y 17, Acaxochitlán, Hidalgo.

6.2.4 Disponibilidad media anual de agua superficial

Los resultados de disponibilidad media anual de agua superficial de las microcuencas 16 y 17 arrojan valores positivos, esto es que el volumen de aprovechamiento superficial es menor al escurrimiento medio anual, se observa mayor escurrimiento en la microcuenca 16 (indicativo de mayor erosión) y menor volumen de aprovechamientos superficiales (Figura 33). En ambas microcuencas se utilizó el tipo de suelo B (Anexos Cuadro 42, Cuadro 44 y Cuadro 45), los datos de precipitación interpolados arrojan una variabilidad de 593.18 a 1549.99 mm en la microcuenca 15, mientras que la microcuenca 16 va de 637.16 a 1674.82 mm.

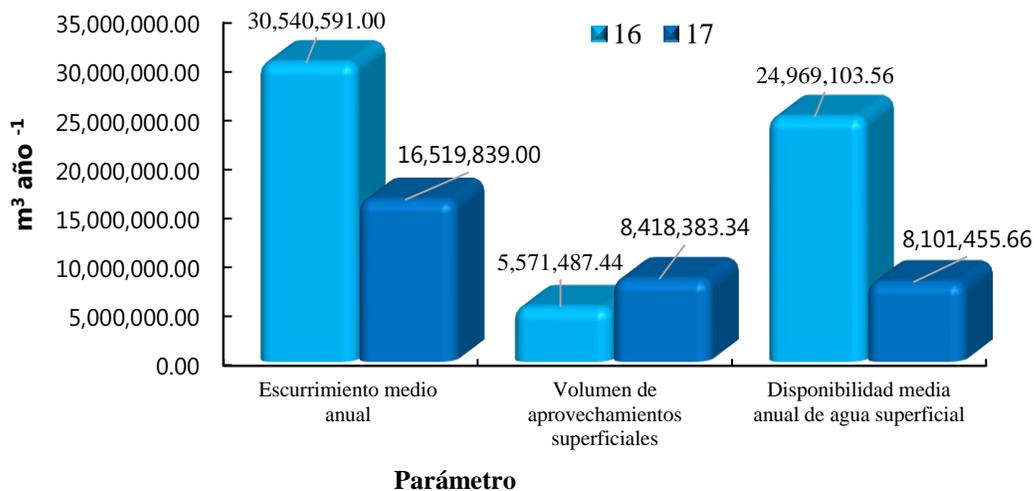


Figura 33. Disponibilidad media anual de agua superficial de las microcuencas 16 y 17.

6.2.5 Análisis Clúster

Los indicadores de marginación, población total, viviendas sin agua entubada y población económicamente activa ocupada se agruparon y de acuerdo al acomodo de los datos se decidió considerar tres conglomerados, a estos se les asignó una clase (alta, media y baja). La variación entre las microcuencas está en función del número de localidades que las integran. La microcuenca 15 tiene 3 localidades con grado Alto y 9 con grado Medio, mientras que la microcuenca 16 es la que mayor cantidad de localidades concentra (cuatro localidades con grado Alto y 15 con grado Medio) (Cuadro 26 y Cuadro 27). Finalmente, la

matriz ANOVA muestra que los indicadores de población total y población económicamente activa ocupada son los que condicionan en mayor grado la formación de clúster (Figura 35).

Cuadro 26. Clases de conglomerados de la microcuenca 16 Acaxochitlán, Hidalgo.

Bajo	Medio	Alto
Cumbre de Santa Catarina	Honey 1	San Mateo
Ahila	Amapoloa	Xolotla
Capoltitla	Zacacuautila	Ciudad de Pahuatlán de Valle
Santa Catarina	Canales	
	El Lindero	
	Toxtla	
	El Valle	
	Chipotla	
	Honey 2	

Cuadro 27. Clases de conglomerados de la microcuenca 17 Acaxochitlán, Hidalgo.

Bajo	Medio	Alto
Alpinagua	Barrio de Tlacpac	Tepepa (Santiago Tepepa)
Meztolotla	Barrio Cuaunepantla	Los Reyes
Atezcapa	Barrio Tlatempa	Acaxochitlán
Nuevo San Juan	Barrio Tlatzintla	Santa Ana Tzacuala
Ejido de Tlamimilolpa	Barrio Taltegco (Venta Quemada)	
Coyametepec	Montemar	
Parada 170	La Mesa	
Ocotenco	Barrio de Tlamimilolpa	
Buena vista	Barrio Yemila	
San Juan	Barrio Techachalco	
San Francisco Atotonilco	El Crucero	
Chimalapa	Barrio El Puente	
	San Miguel del Resgate	
	Zotictla	
	Chachahuantla	

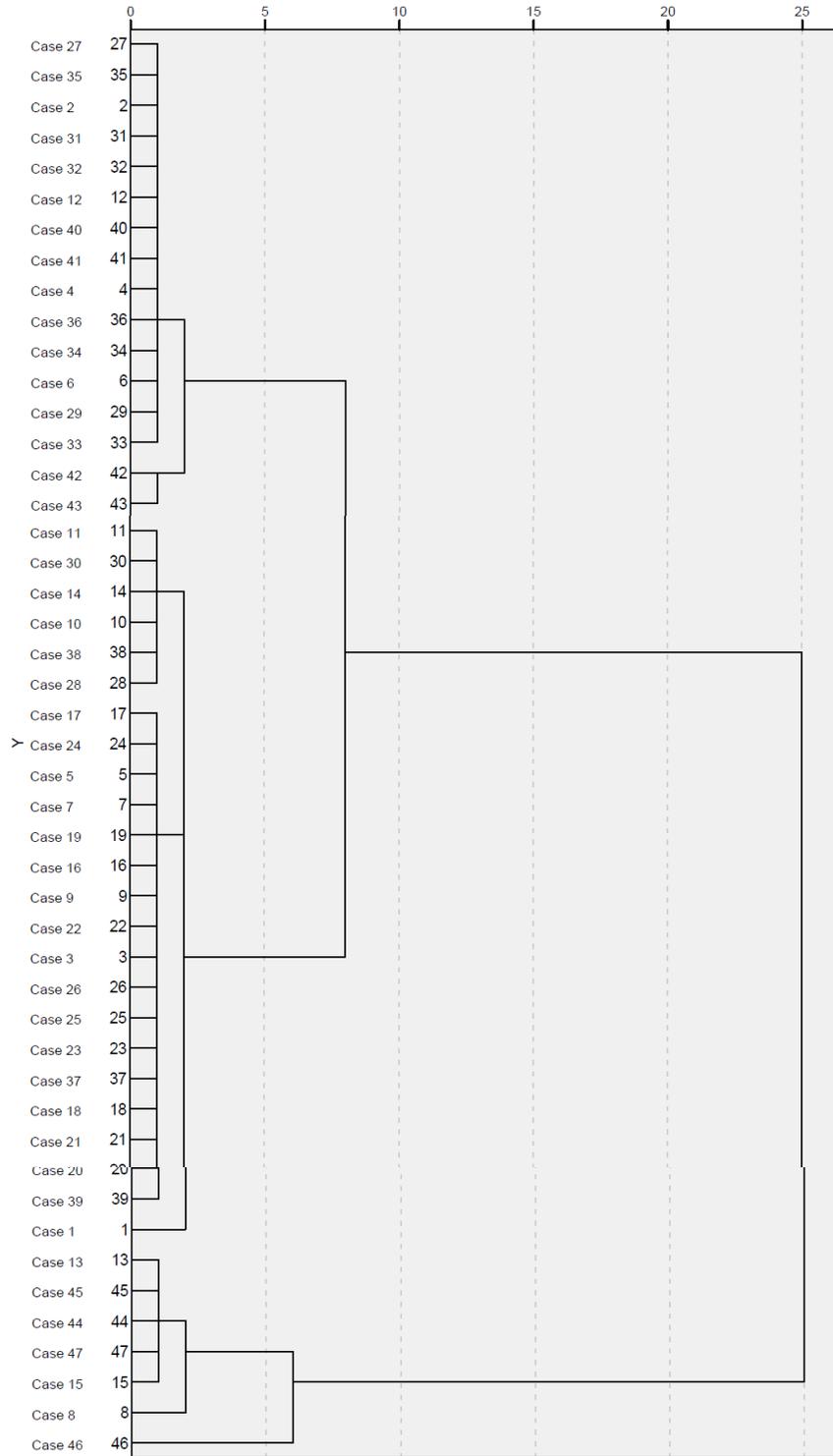


Figura 34. Dendrograma que utiliza un enlace Ward, combinación de clúster de sustancias re-escalada.

	Clúster		Error		F	Sig.
	Media cuadrática	gl	Media cuadrática	gl		
Índice de marginación	.355	2	.482	44	.737	.484
Población total	33641678,70	2	138730.823	44	242.496	.000
Viviendas sin agua entubada	245021.032	2	13704.387	44	17.879	.000
PEA Ocupada	3633088.907	2	16192.730	44	224.365	.000

Figura 35. Matriz ANOVA.

Por último, con base en el resumen de la información anterior se decide trabajar con la microcuenca 16, debido a presenta mayor superficie con grado de erosión y mayor número de localidades con grado medio y alto de prioridad (Cuadro 28).

Cuadro 28. Resumen de indicadores para priorización de microcuencas de Acaxochitlán, Hidalgo.

Indicador	Microcuenca	
	16	17
Erosión hídrica actual (media, alta y muy alta) (ha)	6281.5	7142.1
Tasa de cambio de vegetación y uso de suelo (deforestada) (ha)	1138.99	1129.31
Disponibilidad media anual de agua superficial (m ³ año ⁻¹)	24 969 103.56	8 101 455.66
Localidades con medio y alto grado de priorización	12	19

6.3. Nivel 3. Nano cuenca: priorización de predios. Evaluación cualitativa de la degradación de tierras

El tercer nivel tiene como resultado la degradación de suelo causada por el hombre (SEMARNAT-COLPOS, 2002) y caracterización de transectas, información base para la priorización de nano cuencas y predios .

6.3.1 Caracterización de transectas

Durante la caracterización de transectas, muestreos de suelo y encuestas a productores se encontraron sistemas de producción característicos de las principales localidades, como son (Figura 37):

- Yamila: Agricultura intensiva de hortalizas, riego con agua de manantial, producción de planta de ornato, frutales, maíz y uso forestal.
- La Mesa: producción de maíz de ladera, bosque de encino y pino pátula, evidencias de erosión en cárcavas, canalillos y laminar. Una olla de agua como proyecto COUSSA-PESA, construcción de algunos invernaderos familiares, tanques de ferro cemento para captación de agua de lluvia.
- Acaxochitlán es zona urbana, existe a las orillas producción de maíz, casas de campo y bosque.
- Los Reyes: maíz de lomerío, zona urbana, invernaderos, frutales, pastizales y bosque pino - encino.
- Chimalapa: bosque, zona de protección, maíz, pastizal, bosque degradado y atractivo turístico Cascadas de Chimalapa.
- Santa Catarina: atractivo turístico de San Francisco Huitzalo cascada, maíz poco desarrollado, pastizal, bosque degradado, ganado menor y mayor en pastizales.

Deforestación VS Agricultura. Como obras de conservación de suelo y agua solo existe evidencia de reforestaciones, en general no se observan evidencias de erosión severa a excepto en la localidad de La Mesa donde también se encontró que un productor ha acomodado el rastrojo de maíz para retener erosión y colocado plantas de maguey en la parte

baja de pastizales donde se ubica el corte de carretera. Por otra parte, el material parental es muy susceptible a la erosión, es más estable en función de la pendiente. Se debe desarrollar un sistema de manejo agroforestal y agrícola para evitar la erosión sobre todo en la agricultura de ladera.

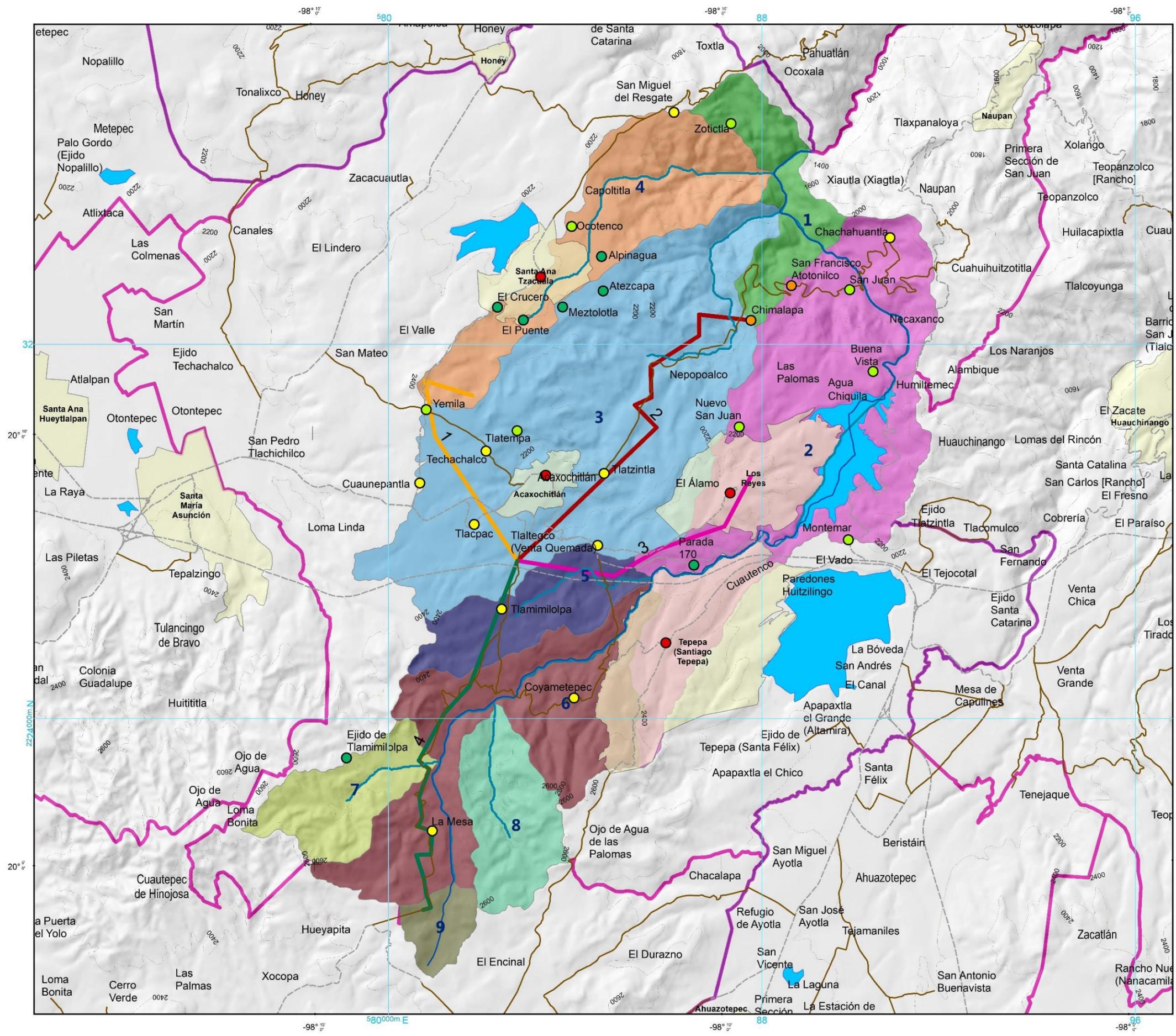
El recorrido de transectas muestra condiciones parecidas y al mismo tiempo enfocadas en distintas potencialidades de la microcuenca, por ejemplo; el común denominador es el sistema de producción de milpa y maíz que se da en todas las condiciones, sin embargo, se aprecia impulso del sector turismo en la transecta 2 Acaxochitlán – Chimalapa por las áreas de bosque aún existentes y la posible cercanía con la cabecera municipal.

Transecta 1 Acaxochitlán – Tlatempa. Presenta agricultura, bosque de pino, producción de ornato y producción de hortalizas. Por las condiciones de pendiente en las zonas donde se practica agricultura se observa menor impacto en la degradación del suelo, sin embargo, la producción de ornato representa una amenaza de deterioro por la cantidad de suelo extraído con las plántulas. El apoyo a las zonas aún forestales requiere apoyo para realizar manejo del recurso (Cuadro 29).

Transecta 2 Acaxochitlán – Chimalapa. Existe agricultura, impulso al sector turístico en la zona boscosa y pastizal. Se ubicó un basurero que representa un foco de contaminación en pleno bosque, Se observa que la agricultura y pastizal se ubican en las faldas de las áreas boscosas en pendientes que no son tan abruptas, no se observan evidencias de erosión y existen afloramientos de agua donde se observó que después de una lluvia no contenían sedimentos (Cuadro 30).

Transecta 3 Acaxochitlán – Los Reyes. En esta transecta se observan frutales que aparentemente están en proceso de abandono, agricultura a cielo abierto y algunos pequeños invernaderos, pastizal y bosque. Se observan algunas evidencias de erosión laminar en algunas milpas y el pastizal está en condición de degradación por sobrepastoreo (Cuadro 31).

Transecta 4. Acaxochitlán – La Mesa. Los usos de suelo son agrícola, pecuario y forestal, es el área que presenta condiciones de erosión severa (laminar, canalillos y cárcavas) de la microcuenca, esto debido al tipo y uso de suelo (Cuadro 32).



Priorización multinivel para proyectos de conservación de suelo y agua de la subcuenca del río San Marcos

SIMBOLOGÍA

Limites políticos	Población Total	Vías terrestres
Urbanas	● 11 - 67	Camino
Estatad	● 68 - 464	Carreteras
Municipal	● 465 - 1140	
	● 1141 - 2008	Relieve
	● 2009 - 4830	Curvas de nivel
Microcuenca		
Transectas	Rasgos hidrográficos	
1	— Cause_principal16	
2	■ Cuerpo de agua superficial	
3		
4		



Nivel 3. Transectas de la microcuenca 17 Acaxochitlán, Hidalgo

Información Cartográfica de Referencia:
 Sistema de proyección: Universal Transversa de Mercator
 Zona 14N
 Proyección: World Geodetic System, WGS, 1984
 Datum: WGS, 1984 Esferoide: WGS, 1984
 Unidad: Metros

Fuentes de Información:
 Marco Geoestadístico Nacional del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI, 2010).
 Fecha de elaboración: Julio de 2014. 1:85,000

Escala gráfica 

Figura 37. Transectas de la microcuenca 17, Acaxochitlán, Hidalgo.

Cuadro 29. Transecta 1 Acaxochitlán – Tlatempa de la microcuenca 17, Hidalgo.

	Tipo de Uso de Tierras				
	Urbano-Agricultura	Agricultura de ladera	Agricultura	Ornamentales	Bosque de encino
Características					
Localidades	Acaxochitlán	Barrio Tlacpac	Barrio Cuaunepantla	Barrio Yemila	Barrio Tlatempa
Pendiente promedio	< 9	9 - 18	9 - 18	> 32	> 32
Obstáculo a la producción	Manejo	Manejo	Manejo	Fertilidad	Zona forestal
Degradación de tierras	DT -erosión laminar	DT -erosión laminar	DT -erosión laminar	DT -erosión laminar	Vegetación natural
Prácticas de control de degradación	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Mejoras potenciales	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Herramienta				Entrevista - muestreo milpa y bosque	
Observaciones		Problemas con chapulín, gallina ciega y sequías, usan agua de manantial, el ingreso promedio mensual es de \$3000.00 a 4000.00			
Descripción histórica	Mejoró poco: ingresos. La alimentación de la familia y salud: se mantuvo igual. Los costos de producción, inversiones en el predio, capacitación y el agua para producción: empeoró				

Cuadro 30. Transecta 2 Acaxochitlán – Chimalapan de la microcuenca 17, Hidalgo.

	Tipo de Uso de Tierras					
	Urbano y agrícola (periferia)	Forestal - Turismo	Bosque pino-encino	Urbano - basurero	Agrícola	Pastizal
Características						
Localidades	Acaxochitlán	Norte de Barrio Tlatzintla	Chimalapa	Chimalapa	Chimalapa	Chimalapa
Pendiente promedio	< 9	> 32	> 32	> 33	> 32	> 32
Obstáculo a la producción	Manejo	Manejo	Manejo	Basurero	Manejo, plagas y enfermedades	Manejo y fertilidad
Degradación de tierras	DT -erosión laminar	DT -erosión laminar	Degradado - erosión laminar	Contaminación	DT -no aparente	DT -pisoteo de animales
Prácticas de control de degradación	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Mejoras potenciales	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Herramienta			Muestreo de suelos	Ninguna	Muestreo de suelos	Muestreo de suelos
Observaciones	Sistema agrícola en laderas con especies criollas	Aparente impulso al sector del ecoturismo (cabañas de descanso, senderismo, etc.)	Bosque abierto y degradado, uso turístico	Grave impacto a la parte baja por lixiviados	Sistema milpa (maíz - calabaza - frijol) especies criollas	Muchos cursos de agua, cercanos unos a otros, erosión laminar y en canalillos, profundidad arriba de 100 cm, pedregosidad nula

Cuadro 31. Transecta 3 Acaxochitlán – Los Reyes microcuenca 17, Hidalgo.

	Tipo de Uso de Tierras				
	Urbano y agrícola (periferia)	Agrícola	Pastizal - frutales	Agrícola -frutal	Agrícola
Características					
Localidades	Acaxochitlán	Sur de Barrio Taltegco (Venta Quemada)	Este de Parada 170	Los Reyes	Los Reyes
Pendiente promedio	< 9	18 - 32	< 9	18 - 32	18 - 32
Obstáculo a la producción	Manejo	Manejo, plagas y enfermedades	Manejo	Manejo, fertilidad, agua	Manejo, plagas y enfermedades
Degradación de tierras	DT -erosión laminar	DT -erosión laminar	No aparente	Erosión laminar	DT -erosión laminar
Prácticas de control de degradación	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Mejoras potenciales	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Herramienta	Ninguna	Muestreo de suelo	Ninguna	Muestreo de suelo	Muestreo de suelo
Observaciones	Concentra sector terciario (servicios)	Sistema agrícola en laderas con especies criollas	Pastizal no manejado con frutales	Presencia de invernaderos	Sistema milpa (maíz - calabaza - frijol) especies criollas

Cuadro 32. Transecta 4 Acaxochitlán – La Mesa de la microcuenca 17, Hidalgo.

	Tipo de Uso de Tierras				
	Agrícola	Forestal	Urbano - rural	Agrícola: olla de agua PESA-COUSSA	Pastizal
Características					
Localidades	Barrio Tlalminolpa		La Mesa	La Mesa	La Mesa
Pendiente promedio	9 - 18	18 - 32	18 - 32	9 - 18	18 - 32
Obstáculo a la producción	Manejo, plagas y enfermedades	Manejo	Crecimiento urbano desordenado	Sedimentos en la parte alta de la olla	Manejo, plagas y enfermedades
Degradación de tierras	DT -erosión laminar	DT - erosión laminar y canalillos	Erosión laminar, canalillos y cárcavas	DT - severa, erosión cárcavas	DT -erosión laminar
Prácticas de control de degradación	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Mejoras potenciales	Ninguna	Sistema agroforestal		Ninguna	Ninguna
Herramienta	Muestreo de suelo	Muestreo de suelo	Muestreo de suelo	Ninguna	Muestreo de suelo
Observaciones	Sistema agrícola en laderas con especies criollas	Bosque de pino fragmentado por camino	Construcción de viviendas en zonas de riesgo por erosión y movimientos en masa	Localidad PESA-FAO	Sistema milpa (maíz - calabaza - frijol) especies criollas

6.3.2 Muestreo de suelos

El análisis exploratorio de la fertilidad de los suelos de la microcuenca Acaxochitlán caracterizó de manera general el estado de los sistemas de producción más representativos de la microcuenca, los suelos presentan pH ácidos; de acuerdo con Castellanos *et al*, 2010 en cuanto a materia orgánica los suelos son muy ricos (> 4.2), nitrógeno muy bajo (< 10), fósforo muy bajo (< 5), potasio (< 50), calcio muy bajo (<250), y magnesio (<25) y en general se trata de suelos francos a franco arcillosos (Cuadro 33). Se requiere profundizar en el número de muestras debido a información que a simple vista se encuentra como contradictoria en cuanto a contenido de materia orgánica y contenido de nitrógeno.

Cuadro 33. Resultados de laboratorio de muestreo de suelos de la microcuenca 17, Acaxochitlán, Hidalgo.

Muestra	1	2	3	4	5	6
Nano cuenca	2	3	3	4	4	5
Uso de suelo	Frutal (manzano)	Maíz	Pastizal	Bosque de encino	Milpa	Bosque de pino
Potencial de hidrógeno	5.2	5.7	5.4	5.5	5.9	5.9
Carbono orgánico (%)	3.6	5.0	6.5	13.1	11.0	7.8
Materia orgánica (%)	6.2	8.7	11.3	22.5	19.0	13.5
Nitrógeno total (%)	0.29	1.00	0.89	0.4	0.55	0.49
Fósforo (mg kg ⁻¹)	3.23	3.23	0.73	0.73	3.23	0.73
Capacidad de intercambio catiónico (cmol (+) kg ⁻¹)	29.6	34.8	53.2	31.4	25.4	41.8
Sodio (cmol (+) kg ⁻¹)	0.23	0.23	0.23	0.28	0.25	0.25
Potasio (cmol (+) kg ⁻¹)	0.14	0.39	0.5	0.76	0.48	0.56
Calcio (cmol (+) kg ⁻¹)	0.85	2.14	1.3	5.89	2.82	4.47
Magnesio (cmol (+) kg ⁻¹)	0.23	0.53	0.38	2.08	0.45	1.68
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.14	1.39	0.95	1.01	1.13	1.23
Clase textural	Franco arcilloso	Franco Arcilloso Arenoso	Franco	Franco	Franco	Franco Arcillo Arenoso

6.3.3 Degradación de suelo causada por el hombre

La delimitación de facetas terrestres de la microcuenca 17 Acaxochitlán, dio como resultado 14 unidades de las cuales una corresponde a cuerpo de agua, entre los principales tipos de degradación está; la degradación química por declinación de la fertilidad, degradación física por pérdida de la función productiva y erosión hídrica con pérdida de suelo superficial y terrenos estables por vegetación natural (Cuadro 34, Figura 38 y Figura 39), esto indica que

la estrategia de conservación debe ir encaminada a la atención de los sistemas de producción agrícola.

Cuadro 34. Degradación de suelo causada por el hombre a nivel de faceta terrestre de la microcuenca 17 Acaxochitlán, Hidalgo.

Superficie (ha)	Clave 1	Descripción 1	Clave 2	Descripción 2
230.51	CA	Cuerpo de agua		
269.61	Qd1.100(+)	Degradación química, declinación de la fertilidad con grado ligero en el 100% de la superficie, tasa activa por causa de actividades agrícolas		
624.5	Qd1.50(+)	Degradación química, declinación de la fertilidad con grado ligero en el 50% de la superficie, tasa activa por causa de actividades agrícolas y sobreexplotación de la vegetación para consumo	SN.50	Terreno estable con vegetación natural en el 50% de la superficie
560.89	Qd1.60(+)	Degradación química, declinación de la fertilidad con grado ligero en el 60% de la superficie, tasa activa por causa de actividades agrícolas	FU1.40(+)	Degradación física, pérdida de la función productiva en 40% de la superficie con grado ligero, tasa activa, por causa de urbanización
523.35	Qd1.70(+)	Degradación química, declinación de la fertilidad con grado ligero en el 70% de la superficie, tasa activa por causa de actividades agrícolas	FU1.30(+)	Degradación física, pérdida de la función productiva en 30% de la superficie, tasa activa, por causa de urbanización
693.95	Qd1.80(+)	Degradación química, declinación de la fertilidad con grado ligero en el 80% de la superficie, tasa activa por causa de actividades agrícolas	FU1.20(+)	Degradación física, pérdida de la función productiva en 20% de la superficie con grado ligero, tasa activa, por causa de urbanización
282.59	Qd1.80(+)	Degradación química, declinación de la fertilidad con grado ligero en el 80% de la superficie, tasa activa por causa de sobreexplotación de la vegetación para consumo	FU1.20(+)	Degradación física, pérdida de la función productiva en 20% de la superficie con grado ligero, tasa activa, por causa de urbanización
2152.22	Qd1.90(+)	Degradación química, declinación de la fertilidad con grado ligero en el 90% de la superficie, tasa activa por causa de actividades agrícolas	FU1.10(+)	Degradación física, pérdida de la función productiva en 10% de la superficie con grado ligero, tasa activa, por causa de urbanización
853.52	Qd2.95(+)	Degradación química, declinación de la fertilidad con grado moderado en el 95% de la superficie, tasa activa por causa de actividades agrícolas y sobreexplotación de la vegetación para consumo	HS4.5(+)	Erosión hídrica con pérdida de suelo superficial con grado extremo en 5% de la superficie, tasa activa, por causa de actividades agrícolas y deforestación
1809.15	SN.50	Terrenos estables por vegetación natural en 50% de la superficie	Qd2.50(+)	Degradación química por declinación de la fertilidad con grado moderado en 50% de la superficie, tasa activa, por causa de actividades agrícolas y deforestación
424.95	SN.70	Terrenos estables por vegetación natural en 70% de la superficie	HS2.30(+)	Erosión hídrica con pérdida de suelo superficial con grado moderado en 30% de la superficie, tasa activa, por causa de la deforestación
4833.6	SN.80	Terrenos estables por vegetación natural en 80% de la superficie	HS1.20(+)	Erosión hídrica con pérdida de suelo superficial con grado ligero en 20% de la superficie, tasa activa, por causa de la deforestación
135.08	SN.80	Terrenos estables por vegetación natural en 80% de la superficie	FU1.20(+)	Degradación física, pérdida de la función productiva con grado ligero en 20% de la superficie, tasa activa, por causa de urbanización

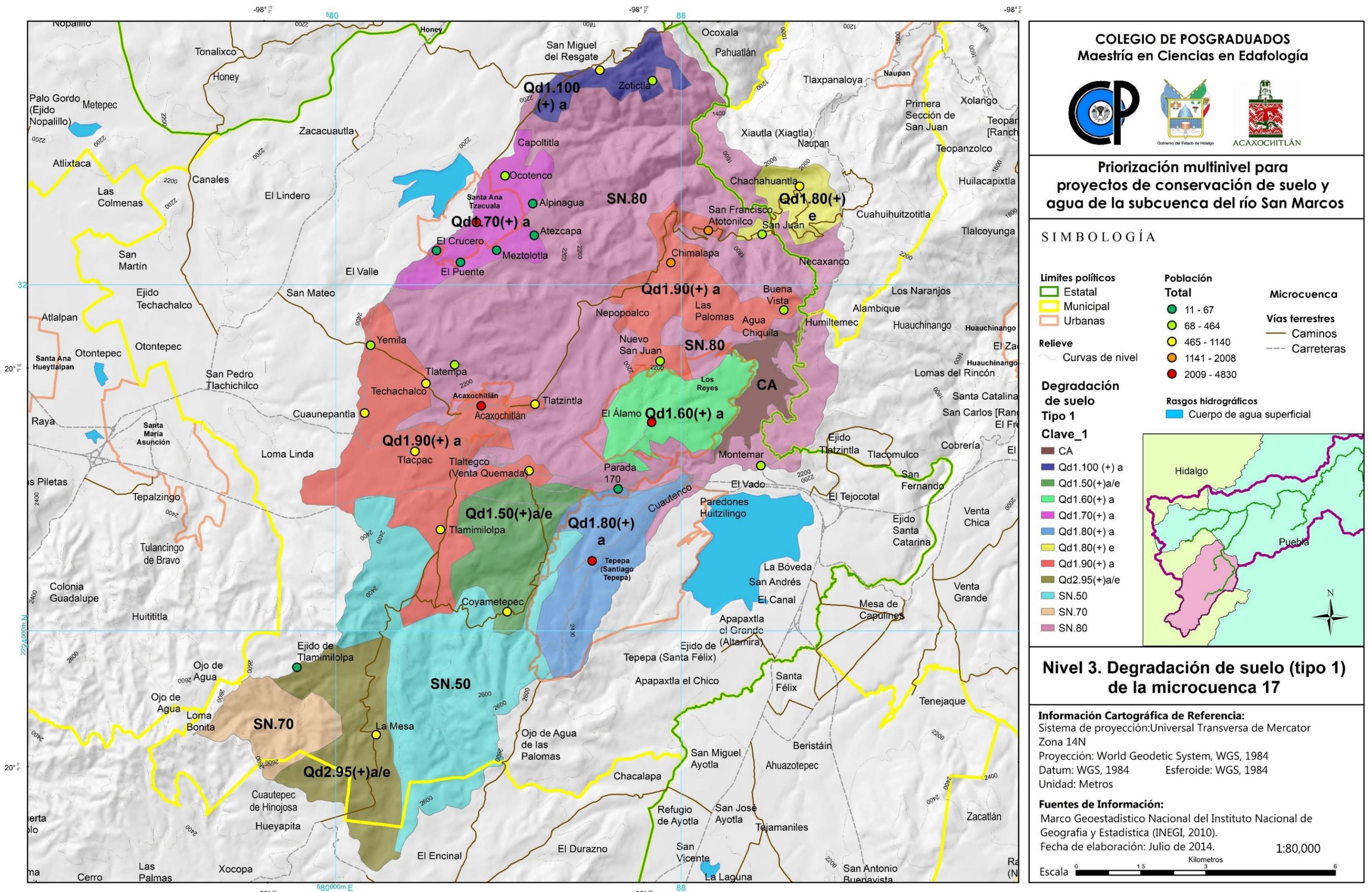


Figura 38. Degradación de suelo (tipo 1) de la microcuenca 17, Acaxochitlán, Hidalgo.

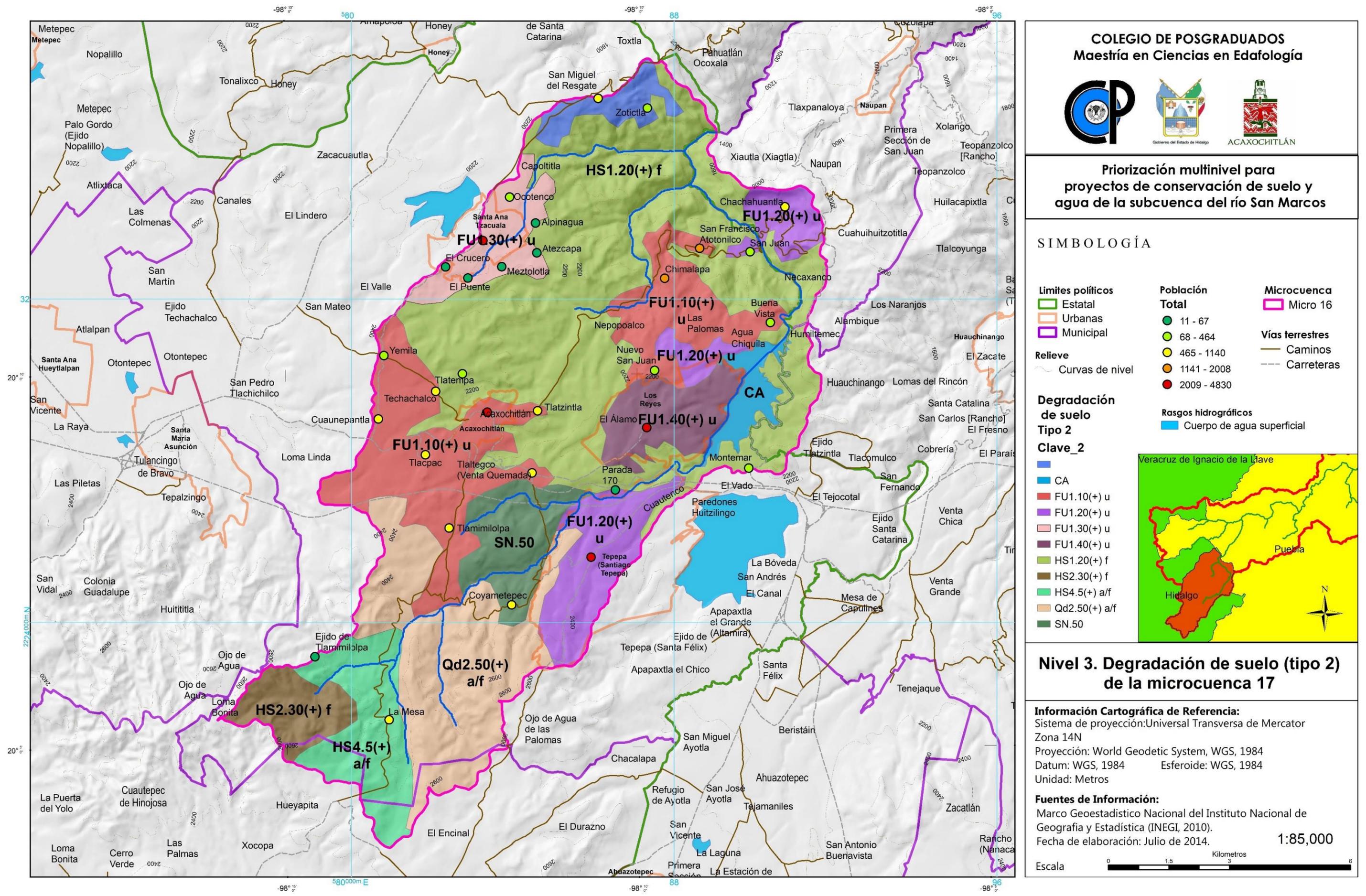


Figura 39. Degradación de suelo (tipo 2) de la microcuenca 17, Acaxochitlán, Hidalgo.

6.3.4 Delimitación de nano cuencas

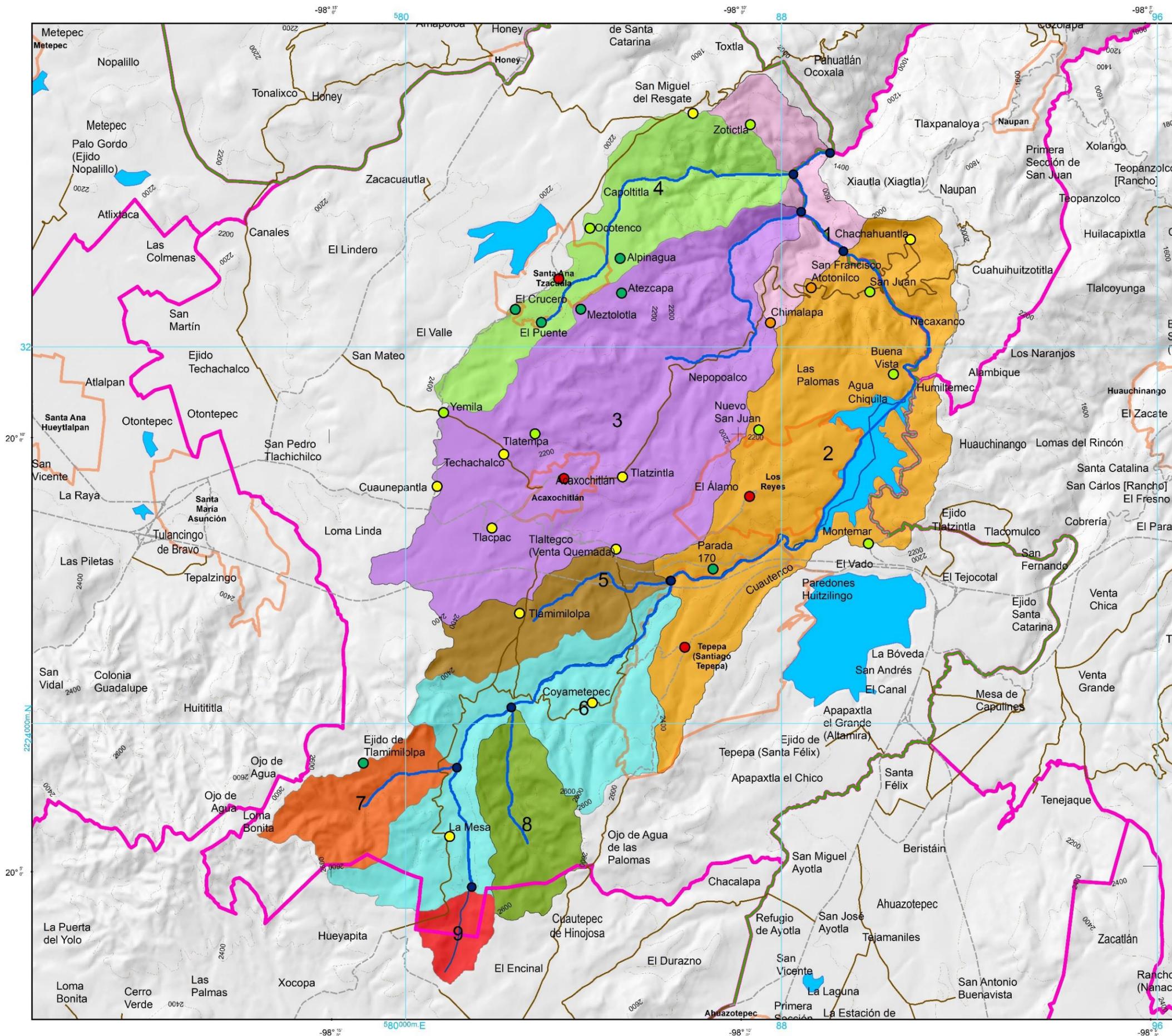
Una vez que se caracterizó de manera general las condiciones de degradación de la microcuenca 17 se delimitaron las nano cuencas, se consideró mantener una nano cuenca relativamente pequeña para poder realizar el trabajo de campo (levantamiento fotogramétrico). Los resultados indican que las nano cuencas 2 y 3 son las que tienen mayor cantidad de localidades y mayor superficie agrícola de la zona (Cuadro 35 y Figura 41), mientras que en la nano cuenca 9 se ubica la mayor superficie con degradación de suelo extrema (cárcavas con erosión hídrica) (Figura 40).

Cuadro 35. Superficie y localidades de las nano cuencas que integran la microcuenca 17 Acaxochitlán, Hidalgo.

Nano cuenca	Área		Número	Localidad	Superficie agrícola	
	ha	%		Nombre	ha	%
1	625.53	4.8	2	Zotictla y Chimalapa	121.5	2.4
2	3242.67	24.7	13	Chachahuantla, San Juan, San Francisco Atotonilco, Necaxanco, Buena Vista, Humitemec, San Francisco Atotonilco, Las Palomas, Agua Chiquita, Nuevo San Juan, Parada 170, Cuatenco y Montemar	1385	26.9
3	3950.87	30.1	10	Atezcapa, Nepopoalco, El Álamo, Atezcapa, Meztolotla, Techachalco, Tlatempa, Cuaunepantla, Tlapac y Tlattego (Venta Quemada)	1503.9	29.2
4	1345.32	10.3	4	Ocotenco, Alpinagua, El Crucero y El Puente	458.6	8.9
5	659.15	5	1	Tlamimilolpa	262.4	5.1
6	1808.41	13.8	1	Coyametepec	939.7	18.2
7	584.74	4.5	1	Ejido Tlalminolpa	207.8	4
8	671.37	5.1	0		127.5	2.5
9	216.18	1.6	0		149.2	2.9
Total	13104	100	32		5155.6	100



Figura 40. Degradación de suelo de la nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.



COLEGIO DE POSGRADUADOS
Maestría en Ciencias en Edafología





Priorización multinivel para proyectos de conservación de suelo y agua de la subcuenca del río San Marcos

SIMBOLOGÍA

<p>Limites políticos</p> <ul style="list-style-type: none"> Estatal Municipal Urbanas <p>Vías terrestres</p> <ul style="list-style-type: none"> Caminos Carreteras <p>Rasgos hidrográficos</p> <ul style="list-style-type: none"> Cauce principal Cuerpo de agua superficial Corrientes Salida de nanocuenca 	<p>Población Total</p> <ul style="list-style-type: none"> 11 - 67 68 - 464 465 - 1140 1141 - 2008 2009 - 4830 <p>Relieve</p> <ul style="list-style-type: none"> Curvas de nivel 	<p>Nanocuenca Número</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 2 3 4 5 6 7 8 9
---	---	---

Nivel 3. Nanocuenca de la microcuenca 17, Acaxochitlán, Hidalgo

Información Cartográfica de Referencia:
 Sistema de proyección: Universal Transversa de Mercator
 Zona 14N
 Proyección: World Geodetic System, WGS, 1984
 Datum: WGS, 1984 Esferoide: WGS, 1984
 Unidad: Metros

Fuentes de Información:
 Marco Geoestadístico Nacional del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI, 2010).
 Fecha de elaboración: Julio de 2014.

1:85,000

Escala 

Figura 41. Nano cuencas de la microcuenca 17, Acaxochitlán, Hidalgo.

Ahora bien a nivel de nano cuenca, el tipo de degradación principal que se presenta en la nano cuenca 9 La Mesa es la degradación química por declinación de la fertilidad ligera (Cuadro 36), sin embargo, en recorridos de campo se observó también erosión hídrica con grado moderado y extremo de tipo pérdida superficial y efectos fuera de sitio (cárcavas), por lo que para realizar un análisis de las condiciones de degradación a nivel de nano cuenca se requiere un estudio a mayor detalle.

Cuadro 36. Tipos de degradación de los suelos de la microcuenca 17 Acaxochitlán, Hidalgo.

Nano cuenca	Tipo de degradación	
	Clave	Descripción
1	SN.000	-Terrenos estables por vegetación natural
	Qd1.000(+) a	-Degradación química por declinación de la fertilidad con grado ligero, tasa activa, por causa de actividades agrícolas
2	Qd1.000(+) a	-Degradación química por declinación de la fertilidad con grado ligero, tasa activa por causa de actividades agrícolas
	Qd1.000(+) e	-Degradación química por declinación de la fertilidad con grado ligero, tasa activa por causa de la deforestación
	CA	Cuerpo de agua
3	SN.000	-Terrenos estables por vegetación natural
	Qd1.000(+) a	-Degradación química por declinación de la fertilidad con grado ligero, tasa activa, por causa de actividades agrícolas
4	SN.000	-Terrenos estables por vegetación natural
	Qd1.000(+) a	-Degradación química por declinación de la fertilidad con grado ligero, tasa activa, por causa de actividades agrícolas
5	SN.000	-Terrenos estables por vegetación natural
	Qd1.000(+) a	-Degradación química por declinación de la fertilidad con grado ligero, tasa activa, por causa de actividades agrícolas
	Qd1.000(+) a/e	-Degradación química por declinación de la fertilidad con grado ligero, tasa activa, por causa de actividades agrícolas y sobreexplotación de la vegetación para consumo
6	Qd2.000(+) a/e	-Degradación química por declinación de la fertilidad con grado moderado, tasa activa, por causa de actividades agrícolas y sobreexplotación de la vegetación para consumo
	SN.000	-Terrenos estables por vegetación natural
	Qd1.000(+) a	-Degradación química por declinación de la fertilidad con grado ligero, tasa activa, por causa de actividades agrícolas
7	SN.000	-Terrenos estables por vegetación natural
	Qd2.000(+) a/e	-Degradación química por declinación de la fertilidad con grado moderado, tasa activa, por causa de actividades agrícolas y sobreexplotación de la vegetación para consumo
9	SN.000	-Terrenos estables por vegetación natural
	Qd2.000(+) a/e,	-Degradación química por declinación de la fertilidad con grado moderado, tasa activa, por causa de actividades agrícolas y sobreexplotación de la vegetación para consumo
	SN.000	-Terrenos estables por vegetación natural

6.3.5 Levantamiento fotogramétrico y degradación de suelo causada por el hombre de nano cuenca 9 La Mesa

Se generaron dos orto mosaicos con los softwares Pix 4Dmapper Pro y Agisoft PhotoScan encontrándose diferencias en resolución la cual fue notoria visualmente, la calidad del producto generado con el software Pix 4D resultó ser de mejor calidad que Agisoft al aumentar el zoom de la imagen en el software Arc Gis 10.3 lo que facilitó digitalización de usos de suelo y tipos de degradación, por lo que se trabajó con este último producto generado (Figura 44).

Se encontró error en ambos orto mosaicos generados, esto se detectó debido al Software Pix 4Dmapper Pro donde al procesar la nube de puntos de las 4996 fotografías obtenidas de los vuelos 88 fotografías no fueron geo posicionadas (cámaras no calibradas) por lo que el software extrapola información automáticamente para generar el modelo digital de superficie y para el orto mosaico no generó información en esta zona. Estas fotografías correspondieron a zonas boscosas por lo que se perdió información georreferenciada en campo y el correcto emparejamiento de imágenes. Lo anterior se intentó corregir con calibración manual lo que implica realizar el emparejamiento con imágenes vecinas, esto es ubicar puntos de georreferencia en imágenes contiguas lo que resultó imposible debido a que correspondían a zonas boscosas (fotografías relativamente homogéneas). Debido a que el objetivo del proyecto fue tener como unidad de estudio los usos de suelo, el problema de georreferencia y pérdida de información en un solo tipo de uso (bosque) no fue relevante.

A la clasificación de uso de suelo y vegetación se añadió la clase de uso del suelo llamada “cárcava” para denotar aquellas zonas donde hay degradación de suelo intensa, lo que técnicamente denominamos cárcavas y en término utilizado por la población de la zona llaman barrancos, estas zonas tienen uso de pastizal (aparentemente no aprovechable), sin embargo, se encontró entre un ciclo agrícola y otro que se realizó la preparación de suelo para fines agrícolas (arado manual de suelo) lo que contribuye a su degradación, estas zonas fueron fácilmente identificadas en las imágenes tomadas con dron por lo que facilita su medición.

El uso de suelo predominante en la microcuenca fue agrícola (32.7%), seguido del forestal (bosque pino - encino 31.3%), este primer uso de suelo es el que presenta mayor fragmentación y dispersión con 165 polígonos del total de la nano cuenca (318 unidades), por otra parte, se observaron transiciones de cambio de uso de suelo y vegetación de pastizal a otro tipo de uso de suelo (5.5%) sobre todo para uso forestal (4.8% para reforestación), (Figura 45).



Figura 42. Arado tracción animal en zona de cárcavas dentro de la nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.

Cuadro 37. Uso de suelo y vegetación de la nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.

Uso de suelo y vegetación	Superficie	
	ha	%
Agrícola	70.736	32.7
Agrícola - pastizal	2.163	1.0
Agrícola - vegetación secundaria	0.364	0.2
Bosque pino - encino	67.586	31.3
Bosque (reforestación)	0.131	0.1
Cárcava	13.746	6.4
Pastizal	20.273	9.4
Pastizal - agrícola	0.363	0.2
Pastizal - reforestación	10.447	4.8
Pastizal - Urbano	0.454	0.2
Pastizal - vegetación secundaria	0.667	0.3
Urbano	9.568	4.4
Vegetación secundaria	2.536	1.2
Otro (caminos y linderos)	17.206	8.0
Total	216.24	100.0

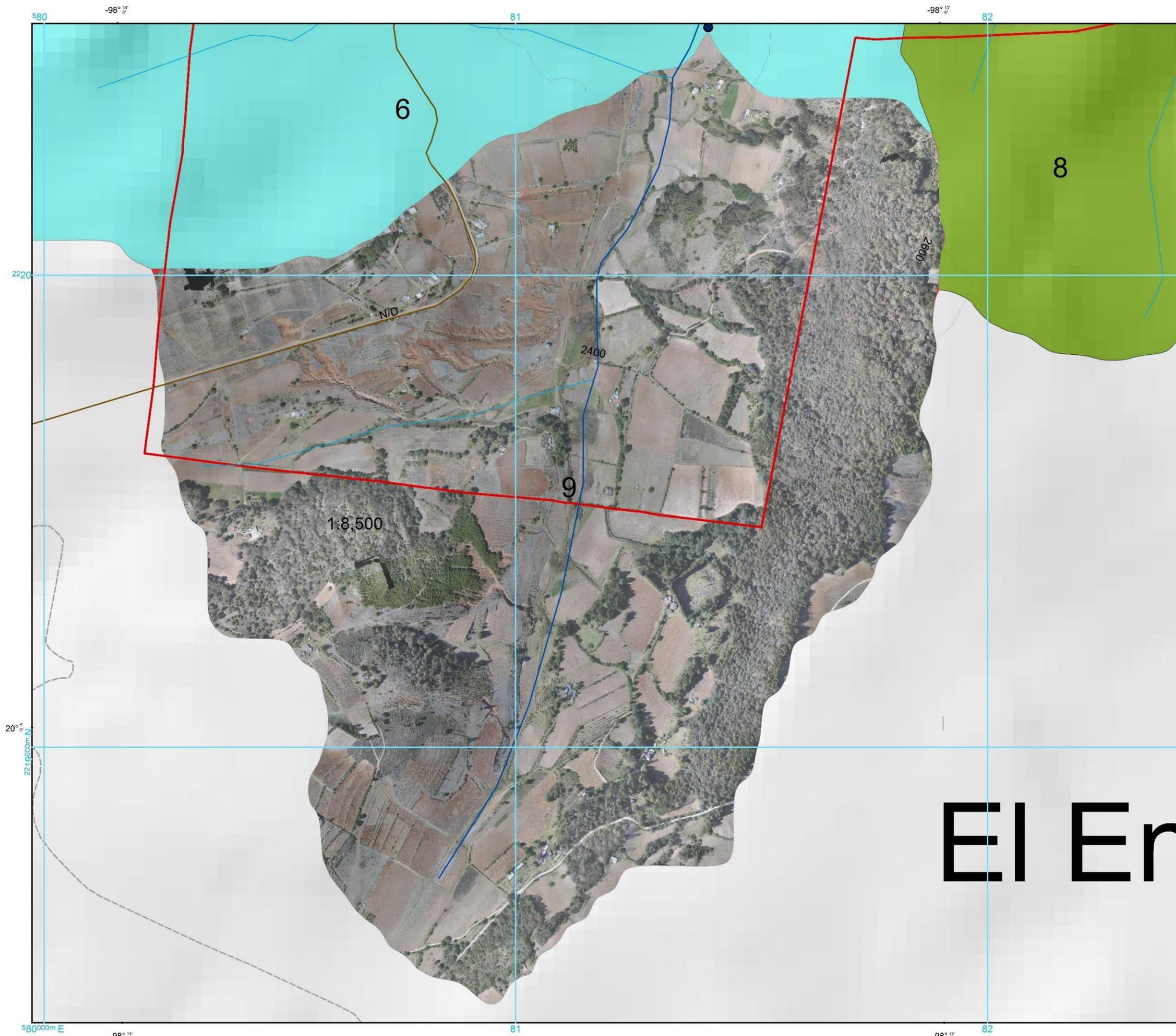
En cuanto a los resultados de caracterización de la degradación de uso de suelo para cada unidad o tipo de uso se encontró mayor superficie en terrenos de uso agrícola con tipo de degradación Hs2.000(+) a, lo que significa que en 72.031 ha con erosión hídrica con pérdida de suelo superficial en grado moderado (con una marcada reducción en su productividad) presenta tasa activa (en aumento) debido a actividades agrícolas, en segundo lugar con 67.58 hectáreas se ubica la vegetación natural que corresponde a bosque de pino - encino, en tercer lugar está el tipo Hs3.000(+) f pero en grado Fuerte (3) donde se requieren grandes trabajos de ingeniería para su restauración y cuya causa es la deforestación (Figura 46).



Figura 43. Erosión hídrica de tipo fuerte Hs3.00(+), de la nanocuanca 9.

Cuadro 38. Tipo de degradación de suelo causada por el hombre y vegetación o uso de suelo asociada de la nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.

Tipo de degradación		Superficie (ha)	Tipo de vegetación o uso de suelo
Clave	Descripción		
Fu1.000(+)	f Degradación física por pérdida de la función productiva con grado ligero, tasa activa causada por deforestación	0.29	Vegetación secundaria
Fu2.000(+)	u Degradación física por pérdida de la función productiva con grado moderado, tasa activa por causa de urbanización	9.57	Urbano
Fu2.000(+)	f Degradación física por pérdida de la función productiva con grado moderado, tasa activa por causada por deforestación	2.11	Vegetación secundaria
Fu3.000(+)	f Degradación física por pérdida de la función productiva con grado fuerte, tasa activa, causado por deforestación	0.14	Vegetación secundaria
Ha2.000(+)	f Erosión hídrica con efectos fuera de sitio con grado moderado, tasa activa, causada por deforestación	0.41	Pastizal
Ha3.000(+)	f Erosión hídrica con efectos fuera de sitio con grado moderado, tasa activa, causada por deforestación	1.95	Pastizal
Hc4.000(+)	f Erosión hídrica con deformación del terreno con grado extremo, tasa activa, causada por deforestación	2.51	Cárcava
Hs1.000(+)	a Erosión hídrica con deformación del terreno con grado ligero, tasa activa, causada por actividades agrícolas	2.38	Pastizal - agrícola
Hs1.000(+)	f Erosión hídrica con deformación del terreno con grado ligero, tasa activa, causada por deforestación	4.13	Pastizal
Hs2.000(+)	a Erosión hídrica con deformación del terreno con grado moderado, tasa activa, causada por actividades agrícolas	72.03	Agrícola
Hs2.000(+)	u Erosión hídrica con deformación del terreno con grado moderado, tasa activa, causada por urbanización	0.45	Pastizal - urbano
Hs2.000(+)	f Erosión hídrica con deformación del terreno con grado moderado, tasa activa, causada por deforestación	7.27	Pastizal, pastizal - reforestación y pastizal - vegetación secundaria
Hs3.000(+)	a Erosión hídrica con deformación del terreno con grado fuerte, tasa activa, causada por actividades agrícolas	1.96	Agrícola, Agrícola - pastizal
Hs3.000(+)	f Erosión hídrica con deformación del terreno con grado fuerte, tasa activa, causada por deforestación	14.74	Pastizal, Pastizal - reforestación
Hs4.000(+)	f Erosión hídrica con deformación del terreno con grado extremo, tasa activa, causada por deforestación	11.37	Pastizal, cárcava
SH	Terreno estable por reforestación	0.13	Reforestación
SN	Terreno estable por vegetación natural	67.59	Bosque pino - encino
		17.21	Otro (caminos y linderos)
Total		216.24	



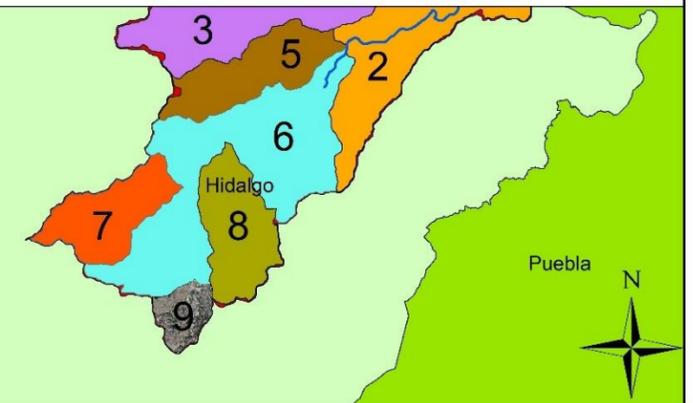
**COLEGIO DE POSGRADUADOS
Maestría en Ciencias en Edafología**



**Priorización multinivel para
proyectos de conservación de suelo y
agua de la subcuenca del río San Marcos**

SIMBOLOGÍA

Vías terrestres	Limites políticos	Nanocuenca Número
— Caminos	▭ Acaxochitlán	1
- - - Carreteras	Relieve	2
Rasgos hidrográficos	~ Curvas de nivel	3
— Cause principal		4
— Corrientes16		5
▭ Cuerpo de agua superficial		6
— Corrientes		7
● Salida de nanocuenca		8
		9



**Nivel 3. Ortofoto nanocuenca 9
La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo**

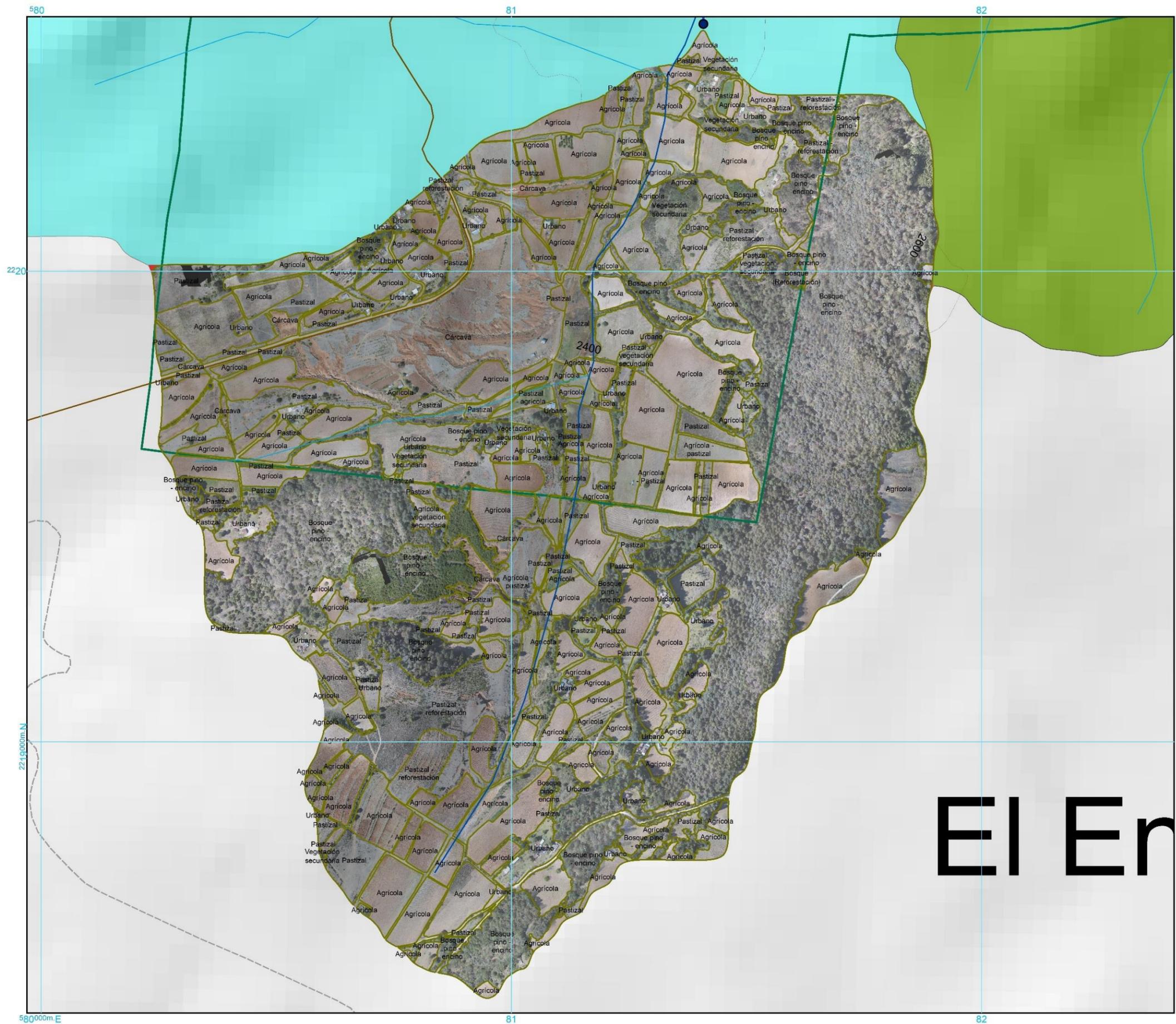
Información Cartográfica de Referencia:
 Sistema de proyección: Universal Transversa de Mercator
 Zona 14N
 Proyección: World Geodetic System, WGS, 1984
 Datum: WGS, 1984 Esferoide: WGS, 1984
 Unidad: Metros

Fuentes de Información:
 Levantamiento fotogramétrico y Marco Geoestadístico Nacional del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI, 2010).
 Fecha de elaboración: Abril de 2017.

Escala 1:8,500

 Kilometers 1:8,500

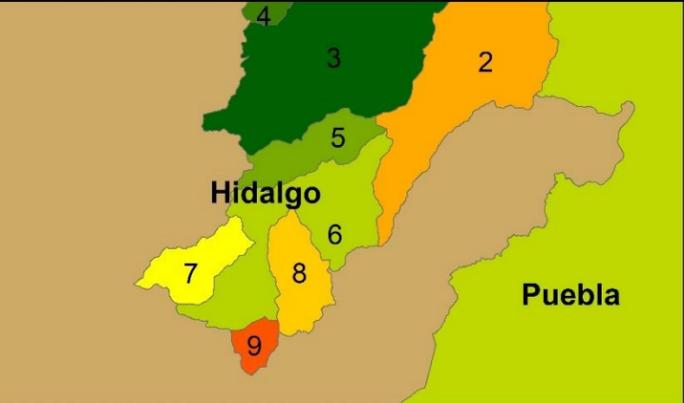
Figura 44. Ortofoto de nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.



Priorización multinivel para proyectos de conservación de suelo y agua de la subcuenca del río San Marcos

SIMBOLOGÍA

- | | | |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Vías terrestres | Limites políticos | Nanocuenca Número |
| — Caminos | □ Acaxochitlán | 1 |
| - - - Carreteras | | 2 |
| | | 3 |
| Rasgos hidrográficos | | 4 |
| — Cause principal | | 5 |
| — Corrientes16 | | 6 |
| ■ Cuerpo de agua superficial | | 7 |
| — Corrientes | | 8 |
| ● Salida de nanocuenca | | 9 |



Nivel 3. Uso de suelo nanocuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo

Información Cartográfica de Referencia:
 Sistema de proyección: Universal Transversa de Mercator
 Zona 14N
 Proyección: World Geodetic System, WGS, 1984
 Datum: WGS, 1984 Esferoide: WGS, 1984
 Unidad: Metros

Fuentes de Información:
 Levantamiento fotogramétrico y Marco Geoestadístico Nacional del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI, 2010).
 Fecha de elaboración: Abril de 2017.



Figura 45. Uso de suelo de nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.



COLEGIO DE POSGRADUADOS
Maestría en Ciencias en Edafología



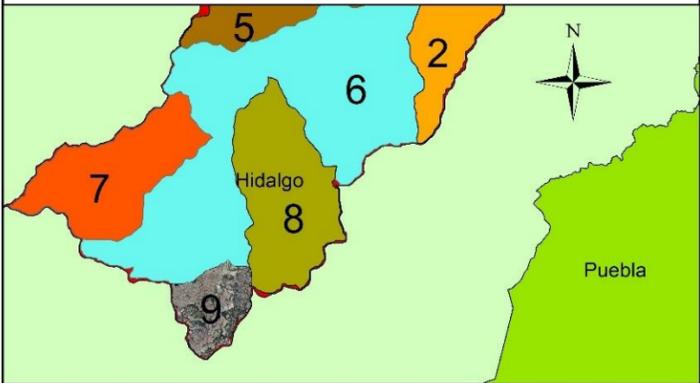


Priorización multinivel para proyectos de conservación de suelo y agua de la subcuenca del río San Marcos

SIMBOLOGÍA

<p>Vías terrestres</p> <ul style="list-style-type: none"> — Caminos - - - Carreteras <p>Rasgos hidrográficos</p> <ul style="list-style-type: none"> — Cause principal — Corrientes16 — Cuerpo de agua superficial — Corrientes ● Salida de nanocuenca 	<p>Nanocuecas</p> <p>□ Nanocuenca 9</p>	<p>Nanocuecas</p> <p>Número</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 1 □ 2 □ 3 □ 4 □ 5 □ 6 □ 7 □ 8 □ 9
--	--	---



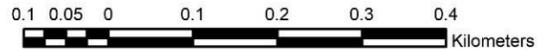


Degradación de suelo nanocuenca 9
La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo

Sistema de proyección: Universal Transversa de Mercator
Zona 14N
Proyección: World Geodetic System, WGS, 1984
Datum: WGS, 1984 Esferoide: WGS, 1984
Escala 1: 85 000 Unidad: Metros

Levantamiento fotogramétrico y Marco Geoestadístico Nacional del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI, 2010).
Fecha de elaboración: Abril de 2017.

Escala 1:8,500



0.1 0.05 0 0.1 0.2 0.3 0.4 Kilometers

El En

Figura 46. Degradación de suelo causada por el hombre de nano cuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.

VII. CONCLUSIONES

Para la restauración o conservación de suelo y agua es necesario conciliar los aspectos de administración pública con aspectos técnicos, esto significa que la asignación de recursos económicos que se realiza debe considerar también el enfoque de planeación y manejo integral de cuencas, lo que se logró mediante la metodología planteada.

Los índices compuestos son tan flexibles que permiten comparar información cualitativa y cuantitativa de aspectos sociales, económicos, ambientales y definir la prioridad en términos de atención. Sin embargo, el método por su origen multicriterio está en función de los objetivos y se sustenta en bases subjetivas, por tanto, el resultado de priorización obedece a los fines que el autor establezca. La línea base que se genera a lo largo de la metodología permitiría evaluar avances.

La metodología de evaluación de degradación causada por el hombre permite de manera rápida hacer una valoración sobre las condiciones de degradación de un determinado ecosistema, uso de suelo o vegetación lo que se traduce en la obtención de información de calidad para realizar toma de decisiones sobre que prácticas u obras realizar en determinado sitio.

El uso de imágenes georreferenciadas con dron para esta valoración de degradación con la metodología permitió la obtención de información rápida y detallada sobre todo a zonas de difícil acceso y prácticamente a toda la microcuenca en un lapso de tiempo máximo de 4 – 5 horas (tiempo de vuelo incluido en traslado a sitios), el trabajo de campo fue de un día (horas luz) entre la toma de puntos de control con GPS de precisión y el vuelo con dron, dejando así el trabajo procesamiento de imágenes y digitalización de información como la etapa más tardada del proceso.

Si bien el uso del dron solo trata de una herramienta tecnológica para acelerar y facilitar el trabajo, su manejo permite el monitoreo continuo de la zona de estudio. Este equipo permite obtener información al detalle deseado de acuerdo con la escala que se busque.

VIII. LITERATURA CITADA

- Becerra. M. A., 2008. Conservación de Suelos y Desarrollo Sustentable, ¿Utopía o posibilidad en México? Terra. Volumen 16 Número 2. (Consultado el 20 de julio de 2017). Disponible en línea: <https://goo.gl/Qg3AoZ>
- Casillas G.J.A. s. a. El Programa Nacional de Microcuencas: una estrategia de Desarrollo Integral. Disponible en línea: <https://goo.gl/vOof7P>
- Campos V. J.K., 2017. Las políticas públicas de conservación de suelos en México, un análisis retrospectivo y su proyección. Tesis de Posgrado. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Cadena Vargas, Edel. 2010: Impacto económico y social del neoliberalismo en México y el mundo occidental, Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- CONAGUA, 2009. Comisión Nacional del Agua. Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola y Gerencia de Distritos de Temporal Tecnificado. Restauración hidrológica ambiental de las partes medias y altas de las cuencas La Sierra, Teapa, Pichucalco y Platanar. Informes finales, Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma Chapingo, Universidad Autónoma Querétaro.
- CDDHCU, 2003. Cámara de Diputados, Honorable Congreso de la Unión. Iniciativa de la Ley para la Restauración y Conservación de las Tierras. (Consultado el 27 de julio de 2017). Disponible en línea: <https://goo.gl/3xDtw1>
- CIESAS, 2016. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social. Evaluación de Diseño Programa de Productividad Rural. (Consultado el 17 de julio de 2017). Disponible en línea: <https://goo.gl/D4mHUo>
- CONEVAL, 2015. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. Evaluación de Diseño Programa Integral de Desarrollo Rural. (Consultado el 27 de julio de 2017). Disponible en línea: <https://goo.gl/8NJWx7>

- CONAFOR, 2001. Comisión Nacional Forestal. Programa Estratégico Forestal para México 2025. Informe Final, VERSIÓN 2.1 de 18 de agosto de 2001. (Consultado el 27 de julio de 2017). Disponible en línea: http://era-mx.org/biblio/PEF_2025.pdf
- CONAPO, 2011. Consejo Nacional de Población. Índice absoluto de marginación. 119 pág. Disponible en línea: goo.gl/64rlUO
- CONAGUA, 2016. Registro Público de Derechos del Agua. Disponible en línea: GOO.GL/sc9poA
- COLPOS, 2007. Colegio de Postgraduados. Evaluación en materia de Diseño del Programa Nacional de Microcuencas. Disponible en línea: <https://goo.gl/4nmnNz>
- CONEVAL, 2016. Consejo Nacional de Evaluación de la Política y Desarrollo Social. Evaluación integral del desempeño de los programas federales de conservación y protección del medio ambiente 2014-2015. México.
- Cotler H., López C.A., Martínez-Trinidad S. 2007. ¿Cuánto nos cuesta la erosión de suelos? Aproximación a una valoración económica de la pérdida de suelos agrícolas en México. *Montgomery. Investigación Ambiental* 2011, 3 (2):31-43. Disponible en: <http://goo.gl/crFFNG>
- DOF, 2012. Diario Oficial de la Federación. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. (Consultado el 24 de julio de 2017). Disponible en línea: <https://goo.gl/EsfhZT>
- DOF, 2002. Diario Oficial de la Federación. Lineamientos de Operación del Programa Integral de Agricultura Sostenible y Reconversión Productiva en Zonas con Sequía Recurrente. (Consultado el 20 de julio de 2017). Disponible en línea: <https://goo.gl/GL6Xwe>
- DOF, 2003. Diario Oficial de la Federación. Manual de Organización General de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

- FAO, 2013. Programa de Cooperación Internacional, Brasil – FAO. Documento final del estudio de políticas públicas agroambientales en México. (Consultado el 10 de julio de 2016). Disponible en línea: <http://www.fao.org/3/a-as227s.pdf>
- García R. J.L. and Giménez S. M.C., 2012. Methodology for estimating the topographic factor LS of RUSLE 3D and USPED using GIS. *Geomorphology*, vol. 175-176, pp 98-106.
- INAFED, 2013. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Enciclopedia de Municipios y Delegaciones de México. Disponible en: <http://goo.gl/0BB0XF>
- INE, 2011. Instituto Nacional de Ecología Seminario Internacional sobre evaluación de políticas públicas forestales. La conservación de suelos en la política pública forestal: Caso México. Helena Cotler., 4-5 agosto. Disponible en: <http://goo.gl/7b4w3d>
- Kramer, R., 1986: “Panorámica Internacional de las Políticas de Conservación de Suelos” en *Revista de Estudios Agrosociales*, Num. 137 (extra)
- Kort A., 2013. Soil erosion assessment in the dry land areas of Bolivia using the RUSLE 3D model. Soil Physics and Land Management Group. Master thesis in International Land and Water Management. Wageningen University, The Netherlands. [En línea]. Disponible en <http://edepot.wur.nl/278541> (revisado el 27 de octubre de 2014).
- López U. A. P. 2010. Una noción de territorio y los sistemas de información geográfica participativos: experiencia en una como unidad indígena del amazonas colombiano. Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Facultad de Ingeniería Revista UD y la Geomática. UD Y LA GEOMATICA 4 1-52.indd 4. Disponible en: <http://goo.gl/aVSbcr>
- Moore I.D. and Burch G.J., 1986. Physical basis of the length–slope factor in the universal soil loss equation. *Soil science society of America journal*, vol. 50, pp 1294-1298.

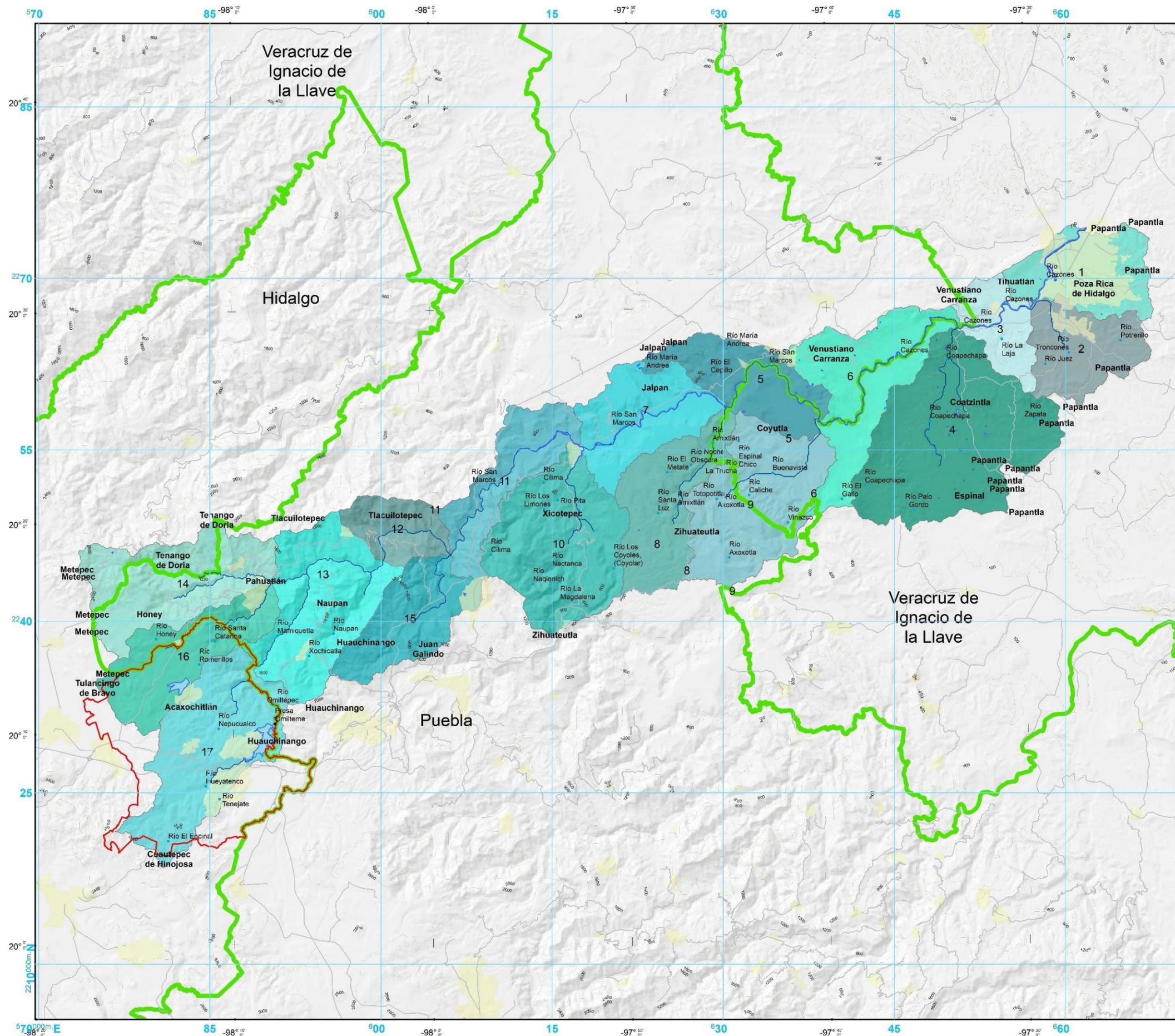
- Mitasova H., Hofierka I., Zloche M. and Iverson L.R., 1996. Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *International journal of geographical information systems*, vol. 10, no. 5. Pp 629-641. [En línea]. Disponible en <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/02693799608902101> (revisado el 20 de octubre de 2014).
- Marchamalo., M. 2007. Cuantificar el potencial de conservación de suelo y agua basado en un análisis territorial de la cuenca. Estudio de caso de la cuenca del río Birrís. Proyecto: Contribución a la política de pago por servicios hidrológicos para el sector hidroeléctrico de Costa Rica. Primer Informe. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 174pp.
- Mitasova H., Hofierka I., Zloche M. and Iverson L.R., 1996. Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *International journal of geographical information systems*, vol. 10, no. 5. Pp 629-641. [En Línea]. (Revisado el 20 de octubre de 2014). Disponible en: <http://goo.gl/iWOpPF>.
- Moore I.D. and Burch G.J., 1986. Physical basis of the length–slope factor in the universal soil loss equation. *Soil science society of America journal*, vol. 50, pp 1294-1298
- OEA, 1984. Planificación Del Desarrollo Regional Integrado: Directrices y Estudios de Casos Extraídos de la Experiencia de la OEA. Departamento de Desarrollo Regional, Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales. Organización de los Estados Americanos. Whashington, D.C. Disponible en línea: <https://goo.gl/4Rvyv0>
- Palacio – Prieto, J.L., 2004. Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial. Instituto Nacional de Ecología. Disponible en línea: <https://goo.gl/IUgBOJ>
- PNUMA, 2013. Transversalidad ambiental en México. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. <http://goo.gl/eHYo7P>
- Prins, 2005. Procesos de Innovación Rural en América Central. Reflexiones y Aprendizajes. CATIE, Turrialba 244 p.

- Perry, S., 2003. Working with smallholders towards achieving sustainable development. The Foundation for the Participatory and Sustainable Development of the Small Farmers (PBA Foundation). Policy Matters 11, 116 – 119.
- Saavedra C. P. y Mannaerts C. 2003. Evaluación y monitoreo de modelos de erosión y sedimentación a escala regional usando sensores remotos y SIG. Caso de estudio en la región Andina, Cachabamba, Bolivia. Artículo presentado en la 3ra. Conferencia Latinoamericana sobre manejo de cuencas: “Desarrollo Sostenible en Cuencas”. Del 9 al 13 de junio de 2003. Arequipa – Perú.
- SAGARPA, 2008. Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación. Informe de Evaluación de Consistencia y Resultados 2007. Disponible en línea: <https://goo.gl/k0qZJX>
- SAGARPA-FAO, 2009. Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación. Subsecretaría de Desarrollo Rural y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Evaluación y análisis de políticas. Proyecto Estratégico para la Seguridad Alimentaria (PESA). Disponible en: <http://goo.gl/M5UEVb>
- SAGARPA, 2012a. Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Dirección General de Producción Rural Sustentable en Zonas Prioritarias. Lineamientos operativos de la Unidad Técnica Especializada de Conservación y Uso Sustentable del Suelo y Agua (COUSSA). México D.F. Disponible en: <http://goo.gl/AMlgyN>
- SAGARPA, 2012b. Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación. Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. Obras y prácticas de COUSSA como acción preventiva ante la sequía. Presentación. Febrero, 2012. Disponible en: <http://goo.gl/yk3nWn>
- SAGARPA, 2013a. Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación. Manejo Sustentable del recurso suelo. Septiembre, 2013. Disponible en: <http://goo.gl/GheZnW>

- SAGARPA, 2013b. Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación. Gobierno del estado de Chiapas. Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales. Evaluación Estatal del Funcionamiento y la Operación 2012, en el estado de Chiapas. Disponible en: <http://goo.gl/HNEqlm>
- SAGARPA - FAO, 2013. Agricultura Familiar con Potencial Productivo en México. Observatorio de la agricultura familiar. Junio, México. Disponible en: <http://goo.gl/Iki1ry>
- SAGARPA, 2012. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Memoria Documental del Componente Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua (COUSSA) 2008 – 2012. (Consultado el 20 de julio de 2017). Disponible en línea: <https://goo.gl/2BKgAv>
- SAGARPA, 2005. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Taller: Uso, Manejo y Conservación del Suelo, Agua y Vegetación. (Consultado el 20 de julio de 2017). Disponible en línea: <https://goo.gl/Nhf1aU>
- Sepúlveda S. S. 2008. Gestión del desarrollo sostenible en territorios rurales: métodos para la planificación. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 416 p.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, escala 1:1 000, 000. Memoria. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 145 p.
- SEMARNAT-Colegio de Posgraduados. 2002. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional, SEMARNAT-Colegio de Posgraduados.
- SIAP, 2013. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Boletín Semanal noviembre 11, 2013, Número 21, México. Disponible en: <http://goo.gl/JdcGzp>
- Torres T. F. 2002. Aspectos regionales de la seguridad alimentaria en México. Revista de información y análisis. 22: 15 – 26.

Rolland, L., y Vega Cárdenas, Y. (2010). La gestión del agua en México. *Polis*, 6(2), 155-188.

Trueba, A., 1991: La situación actual de la conservación de suelos en México Medina, R. Conservación de agua y suelo. Manejo integral de cuencas. 13-33. México.



COLEGIO DE POSGRADUADOS
Maestría en Ciencias en Edafología





Priorización multinivel para proyectos de conservación de suelo y agua de la subcuenca del río San Marcos

SIMBOLOGÍA

Localidades	Limites políticos	Relieve
Urbana	Acaxochitlán	Curvas de nivel
	Estado	

Microcuenca	Rasgos Hidrológicos	Vías terrestres
1	Presas	Red vial
2	Ríos	
3	Cuerpo de agua	
4	Corrientes principales	
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		



Nivel 1. Microcuencas de la subcuenca del Río San Marcos

Información Cartográfica de Referencia:

Sistema de proyección: Universal Transversa de Mercator
 Zona 14N
 Proyección: World Geodetic System, WGS, 1984
 Datum: WGS, 1984 Esferoide: WGS, 1984
 Unidad: Metros

Fuentes de Información:

Marco Geoestadístico Nacional del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI, 2010).
 Fecha de elaboración: Julio de 2014.

Escala  1:350,000

Figura 48. Microcuencas pertenecientes a la subcuenca del río San Marcos.

Cuadro 39. Resultados de los indicadores de priorización de la subcuenca del río San Marcos (parte I).

Estado	Municipio	Índice de	Cruzada Nacional	Carencia acceso	Población sector	Población ingreso menos 2
		marginación	Contra el Hambre	alimentación	agropecuario ¹	salarios mínimos ¹
		I1	I2	I3	I4	I5
Hidalgo	Acaxochitlán	0.83746	Si	29.19	26.2	60.7
	Cuautepec de Hinojosa	-0.22766	Si	28	22.36	58.97
	Metepec	-0.24985	no	30.6	34.38	49.97
	Tenango de Doria	0.38846	no	28	21.26	65.74
	Tulancingo de Bravo	-1.21588	si	26	5.32	40.48
Puebla	Honey	0.80459	no	26	52.52	80.68
	Huauchinango	-0.301	no	18	23.94	57.23
	Jalpan	0.8645	no	34	68.66	81.5
	Jopala	1.17785	si	41.59	54.02	79.97
	Juan Galindo	-0.87335	no	30	4.51	56.94
	Naupan	0.98597	no	27	54.49	85.71
	Pahuatlán	1.00465	no	31.98	36.69	82.92
	Tlacuilotepec	1.01907	si	40	64.48	84.54
	Venustiano Carranza	-0.18455	no	31.96	19.71	49.21
	Xicoteppec	-0.15967	no	26.21	15.11	64.17
	Zihuateutla	0.92159	si	42	63.56	80.14
	Veracruz de Ignacio de la Llave	Coahuatlán	1.01918	si	43	39.84
Coatzintla		-1.03745	no	33.35	4.25	29.88
Coyutla		0.70628	si	27.09	47.43	77.1
Espinal		0.51422	si	30	50.38	74.13
Papantla		0.32123	si	31.89	24.02	64.73
Poza Rica de Hidalgo		-1.52721	si	23.55	0.98	21.78
Tihuatlán		0.24334	si	29	15.45	51.63

¹ Porcentaje de población.

Cuadro 40. Resultados de los indicadores de priorización de la subcuenca del río San Marcos (parte II).

Estado	Municipio	Convertibilidad Agrícola (\$ ha ⁻¹)	Convertibilidad Pecuaria (\$ cabezas ⁻¹)	Convertibilidad Forestal (\$ m3 ⁻¹)	Degradación de suelos (grado)	Vulnerabilidad agropecuaria (Índice)	Peligro de sequía (Índice)	
		I6	I7	I8	I9	I10	I11	
Hidalgo	Acaxochitlán	6958	692	884	Ligero	0.48	0.625	
	Cuautepec de Hinojosa	9261	462	1220	Ligero	0.46	0.375	
	Metepec	10023	1048	0	Ligero	0.52	0.625	
	Tenango de Doria	5744	1618	883	Ligero	0.6	0.625	
	Tulancingo de Bravo	14368	201	841	Ligero	0.23	0.375	
Puebla	Honey	10116	217	409	Ligero	0.6	0.375	
	Huauchinango	24560	610	1021	Ligero	0.42	0.225	
	Jalpan	16819	725	2738	Estables	0.61	0.225	
	Jopala	10689	263	3354	Estables	0.36	0.375	
	Juan Galindo	7698	297	3528	Ligero	0.4	0.375	
	Naupan	12310	233	941	Ligero	0.6	0.375	
	Pahuatlán	13679	271	2641	Estables	0.49	0.225	
	Tlacuilotepec	14741	248	1987	Ligero	0.6	0.225	
	Venustiano Carranza	17263	840	3234	Estables	0.44	0.375	
	Xicoteppec	21906	266	2117	Estables	0.45	0.375	
	Zihuateutla	14873	279	1871	Estables	0.61	0.225	
	Veracruz de Ignacio de la Llave	Coahuatlán	11403	7809	0	Estables	0.35	0.375
		Coatzintla	7817	10088	803	Ligero	0.43	0.225
Coyutla		11325	6599	785	Ligero	0.51	0.375	
Espinal		11946	729	837	Ligero	0.54	0.625	
Papantla		16206	4602	804	Ligero	0.5	0.375	
Poza Rica de Hidalgo		-	-	798	Ligero	0.01	0.225	
Tihuatlán		10209	2108	791	Ligero	0.49	0.375	

Cuadro 41. Grado de priorización de los indicadores de la subcuenca del río San Marcos (parte I).

Estado	Municipio	Marginación	Cruzada Nacional Contra el Hambre	Carencia acceso alimentación	Población sector agropecuario	Población ingreso menos 2 salarios mínimos	
		I1	I2	I3	I4	I5	
Hidalgo	Acaxochitlán	Alto	Muy Alto	Media	Media	Alta	
	Cuautepec de Hinojosa	Medio	Muy Alto	Media	Media	Media	
	Metepéc	Medio	Muy Bajo	Alta	Media	Baja	
	Tenango de Doria	Medio	Muy Bajo	Media	Media	Media	
	Tulancingo de Bravo	Bajo	Muy Alto	Media	Muy Baja	Baja	
Puebla	Honey	Alto	Muy Bajo	Media	Alta	Alta	
	Huauchinango	Medio	Muy Bajo	Baja	Media	Media	
	Jalpan	Alto	Muy Bajo	Alta	Alta	Alta	
	Jopala	Muy Alto	Muy Alto	Alta	Alta	Alta	
	Juan Galindo	Bajo	Muy Bajo	Alta	Muy Baja	Media	
	Naupan	Muy Alto	Muy Bajo	Media	Alta	Muy Alta	
	Pahuatlán	Muy Alto	Muy Bajo	Alta	Media	Muy Alta	
	Tlacuilotepec	Muy Alto	Muy Alto	Alta	Alta	Muy Alta	
	Venustiano Carranza	Medio	Muy Bajo	Alta	Baja	Baja	
	Xicotepec	Medio	Muy Bajo	Media	Baja	Media	
	Zihuateutla	Alto	Muy Alto	Alta	Alta	Alta	
	Veracruz de Ignacio de la Llave	Coahuatlán	Muy Alto	Muy Alto	Alta	Media	Alta
		Coatzintla	Bajo	Muy Bajo	Alta	Muy Baja	Muy Baja
Coyutla		Alto	Muy Alto	Media	Alta	Alta	
Espinal		Alto	Muy Alto	Media	Alta	Alta	
Papantla		Medio	Muy Alto	Media	Media	Media	
Poza Rica de Hidalgo		Muy Bajo	Muy Alto	Media	Muy Baja	Muy Baja	
Tihuatlán		Medio	Muy Alto	Media	Baja	Media	

Cuadro 42. Grado priorización de los indicadores de la subcuenca del río San Marcos (parte II).

Estado	Municipio	Convertibilidad agrícola	Convertibilidad pecuaria	Convertibilidad forestal	Degradación de suelos	Vulnerabilidad agropecuaria	Peligro de sequía	
		I6	I7	I8	I9	I10	I11	
Hidalgo	Acaxochitlán	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Muy Alta	Medio	Alto	
	Cuautepec de Hinojosa	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Muy Alta	Medio	Medio	
	Metepec	Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Alta	Medio	Alto	
	Tenango de Doria	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Muy Alta	Medio	Alto	
	Tulancingo de Bravo	Media	Muy Baja	Baja	Muy Alta	Bajo	Medio	
Puebla	Honey	Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Alta	Medio	Medio	
	Huauchinango	Muy Alta	Muy Baja	Baja	Muy Alta	Medio	Bajo	
	Jalpan	Media	Muy Baja	Alta	Muy Baja	Alto	Bajo	
	Jopala	Baja	Muy Baja	Muy Alta	Muy Baja	Alto	Bajo	
	Juan Galindo	Muy Baja	Muy Baja	Muy Alta	Muy Baja	Bajo	Medio	
	Naupan	Baja	Muy Baja	Baja	Muy Alta	Bajo	Medio	
	Pahuatlán	Medio	Muy Baja	Alta	Muy Alta	Medio	Medio	
	Tlacuilotepec	Medio	Muy Baja	Media	Muy Baja	Medio	Bajo	
	Venustiano Carranza	Alta	Muy Baja	Muy Alta	Muy Alta	Medio	Bajo	
	Xicotepec	Muy Alta	Muy Baja	Alta	Muy Baja	Medio	Medio	
	Zihuateutla	Media	Muy Baja	Media	Muy Baja	Medio	Medio	
	Veracruz de Ignacio de la Llave	Coahuilán	Baja	Alta	Muy Baja	Muy Baja	Bajo	Medio
		Coatzintla	Baja	Muy Alta	Baja	Muy Alta	Medio	Bajo
Coyutla		Baja	Alta	Baja	Muy Alta	Medio	Medio	
Espinal		Baja	Muy Baja	Baja	Muy Alta	Medio	Alto	
Papantla		Media	Media	Baja	Muy Alta	Medio	Medio	
Poza Rica de Hidalgo		-	-	Baja	Muy Alta	Muy Bajo	Bajo	
Tihuatlán		Baja	Baja	Baja	Muy Alta	Medio	Medio	

Cuadro 43. Índice de importancia de los indicadores de priorización de la dimensión social.

Estado	Municipio	Dimensión social (30%)		
		Marginación (40%)	Cruzada Nacional Contra el Hambre (30%)	Carencia acceso alimentación (30%)
Hidalgo	Acaxochitlán	1	1	0.5
	Cuautepec de Hinojosa	0.5	1	0.5
	Metepéc	0.5	0	0.75
	Tenango de Doria	0.5	0	0.5
	Tulancingo de Bravo	0.25	1	0.5
	Honey	0.75	0	0.5
	Huauchinango	0.5	0	0.25
	Jalpan	0.75	0	0.75
	Jopala	1	1	0.75
Puebla	Juan Galindo	0.25	0	0.75
	Naupan	1	0	0.5
	Pahuatlán	1	0	0.75
	Tlacuilotepec	1	1	0.75
	Venustiano Carranza	0.5	0	0.75
	Xicotepec	0.5	0	0.5
	Zihuateutla	0.75	1	0.75
	Coahuatlán	1	1	0.75
	Coatzintla	0.25	0	0.75
Veracruz de Ignacio de la Llave	Coyutla	0.75	1	0.5
	Espinal	0.75	1	0.5
	Papantla	0.5	1	0.5
	Poza Rica de Hidalgo	0	1	0.5
	Tihuatlán	0.5	1	0.5

Cuadro 44. Índice de importancia de los indicadores de priorización de la dimensión económica.

Estado	Municipio	Dimensión económica (40%)				
		Población sector agropecuario (40%)	Población ingreso menos 2 salarios mínimos (30%)	Convertibilidad agrícola (10%)	Convertibilidad pecuaria (10%)	Convertibilidad forestal (10%)
Hidalgo	Acaxochitlán	0.5	0.75	0	0	0.25
	Cuautepec de Hinojosa	0.5	0.5	0	0	0.25
	Metepec	0.5	0.25	0.25	0	0
	Tenango de Doria	0.5	0.5	0	0	0.25
	Tulancingo de Bravo	0	0.25	0.5	0	0.25
Puebla	Honey	0.75	0.75	0.25	0	0
	Huauchinango	0.5	0.5	1	0	0.25
	Jalpan	0.75	0.75	0.5	0	0.75
	Jopala	0.75	0.75	0.25	0	1
	Juan Galindo	0	0.5	0	0	1
	Naupan	0.75	1	0.25	0	0.25
	Pahuatlán	0.5	1	0.5	0	0.75
	Tlacuilotepec	0.75	1	0.5	0	0.5
	Venustiano Carranza	0.25	0.25	0.75	0	1
	Xicotepec	0.25	0.5	1	0	0.75
Zihuateutla	0.75	0.75	0.5	0	0.5	
Veracruz de Ignacio de la Llave	Coahuatlán	0.5	0.75	0.25	0.75	0
	Coatzintla	0	0	0.25	1	0.25
	Coyutla	0.75	0.75	0.25	0.75	0.25
	Espinal	0.75	0.75	0.25	0	0.25
	Papantla	0.5	0.5	0.5	0.5	0.25
	Poza Rica de Hidalgo	0	0	0	0	0.25
	Tihuatlán	0.25	0.5	0.25	0.25	0.25

Cuadro 45. Índice de importancia de los indicadores de priorización de la dimensión ambiental.

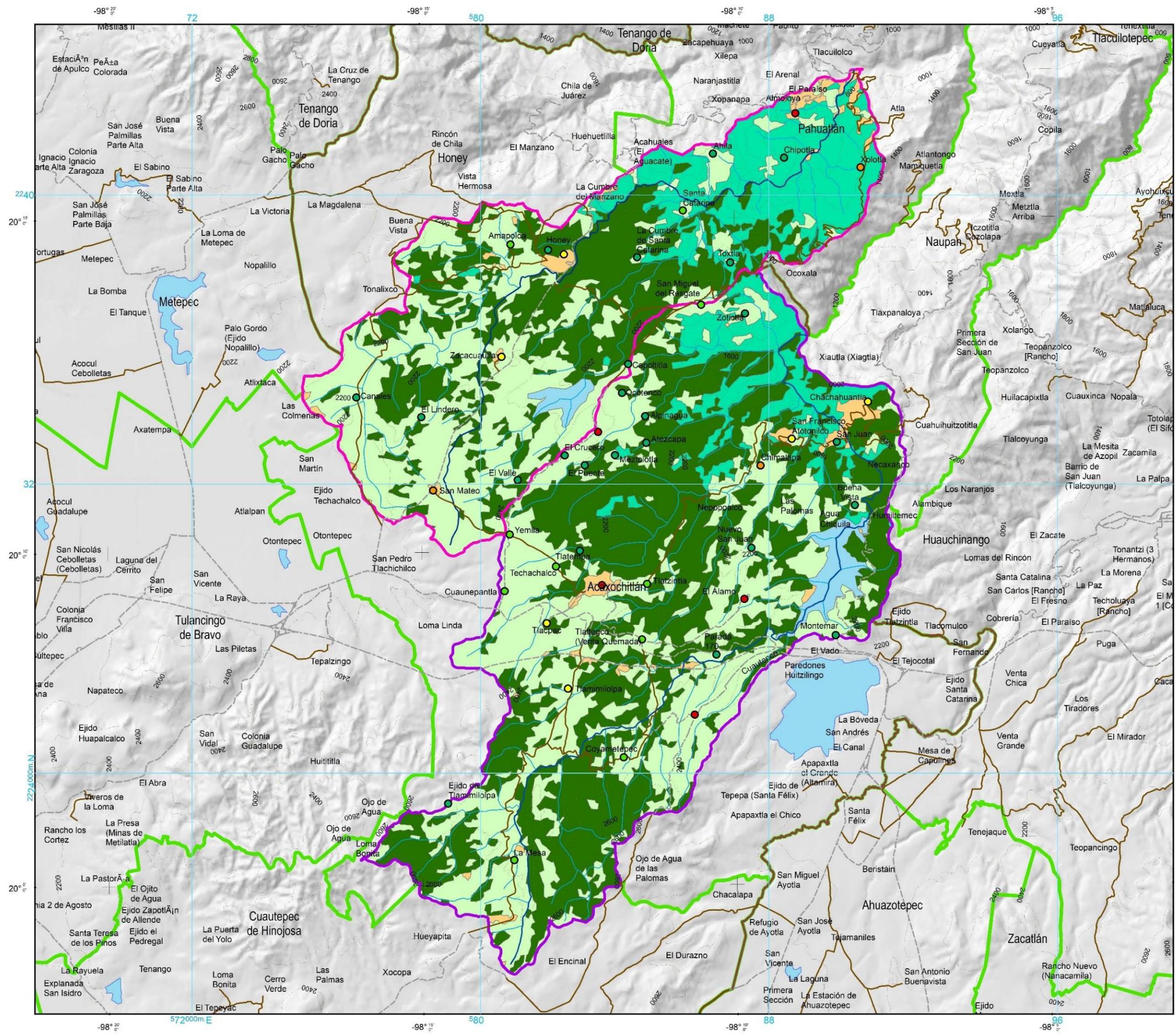
Estado	Municipio	Ambiental (30%)		
		Degradación de suelos (25%)	Vulnerabilidad agropecuaria (30%)	Peligro de sequía (45%)
Hidalgo	Acaxochitlán	1	0.48	0.75
	Cuautepec de Hinojosa	1	0.46	0.5
	Metepec	1	0.52	0.75
	Tenango de Doria	1	0.6	0.75
	Tulancingo de Bravo	1	0.23	0.5
Puebla	Honey	1	0.6	0.5
	Huauchinango	1	0.42	0.25
	Jalpan	0	0.61	0.25
	Jopala	0	0.36	0.5
	Juan Galindo	1	0.4	0.5
	Naupan	1	0.6	0.5
	Pahuatlán	0	0.49	0.25
	Tlacuilotepec	1	0.6	0.25
	Venustiano Carranza	0	0.44	0.5
	Xicotepec	0	0.45	0.5
	Zihuateutla	0	0.61	0.25
	Veracruz de Ignacio de la Llave	Coahuatlán	0	0.35
Coatzintla		1	0.43	0.25
Coyutla		1	0.51	0.5
Espinal		1	0.54	0.75
Papantla		1	0.5	0.5
Poza Rica de Hidalgo		1	0.01	0.25
Tihuatlán		1	0.49	0.5

Cuadro 46. Tasa de cambio en vegetación y uso de suelo microcuenca 16.

Clase	Superficie		Cambio	Situación
	ha	%		
Bosque de pino a Agricultura de temporal	519.3	5.95	Cambió	Deforestada
Bosque de pino a Área urbana	11.16	0.13	Cambió	Deforestada
Bosque mesófilo a Agricultura de temporal	536.27	6.14	Cambió	Deforestada
Bosque mesófilo a Área urbana	72.26	0.83	Cambió	Deforestada
Bosque de pino	0.7	0.01	No cambió	Conservada
Bosque de pino a Bosque de pino	2156.84	24.71	No cambió	Conservada
Bosque mesófilo	1.06	0.01	No cambió	Conservada
Bosque mesófilo a Bosque mesófilo	1088.85	12.47	No cambió	Conservada
Agricultura de temporal	6.43	0.07	No cambió	Conservada
Agricultura de temporal a Agricultura de temporal	3421.12	39.19	No cambió	Conservada
Área urbana	0.5	0.01	No cambió	Conservada
Área urbana a Área urbana	77.28	0.89	No cambió	Conservada
Cuerpo de agua a Cuerpo de agua	106.24	1.22	No cambió	Conservada
Agricultura de temporal a Bosque de pino	210.86	2.42	Cambió	Revegetada
Agricultura de temporal a Bosque mesófilo	51.63	0.59	Cambió	Revegetada
Bosque de pino a Bosque mesófilo	127.22	1.46	Falso cambio	Falso cambio
Bosque de pino a Cuerpo de agua	2.42	0.03	Falso cambio	Falso cambio
Bosque mesófilo a Bosque de pino	162.42	1.86	Falso cambio	Falso cambio
Cuerpo de agua a Agricultura de temporal	3.22	0.04	Falso cambio	Falso cambio
Cuerpo de agua a Bosque de pino	1.03	0.01	Falso cambio	Falso cambio
Agricultura de temporal a Área urbana	40.33	0.46	Falso cambio	Falso cambio
Agricultura de temporal a Cuerpo de agua	0.96	0.01	Falso cambio	Falso cambio
Área urbana a Agricultura de temporal	100.71	1.15	Falso cambio	Falso cambio
Área urbana Bosque de pino	11.16	0.13	Falso cambio	Falso cambio
Área urbana Bosque mesófilo	19.32	0.22	Falso cambio	Falso cambio
Total	8729.28	100		

Cuadro 47. Tasa de cambio en vegetación y uso de suelo microcuenca 17.

Clase	Superficie		Cambio	Situación
	ha	%		
Bosque de pino a Agricultura de temporal	975.65	7.29	Cambió	Deforestada
Bosque de pino a Área urbana	7.24	0.05	Cambió	Deforestada
Bosque mesófilo a Agricultura de temporal	145.42	1.09	Cambió	Deforestada
Bosque mesófilo a Área urbana	1	0.01	Cambió	Deforestada
Bosque de pino	2.86	0.02	No cambió	Conservada
Bosque de pino a Bosque de pino	5215.63	38.96	No cambió	Conservada
Bosque mesófilo	0.48	0	No cambió	Conservada
Bosque mesófilo Bosque mesófilo	630.4	4.71	No cambió	Conservada
Agricultura de temporal	6.6	0.05	No cambió	Conservada
Agricultura de temporal a Agricultura de temporal	4801.11	35.86	No cambió	Conservada
Área urbana	0.03	0	No cambió	Conservada
Área urbana a Área urbana	85.52	0.64	No cambió	Conservada
Cuerpo de agua	0.01	0	No cambió	Conservada
Cuerpo de agua a Cuerpo de agua	184.76	1.38	No cambió	Conservada
Agricultura de temporal a Bosque de pino	514.33	3.84	Cambió	Revegetada
Agricultura de temporal a Bosque mesófilo	39.97	0.3	Cambió	Revegetada
Agricultura de temporal a Área urbana	89.91	0.67	Falso cambio	Falso cambio
Agricultura de temporal a Cuerpo de agua	0.39	0	Falso cambio	Falso cambio
Área urbana a Agricultura de temporal	100.6	0.75	Falso cambio	Falso cambio
Área urbana a Bosque de pino	23.65	0.18	Falso cambio	Falso cambio
Área urbana a Bosque mesófilo	15.29	0.11	Falso cambio	Falso cambio
Área urbana a Cuerpo de agua	0.06	0	Falso cambio	Falso cambio
Bosque de pino a Bosque mesófilo	163.47	1.22	Falso cambio	Falso cambio
Bosque de pino a Cuerpo de agua	1.56	0.01	Falso cambio	Falso cambio
Bosque mesófilo a Bosque de pino	300.41	2.24	Falso cambio	Falso cambio
Cuerpo de agua a Agricultura de temporal	57.81	0.43	Falso cambio	Falso cambio
Cuerpo de agua a Bosque de pino	24.67	0.18	Falso cambio	Falso cambio
Total	13388.84	100		



**COLEGIO DE POSGRADUADOS
Maestría en Ciencias en Edafología**



**Priorización multinivel para
proyectos de conservación de suelo y
agua de la subcuenca del río San Marcos**

SIMBOLOGÍA

- | | |
|--------------------------|------------------------------|
| Límites políticos | Uso de suelo año 2000 |
| Estatal | Agricultura de temporal |
| Municipal | Area urbana |
| Microcuencas | Bosque de pino |
| Micro 15 | Bosque mesófilo |
| Micro 16 | Cuerpo de agua |
| Relieve | Rasgos hidrográficos |
| Curvas de nivel | Cause_principal15 |
| Vías terrestres | Cause_principal16 |
| Caminos | Corrientes15 |
| Carreteras | Corrientes16 |
| | Cuerpo de agua superficial |

Población

- Total**
- 11 - 340
 - 341 - 897
 - 898 - 1573
 - 1574 - 2770
 - 2771 - 4830



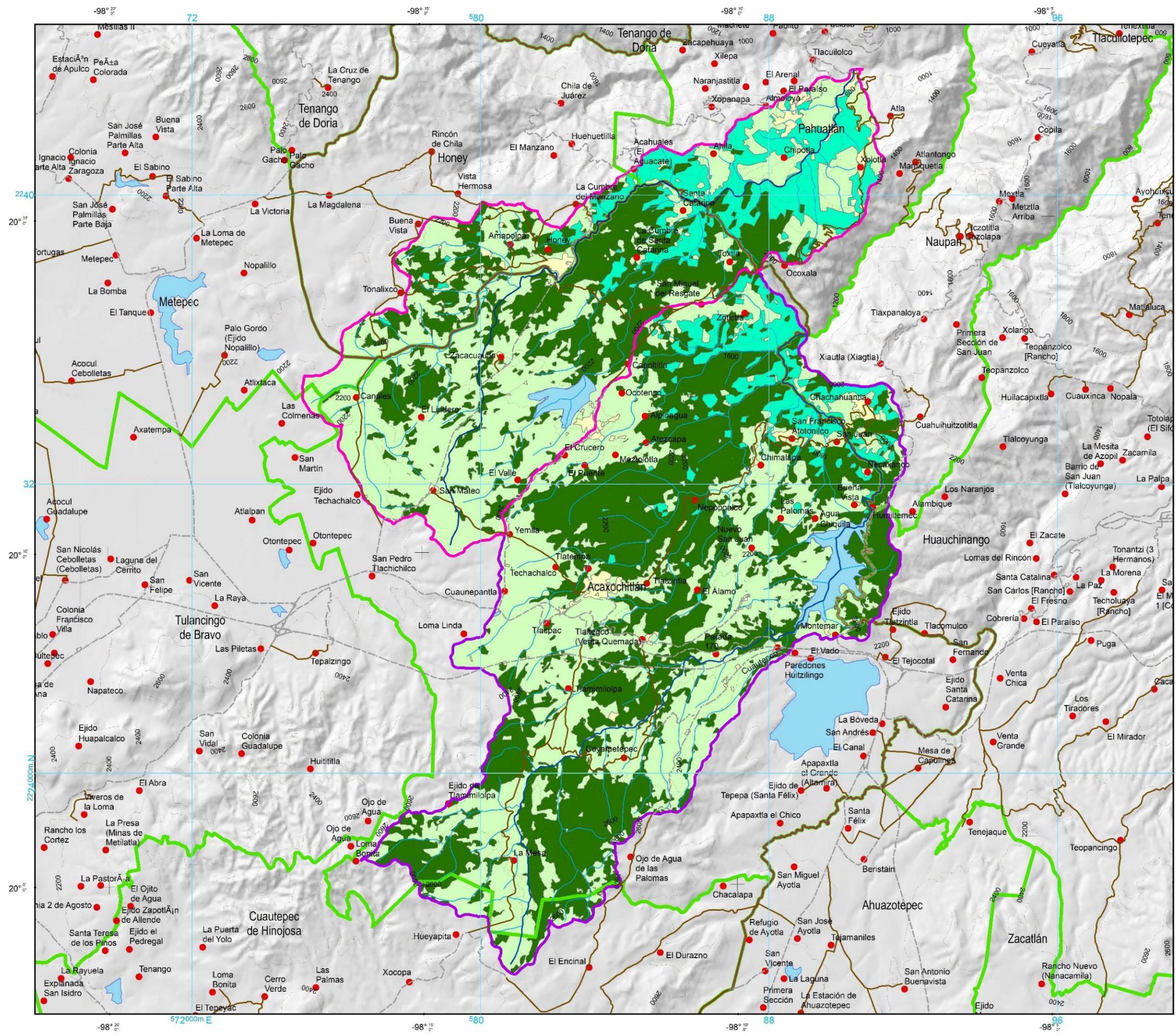
**Nivel 2. Uso de suelo año 2000
de las microcuencas 16 y 17**

Información Cartográfica de Referencia:
 Sistema de proyección: Universal Transversa de Mercator
 Zona 14N
 Proyección: World Geodetic System, WGS, 1984
 Datum: WGS, 1984 Esferoide: WGS, 1984
 Unidad: Metros

Fuentes de Información:
 Marco Geoestadístico Nacional del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI, 2010).
 Fecha de elaboración: Julio de 2014.

Escala 1:110,000

Figura 51. Uso de suelo del año 2000 de las microcuencas 16 y 17, Acaxochitlán, Hidalgo.



Priorización multinivel para proyectos de conservación de suelo y agua de la subcuenca del río San Marcos

SIMBOLOGÍA

- | | |
|--|--|
| <p>Límites políticos</p> <ul style="list-style-type: none"> Estatal Municipal <p>Localidades</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Localidades <p>Microcuencas</p> <ul style="list-style-type: none"> Micro 15 Micro 16 <p>Uso de suelo año 2016</p> <ul style="list-style-type: none"> Agricultura de temporal Área urbana Bosque de pino Bosque mesófilo Cuerpo de agua <p>Vías terrestres</p> <ul style="list-style-type: none"> Caminos Carreteras <p>Relieve</p> <ul style="list-style-type: none"> ~ Curvas de nivel | <p>Rasgos hidrográficos</p> <ul style="list-style-type: none"> — Cause_principal15 — Cause_principal16 — Corrientes15 — Corrientes16 Cuerpo de agua superficial |
|--|--|
- Veracruz de Ignacio de la Llave
Hidalgo
Puebla

Nivel 2. Uso de suelo año 2016 de las microcuencas 16 y 17

Información Cartográfica de Referencia:
Sistema de proyección: Universal Transversa de Mercator
Zona 14N
Proyección: World Geodetic System, WGS, 1984
Datum: WGS, 1984 Esferoide: WGS, 1984
Unidad: Metros

Fuentes de Información:
Marco Geoestadístico Nacional del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI, 2010).
Fecha de elaboración: Julio de 2014.

Escala 1:110,000

Figura 52. Uso de suelo del año 2016 de las microcuencas 16 y 17, Acaxochitlán, Hidalgo.

Cuadro 48. Datos del cálculo de escurrimiento medio anual de la microcuenca 16.

Uso de suelo	Tipo de suelo	K	Coefficiente de escurrimiento	Superficie (ha)	Escurrimiento medio anual (m ³)
Bosque (> 75% cobertura)	B	0.16	0.11	325.4	558,162.00
Bosque (50 - 75% cobertura)	B	0.22	0.19	345.6	1,015,994.00
Pastizal (50 - 75% cobertura)	B	0.24	0.22	4203.8	14,074,153.00
Zonas urbanas	B	0.29	0.28	141.5	618,124.00
Cultivo en hilera	B	0.27	0.26	3604.4	14,274,158.00
Cuerpo de agua				111.1	
Total				8731.8	30 540 591.00

Precipitación media anual 1549.99.

Cuadro 49. Datos del cálculo de escurrimiento medio anual de la microcuenca 17.

Uso de suelo	Tipo de suelo	K	Coefficiente de escurrimiento	Superficie (ha)	Escurrimiento medio anual (m ³)
Bosque (> 75% cobertura)	B	0.16	0.06	1943.9	1,041,061.00
Bosque (50 - 75% cobertura)	B	0.22	0.12	127.6	137,303.00
Pastizal (50 - 75% cobertura)	B	0.24	0.14	6026.3	7,570,295.00
Zonas urbanas	B	0.29	0.19	221.1	377,334.00
Cultivo en hilera	B	0.27	0.17	4843.8	7,393,846.00
Cuerpo de agua				231.3	
Total				13 394	16 519 839.00

Precipitación media anual 905.76

Cuadro 50. Volumen de aprovechamientos superficiales de la microcuenca 16.

Título	Volumen (m ³ /año)	Uso	Número de aprovechamientos que ampara el título
A5HGO101242/26IOGE96	63 072	Diferentes usos	1
10HGO104957/27ADGE99	19 440	Agrícola	1
10HGO105989/27HODL08	23 652	Público urbano	2
A5HGO101846/27HOGE97	373 701.6	Público urbano	7
10HGO106346/27AODL08	12000	Agrícola	1
10HGO101689/27DDDL12	885 846.24	Acuacultura	1
10HGO106319/27ADDL12	3000	Agrícola	1
10PUE106637/27HOGE98	11 756	Público urbano	1
10PUE106698/27HOGE98	6903	Público urbano	1
10PUE106718/27HOGE98	82 867	Público urbano	4
10PUE106757/27HOGE98	163 354	Público urbano	2
10PUE106758/27HOGE98	5400	Público urbano	2
10PUE106792/27HOGE98	115 168	Público urbano	5
10PUE106798/27HOGE98	4443	Público urbano	1
A5PUE102550/27HOGE95	126 144	Público urbano	1
10PUE108334/27DOGE99	63 072	Acuacultura	1
10PUE110446/27ISGE99	123 442	Diferentes usos	4
10PUE110662/27HOGE00	166 987	Público urbano	2
10PUE114816/27AODL09	1860	Agrícola	2
10HGO150012/27ADDL11	6000	Agrícola	1
10HGO105885/27DADL13	3 311 280	Acuacultura	1

Título	Volumen (m ³ /año)	Uso	Número de aprovechamientos que ampara el título
10HGO105907/27IDGE04	2 099.6	Diferentes usos	1
Total	5 571 487.44		43

Fuente: CONAGUA, 2016. Registro Público de Derechos de Agua.

Cuadro 51. Volumen de aprovechamientos superficiales de la microcuenca 17.

Título	Volumen de aprovechamientos superficiales (m ³ /año)	Uso	Número de aprovechamientos que ampara el título
A5HGO101468/26IOGE96	7884.00	Diferentes usos	1
A5HGO101644/26AAGE96	5 100 300.00	Agrícola	1
10HGO102665/27IOGE98	12 182.50	Diferentes usos	1
10HGO102666/27AAGE98	20 736.00	Agrícola	1
10HGO102955/27COGE98	441.50	Doméstico	2
10HGO102837/27COGE98	154.00	Doméstico	1
10HGO105807/27COGE04	438.00	Doméstico	1
10HGO106011/27FOGE06	8100.00	Industrial	1
10HGO106166/27DADL08	630 720.00	Acuacultura	1
10HGO106167/27AODL08	1900.80	Agrícola	1
10HGO105982/27HODL08	8049.25	Público urbano	4
10HGO105982/27HODL08	8048.25	Público urbano	4
10HGO106202/27EODL08	7008.00	Servicios	2
10HGO106212/27ASDL08	6000.00	Agrícola	2
10HGO106230/27AODL08	900.00	Agrícola	1
A5HGO101846/27HOGE97	373 701.60	Público urbano	7
10HGO102664/27AAGE98	786 696.00	Agrícola	1
10HGO106337/27AODL08	3000.00	Agrícola	1
10HGO106338/27AODL08	6000.00	Agrícola	1
10HGO106345/27AODL08	6000.00	Agrícola	1
10HGO106356/27AODL08	600.00	Agrícola	1
10HGO106357/27AODL08	3000.00	Agrícola	1
10HGO106358/27AODL08	1200.00	Agrícola	1
10HGO106359/27AODL08	5015.00	Agrícola	1
10HGO105929/27HODL08	12 592.50	Público urbano	2
10HGO106705/27IODL11	7099.00	Diferentes usos	1
10HGO105394/27AAGE00	15 000.00	Agrícola	1
10HGO106428/27DDDL09	315 360.00	Acuacultura	1
10HGO106360/27IODL13	23 126.40	Diferentes usos	2
10PUE110640/27HOGE99	720.00	Público urbano	1
10HGO150042/27ADDL12	3784.32	Agrícola	2
10HGO150100/27IODL12	7073.00	Diferentes usos	1
10HGO150122/27IDDL12	473 040.00	Diferentes usos	1
10HGO150155/27IODL13	19 926.72	Diferentes usos	1
10HGO101664/26IODL14	474.50	Diferentes usos	1
10HGO105500/27AODL12	6 000.00	Agrícola	1
10HGO106031/27DDDL15	536 112.00	Acuacultura	1
Total	8 418 383.34		55

Fuente: CONAGUA, 2016. Registro Público de Derechos de Agua.

Datos generales del productor y la parcela

Clave de la encuesta:

Nombre del productor

Fecha:

1. Sexo: Masculino () Femenino ()

2. Escolaridad (años):

3. Edad (años cumplidos):

4. Años de la actividad productiva:

Datos de la parcela:

Localización geográfica de la parcela (UTM)

Latitud:

Longitud:

Altitud: msnm

5. Localidad	<input type="text"/>
6. Superficie (ha)	<input type="text"/>
7. Tenencia de la tierra	<input type="text"/>
8. Nombre local del suelo	<input type="text"/>
9. Organización	SI <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Tipo	<input type="text"/>
10. Subsidio	SI <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Tipo	<input type="text"/>
11. Microcréditos	SI <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Tipo	<input type="text"/>
12. Préstamos	SI <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Tipo	<input type="text"/>
13. Seguro agrícola	SI <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Tipo	<input type="text"/>
14. Beneficiario del programa	SI <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
¿Cuál?	<input type="text"/>

Croquis de la parcela

Dibuje un croquis de la parcela.



15. Patrón hidrológico discernibles del paisaje (marque con una X) (Bunning y Lane, 2003)

Opción (marcar solo una)	Descripción
<input type="checkbox"/> Sin curso de agua evidente	Muy seco, áreas llanas con suelos arenosos y drenados por pozos y nada de flujo en la superficie
<input type="checkbox"/> Cursos de agua escasos y esparcidos	Pocos flujos lentos de agua a una gran distancia unos de otros recorriendo una topografía llana u ondulada
<input type="checkbox"/> Moderados	Muchos cursos de agua, cercanos unos a otros en terreno accidentado con flujo rápido en la temporada de lluvias
<input type="checkbox"/> Cursos de agua densos	Muchos cursos de agua, muy cercanos unos a otros (ramificaciones) en terreno empinado

16. Fisiografía de la parcela (marque solo una opción):

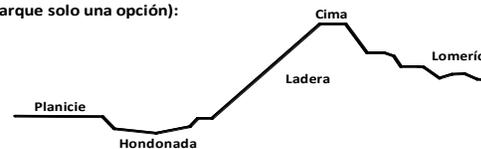
Planicie ()

Ladera ()

Lomerío ()

Hondonada ()

Cima ()



17. Textura del suelo al tacto:

Fina () Media ()

Gruesa ()

Figura 53. Formato de encuesta a productores (parte 1).

19. Degradación de la cubierta vegetal (sin considerar cultivos temporales)

Tipo	Leve	Media	Grave	Muy Grave
Cobertura vegetal de plantas perennes (%)	>50	50 - 20	20 - 5	< 5
Cobertura absoluta de especies forrajeras (%)	>30	30 - 10	10 - 5	<5
Cambio florístico (invasión de especies)	Leve	Media	Grave	Muy grave
Deformación de arbustos por ramoneo	Leve	Media	Grave	Muy grave

20. Estimación de la cobertura vegetal (solo una opción, solo para cultivos temporales)

Escala semi - lineal	Escala lineal (%)
1 individuo, pocas plantas	< 1
Varios individuos, baja cobertura	< 10
Cobertura 5 - 25 %	10 - 25
Cobertura 25 - 50 %	25 - 50
Cobertura 50 - 75 %	50 - 75
Cobertura 75 - 100 %	> 75

24- 29. Recursos hídricos para la producción (marcar una opción por pregunta)

24. Fuente	Pozo	Represa	Corriente	Arroyo	Otro
25. Principal limitación:	Distancia	Precio	Calidad	Cantidad	Acceso
26. Existencia de obras de conservación de agua	Si	No	¿Cuáles?		
27. Calidad del agua:	Buena (limpia)	Regular (algunas impurezas)	Mala (aguas grises)		
28. Carga de sedimentos en ríos y corrientes en temporada de lluvias:	Muy Alta (chocolatosa)	Media (color café claro)	Baja (agua casi clara)		
29. Disponibilidad a lo largo del año:	Todo el año	Medio año	Temporada de lluvias	Otro	

23. Factores de riesgo:

Orden: De mayor a menor (1-8)

Solo las que afectan la producción.

Heladas ()	Vientos ()	Derumbes ()
Granizo ()	Inundaciones ()	Erosión hídrica ()
Sequías ()	Salinidad ()	Ninguno ()
Contaminación ()	Erosión eólica ()	

10. Degradación del suelo (seleccionar los tipos de erosión presentes)

1. Degradación por erosión hídrica	Leve	Media	Grave	Muy Grave
Tipo de erosión	Laminar incipiente	laminar y surcos	laminar, surcos, cárcavas incipientes	Laminar con cárcavas abundantes
Surcos	canalillos <2 cm a intervalos frecuentes de 3m	surcos de 2 a 15 cm. En intervalos de 3 m	surcos de 2 a 15 cm. En intervalos de 1.5 a 3 m	Surcos en intervalos menores que 1.5 m
Profundidad de cárcavas (m)	< 1.5	1.5 - 3	3 - 10	> 10
Superficie afectada por surcos o/y cárcavas	<10	10 - 25	25 - 50	> 50
Superficie afectada por la exposición de subsuelo	<10	10 - 25	25 - 50	> 50
Desnivel relativo de montículos residuales (cm)	< 10	10 - 30	30 - 60	> 60
Cobertura de pavimentos de desierto (%) con costras	<10	10 - 30	30 - 50	> 50
Encostramientos (%)	10	10 - 25	30 - 50	>50
Plantas en pináculos				

31. Factores que sugieren el uso potencial de la parcela (marque solo una opción para cada uno) :

Grupo	Factores	Unidad	Clase de terreno			
			1a.	2a.	3a.	4a.
Clima	Precipitación media anual	mm	Mayor de 800	600 - 800	400 - 600	Menor de 400
	Inundación	Cualitativa	Ninguna	Ocasional	Afecta moderadamente al cultivo	Limita fuertemente la producción agrícola
Erosión	Erosión	Cualitativa	Nula	Laminar leve y/o canalillos en formación	Laminar moderada y/o canalillos medianos	Laminar severa con cárcavas en formación
Topografía	Pendiente del terreno	%	0 - 2	2 - 6	6 - 15	Mayor de 15
Suelo	Profundidad efectiva	cm	Mayor de 100	50 - 100	25 - 50	Menor de 25
	Pedregosidad en la superficie	Cualitativa	Nula	5-10%, interfiere con las labores agrícolas	10-35%, interfiere moderadamente con las labores agrícolas	Más del 35%, interfiere fuertemente con las labores agrícolas



Encostramiento



Plantas en pináculos



Cárcava



Pavimento de desierto

Figura 54. Formato de encuesta a productores (parte 2).

32-40 .Características productivas (Parte 1)

No aplica

† Convencional, mínima, conservación

Actividad	Tipo de ganado	Hectáreas destinadas/Tipo de labranza †	Producción (cabezas, t año ⁻¹)	Tipo de manejo (Intensivo/Extensivo)	Riego (Si/No)
32. Cría de ganado					
33. Producción agrícola					
34. Producción apícola					
35. Producción frutícola					
36. Producción hortícola					
37. Pesca					
38. Caza					
39. Industrias caseras					
40. Otro					

32-40. Características productivas (Parte 2)

Actividad	Tipo de riego (Gravedad/Presurizado)	Agroquímico (Si/No)	Obras de conservación (Si/No)	Destino (Venta/Autoconsumo)	Lugar de venta
32. Cría de ganado					
33. Producción agrícola					
34. Producción apícola					
35. Producción frutícola					
36. Producción hortícola					
37. Pesca					
38. Caza					
39. Industrias caseras					
40. Otro					

41- 47. Capital financiero y productivo

41. Ingreso promedio (mes): _____
42. ¿Ha tenido cambios significativos en sus ingresos en los últimos 10 años (si/no)? _____
43. ¿Que crisis ha enfrentado (inseguridad alimentaria, pérdidas de cosecha, migraciones, eventos naturales)? _____
- Cuáles son los meses más difíciles para acceso a: _____
44. Alimentación: _____
45. Agua: _____
46. Forraje: _____
- _____
47. ¿ Cuáles son los principales problemas de la zona? _____

48- 56. Descripción histórica (Durante los últimos 10 años)

Indicador	Mejoró		Se mantuvo igual	Empeoró
	Mucho	Poco		
48. La productividad de la tierra				
49. Sus ingresos				
50. La alimentación de la familia				
51. Las condiciones de trabajo				
52. Su capacitación				
53. Su salud				
54. Los costos de producción				
55. Las inversiones en el predio				
56. El agua para producción				

Figura 55. Formato de encuesta a productores (parte 3).

Cuadro 52. Estaciones con datos de precipitación promedio anual (mm) e interpolación de datos de las microcuencas 16 y 17, Acaxochitlán, Hidalgo (Parte I).

Año	13002 Apan	13006 Ciudad Sahagún	13027 San Jerónimo	13028 San Miguel Allende	13029 San Lorenzo Sayula	13030 San Rafael Mazatepec	13031 Santiago Tulantepec	13033 Singuilucan	13034 Tenango de Doria	13061 Alcholoaya	13079 Presa El Girón	13082 Presa La Esperanza	13085 Presa Tezoyo	13094 Acaxochitlán	13095 Agua Blanca	13098 Huasca	13099 Metepec
1980	624.2	708.7	757.1	724.2	644.5	855.4	768.5	682.8	669.4	598	428.8	591.8	565.7	981.5	1142	776	693
1981	751.9	538.2	820.3	771.6	738	737	649.8	813	773.3	869.5	489.9	649.9	721.8	1562.7	2358.9	935.2	810.8
1982	437.7	416.6	527.3	476.3	442.9	452.2	324.8	464.6	361.5	268.3	271.3	237.4	398.3	696.6	879.4	361.5	332.5
1983	498.0	451.3	707.5	591.3	488.7	769.6	403	483.2	1709.3	149	318.4	336.3	405.8	861.8	879.7	610.4	521.3
1984	764.3	433.1	699.3	655.2	704.3	736.2	605	726.5	2334.3	479.3	431.3	512.2	792.9	923.5	1182.3	954	646.7
1985	675.9	375.7	702.2	586.5	786	682.2	545.7	652.7	1913.7	250	393.6	531.4	664.3	731.4	850.8	787.3	573.9
1986	521.4	415.1	658	728.8	510.4	787.1	402.5	543.2	470.8	414	297.7	369.2	592.4	489.3	456.2	830.5	443.8
1987	567	430.9	500.6	517	405.4	526	437	350.8	495.5	398.9	543.2	352	462.1	821.2	600.8	511	526.7
1988	464.3	417	532.4	460.9	565.7	496.5	436	536.5	406.7	389.6	411.9	467.8	427.5	1124.2	619	746.4	511.5
1989	547.5	419.1	768	619.4	448.3	470.2	576.2	634	1753.2	431.6	381.8	607.8	597.5	1044.9	871.1	775.1	633.7
1990	745.1	291.2	725.7	615.5	605.4	906	527.5	602.5	1607.8	460.5	439.5	550.8	772.6	936.5	1128.2	867.3	718.4
1991	508.9	211.6	665.8	541.8	841.3	786.7	873.9	557	539.8	739.6	343.7	657.7	738.6	488.7	512.5	842.3	533.5
1992	897.9	397.3	846.7	684.8	662.9	728	677.4	465.8	1063.8	505.5	426	718.2	709.6	877.1	675.2	908.4	782
1993	638.6	690.9	728.8	588.4	501.7	625.8	437	398.6	2236.2	416	364.1	567.7	645.1	1091.4	1465.5	824.7	806.9
1994	494.8	300.2	615.3	558	434.5	573.3	436.9	480.6	1789.5	634	466.5	432.1	638.8	687.1	726.1	729.1	375.1
1995	605.1	34.2	717.4	588.4	645.1	622.8	625.5	413.9	1194.3	218.5	382.2	665	776.5	631.1	724.3	753.7	725.6
1996	394.2	226.4	521.5	525.2	552.3	527	461.8	511.5	1616.8	357	351.9	479.6	507.9	932.2	654.4	722.8	453.9
1997	693	231.3	637.9	713.1	749.5	749.5	509.2	588	1049.5	399	405.9	491.8	574.8	750.3	387	630.1	476.5
1998	475.1	112.2	456.9	600.4	805.4	669.7	792.4	632.5	1487.7	534.8	561.6	647.6	531.4	924.2	282	1041.8	785.1
1999	656.5	221.6	716	764.5	688.9	787.9	394	714	2868.9	745	592	896.7	716.6	1386.2	281	1060.4	824.8
2000	426	156	496.7	419.5	391.8	440.1	536.8	515	1567.8	361.9	296.1	448	553.5	784.6	62	716.6	552.1
2001	452.1	190.1	313.8	367.9	557.2	353.5	549.5	441	1037.2	306.3	454.3	565	651.1	688.4	132.7	810.4	563
2002	380.5	160	264.1	317.9	553.3	303.6	542.2	390.8	991.5	463	404	564.7	548	586.6	73.6	797	341.7
2003	616.9	596.8	582.2	499.6	480.4	521.6	472	387.8	1430.6	422	367.5	489	632.2	799.2	95.9	686.6	643.5
2004	808	776.8	754.1	639.7	513	1018	508.8	485	1364	484	456.9	517.2	1058.5	771.8	119.55	566.2	596
2005	529	126.6	533.1	480.3	718.3	500.1	633	528.5	1878.6	597.8	396	492.6	571.7	957.2	243.78	708.58	739.7
2006	658	204.6	565.9	545.7	530.8	551.1	529.5	518.3	1197.4	628	513.3	532.1	750.7	702.1	236.5	860	519.9
2007	824	897.2	879.2	806.7	619.8	1064.3	870	883	2254.3	910.5	690.9	978.5	928.8	1100.6	305.5	1222.3	1017.9
2008	696.5	626.1	558.5	487.3	469.5	793.3	632.5	570.5	2205	729.9	373.4	592.5	744.7	1179.7	409.8	902	767.7
2009	644	582	545.9	505.2	708.1	656.3	487	607	1554.4	580	440.2	551.6	645.5	758.6	298.3	956.2	622.2
Promedio	599.9	388.0	626.6	579.4	592.1	656.4	554.8	552.6	1394.1	491.4	423.1	549.8	644.2	875.7	621.8	796.5	618.0

Cuadro 53. Estaciones con datos de precipitación promedio anual (mm) e interpolación de datos de las microcuencas 16 y 17, Acaxochitlán, Hidalgo (Parte II).

Año	13100 Omitlán	13116 El Zembo	13127 El Aserradero	13130 Santa María Asunción	13132 El Tepozán	13138 Emiliano Zapata	13144 Hueuetla	21008 Aquixtla	21021 Capuluaque	21051 Jopala	21066 Pueblo Nuevo	21107 Zacatlán	21118 Huauchinango	21126 Loma Alta	21127 Xicotepec
1980	944.2	610.8	666.8	647.4	737.4	664.8	796.2	655.6	983.8	2319.8	777	1346.9	2042.6	642.8	2443.5
1981	1215.3	1125.6	758.9	738.3	730.8	649.1	1198.7	787.9	1282.6	3653.5	1053.5	700.7	2698.9	688.7	3588.4
1982	526.8	553.8	294.2	388.6	221.6	337.6	500.4	373.4	605.3	2507	511	933.4	1426.3	411.9	1628.1
1983	763.8	683.3	517.4	438	621.4	475.5	3001.7	515.3	748	3146.9	552.9	1378.7	2086.2	576.5	2744
1984	1020.8	1084.4	455.5	676.8	1287.5	589.3	2870.4	783.7	1219.4	3525	970.7	945.4	2600	756.8	3640
1985	900.1	975.6	838	614.5	883.9	621.7	2726.9	726.3	982.4	2769.5	771.2	1371.2	1916	649.2	3208
1986	704.7	709.4	603.5	495.9	857.2	533.3	2442	579.4	690	3093	708	1644.2	2494.2	546.1	3619.9
1987	679.5	728.5	448.2	466.4	1173.1	495.4	1777	531.9	805.2	1455.6	811.2	1264.1	1675.4	567.1	1260.9
1988	736.7	818.7	479.1	309.1	1792.1	445.8	510.7	638.9	794.6	2509.9	626.9	825.1	1717.5	701.2	3211.7
1989	1047	851.3	496.1	622	522.1	485.7	739.2	656.5	1018.4	2171.2	729.2	1166	1459.9	691.2	2801.2
1990	1083	997	608.2	642.9	851.7	526.7	2186.4	741.6	699.9	2884.3	991.2	1059.1	2318.4	745.2	3385.6
1991	1160.3	948.5	902.7	470.4	1630.1	491	2242	743.4	1090.6	2413.9	760.2	1418.9	1549	695	3180
1992	1099.5	949.9	673.7	810.5	973.1	451.6	3305.2	927.8	1067.4	2861	991.2	911.5	2184.4	924.3	3460.3
1993	941.3	842.1	635.3	682.9	640.8	482.6	3339.1	639.1	903.4	2719.3	635.9	1018.2	2308.2	594.2	3083.4
1994	755.5	896.5	478.8	293.8	637	544.3	2058.1	584.6	786.4	2018.6	706.5	1134.8	1523.7	522.4	2456.9
1995	829.9	917.4	700.3	430.1	744.1	648.1	4359.2	911.1	1141.5	2187.8	1023.5	1324.8	1598.3	804.4	2709.9
1996	1000.5	733.7	682.1	687.9	656.7	864.6	1358.6	484.9	736.3	2145.3	600.5	1280.7	1898.4	461.4	2682.7
1997	552	672.7	535.4	643.5	796.7	459	871.8	622.6	763.8	2647.1	771.4	1277.8	1737.6	593.5	3193.6
1998	1272.4	939.1	686.7	723.2	656.8	491.1	1164.2	743.6	1078.7	3591.1	736.4	1469.8	2135.8	662.1	3205.3
1999	1426	989.8	710	857.2	758.9	447.3	2174.6	1410.1	1486.8	2980.8	721.4	1622.3	2440.3	1102.3	3765.4
2000	802.6	682.5	808	505.2	514	296.1	1163.8	653.7	972.9	3794.7	448.6	1357.3	2182.3	531.1	3604
2001	1039.6	722.6	504.3	563.9	474.7	326.1	794.6	620.1	670.3	2498.3	518.9	1213	1843.2	810.9	3078.5
2002	1057.1	703.7	866	442.1	403.2	274.4	745.3	500	375	796.8	483.6	624.4	752.3	540	836.3
2003	958.5	685.3	939	573.9	566.7	184.8	1072.5	492.3	1114.7	2375.4	520.5	802	1057.6	635.8	3542.5
2004	1072.6	788.5	548.4	560.5	1034.5	793	1030.1	1066.6	788.7	2563.4	755.3	1343.1	1876.9	1155.6	3171.5
2005	980	847.6	651.8	628.4	572.5	377.9	1440	1317.5	1208	2818.7	650.6	1426.4	2130.8	1352.5	3428
2006	1025.1	1008.3	871.5	525.4	744.5	576	939.6	685.8	1057.8	2715.7	630.1	1362.2	2027	629.3	2946.5
2007	1176.2	1123.2	1180	689	1060.9	614.5	1884.6	1112.7	1123.5	3234.6	824.7	1428.4	1976.6	837.3	3649.7
2008	1378.4	711.6	1063	813.8	1021.5	420.2	2309.6	848	1078.9	3188.3	726	1383	1979.6	505.4	3489.2
2009	1153.3	878.9	964.5	474.7	844.5	614.2	2541.7	560.5	1021.03	2086.7	771.5	1413.3	1996.04	834.9	2721.72
Promedio	976.8	839.3	685.6	580.5	813.7	506.1	1784.8	730.5	943.2	2655.8	726.0	1214.9	1921.1	705.6	2991.2

Cuadro 54. Estaciones con datos de precipitación promedio anual (mm) e interpolación de datos de las microcuencas 16 y 17, Acaxochitlán, Hidalgo (Parte III).

Año	21140 Chignahuapan	21147 Apapantilla	21211 Ameluca	30067 Huayacocotla	30359 Palo Bendito	30365 Zacualpan
1980	527.8	1755.2	1357.2	945.2	992.3	972
1981	849.1	2268.2	1824.3	1785.1	1776.5	1788.5
1982	321.8	1020.2	909.1	967	997.7	693.1
1983	485.1	1589.3	1265.7	1132.9	904.3	1370.8
1984	732.2	2755.9	2044.1	1257.9	1067.6	2303.7
1985	614.4	2083.5	1356.6	1559.9	841.2	1777.4
1986	442.7	2319.9	2370.6	1085.4	631.1	1341.3
1987	557.5	1343	1523.1	1005.1	700.7	1040.3
1988	684.1	2915.8	1917.6	1358.2	462.9	2388.7
1989	681.7	2535.6	1790.1	1272.9	862.3	2030.9
1990	744.2	1155	1198	708.3	365.7	2254.1
1991	679	2857	1921.2	371.1	99.3	1597.3
1992	844.9	1312	1710.3	572	206.6	2220.5
1993	606.5	1561.9	1174.2	1150.1	905.9	2251.8
1994	539.4	1248.8	1584.7	742.9	587	1446.5
1995	833.6	2489.8	1303.2	947.9	960	893.4
1996	467.8	2456.1	900.3	818.1	777.6	1000.6
1997	601.5	2963.2	1377.4	439.2	397.9	625.3
1998	693.3	3368	1723.8	762.9	773.4	715.7
1999	1186.6	1174.6	1615.9	1364.8	1398.7	1211.9
2000	564.7	3684.4	1527.2	450.5	416.5	603.7
2001	749.5	1797.7	1507.3	483.5	489.1	458.1
2002	529	819.6	1312.1	409.8	411.1	403.8
2003	596.5	3050.4	1302	400.3	361.3	576
2004	940.7	2915.1	1117.4	541.5	535.8	567.2
2005	906.8	3171.1	1605.6	604.7	554.4	831.8
2006	644.8	2849.2	2056.7	508	491.6	582.1
2007	1015	2321.5	1555	739.7	680.6	1006.5
2008	1162.5	1548.1	1628.1	399.4	254	1055.6
2009	759.23	2127.71	1240	1414.5	782.1	750.1
Promedio	698.7	2181.9	1524.0	873.3	689.5	1225.3