UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

TESIS DOCTORAL

EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD DE UNA MICROCUENCA DEL RÍO PANTEPEC DEL ESTADO DE HIDALGO

PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTORA EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA

MARÍA GUADALUPE HINOJOSA PÉREZ

COMITÉ:

DR. OTILIO ARTURO ACEVEDO SANDOVAL (DIRECTOR DE TESIS)
DRA. GABRIELA MARISOL VÁZQUEZ CUEVAS
DR. RAMÓN RAZO ZARATE
DR. HUMBERTO IVÁN NAVARRO GÓMEZ
DRA. JESSICA BRAVO CADENA
DRA. SILVANA BERENICE VALENCIA PULIDO
DR. CESAR ABELARDO GONZÁLEZ RAMÍREZ

MINERAL DE LA REFORMA, HIDALGO, 2025

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
School of Engineering and Basic Sciences

Mineral de la Reforma, Hgo. a 06 de marzo de 2025

Número de control: ICBI-D/555/2025
Asunto: Autorización de impresión de tesis.

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH

Por este conducto le comunico que el comité revisor asignado a la **Mtra. María Guadalupe Hinojosa Pérez,** alumna del Doctorado en Ciencias Ambientales (Directo) con número de cuenta **467879**, autoriza la impresión del proyecto de tesis titulado **"Evaluación de la sustentabilidad de una microcuenca del Río Pantepec del estado de Hidalgo,"** en virtud de que se han efectuado las revisiones y correcciones pertinentes.

A continuación, se registran las firmas de conformidad de los integrantes del comité revisor.

PRESIDENTE	Dr. Humberto Iván Navarro Gómez	
SECRETARIO	Dr. César Abelardo González Ramírez	
1er VOCAL	Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval	
2do VOCAL	Dr. Ramón Razo Zarate	
3er VOCAL	Dra. Gabriela Marisol Vázquez Cuevas	
1er Suplente	Dra. Jessica Bravo Cadena	
2do Suplente	Dra. Silvana Berenice Valencia Pulido	

Sin otro particular, reitero a Usted la seguridad de mi atenta consideración.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Mtro. Gabriel Vergara Rodríguez
Director del ICBI

CRG/NAL

Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. C.P. 42184
Teléfono: 771 71 720 00 Ext. 40001
direccion_icbi@uaeh.edu.mx,
vergarar@uaeh.edu.mx

CamScanner

RESUMEN

El desarrollo sustentable integra equitativamente las metas y objetivos ambientales con los socioeconómicos. Debido a esto se debe propiciar un desarrollo común entre los componentes que determinan el progreso de un territorio; logrando un vínculo de regulación entre las actividades antrópicas y los aspectos económicos, sociales, ambientales, culturales y de los sistemas de valores. En este trabajo de investigación se planteó el objetivo de valorar el impacto que han ejercido el manejo de agroecosistemas, las actividades antrópicas, las condiciones socioeconómicas y los valores, creencias y normas locales sobre la sustentabilidad de una microcuenca del Río Pantepec en el estado de Hidalgo. La información generada permitió determinar un índice general de sustentabilidad (IGS) y proponer prácticas de desarrollo sustentable basadas en la conservación de los recursos y el aprovechamiento de los servicios ecosistémicos potenciales en la zona. La evaluación de la sustentabilidad se obtuvo mediante la aplicación de modelos integrados donde la asignación de importancia de cada parámetro se obtuvo con matrices de comparación. El IGS se estimó con la agregación de los índices de calidad ambiental (ICAm), desarrollo social (IDSc) y económico (IDE).

Los resultados mostraron que la calidad ambiental está influenciada por el uso del suelo y la cobertura vegetal, el manejo de los agroecosistemas, la susceptibilidad a deslizamientos del suelo y las condiciones climáticas, ambientales, geológicas y topográficas de la microcuenca. Sin embargo, aspectos socioeconómicos como el grado de marginación, el rezago social y la participación económica a nivel localidad son determinantes para el grado de sustentabilidad en la microcuenca. Así mismo, se identificó la importancia del pastoreo sobre la agricultura de temporal y la influencia del manejo de estas en la susceptibilidad de deslizamientos del suelo y la erosión hídrica; al igual que la posible amenaza al bosque mesófilo de montaña por el desarrollo de las actividades agropecuarias a lo largo de la microcuenca. La información generada permitió identificar zonas factibles para la captura de carbono en el suelo, la designación de áreas protegidas de bosque de haya y para la aplicación de prácticas de manejo y conservación del suelo y agua según las condiciones y ventajas basadas en la naturaleza de la microcuenca. Los valores promedio obtenidos para el ICAm (73.65), IDSc (46.90) e IDE (49.47) permitieron un nivel de sustentabilidad medio en la microcuenca con un IGS de 58.13, se concluye que las condiciones socioeconómicas y el manejo de los agroecosistemas son los que ejercen mayor presión sobre la microcuenca.

Palabras clave: microcuenca, desarrollo sustentable, uso de suelo y cobertura vegetal, pastoreo, agricultura de temporal y bosque mesófilo de montaña

ABSTRACT

Sustainable development equitably integrates environmental and socioeconomic goals and objectives. Because of this, it should be promoted common development between the components that determine the progress of a territory, achieving a regulatory link between anthropogenic activities and the economic, social, environmental, cultural and value system aspects. In this research work, the objective was to assess the impact that agroecosystem management, anthropogenic activities, socioeconomic conditions and local values, beliefs and norms have had on the microwatershed sustainability of the Pantepec River in the state of Hidalgo. The information generated allowed the determination of a general sustainability index (IGS, by its acronym in Spanish) and the proposal of sustainable development practices based on the conservation of resources and the use of potential ecosystem services in the area. The sustainability evaluation was obtained through the application of integrated models where the assignment of importance of each parameter was obtained with comparison matrices. The IGS was estimated by aggregating the environmental quality (ICAm, by its acronym in Spanish), social development (IDSc, by its acronym in Spanish) and economic (IDE, by its acronym in Spanish) indices.

The results showed that the environmental quality is influenced by the use of soil and vegetation coverage, the management of agroecosystems, susceptibility to landslides and climatic, environmental, geological and topographic conditions of the microwatershed. However, socioeconomic aspects such as the marginalization degree, social backwardness and economic participation at the local level are determinants for the degree of sustainability in the microwatershed. Moreover, the importance of grazing over rainfed agriculture and the influence of the management on the susceptibility to landslides and water erosion were identified; as well as the possible threat to the cloud forest due to the development of agricultural activities throughout the microwatershed. The information generated allowed to identify feasible areas for soil carbon capture, the designation of protected beech forest areas and the application of soil and water management and conservation practices according to the conditions and advantages based on the nature of the microwatershed. The average values obtained for the ICAM (73.65), IDSC (46.90) and IDE (49.47) allowed a medium sustainability level in the microwatershed with an IGS of 58.13, it is concluded that the socio-economic conditions and the management of agroecosystems are the ones that exert the greatest pressure on the microwatershed.

Keywords: microwatershed, sustainable development, land use and vegetation cover, grazing, rainfed agriculture and cloud forest

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Dedico este trabajo de investigación a:

- A mi esposo, acompañante incondicional, por alentarme a ser mejor día con día, así como brindarme su apoyo incondicional a lo largo de este proceso el cual nos ha brindado experiencias gratas que atesoraremos.

- A mi madre por ser un gran ejemplo de vida al inculcarme ideales de perseverancia, así como brindarme la confianza y seguridad para lograr mis metas.

- A todos mis familiares que han mostrado interés por el camino que he emprendido.

- A mis amigos de años que con sus consejos han fortalecido y complementado el camino que me ha llevado a alcanzar esta meta en mi vida.

- A mis pequeños peludos, por hacer que mi día a día sea más confortable, así como por brindarme aliento y motivación.

Agradecimientos:

- Al Instituto de Ciencias Básicas e Ingenierías de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo por haberme aceptado como alumna del Doctorado en Ciencias Ambientales.

- A los pobladores de la microcuenca del Río Pantepec, autoridades municipales y la Universidad Intercultural del Estado de Hidalgo (UICEH) por las facilidades para el muestreo y recolección de datos.

- Al Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval, director de tesis, por compartir el basto conocimiento y haber brindado el apoyo que permitió el desarrollo del presente trabajo.

- A las Dras. Gabriela Marisol Vázquez Cuevas, Jessica Bravo Cadena y Silvana Berenice Valencia Pulido, así como a los Dres. Humberto Iván Navarro Gómez, Ramón Razo Zarate y Cesar Abelardo González Ramírez por su guía, apoyo, recomendaciones y contribuciones.

- A las Dras. Claudia Romo Gómez y Ma. Elena Páez Hernández, y el Dr. Cesar Camacho López por su apoyo y guía en el proceso de análisis de muestras de suelo y agua.

- A la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (AUM-Xochimilco) por el apoyo otorgado para llevar a cabo una estancia de investigación, particularmente gracias al Dr. Gilberto Vela Correa por su guía en la determinación de parámetros fisicoquímicos del suelo.

- A mis compañeros y amigos del Campus por sus consejos y palabras de aliento.

ÍNDICE

CAPÍTULO I 1
1. Introducción 1
CAPÍTULO II 2
2. Marco teórico 2
2.1. Sustentabilidad y desarrollo sustentable 2
2.2. Pilares de la sustentabilidad 3
2.3. Conceptos básicos del manejo de cuencas 4
2.4. Manejo sustentable de cuencas 7
2.5. Efectos de los agroecosistemas en la cantidad y calidad de los recursos 8
2.6. Indicadores de sustentabilidad 9
2.7. Métodos de evaluación de sustentabilidad a nivel cuenca 10
2.7.1. Evaluación con índices de sustentabilidad 12
2.7.2. Evaluación con modelos integrados 14
2.8. Relación de pueblos indígenas y desarrollo sustentable 15
CAPÍTULO III 17
3. Planteamiento del problema 17
3.1. Preguntas de investigación 18
3.2. Hipótesis y objetivos 19
CAPÍTULO IV 21
4. Plan metodológico 21
4.1. Selección y descripción del área de estudio 21
4.2. Procedimientos para la obtención de datos y variables 22
4.3. Procedimientos para la caracterización de la microcuenca 28
4.3.1. Uso de suelo y cobertura vegetal 29
4.3.2. Captura de carbono en el suelo y áreas de conservación 31
4.3.3. Erosión hídrica 32
4.3.4. Deslizamiento del suelo en laderas 34
4.4. Procedimientos para la evaluación de sustentabilidad 36
4.4.1. Sistematización y análisis de la información 36
4.4.1.1. Índice de calidad ambiental (ICAm) 38
4.4.1.1.1. Índice de fragilidad ambiental (IFA) 39
4.4.1.1.2. Índice de calidad del suelo (ICS) 42
4.4.1.1.3. Índice de calidad del agua (ICA) 46
4.4.1.2. Índices socioeconómicos 49

4.4.1.2.1. Índice de Desarrollo Social (IDSc) 49
4.4.1.2.2. Índice de Desarrollo Económico (IDE) 50
4.4.1.2.3. Influencia de valores-creencias y normas locales en la sustentabilidad 51
CAPÍTULO V 53
5. Resultados y discusión 53
5.1. Caracterización de la microcuenca del Río Pantepec 53
5.1.1. Entorno ambiental en la microcuenca 53
5.1.1.1. Uso de suelo y cobertura vegetal 55
5.1.1.2. Captura de carbono en el suelo y áreas de conservación en la microcuenca 66
5.1.1.3. Erosión hídrica en la microcuenca 69
5.1.1.4. Deslizamiento del suelo en laderas 71
5.1.2. Entorno socioeconómico en la microcuenca 72
5.1.2.1. Población de la microcuenca 72
5.1.2.2. Desarrollo socioeconómico 73
5.1.3. Análisis FODA de la microcuenca 80
5.2. Índice da calidad ambiental (ICAm) 82
5.2.1. Índice de fragilidad ambiental (IFA) 82
5.2.2. Índice de calidad del suelo (ICS) 85
5.2.3. Índice de calidad del agua (ICA) 88
5.2.4. Obtención del Índice da calidad ambiental (ICAm) 91
5.3. Índices socioeconómicos 93
5.3.1. Índice de desarrollo social (IDSc) 94
5.3.2. Índice de desarrollo económico (IDE) 97
5.4. Índice general de sustentabilidad (IGS) 100
5.5. Influencia de los valores – creencias y normas locales en la sustentabilidad 104
5.5.1. Comparativo de la influencia de valores – creencias y normas en dos regiones de la microcuenca 120
CAPÍTULO VI 126
6. Prácticas de manejo y conservación del suelo y agua 126
CAPÍTULO VII 136
7. Validación de las hipótesis de investigación 136
CAPÍTULO VIII 138
8. Conclusión 138
CAPÍTULO VIII 141
9. Propuestas y perspectivas para la microcuenca 141

CAPÍTULO X 150
10. Referencias 150
11. ANEXO A 169
12. ANEXO B 171
Anexo 1. Índice de Fragilidad Ambiental (IFA) 171
Anexo 2. Índice de Calidad del Suelo (ICS) 184
Anexo 3. Índice de Calidad del Agua (ICA) 198
13. ANEXO C 206

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Relación entre los pilares de la sustentabilidad, adaptado de Mensah (2019). 4
Figura 2.2. Zonificación de una cuenca, adaptado de Barragán Acosta (2018). 5
Figura 2.3. Funciones del suelo, modificada de Weil y Brady (2016). 8
Figura 2.4. Plan de manejo sustentable, adaptado de Wang et al. (2016). 11
Figura 2.5 Pasos básicos para un análisis de cuenca, adaptada de Naiman et al. (2014). 12
Figura 4. 1. Microcuenca del Río Pantepec, Hidalgo, delimitada con datos del SIATL v4.0 (INEGI, s.f.) 21
Figura 4.2. a) Uso de suelo y cobertura vegetal por región; b) Regiones vulnerables y categorías de uso de suelo y cobertura vegetal con menor tendencia de permanecer estables. Elaboración propia. 28
Figura 4.3. Modelo de evaluación de sustentabilidad en la microcuenca del Río Pantepec. Elaboración propia con datos de Partida-Sedas (2018) y Granco et al. (2019). 37
Figura 4.4. Procedimientos para la determinación del IFA. Elaboración propia. 40
Figura 4.5. Procedimientos para la determinación del ICS. Elaboración propia. 43
Figura 4.6. Procedimientos para la determinación del ICA. Elaboración propia. 47
Figura 4.7. Procedimientos para la determinación del IDSc. Elaboración propia. 50
Figura 4.8. Procedimientos para la determinación del IDE. Elaboración propia. 51
Figura 5. 1.a) Clima, temperatura y precipitación y b) Unidades edafológicas. Elaboración propia con datos de CONABIO (1998); INEGI (2007a, 2007c) y CONAGUA (2010). 53
Figura 5.2. Carta geológica minera F14-D73, modificado de SGM (2004). 54
Figura 5.3. Número de productores cafetaleros, modificado de Pérez-Akaki (2006). 58
Figura 5.4. Uso de suelo y cobertura vegetal, elaboración propia con datos de: a) INEGI (2001), b) CONAFOR (2021) y c) USyV – 2022 para la microcuenca. 62
Figura 5.5. Diagrama de flujo con la probabilidad de transición. Elaboración propia. 64

Figura 5.6. Mapa de transición para el periodo 1993 – 2022. Elaboración propia. 65
Figura 5.7. Carbono total (CT) y captura de CO_2 en el suelo por región; a) Concentración en porcentaje de CT, b) Concentración en t ha^{-1} de CT y c) Captura de CO_2 en la microcuenca. Elaboración propia con datos del TOC-L_{CPH}. 66
Figura 5.8. Inventario Estatal Forestal y de Suelos (IEFyS), a) zonificación forestal y b) zonificación de conservación. Elaboración con datos de CONAFOR (2014). 68
Figura 5.9. Pérdida del suelo (t ha^{-1} $año^{-1}$). Elaboración propia. 70
Figura 5.10. a) Inventario de deslaves y b) susceptibilidad de deslizamiento en la microcuenca; reportes de: notas periodísticas (2010 – 2022), atlas de riesgos naturales de Tenango de Doria (SEDATU, 2013) e inventario de recorrido de campo (2022 – 2023). Elaboración propia. 71
Figura 5.11. Población y habitantes indígenas, elaborado con datos de INEGI (2010a). 73
Figura 5.12 Índices de desarrollo humano (IDH). Elaboración propia con datos de (SNIM, 2010b). 75
Figura 5.13. Índice de Rezago Social (IRS). Elaboración propia con datos de (CONEVAL, 2010b). 76
Figura 5.14. Índices de marginación (IM). Elaboración propia con datos de (CONEVAL, 2010b). 78
Figura 5.15. Indicadores de participación económica. Elaboración propia con datos de SNIM (2010a). 79
Figura 5.16. Análisis FODA para la microcuenca del Río Pantepec, Hidalgo. Elaboración propia. 81
Figura 5.17. Categorización de los parámetros del IFA; a) Erodabilidad, b) Erosividad. Elaboración propia. 83
Figura 5.18. Categorización de los parámetros del IFA; a) Susceptibilidad de deslizamiento, b) Índice de alteración. Elaboración propia. 83
Figura 5.19. Distribución espacial del índice de fragilidad ambiental (IFA). Elaboración propia. 84
Figura 5.20. a) Porcentaje de superficie por región para el IFA y b) valor promedio para la microcuenca y sus regiones. Elaboración propia. 85
Figura 5.21. Parámetros agrupados según la fertilidad del suelo: a) Impacto alto, b) Impacto medio, c) Impacto bajo. Elaboración propia. 86
Figura 5.22. Distribución espacial del índice de calidad del suelo (ICS). Elaboración propia. 88
Figura 5.23. a) Porcentaje de superficie por región para el ICS y b) valores promedio para la microcuenca y sus regiones. Elaboración propia. 88
Figura 5.24. Índice de calidad del agua (ICA). Elaboración propia. 90

Figura 5.25. a) Porcentaje de superficie por región para el ICA y b) valor promedio para la microcuenca y sus regiones. Elaboración propia. 91
Figura 5.26. Distribución espacial del índice de calidad ambiental (ICAm). Elaboración propia. 92
Figura 5.27. a) Porcentaje de superficie por región para el ICAm y b) valor promedio para la microcuenca y sus regiones. Elaboración propia. 93
Figura 5.28. Valor promedio del ICAm para cada uso de suelo y cobertura vegetal (USyCV) en la microcuenca. Elaboración propia. 93
Figura 5.29. Distribución espacial de los parámetros categorizados del IDSc, a) Índice de marginación (IM), b) Índice de rezago social (IRS). Elaboración con datos de CONEVAL (2010a) y CONAPO (2010). 94
Figura 5.30. Distribución espacial del índice de desarrollo social (IDSc). Elaboración propia. ... 95
Figura 5.31. a) Porcentaje de superficie por región para el IDSc y b) valor promedio para la microcuenca y sus regiones. Elaboración propia. 96
Figura 5.32. Valores promedio para el IDSc para la microcuenca (a) y sus regiones (b), comparado con el uso de suelo y cobertura vegetal (USyCV). Elaboración propia. 96
Figura 5.33. Distribución espacial de los parámetros del IDE, a) Tasa de participación económica (TPE), b) Población ocupada, c) Población económicamente activa (PEA). Elaboración con datos de INEGI (2010b). 97
Figura 5.34. Distribución espacial del índice de desarrollo económico (IDE). Elaboración propia. 98
Figura 5.35. a) Porcentaje de superficie por región para el IDE y b) valor promedio para la microcuenca y sus regiones. Elaboración propia. 99
Figura 5.36. Valor promedio del IDE para cada uso de suelo y cobertura vegetal (USyCV) por región. Elaboración propia. 100
Figura 5.37. Distribución espacial del Índice general de sustentabilidad (IGS). Elaboración propia. 101
Figura 5.38. a) Porcentaje de superficie por región para el IGS y b) valor promedio para la microcuenca y sus regiones. Elaboración propia. 102
Figura 5.39. Valor promedio del IGS para cada uso de suelo y cobertura vegetal (USyCV) por región. Elaboración propia. 103
Figura 5.40. Valor promedio del IGS, ICAm, IDSc e IDE para cada uso de suelo y cobertura vegetal (USyCV). Elaboración propia. 103
Figura 5.41. Nivel de sustentabilidad e índices ambientales y socioeconómicos en la microcuenca. Elaboración propia. 104

Figura 5.42. a) Ocupación laboral en R3 y b) hablantes de alguna lengua originaria según ocupación. Elaboración propia. 105
Figura 5.43. Manejo y cuidado del suelo, a) prácticas para mejorar la calidad del suelo y b) erosión hídrica. Elaboración propia. 106
Figura 5.44. Uso y cuidado del agua, a) fuentes de agua para el consumo humano y b) medidas para su consumo. Elaboración propia. 107
Figura 5.45. Cuidado del medio ambiente, a) importancia de su cuidado y b) aspectos a considerar para aplicación de normas para uso de suelo y agua, c) manejo de la basura y d) percepción de la calidad de la lluvia. Elaboración propia. 108
Figura 5.46. Motivos para la designación de zonas naturales y turísticas; especies endémicas y nativas reconocidas por los encuestados; a) zonas naturales protegidas, b) zonas turísticas c) especies endémicas y nativas, y c) géneros identificados. Elaboración propia. 110
Figura 5.47. Ocupación laboral y hablantes de alguna lengua originaria, a) ocupación y b) hablantes de alguna lengua originaria según ocupación. Elaboración propia. 113
Figura 5.48. Manejo y cuidado del suelo, a) prácticas para el mejoramiento de las tierras del cultivo y b) erosión hídrica. Elaboración propia. 114
Figura 5.49. Uso y cuidado del agua, a) fuentes de agua para el consumo humano y b) medidas para su consumo. Elaboración propia. 115
Figura 5.50. Cuidado del medio ambiente, a) importancia de su cuidado y b) aspectos a considerar para aplicación de normas para uso de suelo y agua, c) manejo de la basura y d) percepción de la calidad de la lluvia. Elaboración propia. 116
Figura 5.51. Motivos para la designación de zonas naturales y turísticas; especies endémicas y nativas reconocidas por los encuestados; a) zonas turísticas, b) zonas naturales protegidas c) géneros identificados, y c) especies endémicas y nativas. Elaboración propia. 118

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Aproximaciones empíricas que incluyen indicadores ambientales y socioeconómicos para el análisis de cuencas. Aplicación, ventajas y desventajas, adaptada de Naiman et al. (2014). 13
Tabla 4.1.Tamaño de la muestra para un nivel de confianza de 95 %, probabilidad de ocurrencia de 0.5 y error de estimación de 10 %. 24
Tabla 4.2. Número de muestras por región. 24
Tabla 4.3. Población total y de más de 15 años en la microcuenca por región, obtenido de INEGI (2010; 2020). 27

Tabla 4.4. Superficie en la microcuenca para cada categoría e índices de ganancia (g_p), perdida (l_p) y cambio neto (n_p), periodo 1993 – 2022. 27
Tabla 4.5. Descripción jerarquía utilizada en la evaluación del cambio de uso del suelo y cobertura vegetal en la microcuenca, adaptado de INEGI (2014). 29
Tabla 4.6. Metodología para la determinación de la tasa de cambio, ganancia, pérdida, intercambio, cambio total y neto. 31
Tabla 4.7. Metodología para determinar el carbono total (CT) y CO_2 en t ha^{-1}, valor promedio de cada parámetro y total en la microcuenca. 32
Tabla 4.8. Componentes de RUSLE para estimar la pérdida de suelo. 33
Tabla 4.9. Factor *C* considerado para la microcuenca. 34
Tabla 4.10. Categorización de los parámetros para susceptibilidad de deslizamiento. 35
Tabla 4.11. Escala fundamental de evaluación, tomado de Saaty (2008). 39
Tabla 4.12. Matriz de comparación de pares para el ICAm. 39
Tabla 4.13. Matriz de comparación de pares para el IFA. 40
Tabla 4.14.Obtención de los parámetros del IFA. 41
Tabla 4.15. Categorización de la susceptibilidad para cada indicador del IFA. 41
Tabla 4.16. Parámetros físicos y químicos del suelo. 44
Tabla 4.17. Clasificación y categorización de los parámetros del ICS. 45
Tabla 4.18. Asignación del valor de importancia para cada parámetro según su impacto en el suelo. 45
Tabla 4.19. Matriz de comparación para el ICS. 46
Tabla 4.20. Parámetros para el ICA. 47
Tabla 4.21. Categorización de los parámetros del ICA. 48
Tabla 4.22. Matriz de comparación para el ICA. 48
Tabla 4.23. Escala para categorización de parámetros del IDSc. 50
Tabla 4.24. Matriz de comparación para el IDE. 51
Tabla 4.25. Parámetros de conciencia de responsabilidad (AC) y atribución de responsabilidad (AR) representados en el cuestionario de las entrevistas. 52
Tabla 5. 1.Unidades geológicas en la microcuenca (SGM, 2004). 54
Tabla 5.2. Producción forestal maderable por municipio según grupos de especies (INEGI, 2004, 2012, 2017). 59
Tabla 5.3. Población ganadera y avícola por municipio (INEGI, 2004, 2012). 59
Tabla 5.4. Producción de carne en canal de ganado y ave por municipio (INEGI, 2004, 2012, 2015). 60

Tabla 5.5. Superficie sembrada de temporal, años agrícolas 2002, 2007 y 2012 (INEGI, 2004, 2008, 2013). 60
Tabla 5.6. Superficie por tipo de uso de suelo y cobertura vegetal, elaboración propia con datos de INEGI (2001), CONAFOR (2021) y USyCV – 2022. 63
Tabla 5.7. Matriz de cambio para el periodo 1993 – 2022. 63
Tabla 5.8. Superficie de intercambio, ganancia, pérdida, cambio total y neto (1993 – 2022). 64
Tabla 5.9. Localidades y número de habitantes por región en la microcuenca (INEGI, 2010a). 73
Tabla 5.10. Localidades donde población de 3 años y más habla alguna lengua indígena (INEGI, 2010a). 73
Tabla 5.11. Índice de Desarrollo Humano 2010 (IDH), municipio San Bartolo Tutotepec (SNIM, 2010b). 74
Tabla 5.12. Índice de Desarrollo Humano 2010 (IDH), municipio Huehuetla (SNIM, 2010b). 75
Tabla 5.13. Índice de Desarrollo Humano 2010 (IDH), municipio Tenango de Doria (SNIM, 2010b). 75
Tabla 5.14. Datos poblacionales relacionados al IRS para el 2010 (CONEVAL, 2010b). 76
Tabla 5.15. Indicadores de rezago social (IRS) de 2010 para los municipios de en la microcuenca (CONEVAL, 2010b). 77
Tabla 5.16. Índices de marginación del año 2010 para los municipios de la microcuenca (CONEVAL, 2010b). 78
Tabla 5.17. Población con participación económica para el año 2010 y porcentaje con relación a la población total, número de habitantes por municipio (SNIM, 2010a). 79
Tabla 5.18. Porcentaje de hombres y mujeres con participación económica para el año 2010 (SNIM, 2010a). 80
Tabla 5.19. Comparativo del cuidado del medio ambiente. 121
Tabla 5.20. Comparativo ocupación y hablante de alguna lengua originaria. 123
Tabla 5.21. Comparativo del cuestionamiento sobre la designación de zonas protegidas y turísticas. 124
Tabla 5.22. Comparativo de la ocupación laboral, promoción y enseñanza del cuidado del medio ambiente. 125

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONEVAL	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
IEFyS	Inventario Estatal Forestal y de Suelos
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INFyS	Inventario Nacional Forestal y de Suelos
MOLUSCE	Methods Of Land Use Change Evaluation
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
OECD	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OMS	Organización Mundial de la Salud
RUSLE	Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo por sus siglas en inglés
SADER	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
SEDATU	Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SNIM	Sistema Nacional de Información Municipal
SWAMP	Surface Water Ambient Monitoring Program
USDA	United States Department of Agriculture

CAPÍTULO I

1. Introducción

La evaluación de la sustentabilidad a nivel cuenca es un componente fundamental para su manejo. Esta permite definir un plan de manejo que planifique el uso adecuado de los recursos para el aprovechamiento óptimo que genere un mínimo daño al medio ambiente y propicie un equilibrio con el desarrollo económico y social (Cotler Ávalos et al., 2013). El manejo sustentable de cuencas como parte del manejo integral de esta, promueve el uso racional de los recursos existentes vinculados con las necesidades de las comunidades y sectores presentes (Pande, 2020). Este enfoque permita identificar las relaciones directas o indirectas entre los elementos y facilita reconocer las consecuencias y deberes individuales para lograr una gestión participativa e integrada. Para la evaluación de la sustentabilidad se deben considerar indicadores basados en los tres pilares de la sustentabilidad que cumplan con las funciones de señalar y describir el estado de la cuenca (Mensah, 2019). Además, deben de hacer visible un problema, y adaptarse al cambio de condiciones ambientales y socioeconómicas. La evaluación de la sustentabilidad es quien define el rumbo del plan de manejo que tiene como objetivo la planificación, conservación y crecimiento sustentable del suelo y el agua en interacción con el ámbito social y económico (Wang et al., 2016).

La intención de este trabajo es proporcionar bases científicas entendibles que faciliten la evaluación del comportamiento y la dinámica de los sistemas en el manejo de recursos a nivel microcuenca; así como identificar las interacciones generadas por las actividades antrópicas. La metodología propuesta se enfoca en la evaluación de la sustentabilidad de una microcuenca del Río Pantepec del estado de Hidalgo mediante modelos integrados, para lo cual se propone un procedimiento basado en el uso de índices y parámetros ambientales, sociales y económicos. Para este fin, se crearon índices mediante indicadores categorizados y agregados según la importancia para la sustentabilidad de la microcuenca, lo que permitió delimitar una línea base para futuras evaluaciones. El análisis de las relaciones existentes entre los componentes de cada índice y la distribución espacial de estos permitió identificar regiones vulnerables y proponer prácticas de manejo sustentable y de conservación de los recursos. Se plantea un estudio de percepción ejecutado en localidades de dos regiones de la microcuenca para determinar la influencia de valores, creencias y normas en la conservación de los recursos y el medio ambiente, así como en el grado de sustentabilidad.

CAPÍTULO II

2. Marco teórico

2.1. Sustentabilidad y desarrollo sustentable

Ben-Eli (2018) define la sustentabilidad como un equilibrio dinámico aplicado a la interacción de la población y la capacidad de carga del entorno donde se desarrolla, de manera que estas dos variables siempre se afectan entre ellas e interactúan en un proceso continuo de adaptación. Lo cual requiere que exista equilibrio entre la velocidad de consumo y regeneración de recursos, de modo que la sustentabilidad promueve el buen uso de los recursos productivos disponibles para el desarrollo de las actividades humanas (Mensah, 2019). El concepto de desarrollo sustentable[1] fue definido en 1987 en el informe de Brundtland "Nuestro futuro común", este concepto se basa en maximizar el bienestar de las generaciones presentes sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones (Larrouyet, 2015; OECD, 2001).

El desarrollo sustentable implica garantizar un equilibrio entre el crecimiento económico, la integridad ambiental y el bienestar social (Mensah, 2019), por lo que el desarrollo sustentable integra de una forma equitativa las metas y objetivos ambientales con el ámbito social y económico (Alejandro García, 2022; Moldan et al., 2012). Asimismo, este concepto fue propuesto como una estrategia internacional para abordar las problemáticas que genera el sistema económico y la protección del medio ambiente. En 1992 en la Cumbre de la Tierra organizada en Río de Janeiro, el concepto de desarrollo sustentable fue presentado por la Organización de Naciones Unidas (ONU) como el concepto de desarrollo duradero o sustentable. Este concepto pretende un desarrollo "económicamente eficaz, socialmente equitativo y ecológicamente sustentable", además de ser fundado democráticamente, aceptado geopolíticamente y diversificado culturalmente (Gómez, 2014).

Dentro del objetivo de crear consciencia ambiental en la población, se crearon nuevas estrategias internacionales, como lo fue la cumbre del milenio de las naciones unidas pactada en Nueva York (2000). Esta estrategia buscaba reunir esfuerzos para combatir la degradación del medio ambiente y crear una asociación mundial para el desarrollo (Zarta Ávila, 2018). Debido a que el plazo para cumplir los objetivos del desarrollo del milenio se estableció para el 2015, al culminar este se decide establecer una nueva agenda llamada "Agenda 2030" o también los Objetivos del

[1] El término *sustainable development* del informe de Brundtland ha sido traducido al español como desarrollo sustentable o desarrollo sostenible. A pesar de las diferencias argumentadas entre los adjetivos "sustentable" y "sostenible" (Gómez, 2014), en el presente trabajo se emplea el término desarrollo sustentable.

Desarrollo Sustentable (ODS) (Alejandro García, 2022). Esta estrategia busca transformar el actual modelo de desarrollo y contribuir a la construcción de un futuro sustentable, para lo cual propone diecisiete objetivos que cubren las dimensiones sociales, económicas y medioambientales. Algunos de los objetivos fueron: la igualdad de género, la reducción de la pobreza entre y dentro de los países, la adopción de medidas contra el cambio climático, la protección de los ecosistemas terrestres y marinos, entre otros (Berríos Villarroel & Bastías Bastías, 2021).

Zarta Ávila (2018) menciona que la clave de la sustentabilidad está en el desarrollo común entre los subsistemas que constituyen el progreso de un lugar y/o territorio específico. Este debe suceder bajo un vínculo que regule el avance del hombre con su entorno y establezca una relación armoniosa entre el aspecto económico, social, ambiental, cultural y/o el sistema de valores. En consecuencia, la sustentabilidad debe entenderse como una nueva manera de replantear la relación hombre-naturaleza y como una disciplina articulada del conocimiento; por consiguiente, la educación ambiental para la sustentabilidad debe impulsar la importancia económica y el aspecto social, ecológico, espiritual y político (Alejandro García, 2022; Zarta Ávila, 2018). Lo anterior bajo un marco de valores que combine el Estado, la Iglesia, la cosmovisión de la familia, de las comunidades originarias, y de cada grupo de la sociedad en un esquema que dirija los objetivos hacia una forma de vida, más que como una estrategia política (Alejandro García, 2022; Zarta Ávila, 2018).

2.2. Pilares de la sustentabilidad

Lograr una interconexión entre el ámbito social, económico y ambiental implica que la mejor decisión cubra las necesidades sociales y a su vez sea económica y ambientalmente viable, garantizando equidad social y económica (Mensah, 2019). Esto implica un balance simultaneo y una integración completa de los pilares que conforman el desarrollo sustentable (Figura 2.1). Se logrará un sistema sustentable solo cuando los pilares estén integrados y exista una comunicación fluida de las decisiones y acciones a tomar (Ben-Eli, 2018). Esto permitirá obtener la conservación de los recursos naturales, la protección del medio ambiente, un crecimiento económico resiliente con un desarrollo social basado en el bienestar humano y el respeto por los derechos humanos (Mensah, 2019). Dentro de las acciones que influyen en la interacción de estos pilares están el uso de suelo, el manejo del agua superficial y subterránea, las prácticas agrícolas, la planeación territorial, el manejo de la energía, la educación, la igualdad de

oportunidades, las tasas de participación social y económica, y la elaboración y aplicación de leyes y normas (Mensah, 2019).

Figura 2.1. Relación entre los pilares de la sustentabilidad, adaptado de Mensah (2019).

La vinculación de los tres ejes: economía, ambiente y sociedad, debe desprender acciones y políticas que permitan la colaboración de diferentes sectores en la toma de decisiones, como lo son: las autoridades gubernamentales, académicos, sociedad civil y ciudadanos. En este sentido, la participación ciudadana es una forma de incentivar la relación entre el gobierno y ciudadanía, para lo cual es necesario que exista un contexto social que garantice el acceso y respeto de los derechos humanos, así como de un marco normativo que los ampare (Munguía-Uribe & Valderrábano-Almegua, 2020). El impacto de la participación ciudadana en el medio ambiente se puede analizar a escala de cuenca hidrográfica, la cual representa al territorio natural donde los procesos socio ecológicos están vinculados entre sí (Cotler Ávalos et al., 2013). En consecuencia, el manejo de esta se basa en la comprensión de su dinámica y de cada componente que interviene en su funcionamiento (López Báez, 2014), al respecto, se menciona a continuación algunos conceptos básicos para el manejo de cuencas.

2.3. Conceptos básicos del manejo de cuencas

Cuenca hidrográfica: es un “elemento hidrológico natural” el cual drena atreves de los ríos (superficiales y subterráneos) para dirigirse a un punto en particular (Pande, 2020) que comúnmente es llamado salida de la cuenca. De la misma forma, la cuenca es una unidad valiosa para el análisis socioeconómico y la consideración de varios cambios físicos relacionados con el

uso y crecimiento de los activos. Como unidad física una cuenca incluye los recursos agua, suelo y vegetación. Por otro lado, la unidad socioeconómica incluye a las personas, los procesos de producción agrícolas y ganaderos; así como las interacciones con los recursos suelo y agua, las estrategias de conservación, y las actividades sociales, económicas y culturales (Gashaw, 2015).

El funcionamiento de la cuenca se puede delimitar territorialmente de forma general en tres zonas (Figura 2.2): cuenca alta, cuenca media y cuenca baja (Cotler Ávalos et al., 2013). Las características de cada zona definen la ocurrencia de los escurrimientos, estos acontecen después de que la capacidad de almacenamiento del suelo y la acción de intercepción de la cubierta vegetal se han agotado. Lo anterior, origina la recarga de cuerpos de agua superficiales y subterráneos. La región más cercana al parteaguas es la cuenca alta, donde se generan los primeros escurrimientos debido a que se encuentra en la mayor elevación. Generalmente esta región está representada por sistemas de montañas y lomeríos.

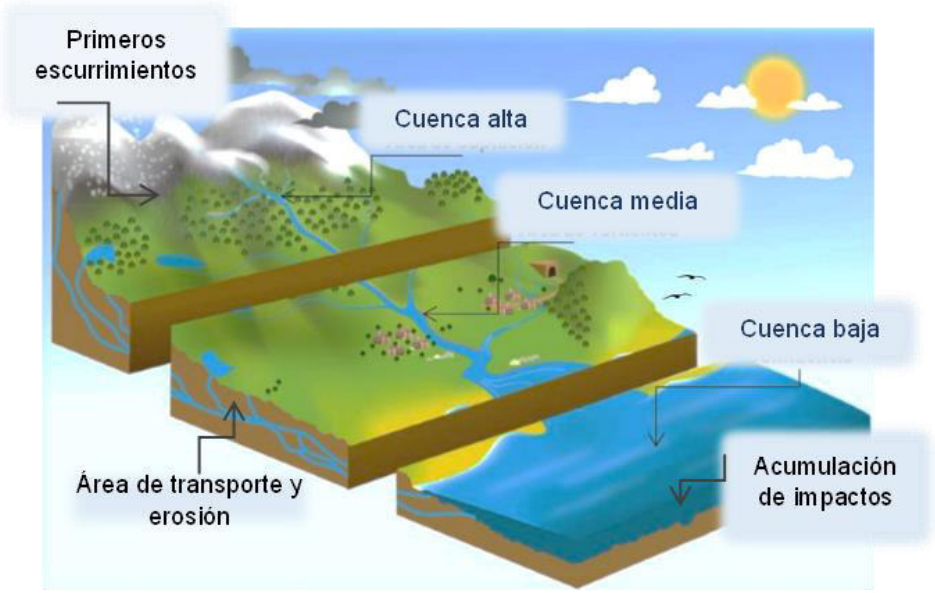


Figura 2.2. Zonificación de una cuenca, adaptado de Barragán Acosta (2018).

La zona de transición (cuenca media) entre la parte alta y la baja es donde los escurrimientos iniciales se unen aportando a las corrientes concentraciones de sedimentos, contaminantes y materia orgánica; por lo tanto, es un área de transporte y erosión (Cotler Ávalos et al., 2013). En la parte baja de la cuenca es donde el río principal desemboca en el mar o bien en un lago. En esta zona se encuentran ecosistemas importantes, como los humedales terrestres y costeros; por lo cual, es el sitio donde se acumulan los impactos de la cuenca (Cotler Ávalos et al., 2013).

Actividades antrópicas: son las actividades que tienen relación con la acción humana en el ecosistema (Barragán Monrroy et al., 2019), son el resultado de factores impulsores que influyen de forma indirecta en los procesos del agroecosistema como: demográficos, económicos, sociopolíticos, culturales, religiosos, científicos y tecnológicos (Nelson et al., 2006). Algunos factores demográficos son la fertilidad, mortalidad y migración; dentro de los factores económicos están el consumo, producción y globalización; y como factores sociopolíticos, culturales y religiosos, que influyen en la toma de decisiones sobre el medio ambiente, están los conflictos humanos, valores, creencias y normas. Dentro de las actividades antrópicas, el desarrollo de la ciencia y tecnología ha traído importantes implicaciones en los sistemas ecológicos y el bienestar humano; como lo es el progreso tecnológico agrícola involucrado en la conversión del uso del suelo y que acarrea consecuencias en muchos ecosistemas (Nelson et al., 2006).

Agroecosistemas: es un ecosistema alterado por la acción del hombre para la explotación agropecuaria (Bover-Felices & Suárez-Hernández, 2020), lo cual transforma y altera la estructura y funciones del ecosistema natural. La modificación del ecosistema tiene como objetivo dirigir su uso potencial en beneficio del hombre (Maass & Martínez-Yrízar, 1990). Entiéndase como ecosistema al sistema funcional que relaciona los organismos vivos y su ambiente, con fronteras espaciales y temporales (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 2024). Cuando un ecosistema natural está bien desarrollado es estable pero dinámico, se adapta al cambio y se recupera de perturbaciones (Bover-Felices & Suárez-Hernández, 2020).

Considerando los sistemas agrícolas como agroecosistemas, se pueden identificar las interacciones biológicas, físicas, químicas, ecológicas y culturales a diferentes escalas que intervienen en la producción alimentaria (Bover-Felices y Suárez-Hernández, 2020). Este sistema está definido por cadenas de producción y consumo, donde existen relaciones culturales, sociales y económicas (Partida-Sedas, 2018). Lo anterior destaca el funcionamiento y estructura de los agroecosistemas, ya sea simple o compleja, dependerá de la naturaleza de los componentes y del arreglo entre ellos donde las características productivas estarán condicionadas por su interrelación (Bover-Felices y Suárez-Hernández, 2020). Por consiguiente, los agroecosistemas tienen como objetivo la producción de alimentos, materias primas y servicios ambientales para el bien de la sociedad (Partida-Sedas, 2018); además de ser el principal componente de la economía campesina y del desarrollo rural territorial (Cruz y Martínez, 2023).

Riesgos ambientales: es la probabilidad de que se presente un fenómeno de origen natural o humano potencialmente perjudicial, en un determinado lapso y lugar dado (Hernández y Ramírez, 2016; SEMARNAT, 2018). Representa una amenaza, en medida de su magnitud y de la capacidad de la comunidad para reducir el riesgo por las consecuencias adversas del fenómeno; convirtiéndose en las perdidas probables que podrían afectar a un componente o un sistema expuesto (Hernández y Ramírez, 2016). Para que se presente un evento considerado de riesgo varios factores condicionantes son relevantes como la hidrología, geología, procesos productivos, urbanización y la vulnerabilidad de las poblaciones ante riesgos ambientales (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 2024).

2.4. Manejo sustentable de cuencas

El manejo sustentable implica el empleo apropiado de los recursos del ecosistema (suelo, agua, aire y biodiversidad) y persigue el objetivo de establecer una forma ideal de demanda que propicie una mínima degradación de este (Pande, 2020; Wang et al., 2016). De forma semejante, el Banco Mundial y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés), entre otros, usan el enfoque de manejo sustentable de cuencas para evaluar los beneficios ambientales de desarrollar proyectos. Así como para intentar mejorar en una manera sustentable la provisión de bienes y servicios de las cuencas, incluidos la agricultura, silvicultura y pesca (Wang et al., 2016).

El manejo sustentable de cuencas como parte del manejo integral de esta, promueve un uso racional de los recursos existentes vinculados con las necesidades e intereses de las comunidades y sectores presentes (López Báez, 2014). Por lo cual su enfoque debe permitir la comprensión del ámbito social, económico y ambiental, así como identificar las relaciones directas o indirectas entre los elementos de una cuenca. Además de facilitar reconocer las consecuencias y deberes individuales, para lograr una gestión participativa e integrada (López Báez, 2014; Torrecillas Núñez, 2016). Por lo que implica el uso adecuado de los recursos para un aprovechamiento óptimo que genere un mínimo daño al medio ambiente (Srivastava et al., 2010) y que propicie un equilibrio con el desarrollo económico y social.

Por consiguiente, para la planificación y el crecimiento sustentable de la cuenca se debe considerar como objetivo principal la conservación del suelo y el agua (Pande, 2020). En este contexto, es de gran importancia establecer el impacto generado en los recursos por el ámbito económico y social, con el propósito de gestionar un plan integral para el manejo sustentable de

la cuenca. El cual requiere planeación, asociación y participación de las partes interesadas; así como reconocer: los vínculos entre las diferentes zonas de la cuenca, las interrelaciones entre el uso del suelo y agua (calidad y cantidad), y las necesidades económicas y ambientales, entre otras (Pires et al., 2017).

2.5. Efectos de los agroecosistemas en la cantidad y calidad de los recursos

A nivel cuenca son importantes las relaciones suelo y agua, las cuales repercuten en el funcionamiento de esta. La caracterización de estos recursos se diferencia según la escala de análisis, ya que los impactos generados por actividades humanas o por fenómenos naturales varía según la ocurrencia y la magnitud. Como parte importante de sostén y funcionamiento de una cuenca están los suelos, estos cumplen con funciones primordiales (Figura 2.3), derivando servicios ambientales indispensables para el sostenimiento tanto del ecosistema como de la vida humana (Cotler Ávalos et al., 2013).

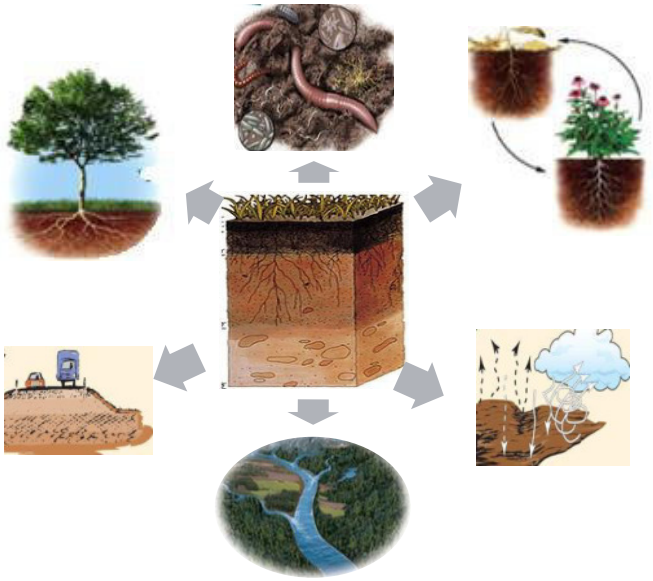


Figura 2.3. Funciones del suelo, modificada de Weil y Brady (2016).

La función más conocida de los suelos es la de soporte y suministro de nutrientes a las plantas, son hábitats para diferentes microorganismos, manteniendo así una amplia biodiversidad. Asimismo, constituyen el medio donde se realizan ciclos biogeoquímicos como el ciclo del carbono y del agua. En donde destaca el secuestro de carbono en el suelo (reduciendo su liberación a la atmósfera como CO_2) y la recarga de los acuíferos (Partida-Sedas, 2018). Por otro lado, los impactos del uso de los suelos sobre el agua de una cuenca se reflejan principalmente en los valores de uso del agua (uso agrícola o doméstico), la importancia de estos impactos

depende de las prácticas de manejo y de las condiciones socioeconómicas que determinan la vulnerabilidad de los recursos. Algunos impactos en el agua del uso del suelo son el arrastre de sedimentos y deposición de nutrientes que afectan la calidad del agua, disminuyen el uso recreativo y aumentan los costos en el tratamiento y procesamiento para ser aprovechada. Así mismo un uso de agua desmedido (extracción mayor que la recarga) disminuye el nivel freático de acuíferos (Partida-Sedas, 2018).

El aprovechamiento agropecuario es la actividad humana que demanda mayor uso de recursos, de igual manera la disponibilidad y calidad de estos es la principal limitante para la productividad de alimentos en el mundo. Los efectos de las actividades agropecuarias sobre el medio ambiente representan una de las preocupaciones mayores a nivel global. De ahí la necesidad del análisis de las repercusiones medioambientales mediante la evaluación de los efectos generados por las interacciones con el medio ambiente. Lo anterior genera que surgen nuevas estrategias que buscan un desarrollo sustentable en el manejo de los recursos y plantean desarrollar agroecosistemas con mínima dependencia de agroquímicos e insumos de energía, manteniendo de esta manera la recuperación de los recursos y a la vez la productividad de las actividades agropecuarias (Partida-Sedas, 2018).

2.6. Indicadores de sustentabilidad

Un elemento esencial del manejo sustentable de cuencas son los indicadores, estos se definen como un parámetro, o un valor derivado de parámetros. Cumplen con las funciones de señalar, proveer información y describir el estado de un fenómeno, ambiente o área; además de que su significado se extiende más allá de un valor cuantitativo (OECD, 2003). Un indicador adecuado cumple con la función de hacer visible un problema, de adaptarse al cambio de condiciones ambientales y socioeconómicas; debe ajustarse específicamente al problema de análisis y determinar una respuesta inmediata, así como ser reproducible bajo estándares establecidos (ser medible y especifico) (Hak et al., 2012; Lyytimäki et al., 2018). Adicionalmente, deben presentar fácil disponibilidad y entendimiento para el público en general, así como implicar un bajo costo para su desarrollo; por último, debe contar con los fundamentos científicos que permitan cambios en su metodología (Malta y Marques da Costa, 2021).

Los indicadores de sustentabilidad deben evolucionar con el tiempo a medida que cambian las circunstancias (Fraser et al., 2006; Juwana et al., 2012; Pires et al., 2017) y, a su vez, basarse en los tres pilares fundamentales de sustentabilidad: ambiental, social y económico (Dahl, 2012;

Fraser et al., 2006). Estos indicadores deben facilitar la medición de la efectividad de las gestiones y políticas aplicadas a un sistema con el fin de desplazarlo a un estado más sustentable (Fraser et al., 2006). Por lo cual los indicadores deben de ser capaces de evaluar las relaciones de causa y efecto (McCool y Stankey, 2004) y proporcionar una visión integral y una representación confiable de tendencias y patrones que facilitan centrar la atención en cuestiones de importancia (Lyytimäki et al., 2018). Asimismo, se debe considerar que, a pesar de generar el mejor sistema de indicadores posible, este necesita complementarse con otras herramientas e insumos; igualmente deben alinearse con los valores del grupo objetivo (reforzarlos y no amenazarlos) y contar con la confianza de los usuarios (Dahl, 2012). A nivel cuenca, los indicadores de sustentabilidad deben describir las interacciones, conexiones e impactos entre las partes de esta (Gashaw, 2015). Para lograr esto, se puede realizar la agregación o ponderación de un conjunto de indicadores (indicador compuesto), lo anterior genera un índice que permita medir ideas multidimensionales que no se pueden explicar utilizando solo un indicador (Juwana et al., 2012).

2.7. Métodos de evaluación de sustentabilidad a nivel cuenca

El manejo sustentable de cuencas requiere integrar factores sociales y económicos con conocimientos ambientales y ecológicos en un marco complejo de valores y tradiciones, para permitir una integración socioeconómica ambiental (Naiman et al., 2014); lo que implica que pueda operar por un periodo y a una escala espacial mayor. Para trazar un plan de manejo sustentable no existe una metodología única que logre de forma firme el desarrollo sustentable; por lo que, el plan diseñado debe ser multinivel y contemplar que la meta definida sufre un desplazamiento temporal y espacial, dependiente del comportamiento e intereses de los involucrados (Figura 2.4) (Wang et al., 2016).

El plan de manejo sustentable debe permitir el análisis de recursos para establecer los límites de tolerancia de explotación, así como asegurar su sustentabilidad ambiental, viabilidad socioeconómica y reconocer el papel del pasado dentro del presente (Pande, 2020). Además, debe involucrar a las partes interesadas y socializar la dinámica existente y las expectativas de la sustentabilidad del ecosistema a largo plazo (López Báez, 2014). Lo anterior se facilita si se cuenta con un monitoreo, ya que este permite evaluar y revalorar los objetivos y metas iniciales para que, mediante un ajuste, el plan de manejo sustentable logre una gestión exitosa de los recursos de la cuenca (Pande, 2020; Wang et al., 2016).

El monitoreo y la evaluación de la sustentabilidad de una cuenca son quienes definen el rumbo del plan de manejo que tiene como objetivo principal la planificación, conservación y crecimiento sustentable del suelo y el agua en interacción con el ámbito social y económico (Reddy et al., 2017; Wang et al., 2016). La intención de un análisis a nivel cuenca es proporcionar bases científicas entendibles que permitan la evaluación del comportamiento y la dinámica de los sistemas en el manejo de recursos; así como identificar las interacciones generadas por las actividades antrópicas (Cai y Zhang, 2018; Morales y Holguín, 2014). Los pasos fundamentales para el análisis de cuencas (Figura 2.5) parten de describir las condiciones deseadas y formular cuestiones claves mediante un análisis analítico. Este debe describir las condiciones actuales y tendencias para generar recomendaciones dirigidas al manejo sustentable de la cuenca, así como proporcionar información para desarrollar un adecuado monitoreo (Morales y Holguín, 2014; Naiman et al., 2014).

Figura 2.4. Plan de manejo sustentable, adaptado de Wang et al. (2016).

Para la evaluación de la sustentabilidad de una cuenca los parámetros deben estar basados en los tres pilares de la sustentabilidad (medio ambiente, economía y sociedad); los cuales deben aplicarse en diferentes sectores y escalas geográficas. El arreglo espacial de los parámetros relevantes para la cuenca permite establecer tendencias espaciales y temporales; para lo cual, la aplicación de sistemas de información geográfica (SIG) es importante, ya que su uso permite centralizar el almacenamiento de información para el análisis de la cuenca. Lo anterior estará

limitado por la existencia de información completa y por el monitoreo inadecuado (Naiman et al., 2014).

La evaluación de una cuenca requiere abarcar temas interdisciplinarios, caracterizar la cuenca y asumir relaciones demostrables entre las actividades antrópicas y el medio ambiente (Dahl, 2012; Naiman et al., 2014). Por consiguiente, algunas de las metodologías para evaluaciones a nivel cuenca consisten en medir el grado de sustentabilidad con base en la agregación de parámetros para obtener un índice general o mediante el análisis de riesgos con modelos integrados que involucran el acoplamiento de submodelos (Tabla 2.1). De forma resumida estas metodologías se describen a continuación.

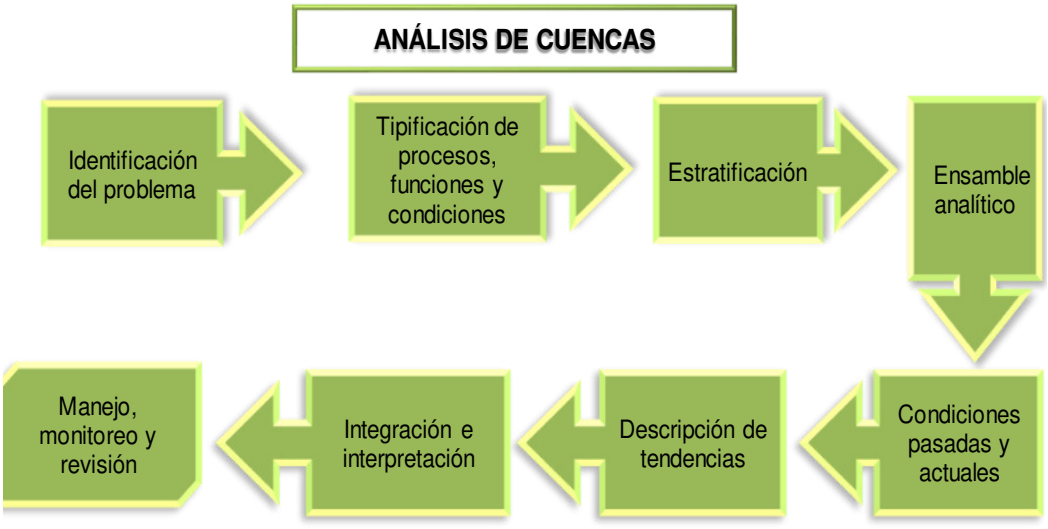


Figura 2.5 Pasos básicos para un análisis de cuenca, adaptada de Naiman et al. (2014).

2.7.1. Evaluación con índices de sustentabilidad

Esta metodología consiste en analizar la información mediante la agregación de indicadores en un índice, basada en la relación de diferentes variables y ponderando su importancia en la sustentabilidad de la cuenca. De manera que, el análisis se reduce a determinar el grado de sustentabilidad a un concepto o valor numérico único (Morales y Holguín, 2014). Estos índices facilitan el diagnóstico del progreso hacia objetivos que contribuyen al cumplimiento de la meta trazada para lograr el bienestar humano y ecosistémico en forma simultánea. Por consiguiente, con estos se puede evaluar la sustentabilidad de un sistema complejo, debido a su utilidad para monitorear cambios a través del sistema, incluyendo los componentes sociales, económicos y ambientales (Astier et al., 2008; Morales y Holguín, 2014)

Tabla 2.1. Aproximaciones empíricas que incluyen indicadores ambientales y socioeconómicos para el análisis de cuencas. Aplicación, ventajas y desventajas, adaptada de Naiman et al. (2014).

Tipo	Descripción	Aplicación	Ventajas	Desventajas
Índices de sustentabilidad	Los componentes reducen la complejidad de la descripción del sistema	Cuencas con población humana significante, permiten monitorear cambios a través del sistema	Amplía el conocimiento sobre cuestiones a escala de la cuenca	Requiere un monitoreo regular y análisis de datos, algunos de los cuales pueden ser difíciles de obtener
Modelos integrados	Modelos explícitos que combinan los factores sociales, económicos y ambientales de relevancia para la cuenca	Aún están en una etapa de ampliación; son los mejor aplicados a cuencas con pocas influencias humanas directas sobre los recursos	Permiten una perspectiva más realista, donde las actividades humanas y los valores son un componente central del ecosistema; posibilita un amplio rango de elecciones sociales y económicas a evaluar	El desarrollo de bases de datos es costoso y consume tiempo; con frecuencia los datos esenciales están incompletos y requieren de habilidad técnica

Debido a la no universalidad de un conjunto de indicadores y a la amplia variedad de estos, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD por sus siglas en inglés) propone utilizar un marco de análisis conceptual común basado en un modelo de presión-estado-respuesta (PER) (OECD, 2003). Este marco permite establecer la presión generada por las actividades antrópicas sobre los recursos, también identifica su estado actual y mide la respuesta a las acciones de mejora de las condiciones actuales (Partida-Sedas, 2018). Algunos otros marcos son la fuerza motriz-presión-estado-respuesta (DPSR), fuerza motriz-presión-estado-impacto-respuesta (DPSIR), Barómetro de Sostenibilidad (BS) y Panel de Sostenibilidad (DS) (da Silva et al., 2020). Para el marco de análisis se deben identificar los criterios que permitan seleccionar indicadores y validar su selección (los indicadores deben ser relevantes, medibles y contar con solidez analítica). Así mismo la metodología de análisis debe permitir evaluar su relación con el desempeño, enfatizando que solo es una herramienta y debe interpretarse en contexto para adquirir su significado completo (OECD, 2003).

La evaluación con el uso de un índice permite estimar la sustentabilidad de una cuenca mediante la ponderación de indicadores escalados según la clasificación definida para sus valores cuantitativos y cualitativos, como se muestra en la siguiente ecuación: $SI = (H + E + L + P)/4$; donde por sus siglas en inglés: índice de sustentabilidad (SI), hidrología (H), medio ambiente (E), calidad de la vida (L) y política - educación (P) (Belalcázar y Ortega, 2019). Algunos de estos índices son: el índice de sustentabilidad de cuencas (*WSI* por sus siglas en inglés) (Chaves y Alipaz, 2007) y el índice de sustentabilidad del agua de Java Occidental (WJWSI por sus siglas en inglés) creado por Juwana et al. (2012). Para el *WSI* cada uno de los cuatro indicadores

principales está integrado a su vez por un conjunto de parámetros en tres niveles relativos (presión-estado-respuesta) (Belalcázar y Ortega, 2019). Por otro lado, el *WJWSI* considera el uso de indicadores y subindicadores como la disponibilidad de agua, demanda, cambios de uso de suelo, educación, saneamiento, pobreza, salud, entre otros; estos indicadores están categorizados en los componentes de recursos hídricos, provisión de agua, capacidad y salud humana.

2.7.2. Evaluación con modelos integrados

Los modelos integrados permiten evaluar la susceptibilidad a riesgos de condiciones futuras mediante la exploración de escenarios de manejo alternativos, utilizando como recurso potencial a los SIG (Pande, 2020). Estos son eficaces para planificar y gestionar grupos de datos densos, además ofrecen las siguientes ventajas de trabajar en un medio informático: precisión, consistencia y ausencia de error generado por la máquina (Asgari, 2021; Pande, 2020). Los SIG son ampliamente utilizados en el manejo de datos densos para el monitoreo de procesos, manejo de inventarios y disponibilidad de recursos; así como para la gestión, manejo y visualización espacial de superficies. Lo anterior convierte a los SIG en una herramienta óptima para la evaluación de daños e identificación de riesgos. Igualmente, esta permite integrar submodelos para ejecutar un análisis rápido y útil en la planificación del desarrollo sustentable de la cuenca; entre los modelos a integrar en un SIG están los hidrológicos, cambio de uso de suelo, mapeo de acuíferos, entre otros (Pande, 2020).

Los modelos integrados permiten el acoplamiento de indicadores e índices de sustentabilidad, lo que facilita obtener información apropiada para determinar la conexión y clasificación de las relaciones existentes en el área de estudio. Además, que estos modelos permiten evaluar prioridades, hechos identificables y potenciales en el manejo de la cuenca (Naiman et al., 2014). Por lo cual, estos métodos de evaluación de cuencas admiten vincular diferentes modelos, como los de uso de suelo y modelos hidrológicos, con los efectos de indicadores ambientales y socioeconómicos. Lo cual facilita identificar las implicaciones a largo plazo de las actividades antrópicas (Keller et al., 2023; Naiman et al., 2014). Sin embargo, existen muy pocos modelos que puedan representar la coevolución del agua, la ecología y el sistema socioeconómico a escala de cuenca hidrográfica (Li, 2021). A pesar de que la mayoría de los modelos integrados se basan en la combinación de diferentes enfoques para la representación de un proceso o fenómeno, estos se diferencian en el grado de dependencia de la representación empírica que analizan. De igual manera la diferenciación puede estar ampliamente marcada por el nivel de

complejidad, los procesos que integra y las ecuaciones que considera para el análisis de procesos comunes o complejos (Keller et al., 2023).

Como un factor importante para la evaluación de cuencas y para propiciar un manejo integrado y colaborativo que establezca claramente los intereses y factores que permitan alcanzar un proceso efectivo para su gestión, los modelos integrados deben establecer las escalas espaciales de análisis tanto geográficas como sociales y políticas. Debido a que comúnmente los límites de los organismos gobernantes son diferentes a las fronteras físicas de las cuencas hidrográficas (Asgari, 2021). Por las razones antes mencionadas, los modelos integrados son una herramienta potencial para comprender sistemas complejos de cuencas hidrográficas y para implementar la gestión integrada de estas (Li, 2021).

2.8. Relación de pueblos indígenas y desarrollo sustentable

En 1997 en el Foro de las Américas del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), se subrayó la relación de los pueblos indígenas y el desarrollo sustentable, donde resalta que el fortalecimiento de la identidad cultural y la promoción del desarrollo socioeconómico sustentable son objetivos que se refuerzan mutuamente en lugar de excluirse. Por lo que los esfuerzos de desarrollo se basan en los valores locales, en las aspiraciones y en la organización social (Ortiz y Vázquez, 2015).

Dentro del desarrollo sustentable, la cultura se convierte en un activo en vez de un impedimento para este. Esta es el capital inicial para el progreso social y económico sustentable, ya que se ratifique en los valores, las aspiraciones y el potencial de los pueblos, por lo tanto, el desarrollo sustentable y la identidad cultural no se excluyen mutuamente (Ortiz y Vázquez, 2015; Paronyan et al., 2020). Por consiguiente, para los pueblos indígenas la tierra no es sólo un objeto de posesión y de producción, sino más bien, constituye la base de su existencia en los aspectos físico y espiritual. Lo anterior implica el derecho al patrimonio natural y cultural que contiene el territorio, y a determinar libremente su uso y aprovechamiento (Ortiz y Vázquez, 2015).

La contribución de los pueblos indígenas al desarrollo sustentable radica en los conocimientos y prácticas tradicionales relacionadas con la naturaleza, ya que asignan un valor importante al territorio que habitan con base en el eje de sustento e identidad espiritual, cultural y social. Por lo cual, el impacto generado por la pérdida de biodiversidad, degradación ambiental, actividades antrópicas, migración forzada y cambios de uso de suelo y cobertura vegetal afecta a su

supervivencia, oportunidad de desarrollo, conocimiento, entorno ambiental y salud (Paronyan et al., 2020). Debido a la estrecha relación de los pueblos indígenas con el medio ambiente, algunas condiciones que los hacen vulnerables son depender del territorio que habitan para su subsistencia y supervivencia, y la dificultad para expresar puntos de vista por diferencia de lenguaje. Asimismo, se enfrentan a la desigualdad en condiciones para el acceso de información pública, el ataque a sus derechos culturales y las diferencias de apreciación del valor del material de la tierra (Castañeda Rodríguez, 2021).

CAPÍTULO III

3. Planteamiento del problema

Actualmente las cuencas en el territorio mexicano son alteradas por la expansión agrícola, ganadera y urbana. Lo que genera consecuencias en su funcionamiento y capacidad de respuesta a fenómenos meteorológicos adversos y cambios en los patrones del clima. Esto sumado a las alteraciones generadas por las actividades antrópicas expone la armonía existente entre los ecosistemas y la sociedad, por lo que el efecto de esta relación detona riesgos como la degradación del suelo, la escasez del agua y cambios en la temperatura (Ramírez, 2020).

Las evaluaciones a nivel microcuenca permiten describir las relaciones entre las actividades desarrolladas y los recursos e identificar los riesgos y afectaciones ambientales generadas, así como conocer la susceptibilidad a riesgos ambientales en diferentes zonas de la microcuenca. Esto debido a que, desde el punto de vista de una escala de microcuenca es más notorio el efecto de la relación hombre y uso de suelo y agua (Pande, 2020). Además, a nivel microcuenca se pueden determinar las conexiones entre las actividades antrópicas con las afectaciones a los recursos naturales en las diferentes partes que la componen. Por consiguiente, un análisis a escala de microcuenca permite reconocer el nivel de sustentabilidad en el área de estudio y proporcionar información de importancia para el manejo y uso adecuado de los recursos existentes. Con la información obtenida es posible generar recomendaciones para la conservación y manejo de los recursos en la microcuenca, según los usos y servicios ecosistémicos potenciales; además representa una herramienta útil para la planeación territorial y el desarrollo sustentable de los municipios ubicados en esta.

La microcuenca de estudio se ubica en la región Otomí-Tepehua del estado de Hidalgo, donde existe un alto grado de marginación con un porcentaje de pobreza que supera el 75 %, con niveles de pobreza extrema y carencias por acceso a la alimentación entre el 25 y 50 %. En esta región, más del 70 % de la población está clasificada con un alto índice de rezago social y con ingresos por debajo de la línea de bienestar (CONEVAL, 2015). De igual manera, el área de estudio es susceptible a riesgos ambientales como deslaves y pérdida del suelo por erosión hídrica, debido a altas precipitaciones y a procesos de deforestación. El fenómeno de erosión en la región ha sido identificado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2009), este ubica a la microcuenca dentro de la segunda región del estado con mayor pérdida del suelo (más de 4,000 ton ha^{-1} $año^{-1}$ de pérdida de suelo). Lo anterior expuesto resalta la vulnerabilidad ambiental y social existente en el área de estudio.

Asimismo, la generación de información referente a la susceptibilidad a deslizamientos de suelo y erosión hídrica en laderas de la región de estudio permite evaluar la relación de estos eventos con las actividades antrópicas desarrolladas en la microcuenca. Esta información es importante para la gestión y planificación ambiental sustentable; lo cual está ligado con la disminución de estos fenómenos, en los cuales influyen las prácticas de conservación de suelo y los planes integrales de manejo a nivel de cuenca y no solo a nivel de ladera (Arabameri et al., 2020). Para la planificación del manejo sustentable de la microcuenca, es de importancia conocer las posibilidades de aprovechamiento en esta, como los son los servicios ecosistémicos y la explotación forestal maderable. Estos se presentan en el 4.39 % de la microcuenca con bosque de coníferas, en el 53.35 % con bosque mesófilo de montaña y en el 2.83 % con selva alta perennifolia. Estas coberturas vegetales en conjunto con la producción agrícola de temporal y pastizal (38.14 % de la microcuenca) definen las riquezas naturales y los usos del suelo en el área de estudio (Hinojosa-Pérez et al., 2023).

Realizar un análisis a nivel microcuenca de la sustentabilidad en términos del uso, manejo y conservación de los recursos naturales existentes mediante un índice general contribuye a generar información útil en la región. Donde no existe algún trabajo relacionado con la evaluación de la calidad del agua y suelo, el uso del suelo y cambio de cobertura en la microcuenca y el grado de susceptibilidad o vulnerabilidad del ecosistema integral ante alguna perturbación antrópica. Asimismo, no se ha analizado el efecto de los agroecosistemas, las condiciones socioeconómicas, las actividades productivas, y la relación de los valores, creencias y normas locales en el manejo de los recursos en la microcuenca. Por lo tanto, es de gran importancia conocer las interacciones entre el suelo y el agua con el ámbito socioeconómico para evaluar el nivel de sustentabilidad, lo que permitirá identificar riesgos ambientales existentes y el grado de vulnerabilidad del ecosistema integral por alguna intervención antrópica. Un análisis de este tipo permite recomendar prácticas de conservación del suelo y agua para el desarrollo de un manejo sustentable en la microcuenca.

3.1. Preguntas de investigación

El problema descrito plante las siguientes interrogantes:

- Pregunta general de investigación:
  ¿Cómo afecta a la sustentabilidad de la microcuenca la degradación de los recursos, y que consecuencias generan las condiciones socioeconómicas, el manejo de los agroecosistemas, y las actividades antrópicas de las poblaciones asentadas en esta?

- Preguntas particulares:

1. ¿Cuál es el efecto en la sustentabilidad de la microcuenca que ejercen los cambios de uso de suelo y la susceptibilidad a deslizamiento de suelo?
2. ¿Cómo afectan los valores, creencias y normas en la conservación de los recursos de la microcuenca y que efecto tienen en su sustentabilidad?
3. ¿Qué servicios ecosistémicos o usos potenciales ayudarían a mejorar la sustentabilidad de la microcuenca?

3.2. Hipótesis y objetivos

Hipótesis general

El manejo de los agroecosistemas, las actividades antrópicas, las condiciones socioeconómicas y los valores, creencias y normas locales impactan en el grado de sustentabilidad de la microcuenca del Río Pantepec.

Hipótesis especificas

1.- El grado de sustentabilidad de la microcuenca es función de factores ambientales como el uso de suelo y cobertura vegetal, la calidad del agua y el suelo, la susceptibilidad de alteración de los ecosistemas por acción antrópica y por el desarrollo socioeconómico.
2.- El grado de sustentabilidad es afectado por los deslizamientos del suelo.
3.- El grado de sustentabilidad tiene relación con los valores, creencias y normas locales.

Objetivo general

Valorar el impacto que han ejercido el manejo de agroecosistemas, las actividades antrópicas, las condiciones socioeconómicas y los valores, creencias y normas locales sobre la sustentabilidad de una microcuenca del Río Pantepec; para determinar un índice de sustentabilidad y proponer prácticas de desarrollo sustentable basadas en la conservación de los recursos y el aprovechamiento de los servicios ecosistémicos potenciales de la zona.

Objetivos específicos

- Evaluar el cambio de uso de suelo y cobertura vegetal, y los deslizamientos del suelo en una microcuenca mediante un modelo espacial, identificando la susceptibilidad de alteración de los

ecosistemas por acción antrópica, así como su relación con el manejo de agroecosistemas, y la calidad del agua y el suelo.

- Evaluar el grado de sustentabilidad de una microcuenca como consecuencia del tipo y manejo de los agroecosistemas, la calidad del agua y el suelo, la vulnerabilidad ambiental por las actividades antrópicas, las condiciones socioeconómicas y los valores, creencias y normas locales.
- Identificar la relación de las condiciones socioeconómicas, los valores, creencias y normas locales y las actividades antrópicas con la sustentabilidad de una microcuenca.
- Generar recomendaciones y propuestas para un manejo sustentable y conservación de los recursos, basadas en la riqueza natural y sus usos potenciales.

CAPÍTULO IV

4. Plan metodológico

4.1. Selección y descripción del área de estudio

La microcuenca del Río Pantepec se delimitó con datos del SIATL v4.0 (INEGI, s.f.) y está situada al noreste del estado de Hidalgo en la región Otomí-Tepehua. El área de estudio está conformada por el municipio de Tenango de Doria (48.78%), San Bartolo Tutotepec (46.21%) y Huehuetla (5.01%) (Figura 4.1). Es parte de la cuenca hidrológica del Río Tuxpan (RH27D) que pertenece a la Región Hidrológica Tuxpan-Nautla (RH27), ubicada en la subcuenca del Río Pantepec (RH27Dd). La microcuenca está dividida en seis regiones: microcuenca alta (región cuatro, cinco y seis), microcuenca media (región tres) y microcuenca baja (región uno y dos).

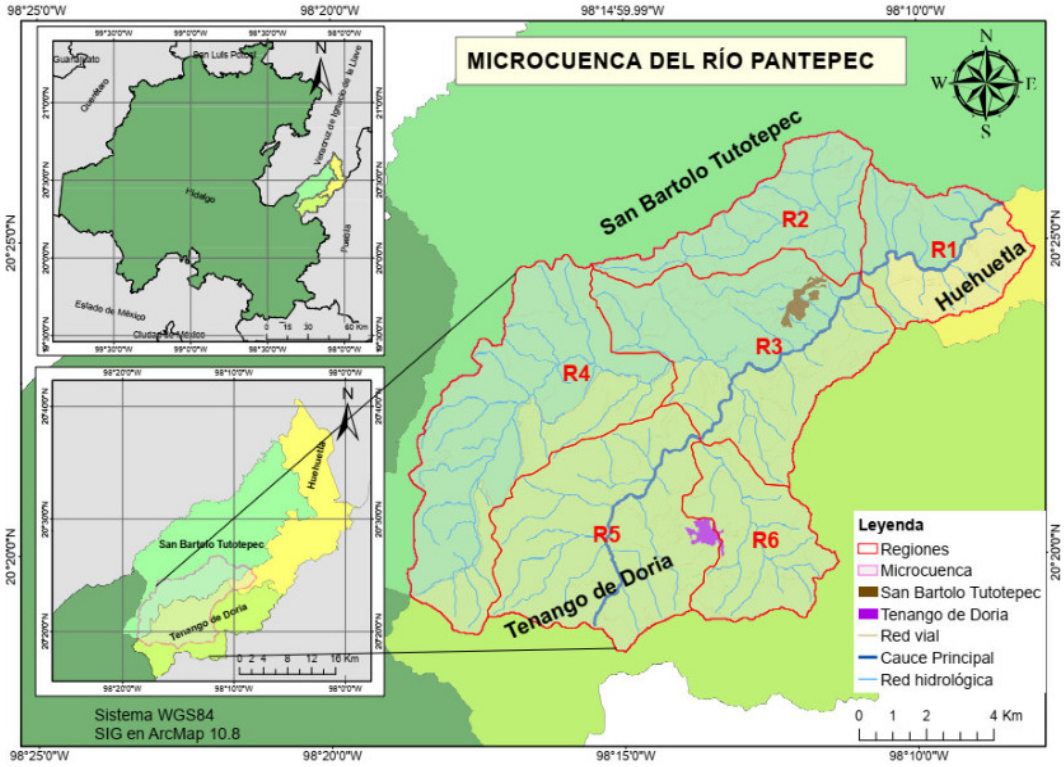


Figura 4. 1. Microcuenca del Río Pantepec, Hidalgo, delimitada con datos del SIATL v4.0 (INEGI, s.f.)

Para la evaluación de la sustentabilidad de la microcuenca es de relevancia la caracterización del ámbito ambiental, social y económico. Por lo cual, se recopilaron datos secundarios como los estadísticos y geográficos; y primarios como lo son muestras de suelo y agua, entre otros. Los datos primarios fueron obtenidos de los reportes de diferentes organismos e instituciones y la recopilación de datos secundarios se efectuó mediante trabajo de campo en la microcuenca.

4.2. Procedimientos para la obtención de datos y variables

DATOS SECUNDARIOS

- Cartografía del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para la caracterización de la zona de estudio (temperatura, clima, unidades de suelo, series II y VII de uso de suelo y vegetación) (INEGI, 2001, 2007a, 2007b, 2007c, 2021).
- Geología de la microcuenca obtenida del Servicio Geológico Minero (SGM, 2004).
- Modelo Digital de Elevaciones (MDE) e imágenes satelitales Landsat 8 de la microcuenca (USGS, s.f.).
- Datos históricos de precipitación de las normales climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), obtenidos de estaciones meteorológicas con influencia en la microcuenca (CONAGUA, 2010).
- Anuarios estadísticos y geográficos del estado de Hidalgo para los años 2004, 2008, 2012, 2013, 2015 y 2017 (INEGI, 2004, 2008, 2012, 2015, 2017).
- Estadísticas socioeconómicas del: Sistema Nacional de Información Municipal (SNIM, 2010a, 2010b, 2010c), censo de población y vivienda para el año 2010 (INEGI, 2010), Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2010a, 2010b), del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2019) y del Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2010).

DATOS PRIMARIOS

- ***Recorrido de campo de la microcuenca***

Para la verificación del tipo de uso de suelo y cobertura vegetal en la zona de estudios, se realizó un recorrido de campo. Este permitió confirmar las categorías de cobertura vegetal e identificar los agroecosistemas y prácticas de conservación aplicadas en las diferentes zonas de la microcuenca (cuenca alta, media y baja); así como georreferenciar los deslizamientos de suelo en laderas.

- ***Muestreo en campo de suelo y agua***

Muestreo del suelo

Se realizó un muestreo mixto, considerando primeramente un muestreo estratificado seguido de un sistemático de rejilla definido con el uso del SIG. En el muestreo estratificado la población se subdivide en regiones con base en la información previa del área de estudio (hidrología, cambio de uso de suelo, conservación de cobertura y población), para las culés se determinó el número de puntos necesarios para la colecta del material. Estos fueron georreferenciados a intervalos

regulares a lo largo de un patrón de rejilla según la accesibilidad al sitio y recomendaciones de la norma "NMX-AA-132-SCFI-2016" (NMX, 2016). Se obtuvo una muestra compuesta y una submuestra que se transportó bajo refrigeración.

- *Muestreo estratificado o zonificado*

Para el muestreo estratificado se zonificó el área de estudio con base en su importancia relativa, la cual se determinó en función de: extensión del área de estudio, hidrografía, cambio de uso de suelo y el aprovechamiento agropecuario o forestal. Para determinar el valor de la importancia relativa, se dividió el área de estudio en zonas, ponderando el grado de importancia en escala de 0 a 1. La mayor ponderación fue para el área que se cree que tiene mayor alteración. El número de muestras se determina con $n_{zn} = IR_{zn} * n_{min}$, donde: n_{zn} es el número de puntos de muestreo de la zona z_n (n = 1, 2, 3...), IR_{zn} es la Importancia relativa de la zona z_n y n_{min} es el número mínimo de puntos de muestreo (NMX, 2016).

- *Muestreo sistemático*

Muestreo con el uso de una cuadrícula sobrepuesta a cada región, las dimensiones de cada cuadro están en función de n_{min} y de la superficie de cada región. Las muestras fueron tomadas en las intersecciones de la retícula de la cuadrícula. Las dimensiones de la cuadricula se calcularon con $l = \left({}^{A}/_{n_{min}}\right)^{1/2}$, donde: l es la longitud de los lados del cuadro en m^2, A es la superficie en m^2 y n_{min} es el número de puntos de muestreo (NMX, 2016).

- *Número y distribución de los puntos de muestreo*

Para determinar el número de muestras de suelo se aplicó un muestreo probabilístico utilizando el estimador $Z_{a/2}$ (punto de distribución normal estándar) con un nivel de confianza a de 0.05 para un coeficiente de confianza de 95 % (1 - a) donde $Z_{0.025}$ es igual a 1.96 (Murray y Larry, 2009; Wackerly et al., 2010). Se consideró un error de estimación del 10 % y un valor de 0.5 como probabilidad de ocurrencia, que proporcionaría el máximo valor posible para *n*.

El cálculo del número de muestras para una población finita o desconocida se estimó con $n = \frac{Z^2 * p * q}{e^2}$, donde *n* es el tamaño de la muestra, *Z* es el porcentaje de fiabilidad, *p* es la probabilidad de ocurrencia, *q* es la probabilidad de no ocurrencia (1 - p) y *e* es el error de muestreo (Carrasco, 2005; Townsend, 2022). La suma de *p* y *q* debe ser uno (100 %). La Tabla 4.1 contiene el número de muestras (*n*) para el nivel de confianza de 95 %, *e* de 10 %, *p* y *q* de 50 %; y la Tabla 4.2 el

número de muestras para cada región determinado con $n_{zn} = IR_{zn} * n_{min}$ y según el muestreo mixto. La distribución de algunos puntos fue modificada considerando la cercanía a la red vial, el relieve y la geometría de la región en cuestión, reubicando así puntos de difícil acceso por la topografía o los cauces y arroyos.

Tabla 4.1.Tamaño de la muestra para un nivel de confianza de 95 %, probabilidad de ocurrencia de 0.5 y error de estimación de 10 %.

Nivel de confianza	a/2	*Z*	Z^2	*p*	*q*	*e*	e^2	*n*	Muestras
95%	0.025	1.96	3.842	0.5	0.5	0.10	0.010	96.05	96

Tabla 4.2. Número de muestras por región.

Regiones	IR	Área (m^2)	No. de muestras	Longitud de cuadricula (m)
R1	0.1	16,470,000	9	1352
R2	0.1	16,630,000	10	1289
R3	0.3	33,080,000	29	1068
R4	0.2	37,850,000	19	1411
R5	0.2	32,900,000	19	1315
R6	0.1	14,770,000	10	1215
Total	**1.0**	**151,700,000**	**96**	

- *Obtención de muestras y transporte*

Ubicado el punto de muestreo en campo, se obtuvieron muestras de suelo en un radio de cinco metros para ser mezcladas y obtener una muestra compuesta de aproximadamente tres kilogramos, de la cual se tomaron 300 g para transportarse en refrigeración. A cada muestra se le colocó doble bolsa de plástico y etiqueta para su transporte en costales.

- *Secado, cribado y almacenaje de muestras*

Las muestras fueron secadas al día siguiente a temperatura ambiente bajo sombra y posteriormente cribadas en la malla del No. 10. Los 300 g refrigerados fueron cribados en la malla No. 100 para determinaciones de materia y carbono orgánico. Posteriormente, todas las muestras fueron almacenadas hasta el momento de la determinación de parámetros físicos y químicos del suelo.

Muestreo del agua

- *Muestreo sistemático por diferencia de elevaciones*

Las muestras de agua fueron tomadas con base en el desnivel del cauce principal y de los arroyos tributarios. Para un muestreo sistemático, es esencial asegurar que la frecuencia del muestreo

no coincida con algún ciclo natural que se presente en el sistema, o con cualquier otro basado en el efecto del tiempo (NMX, 2008); por lo que se realizará en época de estiaje. Las botellas deben ser llenadas directamente del cuerpo de agua a ser muestreado y se debe evitar la contaminación de la muestra por disturbios, ya sea del lecho o de la ribera del curso de agua.

- *Muestreo directo*

El muestreo directo representa un riesgo mínimo de contaminación y asegura una muestra representativa. Sin embargo, no se deben emplear recipientes que contengan preservadores. Debe ser aplicado cuando se está seguro de que no es peligroso. Antes de realizar un muestreo directo, los recipientes deben ser enjuagados con el agua del cauce (NMX, 2008). Para la preparación de los recipientes, primeramente, fueron enjuagados con ácido nítrico al 10 % y posteriormente con agua destilada. Para el muestreo, el recipiente se introdujo en el cuerpo de agua a contracorriente contra el flujo de agua, se retiró el tapón del recipiente dentro del agua y se aseguró una profundidad suficiente para que la muestra no se contaminara por sedimentos del fondo. Mientras el recipiente se encontraba sumergido, se desalojó el aire antes de taparlo.

- *Obtención de muestras simples y puntuales; preservación, transporte y almacenaje*

Se realizó un muestreo subsuperficial (dentro de los 25 cm de la superficie de agua). Se obtuvieron parámetros físicos *in situ* y en laboratorio (pH, conductividad eléctrica, turbidez, entre otros). De todos los sitios se recopilaron tres muestras de agua para determinar DBO_5, coliformes totales, carbono orgánico total (COT) y nitrógeno total (NT). Para la determinación de oxígeno disuelto, el muestreo se realizó con botellas Winkler de vidrio, el oxígeno inicial se fijó con dos mililitros de sulfato manganoso según el procedimiento de la norma “NMX-AA-012-SCFI-2001” (NMX, 2001). Para la prueba de DBO_5 se recolectaron muestras en botellas de polietileno con capacidad de un litro y para las determinaciones de carbono y nitrógeno total se recolectaron muestras en botellas de 120 ml, estas se preservaron a pH menor de 2 con la aplicación de ácido sulfúrico. Así mismo se colectaron muestras en vasos estériles que se utilizaron para la determinación de coliformes totales. Para la obtención de las muestras se siguieron las recomendaciones mencionadas en el apartado del muestreo directo, posteriormente se transportaron al laboratorio en hieleras, asegurando el enfriamiento de estas. Las muestras se mantuvieron en refrigeración hasta el momento de la determinación de los parámetros químicos en laboratorio.

- ***Estudio de percepción mediante encuestas***

Se realizó un estudio de percepción en localidades de dos regiones en la microcuenca para determinar la influencia de valores, creencias y normas en la conservación del medio ambiente. Se aplicó un cuestionario de 23 preguntas, las cuales están enfocadas a aspectos que influyen en el uso y conservación de los recursos; para lo cual se consideraron temas ambientales, tradicionales, de interés propio y de apertura al cambio (Anexo A). Para la aplicación de las encuestas se considera que la heterogeneidad de los datos existe por los factores demográficos (género, educación, edad y ocupación), valores (tradición, interés propio y apertura al cambio), creencias (ideología y conocimiento ambiental) y normas (usos y costumbres aplicados al ámbito ambiental) presentes en las localidades donde se realizaron las encuestas (Granco et al., 2019).

En primera instancia el cuestionario permitió obtener datos de ubicación, género, ocupación, lengua indígena y del conocimiento de prácticas para el mejoramiento de tierras agrícolas y el manejo de la basura (Pregunta 1 a 7). Asimismo, se recopiló información respecto al uso y obtención del agua, participación en cursos del cuidado del medio ambiente y cuantificación de personas que conocen la reserva existente en la zona y están a favor de reglas para el uso de los recursos naturales (Preguntas 8 a 11 y 15 a 19). De las 23 preguntas, cinco contaban con una sección de respuesta abierta enfocadas a la erosión, cuidado del medio ambiente, la existencia de zonas protegidas como las reservas naturales y de zonas turísticas (Pregunta 12, 13, 14, 20 y 21). Las preguntas 22 y 23 están enfocadas en evaluar el conocimiento de árboles endémicos y la práctica de celebraciones o fiestas que promuevan o enseñen el cuidado del medio ambiente.

- *Número y distribución de las encuestas*

Para el cálculo del número de encuestas se consideró la población existente en la microcuenca, año 2010 y 2020 (INEGI, 2010b, 2020) (Tabla 4.2). Debido a que las encuestas se aplicaron a habitantes mayores de 18 años, el cálculo del número de encuestas se realizó con la población correspondiente a 15 años y más para el año 2020. El número de encuestas se calculó para una población finita ($n = \frac{Z^2 * p * q}{e^2}$, donde *n* es el tamaño de la muestra, *Z* es el porcentaje de fiabilidad, *p* es la probabilidad de ocurrencia, *q* es la probabilidad de no ocurrencia y *e* es el error de muestreo). Para la región tres (R3) se consideró un total de 94 encuestas y 93 encuestas para la región cinco (R5) con un nivel de confianza del 95 % y un error de muestreo del 10 %.

Para la aplicación de las encuestas R3 y R5 fueron seleccionadas debido a que facilitan contrarrestar el uso de suelo y el aprovechamiento potencial de servicios ecosistémicos. En R3

se presentó el mayor impacto en el cambio de uso del suelo y cobertura vegetal; ya que en esta región se ubican las coberturas vegetales de agricultura de temporal, pastizal cultivado e inducido, las cuales fueron las de mayor vulnerabilidad al cambio (Tabla 4.3, Figura 4.2b). Por otro lado, en R5 se presentan opciones potenciales de conservación de recursos mediante la creación de reservas o la asignación de áreas naturales para servicios ecosistémicos importantes (Figura 4.2a).

Tabla 4.3. Población total y de más de 15 años en la microcuenca por región, obtenido de INEGI (2010; 2020).

Región	2010		2020	
	Población total	15 y más	Población total	15 y más
R1	1118	680	909	626
R2	1676	1152	1602	1195
R3	8276	5638	9082	6623
R4	819	497	755	508
R5	4972	3422	5358	3961
R6	1361	888	1415	979
Microcuenca	**18222**	**12277**	**19121**	**13892**

Tabla 4.4. Superficie en la microcuenca para cada categoría e índices de ganancia (g_p), perdida (l_p) y cambio neto (n_p), periodo 1993 – 2022.

Categoría	g_p	l_p	n_p	Superficie (ha)	(%)
Pastizal cultivado	0.10	**1.91**	**-1.80**	235.89	**1.56**
Agricultura de temporal	0.19	**1.66**	**-1.47**	2,677.41	**17.65**
BP	0.45	0.10	0.35	665.55	4.39
BMM	0.42	0.22	0.20	8,092.62	53.34
Selva alta perennifolia	0.08	0.10	-0.02	429.66	2.84
Pastizal inducido	**7.93**	0.77	**7.16**	2,870.73	**18.93**
Urbano	0.61	0.01	0.60	196.65	1.29

Bosque de pino (BP), bosque mesófilo de montaña (BMM).

- *Ejecución de las encuestas*

Primeramente, el cuestionario se aplicó en las localidades que conforman cada región, ante cada encuestado se realizó una explicación breve de la procedencia del encuestador y los temas de la encuesta. Se buscó generar la confianza para que el encuestado respondiera de forma irreflexiva y considerara la opción de responder “No lo sé”, de tal manera que la respuesta representará las primeras ideas generadas sobre el tema cuestionado. El recorrido de campo para la aplicación de encuestas finalizó en la cabecera municipal de San Bartolo Tutotepec y Tenango de Doria. Se encuestaron a alumnos de la Licenciatura de Desarrollo Sustentable y Producción Agropecuario Sustentable de la Universidad Intercultural del Estado de Hidalgo (UIEH) ubicada en Tenango de Doria, donde se identificaron alumnos pertenecientes a R3 y R5. Para su registro, a cada

encuesta se le asigno un número de folio y fue agregada en una base de datos para el análisis posterior por región.

4.2a) Uso de suelo y cobertura vegetal

4.2b) Regiones vulnerables y categorías inestables al cambio

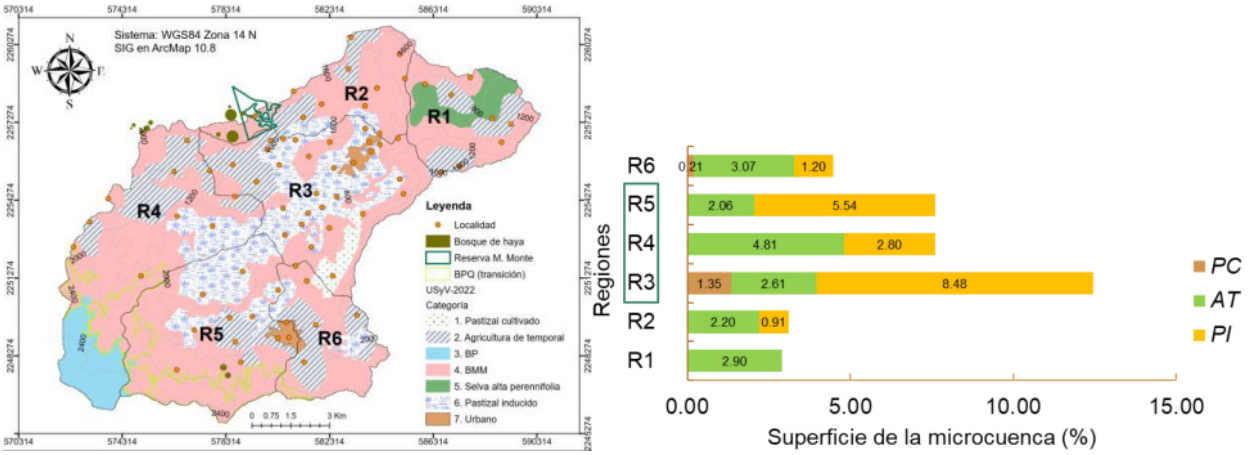


Figura 4.2. a) Uso de suelo y cobertura vegetal por región; b) Regiones vulnerables y categorías de uso de suelo y cobertura vegetal con menor tendencia de permanecer estables. Elaboración propia. Pastizal cultivado (*PC*), agricultura de temporal (*AT*) y pastizal inducido (*PI*).

4.3. Procedimientos para la caracterización de la microcuenca

La recopilación de datos y variables de diferentes fuentes, así como la información y muestras obtenidas de los recorridos de campo, permitió la caracterización y descripción del aspecto ambiental, social y económico que definieron la sustentabilidad de la microcuenca. Con respecto al ámbito ambiental se identificó la dinámica del cambio de uso de suelo y cobertura vegetal durante el periodo de 1993 – 2022, la captura de carbono en el suelo, las áreas susceptibles a conservación en el área de estudio, la distribución espacial de la erosión hídrica y el deslizamiento del suelo.

Para el aspecto socioeconómico se analizaron los datos reportados por el censo de población y vivienda para el año 2010, así como el desarrollo socioeconómico en los municipios que conforman la microcuenca. Se consideraron parámetros como el Índice de Desarrollo Humano (IDH), Índice de Rezago Social (IRS), Índice de Marginación (IM), Población Económicamente Activa (PEA), población ocupada y desocupada, población no económicamente activa y la Tasa de Participación Económica (TPE). Estos fueron comparados con los municipios que muestran el valor más crítico y el más favorable a nivel estatal.

Finalmente se realizó un análisis FODA que permitió evaluar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que definen la vulnerabilidad de la microcuenca, lo que facilita identificar la capacidad de respuesta y percepción de la realidad (Soares y García García, 2017). En el análisis FODA las amenazas representan situaciones del entorno que atentan contra su estabilidad, las fortalezas son las capacidades especiales y recursos con los que cuenta la microcuenca, las debilidades refieren a los factores que provocan una posición desfavorable y las oportunidades son los factores positivos y favorables en el entorno (OCC, 2021). A continuación, se describen los procedimientos específicos para determinar el uso de suelo y cobertura vegetal, la captura de carbono en el suelo, la distribución espacial de la erosión hídrica y el deslizamiento del suelo en el área de estudio.

4.3.1. Uso de suelo y cobertura vegetal

Para determinar el uso de suelo primeramente se realizó la recopilación de información correspondiente a las principales actividades agropecuarias y forestales que se desarrollan en la microcuenca. Para lo cual se utilizó información reportada por el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) del estado de Hidalgo de los periodos 2004 – 2007 y 2009 – 2014, así como datos del Inventario Estatal Forestal y de Suelos (IEFyS) y de los anuarios estadísticos y geográficos de Hidalgo. Posteriormente se identificó el tipo de uso de suelo y cobertura vegetal mediante información vectorial y tipo ráster para los años 1993, 2011 y 2022, la categorización de este se muestra en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Descripción jerarquía utilizada en la evaluación del cambio de uso del suelo y cobertura vegetal en la microcuenca, adaptado de INEGI (2014).

Grupo	Tipo de vegetación y uso de suelo	Categoría	Símbolo
I Cultivo	Agricultura (con labores de cultivo)	1. Pastizal cultivado	Pastizal cultivado
	Agricultura (temporal)	2. Agricultura de temporal	Agricultura de temporal
II Bosque	Coníferas	3. Bosque de pino	BP
	Mesófilo de montaña	4. Bosque mesófilo de montaña	BMM
III Selvas	Perennifolia	5. Selva alta perennifolia	Selva alta perennifolia
IV Pastizal	Pastizal inducido	6. Pastizal inducido	Pastizal inducido
V Otras coberturas	Asentamiento humano	7. Urbano	Urbano

Para determinar el mapa de uso de suelo y cobertura vegetal, la cartografía correspondiente para cada año de estudio se incorporó en un sistema de información geográfica (SIG) en ArcMap 10.8 y en el software QGIS 2.18.10. Las entradas cartográficas para cada año se proyectaron al sistema geodésico de coordenadas geográficas WGS84 UTM zona 14N. La verificación de compatibilidad entre la cartografía disponible incluyó una revisión detallada del tipo de vegetación y uso de suelo presente en la microcuenca que asegura la semejanza de las categorías en los

tres conjuntos de datos. Para identificar que los límites de polígonos y etiquetamientos correspondieran al área de estudio, se realizó sobre posición de los polígonos en el SIG. Como resultado de este proceso, se identificó que existe una diferencia de aproximadamente 0.011% entre la superficie total de la microcuenca obtenida con datos vectoriales y de tipo ráster, lo anterior debido al tamaño de píxel del mapa en formato ráster.

El procedimiento anterior permitió obtener mapas tipos ráster con una resolución de celda de 30 metros. Para el año inicial (1993) se utilizó la cartografía de INEGI de uso del suelo y vegetación escala 1:250,000 Serie II (INEGI, 2001) y para el año 2011 la elaborada por CONAFOR en escala 1:50,000 para Hidalgo. Esta última cartografía está basada en imágenes RapidEye (2011 – 2012) complementada con información del INFyS periodo 2013 – 2014 y la carta de uso del suelo y vegetación serie V (2013) de INEGI (CONAFOR, 2021). Para la cartografía del año final (2022) (USyV-2022) se realizó una clasificación supervisada de la microcuenca con una imagen Landsat 8 del mes de marzo del 2022 con resolución de celda de 30 metros. Además, se consideró el conjunto de datos vectoriales de la Serie VII (2018) del INEGI en escala 1:250,000 (INEGI, 2021) y 98 puntos georreferenciados para verificar el tipo de cobertura vegetal en la microcuenca, los cuales fueron registrados entre los meses de septiembre y octubre del 2022.

Para el análisis del cambio de uso de suelo y cobertura vegetal se utilizó la herramienta MOLUSCE (*Methods Of Land Use Change Evaluation*) de QGIS 2.18.10, la cual está diseñada para analizar, modelar y simular cambios del uso del suelo. Esta herramienta establece las probabilidades de cambio a partir de información histórica para un intervalo de tiempo, además permite obtener mapas de transición y matrices de cambio (Asia Air Survey y NextGIS, 2013; GISLAB, 2014). Los datos obtenidos con el SIG y MOLUSCE se utilizaron para calcular las tasas de cambio según la metodología definida por la FAO (1996) (Tabla 4.6).

A partir de la matriz de cambio se estimó el intercambio (Int), ganancia (G_{ij}), pérdida (L_{ij}), cambio total y neto (C_t y C_n) para el intervalo total de análisis (1993-2022), según las ecuaciones definidas por Aldwaik & Pontius (2012), Farfán G. et al. (2016) y Pontius et al. (2004) (Tabla 4.6). La información obtenida permitió determinar para los 29 años de análisis los índices de pérdida (l_p), ganancia (g_p) y cambio neto (n_p) según las ecuaciones de Braimoh (2006). Por último, se obtuvo el diagrama de flujo que muestra el cambio entre categorías y el mapa de transición que muestra mediante una escala de colores la conversión de una categoría de uso de suelo a otra, así como la permanencia de esta.

Tabla 4.6. Metodología para la determinación de la tasa de cambio, ganancia, pérdida, intercambio, cambio total y neto.

Determinación	Datos	Metodología	Fuentes
Tasa de cambio en % ($r_{t_1-t_2}$)	Superficie de uso del suelo en el año inicial (*Fc1*) y final (*Fc2*). Duración del periodo evaluado (*t)*	$r_{t_1-t_2} = \left(\left({Fc_2}/{Fc_1}\right)^{1/t} - 1\right) * 100$	FAO (1996)
Ganancia (G_j)	Superficie total de la categoría *j* en el año final (P_{+j}), persistencia en la diagonal de la matriz de cambio (P_{jj})	$G_j = (P_{+j}) - (P_{jj})$	Aldwaik y Pontius (2012); Farfán et al., (2016); Pontius, Shusas y McEachern (2004)
Pérdida (L_{ij})	Superficie total de una categoría (P_{i+}) del año inicial, persistencia (P_{jj})	$(P_{jj}), L_{ij} = (P_{i+}) - (P_{jj})$	
Intercambio (Int)	Ganancia (G_j), pérdida (L_{ij})	$Int = 2\ x \min(G_j, L_{ij})$	
Cambio total (C_t)		$C_t = G_j + L_{ij}$	
Cambio neto (C_n)	Cambio total (C_t), Intercambio (Int)	$C_t = C_n + Int;\ C_n = C_t - Int$	
Índice de pérdida (l_p)	Pérdida (L_{ij}), persistencia (P_{jj})	$\left(l_p = {L_{ij}}/{P_{jj}}\right)$	
Índice de ganancia (g_p)	Ganancia (G_j), persistencia (P_{jj})	$\left(g_p = {G_j}/{P_{jj}}\right)$	Braimoh (2006)
Índice de cambio neto (n_p)	Índice de ganancia (g_p), Índice de pérdida (l_p)	$(n_p = g_p - l_p)$	

4.3.2. Captura de carbono en el suelo y áreas de conservación

Primeramente, para identificar áreas potenciales para captura de carbono en el suelo y de conservación ambiental se determinó la concentración de carbono total (CT) para las 98 muestras de suelo que fueron transportadas bajo refrigeración. Estas se procesaron en el complemento TOC SSM-5000A del equipo TOC-LCSH/N, ubicado en el laboratorio nueve del área académica de química de la UAEH. La identificación de áreas naturales aptas para la conservación se realizó con datos reportados en el ordenamiento ecológico territorial de Hidalgo (Gobierno de Hidalgo, 2022) y el Inventario Estatal Forestal y de Suelos (IEFyS) (CONAFOR, 2014). Finalmente, la información obtenida permitió ubicar espacialmente las zonas potenciales para captura de carbono en el suelo y de conservación en la microcuenca.

Para obtener la distribución espacial del CT los valores obtenidos con el TOC SSM-5000A para cada muestra fueron interpolados con el método de ponderación de distancia inversa (IDW) en un SIG. La conversión del porcentaje de CT a toneladas por hectárea se obtuvo al considerar la profundidad de muestreo en metros (P_{dm}) y la densidad aparente (Da) (Tabla 4.7) que se determinó con el método de la probeta. El cual consiste en colocar una masa de suelo en una probeta de 10 ml y después de una serie de golpes (10 golpes a 5 cm de altura) se afora y vuelve a pesar. Con la diferencia de pesos de la probeta vacía y con suelo, se obtiene el peso de la muestra para un volumen de 10 ml (Ayala y Monterroso, 2021; SEMARNAT, 2002).

Posteriormente a la determinación anterior, se realizó la conversión de la concentración en porcentaje del CT a CO_2 mediante la aplicación del factor de 3.66 al % CT. Este factor se calculó considerando que cada mol de CO_2 contiene 12 g de C (44/12) y que para cada gramo de carbono asimilado se retiran de la atmósfera 3.66 g de CO_2 (Carbajal Ávila et al., 2017). Esta constante también es utilizada en el reporte de cambio climático, donde refiere como unidad de medida del ciclo de carbono global a GtC (1 *Gt* = 1000,000,000 toneladas) o $GtCO_2$, donde 1 GtC corresponde a 3.667 $GtCO_2$ (IPCC, 2014). El cálculo del CT y CO_2 en t ha^{-1} permitió determinar el valor total en toneladas para la microcuenca al multiplicar el valor promedio por el total de la superficie en hectáreas (Tabla 4.7). Finalmente, para la identificación de áreas naturales aptas para la conservación se realizó la superposición de los mapas de zonificación forestal y conservación con la microcuenca, lo cual facilito observar áreas potenciales para la protección ambiental.

Tabla 4.7. Metodología para determinar el carbono total (CT) y CO_2 en t ha^{-1}, valor promedio de cada parámetro y total en la microcuenca.

Parámetro	Metodología	Promedio (t/ha)	Microcuenca (15,170 ha)	
			(t)	(Mt)
CT (t/ha)	$CT = \frac{(PS * \%CT)}{100}$ $PS = (Da * Pdm) * 10^4$ Método de la probeta para Da $\mathrm{Da} = \frac{peso\ del\ suelo\ seco\ (g)}{Volumen\ total\ (cm^3)}$	96.92	1,470,276.40	1.47
CO_2 (t/ha)	$CO_2 = 3.66 * \%CT$	354.73	5,381,254.10	5.38

Carbono total del suelo (CT), peso del suelo en toneladas (PS), densidad aparente en g cm^{-3} (Da), profundidad de muestreo en metros (P_{dm}).

4.3.3. Erosión hídrica

Dentro de los modelos empíricos más utilizados globalmente para cuantificar la pérdida del suelo por flujos hídricos (Arias-Muñoz et al., 2023; Benavidez et al., 2018) están el modelo RUSLE (Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo por sus siglas en inglés) (Renard et al., 1991; Renard et al., 1997). RUSLE cuenta con un algoritmo computarizado flexible que compensa la deficiencia de datos (Ebrahimzadeh et al., 2018; Renard et al., 1997) y permite su aplicación a diferentes condiciones y regiones con la mínima información disponible (Ebrahimzadeh et al., 2018). Este modelo aborda diferentes ecuaciones para el cálculo de subfactores como la erosividad por la precipitación, erodabilidad del suelo, y la inclinación y longitud de la pendiente (Ec. 1) (Benavidez et al., 2018; Zhang et al., 2017). La multiplicación de estos factores ha sido

exitosamente computarizada en un entorno de SIG (Ecuación 1), lo que permite una amplia manipulación de datos y generación de mapas útiles para visualizar los factores actuantes y la pérdida media anual del suelo (Kayet et al., 2018; Potić et al., 2022).

$$A = R\,K\,LS\,C\,P \qquad \textit{(Ec. 1)}$$

Donde *A* es la pérdida media anual del suelo (t ha^{-1} año^{-1}); *R* es la erosividad que genera la precipitación (MJ mm ha^{-1} h^{-1} año^{-1}); *K* es la erodabilidad del suelo (t ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}); *LS* es el factor que considera la longitud e inclinación de la pendiente (adimensional); *C* es el factor que define la cobertura vegetal y manejo del suelo (adimensional); y *P* considera las prácticas de control de erosión (adimensional). Los dos últimos factores están escalados en valores de cero a uno (Renard et al., 1997). La metodología aplicada para obtener cada factor de RUSLE se observa en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8. Componentes de RUSLE para estimar la pérdida de suelo.

Factor de RUSLE	Datos	Metodología	Referencia
Erosividad (*R*)	Precipitación media anual (*P*) periodo 1981-2010	$R\ (P < 850\ mm) = 0.04830P^{1.61}$ $R\ (P > 850\ mm) = 587.80 - 1.219P + 0.004105P^2$	CONAGUA (2010); Renard y Freimund (1994)
Erodabilidad (*K)*	Porcentaje de arcilla (*%arcilla*), limo (*%limo*), arena (*%arena*) y carbono orgánico (*%CO*) del suelo	*K = 0.1317*A.B.C.D* $A = \left[0.2 + 0.3exp\left(-0.256 * \%arena * \left(1 - \frac{\%limo}{100}\right)\right)\right]$ $B = \left(\frac{\%limo}{\%arcilla + \%limo}\right)^{0.3}$ $C = \left[1 - \frac{0.25 * \%CO}{\%CO + exp(3.72 - 2.95 * \%CO)}\right]$ $D = \left[1 - \frac{0.7 * \left(1 - \frac{\%arena}{100}\right)}{\left(1 - \frac{\%arena}{100}\right) + exp\left(-5.51 + 22.9 * \left(1 - \frac{\%arena}{100}\right)\right)}\right]$	Sharpley y Williams (1990)
Factor topográfico (*LS*)	Modelo digital de elevaciones (MDE), inclinación de la pendiente (θ)	$LS = \left(\lambda/22.13\right)^m * S$ $m = \beta/(1+\beta)$ $\beta = \frac{Sen\,\theta/0.0896}{3(Sen\,\theta)^{0.8} + 0.56}$ $\lambda = \left(\frac{FA * (píxel\ XY)}{3.1416}\right)^{0.5}$ $S = 10.80 * Sen\,\theta + 0.03$; *pendiente < 9 %* $S = 16.80 * Sen\,\theta - 0.5$, *pendientes ≥ 9 %*	Wischmeier y Smith (1978); Bolton et al. (1995); McCool y Stankey (2004)
Factor cobertura vegetal y manejo del suelo (*C*)	Imagen Landsat 8, serie VII de INEGI y 98 puntos de verificación en campo	Clasificación supervisada de la imagen satelital y asignación del coeficiente *C* según literatura (Tabla 5.8)	USGS (s.f.); INEGI (2021)
Factor de prácticas de control de la erosión (*P*)	Registro de campo	Mediante recorrido de campo de la microcuenca se identificó la inexistencia de prácticas de conservación, se asignó el valor de la unidad	Kayet et al. (2018); Mahala (2018)

La asignación del coeficiente del factor *C* se realizó según el uso de suelo para el año 2022 (USyCV – 2022) y según los valores reportados en la literatura para usos de suelo semejantes a los existentes en la microcuenca (Tabla 4.9). Por último, el mapa de erosión del suelo se obtuvo

mediante la aplicación del modelo RUSLE en ArcMap 10.8, para este proceso se utilizó la herramienta calculadora ráster (*Raster Calculator*) que permitió multiplicar los mapas ráster del factor *R*, *K*, *LS* y *C*.

Tabla 4.9. Factor *C* considerado para la microcuenca.

Cobertura vegetal y uso de suelo	Factor C	Rango	Referencia
Pastizal cultivado	*0.40*	0.10 a 0.70	Röder et al. (2006); Ganasri y Ramesh (2015); Gelagay y Minale (2016); Mahala (2018)
Agricultura de temporal	*0.70*		
Bosque de pino	*0.01*	0.003 a 0.01	Wischmeier y Smith (1978); Röder et al. (2006); Lianes et al. (2009); Kayet et al. (2018); Singh et al. (2023)
Bosque mesófilo de montaña	*0.08*	0.037 a 0.08 (regenerado)	
Bosque de pino-encino	*0.15*	0.01 a 0.15 (degradado)	
Selva alta perennifolia	*0.004*	0.001 a 0.004 (inalterado)	Wischmeier y Smith (1978); Lianes *et al.* (2009)
Pastizal inducido	*0.20*	0.01 a 0.20 (bajo pastoreo)	Wischmeier y Smith (1978); Lianes *et al.* (2009); Benavidez *et al.* (2018)
Zona urbana	*0*	-	Arias-Muñoz *et al.* (2023)

4.3.4. Deslizamiento del suelo en laderas

Desde la perspectiva de los factores inductores de los deslizamientos de suelo, el flujo de entrada aguas arriba es el principal desencadenante para el inicio del movimiento del material en la base del depósito (Ge et al., 2021). El efecto de este factor dependerá de las condiciones físicas y de las actividades antrópicas que intervienen en el deslizamiento de laderas. Por lo cual para el área de estudio se consideraron los siguientes factores condicionantes: pendiente, uso de suelo y cobertura vegetal, geomorfología, tipo de textura y porcentaje de carbono orgánico del suelo; como factor desencadenante se consideró a la precipitación máxima mensual acumulada para el periodo de 1981 – 2010.

Para cada factor se obtuvo un mapa ráster con resolución de celda de 30 m, este fue categorizado según su nivel de susceptibilidad de deslizamiento del suelo (Tabla 4.10 y Anexo B). La categorización fue definida en una escala de uno a siete, donde la categoría con mayor susceptibilidad corresponde al número más alto. El factor condicionante se obtuvo con la agregación de los mapas categorizados según el peso considerado para cada parámetro (Tabla 4.10). Posteriormente el mapa de deslizamiento se obtuvo con la agregación del mapa de factores condicionantes y el de precipitaciones máximas mensuales ponderados según el valor de importancia, 85 % para los factores condicionantes y 15 % para el factor desencadenante. Finalmente, la distribución espacial de susceptibilidad de deslizamiento se comparó con los deslaves reportados en notas periodísticas del año 2010 al 2022, el atlas de riesgos naturales de

Tenango de Doria (SEDATU, 2013) y la georeferenciación de deslaves identificados durante los recorridos de campo del año 2022 y 2023.

Tabla 4.10. Categorización de los parámetros para susceptibilidad de deslizamiento.

Factor		Importancia del parámetro	Clasificación	Categoría
Condicionante (85%)	Pendiente	0.5292	Muy alta (>45%)	5
			Alta (25 – 45%)	4
			Moderada (15 – 25%)	3
			Baja (5 – 15%)	2
			Muy baja (0 – 5%)	1
	Uso de suelo y cobertura vegetal	0.2242	PI	7
			AT	6
			PC	5
			BP	4
			BMM	3
			SAP	2
			Urbano	1
	Geomorfología	0.1294	Mm_Rllac	7
			Mm_Rcl	6
			Mm_Rba	5
			Ml-m_Rpdr	4
			Mf_Rcl	3
			Mf_Rlal	2
			Mf_Rba	1
	Tipo de textura	0.0682	Gruesa (> 65% de arena)	3
			Fina (> 35% fina)	2
			Media (Franca)	1
	%CO	0.0498	Muy alta (< 60)	4
			Alta (60 – 90)	3
			Media (90 – 150)	2
			Baja (> 150)	1
Desencadenante (15%)	Precipitación máxima mensual acumulada	1.00	Muy alta (4,664 – 5,131)	4
			Alta (4,239 – 4,663)	3
			Media (3,678 – 4,238)	2
			Baja (2,963 – 3,677)	1

Mayor (7) — Susceptibilidad de deslizamiento — Menor (1)

Nota: Pastizal inducido (PI), Agricultura de temporal (AT), Pastizal cultivado (PC), Bosque de pino (BP), Bosque mesófilo de montaña (BMM), Selva alta perennifolia (SAP), Zona urbana (ZU), Montañas medianamente diseccionadas con lutita, limolita, arenisca y coluvión (Mm_Rllac), Montañas medianamente diseccionadas con caliza y lutita (Mm_Rcl), Montañas medianamente diseccionadas con basalto y andesita (Mm_Rba), Montañas de ligera a medianamente diseccionadas con roca piroclástica, dacita y riolita (Ml-m_Rpdr), Montañas fuertemente diseccionadas con caliza y lutita (Mf_Rcl), Montañas fuertemente diseccionadas con lutita, arenisca y limolita (Mf_Rlal), Montañas fuertemente diseccionadas con roca piroclástica, basalto y andesita (Mf_Rba). Concentración de Carbono Orgánico (%CO).

El mapa de pendiente en porcentaje se generó mediante un MDE de la microcuenca (USGS, s.f.), el mapa de geomorfología se obtuvo con la combinación del tipo de geología y la disección vertical como parámetro morfométrico del paisaje que representa la altura relativa del relieve expresada en m^2km^{-1}. Lo cual permitió definir diferentes clases de relieve, estos en conjunto con el tipo de roca en la microcuenca permitió obtener la geomorfología clasificada según la mayor susceptibilidad a la inestabilidad. La disección vertical fue interpretada como la diferencia de la altura mayor y la menor (rango) en cada cuadrante de una malla del MDE que representa un km^2

(Priego et al., 2010; Meza-Rodríguez, 2019). El tipo de textura se clasifico en gruesa (menor capacidad de retención de agua y nutrientes), media (porcentaje de arena, limo y arcilla equilibrados) y fina (suelos con mal drenaje, escasa porosidad y fácilmente inundables). La textura gruesa corresponde a contenidos > 65 % de arena, la textura media a suelos francos y la textura fina a contenidos > 35 % de arcillas y limos (Ramos Bernal, 2018).

Para la microcuenca se consideró que el contenido de carbono orgánico es igual al carbono total obtenido para las 98 muestras de suelo con el complemento TOC SSM-5000A. Con respecto al factor desencadenante se consideró la precipitación máxima mensual acumulada para el periodo de 1981 – 2010, esta información fue obtenida de las cuatro estaciones meteorológicas que tienen influencia directa en la microcuenca (13034 – Tenango de Doria, 13095 – Agua Blanca, 13099 – Metepec, 13144 – Huehuetla) (CONAGUA, 2010).

4.4. Procedimientos para la evaluación de sustentabilidad

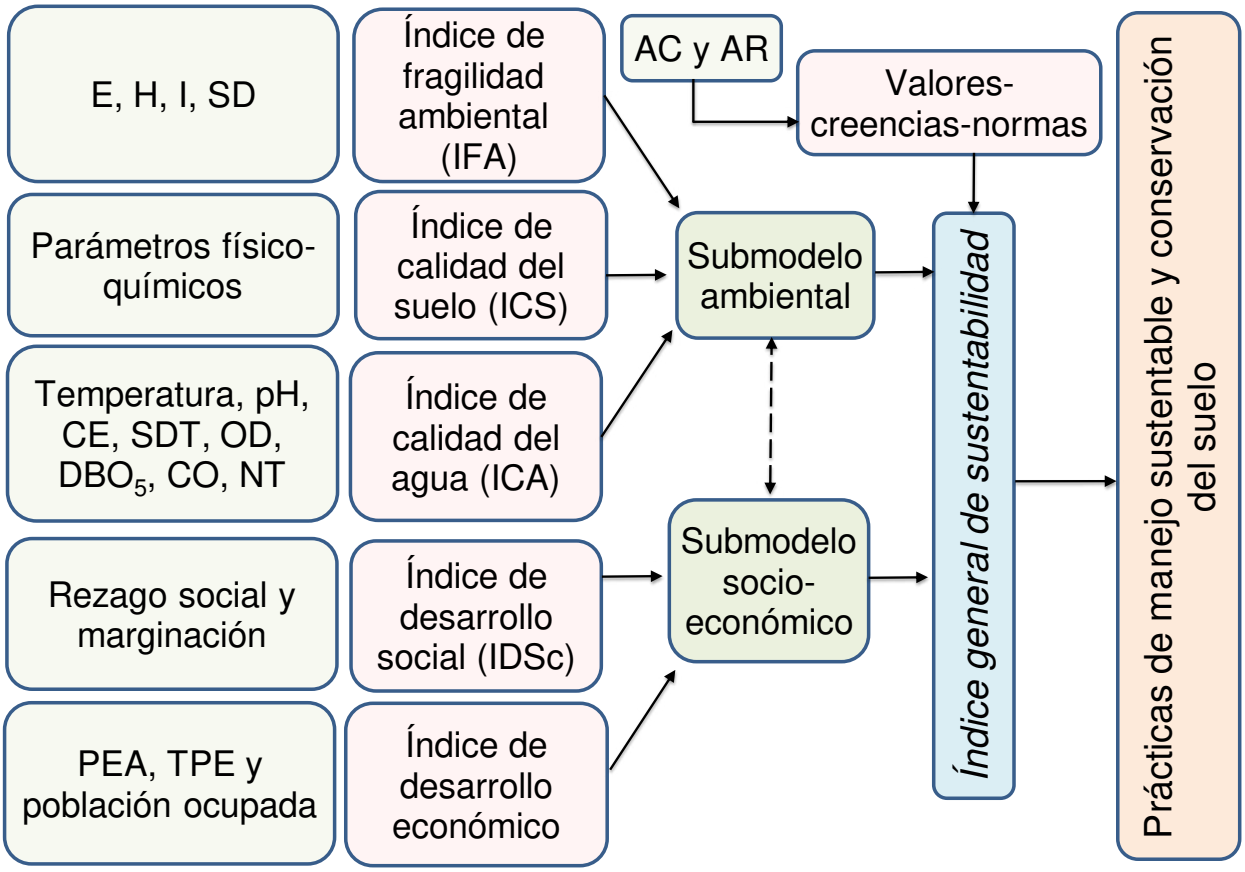
Para la evaluación de la sustentabilidad en la microcuenca se determinó un índice de sustentabilidad mediante la integración de un submodelo ambiental y uno socioeconómico. El submodelo ambiental está conformado por los subíndices de fragilidad ambiental (IFA), calidad del suelo (ICS) y calidad del agua (ICA) (Figura 4.3). Los subíndices que conforman el submodelo ambiental se generaron con la agregación de diferentes indicadores relevantes para el ecosistema integral con relación a la vulnerabilidad de este debida a actividades antrópicas, a la fertilidad del suelo y calidad del agua para consumo humano. El submodelo socioeconómico lo conforman parámetros de desarrollo humano, educación, salud, marginación, población económicamente activa, entre otros (Figura 4.3). Los valores obtenidos permitirán identificar zonas con niveles bajos de sustentabilidad, zonas susceptibles a riesgos ambientales y con necesidad de prácticas de conservación del suelo y agua.

4.4.1. Sistematización y análisis de la información

La información obtenida para la microcuenca correspondiente para cada subíndice e índice se analizó y proceso con los softwares QGIS 2.18.10, ArcMap 10.8, Microsofd Word y Excel. Se obtuvo la distribución espacial de los parámetros y se identificaron las regiones vulnerables. La obtención del índice general de sustentabilidad se logró con la siguiente ecuación:

$$IGS = \sum_{i=0}^{n} X_i * W_i \qquad \text{Ec. 2}$$

Donde: Índice general de sustentabilidad (IGS), subíndices (X_i) y valor asignado (W_i) a cada subíndice según la importancia en la microcuenca (Partida-Sedas, 2018).



Parámetros de fragilidad ambiental: erodabilidad (E), erosividad (H), índices de alteración (I): relaciones sílice/alúmina (S/A) y bases/alúmina (B/A), susceptibilidad de deslizamiento (SD). **Parámetros del suelo:** textura, densidad, pH, relación carbono/nitrógeno, materia orgánica, relación calcio/aluminio intercambiable, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, micronutrientes (Fe^{2+} y Mn^{2+}). **Parámetros del agua:** Solidos disueltos totales (SDT), oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO_5), carbono orgánico (CO), nitrógeno total (NT). **Valores – creencias – normas:** Conciencia de responsabilidad (AC), atribución de responsabilidad (AR). **Parámetros socioeconómicos:** Población económicamente activa (PEA), tasa de participación económica (TPE).

Figura 4.3. Modelo de evaluación de sustentabilidad en la microcuenca del Río Pantepec. Elaboración propia con datos de Partida-Sedas (2018) y Granco et al. (2019).

Interpolación de datos

Todos los valores georreferenciados en la microcuenca se interpolaron con el método de ponderación de distancia inversa (IDW por sus siglas en inglés). Para generar un mapa tipo ráster y asignar un valor a cada celda, el método IDW calcula el promedio de los valores de los datos de muestreo cercanos a cada celda de procesamiento (ArGisPro, s.f.). Posteriormente, cada mapa de los parámetros y subíndices considerados en cada submodelo, se categorizo según la importancia en la microcuenca; su agregación se realizó mediante la calculadora ráster (*Raster Calculator*) de la herramienta de geoprocesamiento para análisis espacial de ArcMap 10.8. El procedimiento anterior permitió obtener para la microcuenca los diferentes subíndices que fueron

agregados para determinar el índice general de sustentabilidad. Los resultados obtenidos se combinaron con un análisis cualitativo de los parámetros AR y AC, lo que permitió identificar zonas con niveles bajos de sustentabilidad, susceptibles a riesgos ambientales y con la necesidad de prácticas de manejo sustentable y conservación del suelo. Este análisis facilitó emitir recomendaciones para el manejo sustentable de la microcuenca.

4.4.1.1. Índice de calidad ambiental (ICAm)

Para el cálculo del ICAm se consideraron parámetros de susceptibilidad del ecosistema por actividades antrópicas, calidad del suelo y agua; la agrupación de estos permitió obtener los subíndices de fragilidad ambiental (IFA), calidad el suelo (ICS) y del agua (ICA). Para la obtención del ICAm se agregaron estos subíndices según el valor de importancia en la microcuenca (Ecuación 3). Este valor de ponderación se estimó con base en una matriz de comparación que evalúa la relevancia de un factor con respecto a otro (Tabla 4.11), lo que permitió obtener el vector de priorización mediante la normalización de la matriz (Saaty, 2008). La consistencia entre los elementos de la matriz se comprobó mediante el índice de consistencia (*CI*) y la relación de consistencia (*CR*). Para la estimación de *CI* se aplicó la Ecuación cuatro y se obtuvo el escalar $\lambda_{máx}$ como el promedio de los elementos del vector cuyo elemento *i* es la relación del elemento *j* del vector A_w al elemento correspondiente del vector *W* (Ecuación 5).

$$ICAm = \sum_{i=0}^{n} X_i * W_i \quad \text{(Ec. 3)}$$

Donde: índice de calidad ambiental (ICAm), subíndices (X_i) y valor asignado (W_i) a cada subíndice según la importancia para la calidad ambiental en la microcuenca.

$$CI = \frac{(\lambda_{máx} - n)}{(n-1)} \quad \text{(Ec. 4)}$$

$$\lambda_{máx} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{[Aw]}{w_i} \quad \text{(Ec. 5)}$$

Donde: índice de consistencia (*CI*), valor máximo del valor propio para comprobar la consistencia de las evaluaciones ($\lambda_{máx}$), número de criterios o alternativas de la matriz de comparación pareada (*n*). La matriz resultante $[A_w]$ se obtuvo con el producto de comparación emparejado por la matriz de los valores a procesar (w_i).

La relación de consistencia (*CR*) se obtuvo con $CR = \frac{CI}{RI} < 0.10$, donde *RI* es el índice de consistencia aleatorio. Para *CR* se debe considerar que una toma de decisiones perfectamente lógica siempre debe obtener valores menores a 0.10 pero se pueden tolerar pequeños valores

de incoherencia. *RI* es generado en forma aleatoria y depende del número de elementos que se comparan (*n*) y asume los siguientes valores (Moreira Franco, 2021):

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.89	1.11	1.24	1.32	1.40	1.45	1.49

Tabla 4.11. Escala fundamental de evaluación, tomado de Saaty (2008).

Escala numérica	Reciprocidad	Definición	Explicación
1	1/1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen de igual manera al objetivo
3	1/3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente una actividad sobre otra
5	1/5	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre otra
7	1/7	Importancia muy fuerte o demostrada	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad
9	1/9	Extrema importancia	La evidencia que favorece una actividad sobre otra es el orden más alto de afirmación

La matriz de comparación considerada para el ICAm se muestra en la Tabla 4.12, donde se observa el vector de priorización. Una vez que este fue obtenido, se aplicó la Ecuación tres en ArcMap 10.8 con la calculadora ráster.

Tabla 4.12. Matriz de comparación de pares para el ICAm.

ICAm	IFA	ICS	ICA	Vector de priorización
IFA	**1**	2	2	0.50
ICS	0.50	**1**	1	0.25
ICA	0.50	1	**1**	0.25
Suma	2	4	4	**1**

CI = 0, CR de cero < 0.1 para un RI de 0.58

Índice de fragilidad ambiental (IFA), calidad del suelo (ICS) y calidad del agua (ICA)

4.4.1.1.1. Índice de fragilidad ambiental (IFA)

El IFA permite estimar el grado de vulnerabilidad ante alguna intervención o perturbación antrópica y se obtiene mediante la agregación de indicadores específicos como la erodabilidad (E), erosividad (H), índices de alteración (I) y susceptibilidad de deslizamiento (SD) (Andrade, 2009). Para la obtención del IFA se realizó la ponderación de los indicadores específicos según el procedimiento descrito en la Figura 4.4 y para lo cual se aplicó la Ecuación seis, donde se asignó a cada factor un valor de importancia según la matriz de comparación (Tabla 4.13).

$$IFA = \sum_{i=0}^{n} W_i * P_i \qquad \text{Ec. 6}$$

Donde: índice de fragilidad ambiental (IFA), puntuación del peso del indicador *i* (W_i), valor del indicador *i* (P_i).

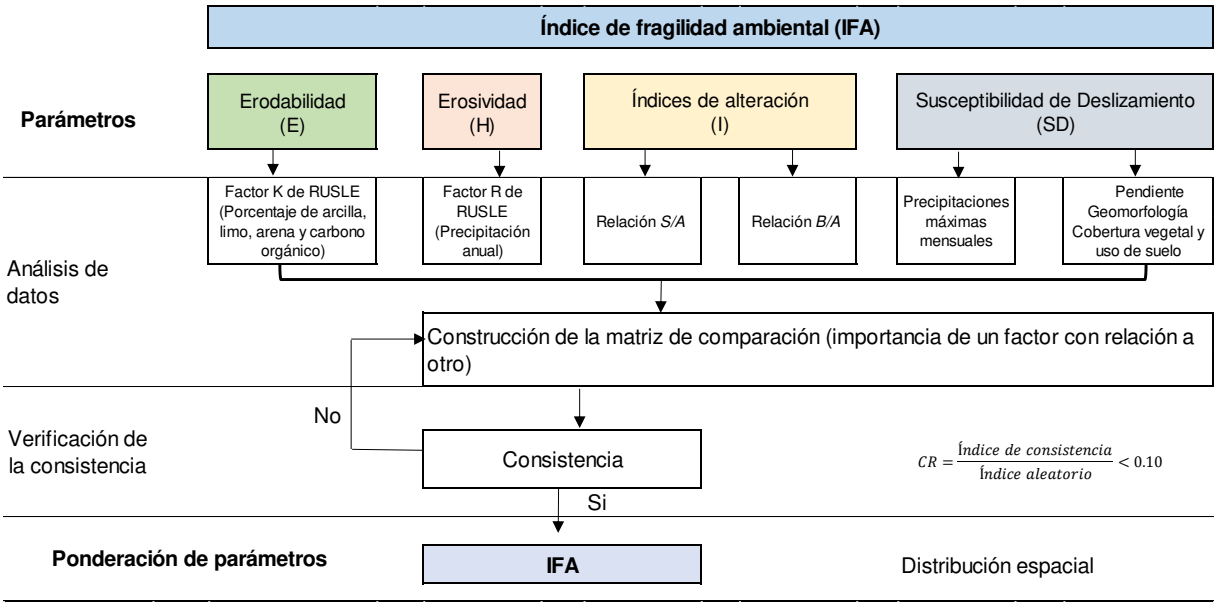


Figura 4.4. Procedimientos para la determinación del IFA. Elaboración propia.
Relación sílice – alúmina (*S/A*), relación bases – alúmina (*B/A*), Consistencia Relativa (*CR*).

Tabla 4.13. Matriz de comparación de pares para el IFA.

IFA	SD	H	E	I	Vector de priorización
SD	**1**	3	3	4	0.492
H	0.33	**1**	3	3	0.272
E	0.33	0.33	**1**	2	0.144
I	0.25	0.33	0.50	**1**	0.092
Suma	1.91	4.66	7.50	10	**1**

CI =0.05, CR (0.06) < 0.1 para un RI de 0.89

Susceptibilidad de Deslizamiento (SD), erosividad (H), Erodabilidad (E), Índices de alteración (I).

El método de obtención para cada parámetro que conforma los indicadores de erodabilidad (E), erosividad (H), índices de alteración (I) y susceptibilidad de deslizamiento (SD) se indica en la Tabla 4.14. Posteriormente, para cada indicador del IFA se obtuvo el mapa categorizado según el grado de susceptibilidad ante alguna intervención o perturbación antrópica, para lo cual se aplicó la escala de categorías de alta a muy baja según los rangos indicados en la Tabla 4.15. Por último, los mapas categorizados correspondientes a cada indicador del IFA fueron agregados con la calculadora ráster según la Ecuación cuatro y el vector de priorización (Tabla 4.13).

Tabla 4.14.Obtención de los parámetros del IFA.

PARÁMETRO	INDICADOR	DETERMINACIÓN
Erodabilidad	%arcilla, limo y arena	Método de Bouyoucos [a, b]
	%CO	Complemento SSM-5000, equipo TOC-LCPH [c, d, e]
	Factor *K* de RUSLE[1]	**K=0.1317*A.B.C.D** [f]
Erosividad	Precipitación media anual	Precipitación media anual (P, mm) para 13 estaciones meteorológicas (1981-2010) [g]
	Factor *R* de RUSLE[1]	**R (P<850) = 0.04830P^1.61** [h] **R (P>850) =587.80-1.219P+0.004105P^2** [h]
Índices de alteración	Relación sílice – alúmina (*S/A*) y bases – alúmina (*B/A*)	Análisis de elementos mayores en muestra fundida por fluorescencia de rayos X, equipo RIGAKU PRIMUS II (LANGEM-PT-LFRX-01) [i] **S/A=SiO_2/Al_2O_3** [j] **B/A=(K_2O+Na_2O+CaO+MgO) / (Al_2O_3)** [j]
Susceptibilidad de deslizamiento	Pendiente	Modelo digital de elevaciones (MDE) [k]
	Uso de suelo	Clasificación supervisada con imagen Landsat 8 [k], serie VII [l] y 98 puntos de verificación en campo
	Geomorfología	Geología de la microcuenca [m] Disección vertical del paisaje (MDE) [n, o]
	%arcilla, limo y arena	Textura gruesa (>65% de arena), textura media (suelos francos) y textura fina (>35% de arcilla) [a, b]
	%CO	Complemento SSM-5000[a], equipo TOC-LCPH[c, d, e]
	Precipitación máxima mensual acumulada	Datos para 4 estaciones meteorológicas (1981 – 2010) [g, p]

1) Componentes de RUSLE, ecuaciones en Tabla 12. Referencias: a) Vela Correa (2020), b) SEMARNAT (2002), c) Ayala y Monterroso (2021), d) Shimadzu (s.f.), e) LQAA (s.f.), f) Sharpley y Williams (1990), g) CONAGUA (2010), h) Renard y Freimud (1994), i) Laboratorio de fluorescencia de rayos X, UNAM, No. servicio: LFRX-2020-O11, j) Acevedo Sandoval et al. (2022), k) USGS (s.f.), l) INEGI (2021), m) SGM (2004), n) Priego et al. (2010), o) Meza Rodríguez (2019), p) Ramos Bernal (2018). Los mapas correspondientes a los parámetros categorizados que conforma cada indicador del IFA se muestran en el Anexo B.

Tabla 4.15. Categorización de la susceptibilidad para cada indicador del IFA.

Susceptibilidad	*Escala de 0 a 100*	E	H	I	SD
Alta	*100*	0.0181 – 0.0207	9201 – 15763	2.41 – 3.87	4.41 – 5.28
Media	*80*	0.0177 – 0.018	8801 – 9200	3.88 – 4.29	3.91 – 4.40
Baja	*60*	0.0174 – 0.0176	7601 – 8800	4.30 – 4.63	3.61 – 3.90
Muy baja	*40*	0.0138 – 0.0173	4091 – 7600	4.64 – 10.16	1.70 – 3.60

Erodabilidad (E), erosividad (H), Índices de alteración (I), Susceptibilidad de Deslizamiento (SD)

En el caso de parámetros como el porcentaje de arcilla, limo, arena y carbono orgánico (CO) se consideró la interpolación de los valores obtenidos para 98 muestras de suelo georreferenciadas. Así mismo, para la determinación de la precipitación media anual y precipitación máxima mensual acumulada, se interpolaron las cuatro estaciones meteorológicas de influencia en la microcuenca. El índice de alteración se obtuvo con la agregación de los mapas correspondientes a la relación sílice – alúmina (S/A) y bases – alúmina (B/A), donde se consideró la misma importancia entre ellos. La distribución espacial de los índices de alteración se obtuvo con la interpolación de los valores correspondientes a 18 muestras de suelo que fueron obtenidos mediante un análisis de

elementos mayores por fluorescencia de rayos X. Todas las ecuaciones indicadas en la Tabla 4.14 se aplicaron con la calculadora ráster en ArcMap 10.8 y una vez que se obtuvo el mapa para cada indicador del IFA se procedió con la categorización de este, la distribución espacial se observa en el Anexo B.

4.4.1.1.2. Índice de calidad del suelo (ICS)

La calidad del suelo es un elemento importante para el manejo de la microcuenca, debido a sus funciones como lo son el almacenamiento de agua, la disposición de nutrientes, el sostén para las plantas y la producción de alimentos, entre otras (Cotler Ávalos et al., 2013). Por lo tanto, la estimación del ICS es una herramienta esencial para la propuesta de prácticas de conservación de recursos y manejo sustentable, ya que proporciona datos cuantitativos de la capacidad de un suelo para llevar a cabo sus funciones (Partida-Sedas, 2018). Para este caso se evaluó la cualidad del suelo para proporcionar las cantidades adecuadas que permitan el equilibrio de los compuestos que favorezcan el desarrollo de las plantas (SEMARNAT, 2002).

Para esta investigación se consideraron catorce parámetros del suelo que fueron agrupados en tres conjuntos: impacto alto (IA), impacto medio (IM) e impacto bajo (IB); la ponderación de estos permitió determinar el ICS para la microcuenca. El primer conjunto representa a los de mayor impacto en la fertilidad del suelo (Figura 4.5), para este se tomó en cuenta la influencia relevante en las características del suelo y en su formación. Así como, su participación en procesos pedogenéticos, regularización de disponibilidad de nutrientes principales y elementos menores (liberación de nitrógeno, fósforo, azufre y micronutrientes disponibles para las plantas), y su influencia en la solubilización y movilización de componentes inorgánicos (Fassbender y Bornemisza, 1987).

Se consideró al calcio, magnesio, sodio y potasio intercambiable, así como la densidad aparente y la relación de calcio y aluminio intercambiable como el conjunto de impacto medio en la fertilidad del suelo. Estos parámetros representan una gran importancia en la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas (Espinoza et al., 2012). Por último, los parámetros con un menor impacto en la fertilidad del suelo que pueden ser limitantes para este fueron: el contenido de hierro, manganeso, limo y arena.

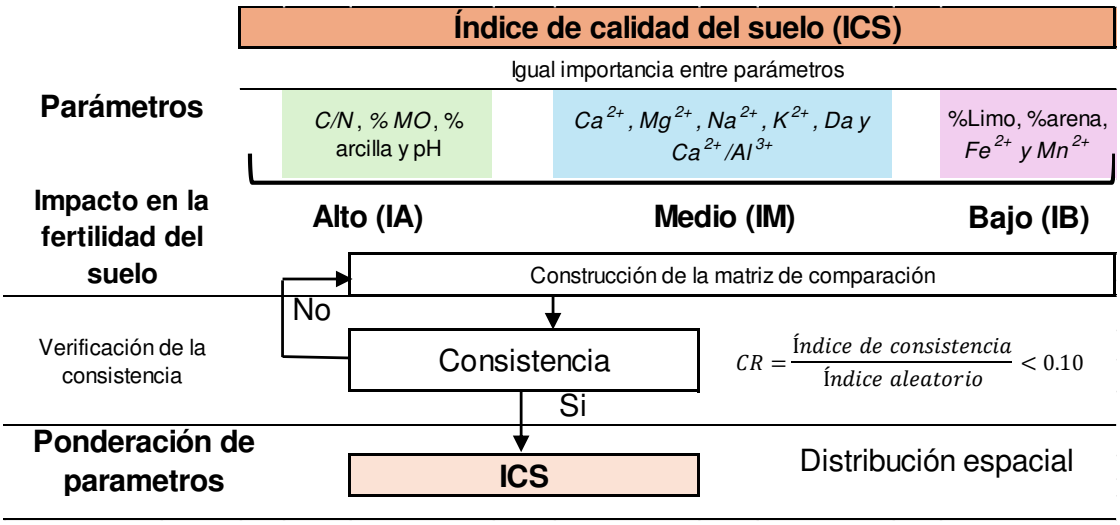


Figura 4.5. Procedimientos para la determinación del ICS. Elaboración propia.

Concentración de materia orgánica (*%MO*), calcio intercambiable (Ca^{2+}), magnesio intercambiable (Mg^{2+}), sodio intercambiable (Na^{2+}), potasio intercambiable (K^{2+}), densidad aparente (*Da*), relación de carbono y nitrógeno (*C/N*), relación de calcio y aluminio intercambiable (Ca^{2+}/Al^{3+}), hierro (Fe^{2+}), manganeso (Mn^{2+}), consistencia relativa (*CR*).

El método para la estimación de cada parámetro se indica en la Tabla 4.16. La distribución espacial de cada parámetro se obtuvo con la interpolación IDW de 98 muestras de suelo, posteriormente estos mapas fueron categorizados según la escala indicada en la Tabla 4.17. Para la categorización se utilizó la norma "NOM-021-RECNAT-2000" (SEMARNAT, 2002) en conjunto con las recomendaciones y propuestas de varios autores: pH (Partida-Sedas, 2018), Ca^{2+}/Al^{3+} según la probabilidad de impactos adversos (Cronan y Grigal, 1995) y Na^{2+} según lo indicado para % de Na intercambiable (% Na I) en suelos sódicos (Fassbender y Bornemisza, 1987). En el caso de la relación de carbono y nitrógeno (C/N) primeramente, se consideró la clasificación de carbono orgánico de Vela Correa et al. (2012) en conjunto con las recomendaciones para nitrógeno total (SEMARNAT, 2002). Posteriormente se categorizó a C/N según la distribución espacial de sus componentes y la recomendación de valores de C/N de 10 a 14 y cercanos a 20 (bosque de pino) para una mineralización rápida que genera suficiente nitrógeno para los microorganismos y la flora (Cantú Silva y Luna Robles, 2022). Finalmente, para la categorización de los grupos texturales se consideró la clasificación obtenida con el triángulo de textura y los rangos característicos del porcentaje de arcilla, arena y limo para cada tipo de suelo según la propuesta de USDA (2012) y SEMARNAT (2002).

Tabla 4.16. Parámetros físicos y químicos del suelo.

	Parámetros	Unidad	Método	Solución del suelo
Físicos	Textura [1]	-	Bouyoucos [a, b]	**-**
	Densidad aparente [1]	g cm^{-3}	De la probeta [a, b]	
Químicos	pH [1]	-	Medidor de pH digital, marca Hanna 5221 [a, b]	1 : 2
	Conductividad [1]	dS m^{-1}	Conductímetro, marca Conductronic PC45 [a]	
	Cationes solubles (Ca^{2+} y Mg^{2+}) [1]	Cmol kg^{-1}	Método del Versenato con acetato de amonio 1.00 N [a, h]	1 : 10
	Cationes solubles (Na^{+} y K^{+}) [1, 2]		Extracción con acetato de amonio 1.00 N, EAA con llama de acetileno [a, b]	
	Materia orgánica	%	$\%MO = \%\mathrm{CO} * 1.724$ [c]	
	Nitrógeno total	%	Nt = 0.05 * %MO [d, e]	-
	Nitrógeno asimilable	kg ha^{-1}	N asimilable = Nt * 0.015 * PS [a, f, g]	
	Carbono total (CT) [2]	%	Complemento SSM-5000A del equipo TOC-L_{CPH} [i, j, k]	-
	Al intercambiable (Al^{3+}) [1, 2]	Cmol kg^{-1}	Extracción con KCl 1.00 M. EAA con llama de acetileno [a, b]	1 : 10
	Micronutrientes (Fe^{2+} y Mn^{2+}) [3]	mg kg^{-1}	Extracción con DTPA 0.005 M. ICP-OES [a, b]	1 : 10

Abreviaturas: Carbono orgánico del suelo (%CO), peso del suelo en kg ha^{-1} (PS) = Densidad aparente (g cm^{-3}) * profundidad (m) * 10^7, espectrofotómetro de absorción atómica (EAA) marca Spectr AA-880, módulo de muestra sólida (SSM-5000A) del equipo analizador de Carbono Orgánico Total (TOC-L_{CPH}) marca Shimadzu, ácido del dietilen-triamino-pentaacético **(**DTPA), espectrómetro de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES por sus siglas en inglés) marca PerkinElmer Optima 8300.
Laboratorios: 1) Laboratorio de Edafología y Absorción Atómica ubicado en la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Xochimilco (UAM-X), CDMX. **2)** Laboratorio de Química y Absorción Atómica del Área Académica de Química ubicado en el Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniaría (ICBI), UAEH, Mineral de la Reforma, Hidalgo, **3)** Laboratorio de ICP/Absorción Atómica del Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales ubicado en el ICBI, UAEH, Mineral de la Reforma, Hidalgo.
Referencias: a) Manual de laboratorio UMA-X (Vela, 2020), **b)** NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), **c)** Van Bemmelen (1890) citado por Martínez et al. (2017), **d)** Gros y Domínguez (1992), **e)** Graetz (1997) citado por Julca et al. (2006), **f)** Bartholomew y Clark (1965), **g)** Maycotte (2011), **h)** Cheng y Kurtz (1960) citado por Vela (2020), **i)** Ayala y Monterroso (2021), **j)** Shimadzu (s.f.), **k)** LQAA (s.f.).

Para la obtención del conjunto IA, IM e IB se consideró que todos los parámetros compartían la misma importancia (Tabla 4.18). Posteriormente, con la calculadora ráster se obtuvo el mapa para cada nivel de impacto con la Ecuación siete y con la agregación de estos se determinó el ICS (Ecuación 8) y el vector de priorización obtenido con la matriz de comparación (Tabla 4.19).

$IA, IM, IB = \sum_{i=0}^{n} W_i * P_i$ (Ec. 7), $ICS = 0.49 * IA + 0.3133 * IM + 0.1967 * IB$ (Ec. 8)

Donde: índice de calidad del suelo (*ICS*), puntuación de la importancia del parámetro *i* (W_i) y valor del parámetro *i* (P_i); asimismo *IA*, *IM* e *IB* son los mapas de impacto alto, medio y bajo.

Tabla 4.17. Clasificación y categorización de los parámetros del ICS.

Menor ← Calidad/Fertilidad → Mayor

Susceptibilidad para fertilidad del suelo

Escala de 0 a 100	**4. Muy baja/Perjudicial**	**3. Baja/Deficiente**	**2. Alta**	**1. Media/ Adecuada**	**Variación en la microcuenca**
	40	*60*	*80*	*100*	
Parámetro	**Muy baja [a]**	**Baja**	**Alta**	**Media**	
Ca^{2+}	< 3.50	3.51 – 5.00	> 10.00	5.01 – 10.00	*3.00 a 79.90*
Mg^{2+}	< 0.50	0.501 – 1.30	> 3.00	1.31 – 3.00	*0 a 43.73*
K^{2+}	< 0.20	0.201 – 0.30	> 0.60	0.301 – 0.60	*0 a 2.00*
	Mayor en microcuenca [b]	**Media**	**Baja**	**Muy baja**	
Na^{2+}	6.01 – 10.20	2.81 – 6.00	1.41 – 2.80	< 1.40	*0 a 10.20*
	Deficiente [a]	**Marginal**	**Mayor en microcuenca**	**Adecuada**	
Fe^{2+}	< 2.50	2.51 – 4.50	30.10 – 91.30	4.51 – 30.00	*0.81 a 91.30*
Mn^{2+}	< 0.50	0.501 – 1.00	30.10 – 91.15	1.01 – 30.00	*0.40 a 91.15*
	Muy baja/Perjudicial [a]	**Bajo**	**Medio**	**Adecuado**	
MO	< 4.00, > 16.10	4.10 – 6.00	11.00 – 16.00	6.10 – 10.90	*1.67 a 31.61*
	Fuertemente ácido [a, d]	**Medianamente aceptable**	**Aceptable**	**Neutro/Adecuado**	
pH	< 5.1	5.2 - 5.7, 8.3 – 8.8	5.8 – 6.4, 7.6 – 8.2	6.5 - 7.5	*4.30 a 8.30*
	Arenosos [a]	**Orgánicos/volcánicos**	**Arcillosos**	**Francos**	
Da	> 1.32	< 1.00	1.00 – 1.19	1.20 – 1.32	*0.56 a 1.20*
	Mayor ← Probabilidad de impactos adversos → Menor [e]				
		Media	**Baja**		
Ca^{2+}/Al^{3+}	1.00 – 2.00	2.01 – 12.00	12.10 – 24.00	24.10 – 121.00	*1.00 a 121*
	Bajo [a, c, f]	**Medio**	**Aceptable**	**Adecuado**	
C/N	9.00 – 10.00	10.10 – 11.00	11.10 – 12.00	12.10 – 16.89	*9.00 a 16.89*
	Arenoso/Limoso [a, g]	**Franco – Arenoso**	**Franco – Arcilloso**	**Franco**	
Arcilla	< 12.00	12.01 – 16.00	25.10 – 40.49	16.01 – 25.00	*0 a 40.49*
Limo	39.10 – 56.70	26.10 – 35.00	11.30 – 26.00	35.10 – 39.00	*11.30 a 56.7*
Arena	53.10 – 74.90	42.10 – 53.00	20.20 – 34.00	34.10 – 42.00	*20.20 a 74.9*

Concentración de materia orgánica (%MO), calcio intercambiable (Ca^{2+}), magnesio intercambiable (Mg^{2+}), sodio intercambiable (Na^{2+}), potasio intercambiable (K^{2+}), densidad aparente (Da), relación de carbono y nitrógeno (C/N), relación de calcio y aluminio intercambiable (Ca^{2+}/Al^{3+}), hierro (Fe^{2+}), manganeso (Mn^{2+}). **Unidades:** Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{2+}, Na^{2+} (Cmol kg^{-1}), Fe^{2+}, Mn^{2+} (mg kg^{-1}), MO, CO, Nt, porosidad, arcilla, limo, arena (%), da (g cm^{-3}). **Fuentes:** a) NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002); b) Fassbender y Bornemisza (1987); c) Vela Correa et al. (2012); d) Partida-Sedas (2018); e) Cronan y Grigal (1995); f) Cantú Silva y Luna Robles (2022); g) USDA (2012). Los mapas correspondientes a cada parámetro se muestran en el Anexo B.

Tabla 4.18. Asignación del valor de importancia para cada parámetro según su impacto en el suelo.

Impacto Alto (IA)		**Impacto Medio (IM)**		**Impacto Bajo (IB)**	
Valor de importancia	Parámetro	Valor de importancia	Parámetro	Valor de importancia	Parámetro
0.25	C/N	0.17	Ca^{2+}	0.25	%limo
0.25	%MO	0.17	Mg^{2+}	0.25	%arena
0.25	pH	0.17	K^{2+}	0.25	Fe^{2+}
0.25	%arcilla	0.17	Ca^{2+}/Al^{3+}	0.25	Mn^{2+}
		0.16	Da		
		0.16	Na^{2+}		

Tabla 4.19. Matriz de comparación para el ICS.

ICS	IA	IM	IB	Vector de priorización
IA	**1**	2	2	0.4900
IM	0.5	**1**	2	0.3133
IB	0.5	0.5	**1**	0.1967
Suma	**2**	**3.5**	**5**	**1**

CI =0.025, CR (0.04) < 0.1 para un RI de 0.58

Impacto alto (IA), impacto medio (IM) e impacto bajo (IB).

4.4.1.1.3. Índice de calidad del agua (ICA)

Como criterios de evaluación de la calidad del agua se deben considerar indicadores que muestren la influencia de las actividades antrópicas (SEMARNAT, 2013). Con este fin, se tomaron en cuenta diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos para la evaluación cuantitativa del grado de la calidad del agua para uso y consumo humano en la microcuenca. Entiéndase al agua apta para este uso, a aquella que no afecta a la salud de una forma nociva y que no presenta concentraciones fuera de un límite permisible, por lo cual no debe proceder de aguas residuales tratadas (SEMARNAT, 2021).

La obtención del ICA se muestra en la Figura 4.6 y el procedimiento para la determinación de cada uno de los parámetros en la Tabla 4.20. Como parámetros físicos se consideró a los sólidos disueltos totales (SDT), la conductividad eléctrica (C.E.) y la turbidez. Estos parámetros están directamente relacionados con la erosión del suelo, la carga excesiva de nutrientes y con la fuente de agua (SEMARNAT, 2013). Por lo cual variarían para el agua residual, la precipitación y la escorrentía de zonas agropecuarias (SWAMP, s.f.-b). Para el cálculo del ICA se incluyeron parámetros químicos del agua como el pH, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO_5) y la concentración de carbono y nitrógeno total. La variación de estos puede alterar la concentración de otras sustancias en el agua, lo cual incide en su calidad para uso y consumo humano; así como en el desarrollo de los ecosistemas acuáticos al afectar la capacidad de soportar la vida en este (SWAMP, s.f.-a). Como parámetro biológico se determinó a las coliformes totales, el cual se puede considerar como un indicador de contaminación debido a la limitada habilidad de sobrevivir en el agua de algunos organismos del grupo de bacterias coliformes (SE, 2015). Por lo tanto, los nueve indicadores mencionados permiten identificar gradientes donde no afectan las actividades antrópicas. Así como en los cuales ya son importantes las descargas residuales o los aportes de sedimentos por la degradación del suelo (SEMARNAT, 2013).

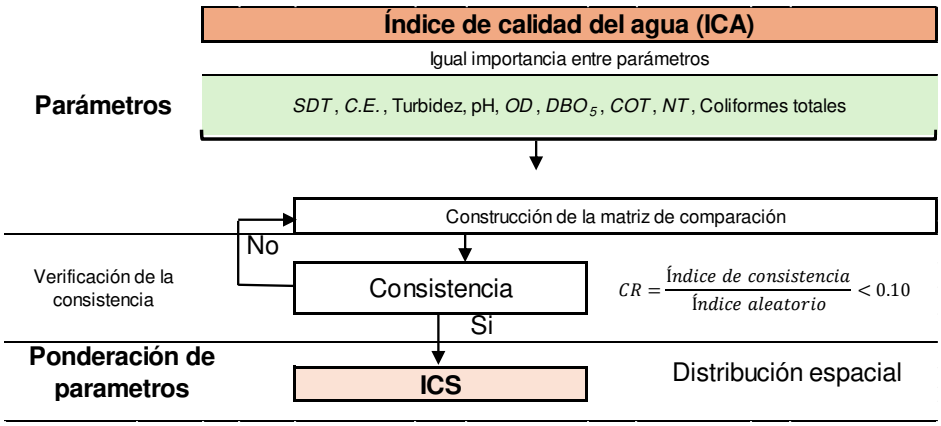


Figura 4.6. Procedimientos para la determinación del ICA. Elaboración propia.

Solidos disueltos totales (*SDT*), conductividad eléctrica (*C.E.*), oxígeno disuelto (*OD*), demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días *(DBO_5)*, carbono orgánico total (*COT*), nitrógeno total (*NT*).

Tabla 4.20. Parámetros para el ICA.

Parámetro	Unidad	Método	Especificaciones
		Físicos	
SDT	mg L^{-1}	TDS&EC meter(hold)	Rango de medición de CE: 0-9990º us/cm; TDS: 0 – 9990 ppm; °C: 32.0 – 176.0; Exactitud: - 2%; Resolución: 1 uS; 1 ppm
C.E.	µS cm^{-1}		
Turbidez	UTN	Turbidímetro portátil	Marca Velp Scientifica, TB1. Método nefelométrico conforme a la norma ISO 7027 (90°)
		Químicos	
pH	-	Medidor de pH digital	Rango de medición: 0 – 14, precisión: ± 0.01 equipo con ATC
OD	(mg L^{-1}) / (% Sat)	NMX-AA-012-SCFI-2001 [a]	Para OD inicial se fijó el OD en campo en botellas Winkler con 2.00 ml de sulfato manganoso
DBO_5		NMX-AA-028-SCFI-2021 [b]	
COT	mg L^{-1}	TOC-L Ver.1.10.00 (Shimadzu) [c]	Muestras preservadas con ácido sulfúrico a pH < 2.0
NT			
		Biológicos	
Coliformes totales	NMP 100 mL^{-1}	NMX-AA-042-SCFI-2015 [d]	Método del número más probable en tubos múltiples

Solidos disueltos totales (SDT), conductividad eléctrica (C.E.), unidades de turbiedad nefelométricas (UTN), compensación de temperatura automático (ATC), oxígeno disuelto (OD), porcentaje de saturación (% Sat), demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO_5), carbono orgánico total (COT), nitrógeno total (NT), número más probable por 100 ml (NMP 100mL^{-1}). **Referencias:** a) NMX (2001), b) NMX (2021), c) LQAA (s.f.), d) NMX (2015). Los mapas correspondientes a cada parámetro se muestran en el Anexo B.

Para las muestras de agua se obtuvo en campo la temperatura, pH, conductividad eléctrica (C.E.), solidos disueltos totales (SDT) y turbidez. El oxígeno disuelto (OD), la demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO_5), el carbono orgánico total (COT) y el nitrógeno total (NT) se determinaron en el "Laboratorio de Química y Absorción Atómica" del Área Académica de Química ubicado en el Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniaría (ICBI), UAEH. Para la obtención del ICA, primeramente se categorizaron los nueve parámetros según los limites permisibles establecidos en la norma "NOM-127-SSA1-2021" (SEMARNAT, 2021) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) (OMS, 2017). También se consideraron los aspectos relacionados a los

indicadores de calidad del agua referidos por CONAGUA y SEMARNAT (CONAGUA, 2024; SEMARNAT, 2013). En la Tabla 4.21 se muestra la categorización de cada parámetro, para el cual se obtuvo la distribución espacial mediante la interpolación IDW de los valores obtenidos para las ocho muestras de agua. El valor de importancia asignado a cada indicador del ICA se obtuvo con la matriz de comparación que se muestra en la Tabla 4.22, la cual mediante un vector de priorización definió el valor para cada parámetro según su importancia en la microcuenca. Este vector se utilizó para la obtención del ICA según la siguiente ecuación:

$$ICA = \sum_{i=0}^{n} W_i * P_i \qquad \text{Ec. 9}$$

Donde: índice de calidad del agua (ICA), puntuación de la importancia del parámetro *i* (W_i) y valor del parámetro *i* (P_i).

Tabla 4.21. Categorización de los parámetros del ICA.

Parámetro	**Mejor calidad**		**Aceptable**	**Baja/Contaminada**	**Fuentes**
Escala de 0 a 100	*100*	*80*	*60*	*40*	
SDT (ppm)	< 84	84 – 150	151 – 1000	> 1000	OMS (2017); SEMARNAT (2013)
C.E. (µS cm^{-1})	< 10	10 – 30	31 – 250	> 250	OMS (2017)
Turbidez (UTN)	< 2	2 – 4	4.1 – 30	> 30	SEMARNAT (2021)
pH	7.5	6.5 – 7.4 7.6 – 8.5	5.5 – 6.4 8.6 – 9.0	< 5.5, > 9	OMS (2017); Partida-Sedas (2018)
%Sat de OD	70 – 110	50 – 69.90 110.10 – 120	30 – 49.90 120 – 130	10 – 29.90 130.10 – 150	CONAGUA (2024)
DBO_5 (mg L^{-1})	< 3	3.1 – 6	6.1 – 30	> 30	CONAGUA (2024); SEMARNAT (2013)
COT (mg L^{-1})	< 0.9	0.9 – 11	11.10 – 53	> 53	SEMARNAT (2021)
NT (mg L^{-1})	< 0.5	0.5 – 11	11.10 – 35	> 35	SEMARNAT (2021)
Coliformes totales (NMP 100mL^{-1})	< 100	100.10 – 240	240.10 – 1000	> 1000	CONAGUA (2024)

Solidos disueltos totales (SDT), conductividad eléctrica (C.E.), porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (%Sat), demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO_5), nitrógeno total (NT), carbono orgánico total (COT), número más probable por 100 mL (NMP 100mL^{-1}), unidades de turbiedad nefelométricas (UTN). La distribución espacial de cada parámetro se muestra en el Anexo B.

Tabla 4.22. Matriz de comparación para el ICA.

ICA	**%Sat**	**DBO_5**	**Colf.Tot**	**pH**	**C.E.**	**NT**	**COT**	**SDT**	**Tbdz**	**Vector de priorización**
%Sat	**1**	1	2	5	5	5	5	7	7	0.25
DBO_5	1	**1**	2	5	5	5	5	7	7	0.25
Colf.Tot	0.50	0.50	**1**	5	5	5	5	7	7	0.20
pH	0.20	0.20	0.20	**1**	1	3	3	4	4	0.08
C.E.	0.20	0.20	0.20	1	**1**	3	3	4	4	0.08
NT	0.20	0.20	0.20	0.333	0.333	**1**	1	3	3	0.05
COT	0.20	0.20	0.20	0.333	0.333	1	**1**	3	3	0.05
SDT	0.143	0.143	0.143	0.25	0.25	0.333	0.333	**1**	2	0.02
Tbdz	0.143	0.143	0.143	0.25	0.25	0.333	0.333	0.50	**1**	0.02
Suma	3.586	3.586	6.086	18.166	18.166	23.67	23.67	36.5	38	**1**

CI = 0.0788, CR (0.05) < 0.1 para un RI de 1.45

Solidos disueltos totales (SDT), conductividad eléctrica (C.E.), porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (%Sat), demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO_5), nitrógeno total (NT), carbono orgánico total (COT), coliformes totales (Colf. Tot), turbidez (Tbdz).

4.4.1.2. Índices socioeconómicos

Los indicadores socioeconómicos evalúan elementos que describen el desarrollo de las localidades asentadas en la microcuenca (Partida-Sedas, 2018). Estos indicadores incluyen índices sociales como el de marginación y rezago social, así como parámetros económicos como la tasa de participación económica (TPE), la población ocupada y la población económicamente activa (PEA). Todos los indicadores considerados fueron recopilados para las 75 localidades distribuidas en la microcuenca, estos fueron reportados para el año 2010 por organismos como el CONEVAL, SNIM e INEGI.

Posteriormente, estos datos fueron interpolados con el método IDW, que permitió extraer la información para la zona de estudio y obtener la distribución espacial de cada parámetro; así como también, determinar a nivel microcuenca un índice de desarrollo social (IDSc) y un índice de desarrollo económico (IDE). Estos se obtuvieron mediante la agregación de los mapas correspondientes a cada indicador, lo anterior se realizó en ArcMap 10.8 con la calculadora ráster que permitió realizar la ponderación de los parámetros según su valor de importancia (vector de priorización). Finalmente, la distribución espacial del IDSc se analizó cualitativamente con indicadores a nivel municipal, como el índice de desarrollo humano (IDH), el índice de salud (IS) y el índice de educación (IE). Para el análisis del IDE se consideró el índice de ingreso a escala municipal.

4.4.1.2.1. Índice de Desarrollo Social (IDSc)

Para la determinación y análisis del IDSc de la microcuenca se recopilo información a nivel de localidad del índice de marginación (IM) y de rezago social (IRS). Estos datos fueron procesados para obtener la distribución espacial de cada parámetro que conforma este índice, el procedimiento para su determinación se muestra en la Figura 4.7. Para la estimación del IDSc primeramente los parámetros fueron categorizados según la escala indicada en la Tabla 4.23, las categorías del IM y el IRS se obtuvieron de la basa de datos nacional a nivel localidad del CONEVAL (2010a) y de CONAPO (2010). Posterior a la categorización de mapas, estos fueron agregados según la Ecuación 10 para obtener el IDSc de la microcuenca.

$$IDSc = \sum_{i=0}^{n} W_i * P_i \qquad \text{Ec. 10}$$

Donde: índice de desarrollo social (IDSc), puntuación de la importancia del parámetro *i* (*Wi*) y valor del parámetro *i* (*Pi*).

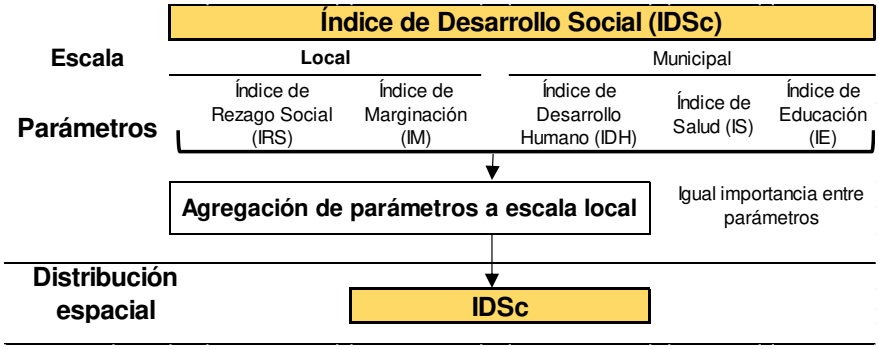


Figura 4.7. Procedimientos para la determinación del IDSc. Elaboración propia.

Tabla 4.23. Escala para categorización de parámetros del IDSc.

Parámetro	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Escala de 0 a 100	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*
IM	0.71 a 8.35	0.71 a -0.80	-0.81 a -1.08	-1.32 a -1.07	-1.83 a -1.33
IRS	2.034 a 3.78643	0.8643 a 2.03311	-0.30424 a 0.86429	-0.88851 a -0.30425	menor a -0.8885

Índice de marginación (IM), índice de rezago social (IRS).

4.4.1.2.2. Índice de Desarrollo Económico (IDE)

Para la determinación del IDE se consideraron como indicadores económicos a la población económicamente activa (PEA), la población ocupada y la tasa de participación económica (TPE) a nivel localidad (INEGI, 2010b). Para la obtención de la PEA y la población ocupada se calculó la porción de la población correspondiente con relación a la población total de la localidad para el año 2010. En el caso de la TPE se aplicó la relación entre la PEA y la población de 12 años y más de edad que participan en la actividad económica según reportes de INEGI (2010b). El mapa correspondiente a cada parámetro se categorizó en una escala de cero a 100 y se agregaron según el procedimiento en la Figura 4.8 y la Ecuación 11. Para la determinación de la importancia de cada parámetro (W_i) se obtuvo el vector de priorización mediante la matriz de comparación (Tabla 4.24), donde se considera la importancia de cada parámetro en el desarrollo económico de la microcuenca.

$$IDE = \sum_{i=0}^{n} W_i * P_i \qquad \text{Ec. 11}$$

Donde: índice de desarrollo económico (IDE) clasificado de 0 a 100 puntos, puntuación de la importancia del parámetro *i* (*Wi*) y valor del parámetro *i* (*Pi*).

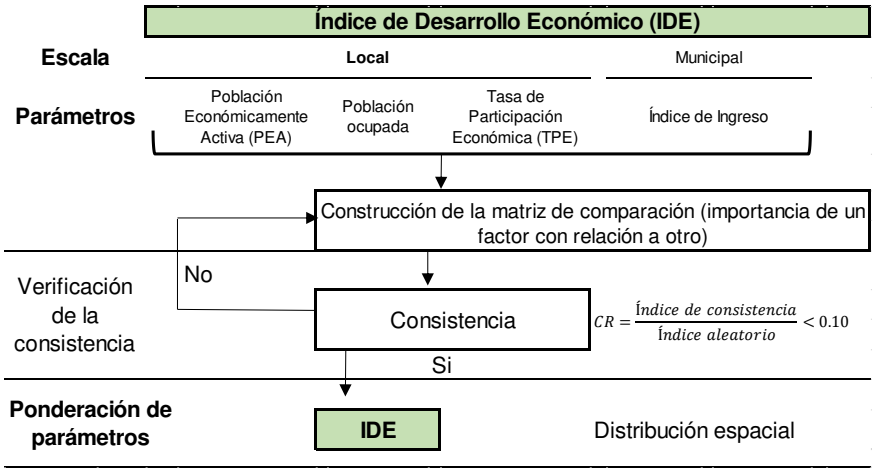


Figura 4.8. Procedimientos para la determinación del IDE. Elaboración propia.

Tabla 4.24. Matriz de comparación para el IDE.

IDE	TPE	Población ocupada	PEA	Vector de priorización
TPE	**1**	2	2	0.4900
Población ocupada	0.5	**1**	2	0.3133
PEA	0.5	0.5	**1**	0.1967
Suma	2	3.5	5	**1**

CI =0.025, CR (0.04) < 0.1 para un RI de 0.58

Tasa de participación económica (TPE), población económicamente activa (PEA).

4.4.1.2.3. Influencia de valores-creencias y normas locales en la sustentabilidad

El estudio de percepción del cuidado del medio ambiente y los recursos naturales se llevó acaba mediante un cuestionario de 23 preguntas, con estas se buscó recopilar información referente a:

- Datos demográficos
- Conocimiento del manejo y cuidado del agua, suelo y medio ambiente
- Elección de medidas para conservar el agua y el suelo, y manejo de la basura
- Identificación y mitigación de la pérdida del suelo
- Identificación del origen del aprendizaje relacionado con el manejo de la basura, cuidado del agua y educación ambiental
- Puntos de vista sobre aspectos de conservación y preservación ambiental
- Rechazo sobre la designación de zonas turísticas en áreas naturales
- Conocimiento de costumbres y tradiciones que inculquen el cuidado del agua, suelo, flora, fauna y medio ambiente

Las respuestas obtenidas en las dos regiones seleccionadas se categorizaron y generalizaron para evaluar la relación entre los parámetros de conciencia de responsabilidad (AC), atribución

de responsabilidad (AR) y la toma de decisiones de conservación y aprovechamiento de los recursos naturales en la microcuenca (Tabla 4.25). Debido a la amplia variedad de respuestas obtenidas se aplicó una generalización y agrupación, por lo cual se englobaron en diferentes categorías según el tipo de pregunta. Para la pregunta informativa de ocupación se consideró como respuesta clasificatoria la primera respuesta del encuestado; ya que algunos mencionaron realizar actividades combinadas como la ganadería, agricultura y labores del hogar. De igual manera se realizó la generalización de las respuestas para las preguntas abiertas (12, 13, 14, 15, 18, 19, 20 y 22), esto permitió analizar la información al agruparlas. Algunas de las agrupaciones consideradas fueron: tipo de prácticas para el control de erosión (Carrasco et al., 2012), los beneficios del cuidado del medio ambiente que asignan un valor a la conservación (CONANP, 2020) y las ventajas y desventajas del turismo (ESNECA, 2023).

Tabla 4.25. Parámetros de conciencia de responsabilidad (AC) y atribución de responsabilidad (AR) representados en el cuestionario de las entrevistas.

Pregunta	Clasificación	Pregunta	Clasificación
1	Informativa	**13**	AC y AR
2	Informativa	**14**	AC
3	AC	**15**	AR
4	AC	**16**	Informativa
5	AC	**17**	AC
6	AC	**18**	AC
7	AR	**19**	AC y AR
8	AC	**20**	AC
9	AR	**21**	Informativa
10	Informativa	**22**	AC
11	AC y AR	**23**	AC y AR
12	AC		

Una vez que se obtuvo la generalización de respuestas, se realizó el análisis para la región tres y cinco. Esta información permitió realizar un comparativo entre estas dos regiones, mediante una escala semicuantitativa donde se aplicaron las siguientes categorías: Muy baja (+), Baja (++), Media (+++), Alta (++++) y Muy alta (+++++). La comparación se realizó para los siguientes aspectos:

- Cuidado del medio ambiente y el agua, contaminación, manejo y cuidado del suelo
- Ocupación y porcentaje de hablantes de alguna lengua originaria
- Cuestionamiento sobre la designación de zonas protegidas y turísticas
- Ocupación laboral, promoción y enseñanza del cuidado del medio ambiente

CAPÍTULO V

5. Resultados y discusión

5.1. Caracterización de la microcuenca del Río Pantepec

La recopilación de información en las diferentes fuentes gubernamentales y la información generada mediante el muestreo de suelo permitieron describir el entorno ambiental y socioeconómico de la microcuenca. A continuación, se describe cada apartado.

5.1.1. Entorno ambiental en la microcuenca

La microcuenca está caracterizada por sierra alta escarpada (99.97%) y por meseta compleja con lomeríos, ubicada en la Sierra Madre Oriental. Desde la microcuenca baja hasta la parte alta se presenta una variación de elevaciones de 600 a 2,600 m.s.n.m. con precipitaciones de 1,200 a 2,000 mm y temperaturas de 12 a 18 °C (Figura 5.1a). Además, cuenta con clima frío C(E)(m), templado húmedo C(m) y C(fm), y semicálido húmedo con lluvias abundantes en verano y poca oscilación térmica (A)C(fm) (Figura 5.1a). La microcuenca comprende dos unidades edafológicas: Phaeozem en el 86 % de la microcuenca (13,051 ha) y Cambisol en el 14 % (2,119 ha) (INEGI, 2007b) (Figura 5.1b). Las formaciones geológicas presentes en el área de estudio están caracterizadas por rocas volcánicas del periodo Terciario Neógeno y por rocas sedimentarias del Jurásico inferior, medio y superior; así como del Cretácico inferior y Cuaternario (SGM, 2004) (Figura 5.2 y Tabla 5.1).

5.1a) Clima, temperatura y precipitación 5.2b) Unidades edafológicas

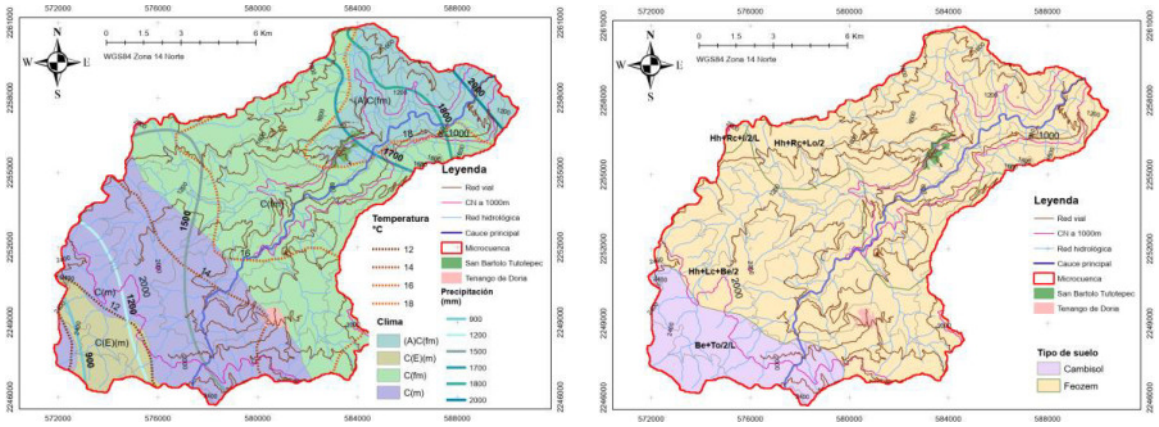


Figura 5. 1.a) Clima, temperatura y precipitación y b) Unidades edafológicas. Elaboración propia con datos de CONABIO (1998); INEGI (2007a, 2007c) y CONAGUA (2010).

Unidades edafológicas: *Hh+Rc+I/2/L* (Phaeozem háplico con regosol calcárico y litosol), *Hh+Rc+Lo/2* (Phaeozem háplico con regosol calcárico y luvisol órtico), *Hh+Lc+Be/2* (Phaeozem háplico con luvisol crómico y cambisol eútrico) y *Be+To/2/L* (Cambisol eútrico con andosol ócrico).

La cubierta más reciente en la microcuenca está representada por un depósito cuaternario que corresponde a coluvión (Qhoco) ubicado en la microcuenca media, el cual es producto de la denudación de las rocas preexistentes y que se localizan en la base de grandes cantiles (SGM, 2004). En la parte alta de la microcuenca está presente la unidad más antigua denominada Huayacocotla que conforma el anticlinal con el mismo nombre, la cual está constituida por una secuencia arrítmica de arenisca y limolita dividida en tres nombres. Los cuales son: inferior con conglomerados y arenisca conglomerática con clastos del basamento cristalino, intermedio conformado predominantemente por limolita muy físil con niveles de arenisca con amonites y superior continental con fósiles de flora e intercalación rítmica de limolita y arenisca (SGM, 2004).

Tabla 5. 1.Unidades geológicas en la microcuenca (SGM, 2004).

Periodo		Tipo de roca
Jurásico	Inferior	Lutita-arenisca (JiLu-Ar)
	Medio	Caliza (JcCz) Arenisca-limolita (Jbjb-Ar-Lm)
	Superior	Caliza-lutita (JpoKbe Cz-Lu) Lutita-caliza (JkLu-Cz) Lutita-limolita (JoLu-Lm)
Cretácico Inferior		Caliza-lutita (Kbece Cz-Lu)
Terciario Neógeno		Piroclásticas (TplPc) Dacita-riolita (TplDa-R) Basalto-andesita (TplB-A)
Cuaternario		Coluvión (Qhoco)

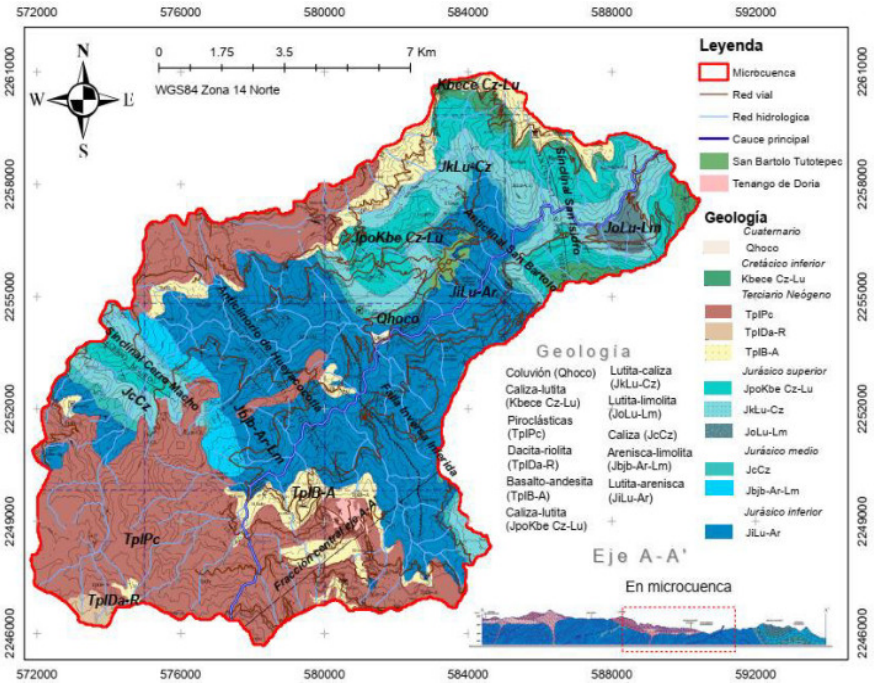


Figura 5.2. Carta geológica minera F14-D73, modificado de SGM (2004).

El área de estudio caracterizada por zonas boscosas y de selva alta perennifolia, cuenta con el 53.34 % de su superficie cubierta con bosque mesófilo de montaña. El cual, de todos los tipos de vegetación en México, es uno de los más amenazados por el cambio de uso de suelo ocasionado por actividades antrópicos (Ochoa-Ochoa et al., 2021). Pese a que en este ecosistema se contiene la mayor riqueza de flora y fauna, además de numerosas especies en riesgo, actualmente es uno de los ecosistemas más susceptibles y desprotegidos (Almazán-Núñez et al., 2018).

La importancia de este bosque radica en los servicios ecosistémicos que proporciona; algunos de estos son la regulación del clima, producción de agua y alimentos, captura de carbono, conservación de la biodiversidad y del suelo, entre otros (Cao et al., 2020; Toledo-Aceves et al., 2022). A nivel nacional el estado de Hidalgo ocupa el tercer lugar con mayor superficie de bosque mesófilo de montaña, el cual está clasificado con niveles de amenaza altos debido a actividades como la ganadería extensiva, la deforestación y la construcción de caminos (Leija-Loredo y Pavón, 2017; Monterroso-Rivas et al., 2013). En la región Otomí-Tepehua el bosque mesófilo de montaña ha sido sometido a una explotación intensiva y en la actualidad ha desaparecido por completo en grandes extensiones. Esto debido principalmente por el desmonte de terrenos para el uso ganadero y agrícola, sin embargo, aún existen zonas con un grado aceptable de conservación (Villavicencio y Pérez, 2005).

5.1.1.1. Uso de suelo y cobertura vegetal

El análisis del tipo de uso de suelo y cobertura vegetal permitió identificar las actividades forestales y agropecuarias que se desarrollan en la microcuenca, así como analizar la dinámica de cambio de uso de suelo en un periodo de 29 años (1993 – 2022). A continuación, se presenta la descripción de las actividades que se practican en el área de estudio y el análisis del camio de uso de suelo y cobertura vegetal.

Actividad forestal

Para la microcuenca de estudio, el INFyS del estado de Hidalgo de los periodos 2004 – 2007 y 2009 – 2014 identifica a lo largo de la microcuenca el aprovechamiento forestal con ganadería extensiva y agricultura de temporal (CONAFOR, s.f.a). Así mismo, el IEFyS indica en la microcuenca alta y media zonas de producción forestal. Por otro lado, las cifras reportadas por los anuarios estadísticos de Hidalgo muestran un aprovechamiento forestal maderable y de leña en los municipios que conforman la microcuenca (INEGI, 2004, 2012, 2017); en particular

reportan el aprovechamiento de especies de pino, encino y algunas hojosas (Tabla 5.2). Con las cifras reportadas se aprecia que del 2003 al 2016, la explotación de pino disminuyó y se mantuvo por debajo de la cifra del 2003 para Tenango de Doria y San Bartolo Tutotepec. Este último municipio representa la mayor actividad forestal con aprovechamiento maderable o de leña de pino y encino en la microcuenca.

Comparando la producción maderable de San Bartolo Tutotepec reportada en los anuarios estadísticos de Hidalgo (3,069 m^3 rollo del año 2016) con la de Agua Blanca de Iturbide (17, 222.00 m^3 rollo para el año 2014), ubicado al noroeste de la microcuenca, no es de productividad alta. A pesar de que el IEFyS del 2014 denomina a la microcuenca alta y media, ubicadas completamente en San Bartolo Tutotepec y Tenango de Doria, como zonas de producción forestal (CONAFOR, 2014).

Actividad pecuaria

La producción pecuaria en la microcuenca está representada principalmente por ganado bovino, porcino, ovino y aves de corral, según los datos reportados por los anuarios estadísticos y geográficos de Hidalgo de los años 2004 y 2012 (INEGI, 2004, 2012) y para la población ganadera y avícola por municipio del 2003 y 2007 (Tabla 5.3). En este periodo, la población bovina disminuyó un 73 % en el municipio de Huehuetla y aproximadamente el 50 % en los municipios restantes; además aumentó significativamente la existencia de ganado ovino en Huehuetla. En Tenango de Doria la población de aves de corral alcanzó un aumento superior al doble. Por otro lado, la comparación de las toneladas de producción de carne en canal de ganado y ave en los años 2003, 2011 y 2014 para los municipios de interés (Tabla 5.4), muestra que el volumen de producción aumentó para el ganado bovino y aves de corral. Así como, aumentó significativamente la producción de carne de origen ovino del año 2003 al 2011. El incremento en la producción de carne de ganado bovino, a pesar de la escasa información de la población ganadera existente, muestra el crecimiento de esta actividad, principalmente en Huehuetla y San Bartolo Tutotepec.

Con el recorrido de campo realizado en el año 2022 se pudo verificar la existencia de amplias zonas de pastizal inducido en la microcuenca media, principalmente en localidades del municipio de San Bartolo Tutotepec. También se observó la práctica del libre pastoreo de ganado bovino, seguido de ovino y ave de corral; así como, la interacción de la ganadería extensiva con el bosque mesófilo de montaña. Esta práctica se adecua a las condiciones topográficas con pendientes

elevadas mayores al 60 %, presentes en territorios de San Bartolo Tutotepec y Huehuetla. Como lo es el ganado bovino de raza Angus que se destaca por su capacidad de buscar forrajes en condiciones difíciles y la Cebú que prospera en climas cálidos por el color claro de la piel que le ofrece protección contra la radiación solar (SADER, 2023).

Actividad agrícola

Según reportes en los anuarios estadísticos del estado de Hidalgo del 2004 y 2008 en los municipios que conforman la microcuenca se desarrolla la agricultura de temporal de los cultivos cíclicos de maíz grano y frijol. Al igual que cultivos perennes como la caña de azúcar, café cereza y manzana (Tabla 5.5) (INEGI, 2004, 2008). A diferencia, del reporte para el año agrícola del 2012 que solo incluye los municipios con cantidades significativas de producción, agrupando el resto de los municipios en el concepto de superficie poco representativa. Por lo cual, en el ciclo agrícola del 2012 solo aparece registro para café cereza en San Bartolo Tutotepec y Huehuetla, así como en este último para maíz grano (INEGI, 2013).

En los tres municipios de interés la producción de frijol (130 a 365 ha) y maíz grano (6,753.00 ha) no es representativa comparada con los máximos productores de Hidalgo para el año agrícola 2012 (Huichapan con 3,224.00 ha de frijol y Huejutla de Reyes con 13,941.00 ha de maíz) (INEGI, 2013). A pesar de que la producción de maíz grano del municipio de Huehuetla es la mayor en el área de estudio, esta no es significativa para la microcuenca, ya que este municipio solo ocupa el 5.01 % de esta. Cabe mencionar que en la microcuenca media y baja existe interacción del bosque mesófilo de montaña con actividades agrícolas, principalmente con cultivos de maíz grano, frijol, aguacate, caña de azúcar y café.

Con respecto a la producción cafetalera, Gonzáles et al. (2019) puntualiza su importancia en Huehuetla para el 2014, reportando que alcanzó 7,328.00 ha de producción de café. Para el 2012, este municipio junto con Tlanchinol (3,715.00 ha), Huejutla de Reyes (2,440.00 ha) y Pisaflores (2,997.00 ha) conformaban el grupo con mayor producción a nivel estatal. Para el caso del café cereza, Huehuetla y San Bartolo Tutotepec son representativos en la producción cafetalera de Hidalgo. En la microcuenca, la importancia cafetalera se observa con la distribución espacial de Pérez-Akaki (2006) (Figura 5.3), donde resaltan zonas con un mayor número de productores cafetaleros en la parte media y baja, sitios ubicados en San Bartolo Tutotepec y Huehuetla.

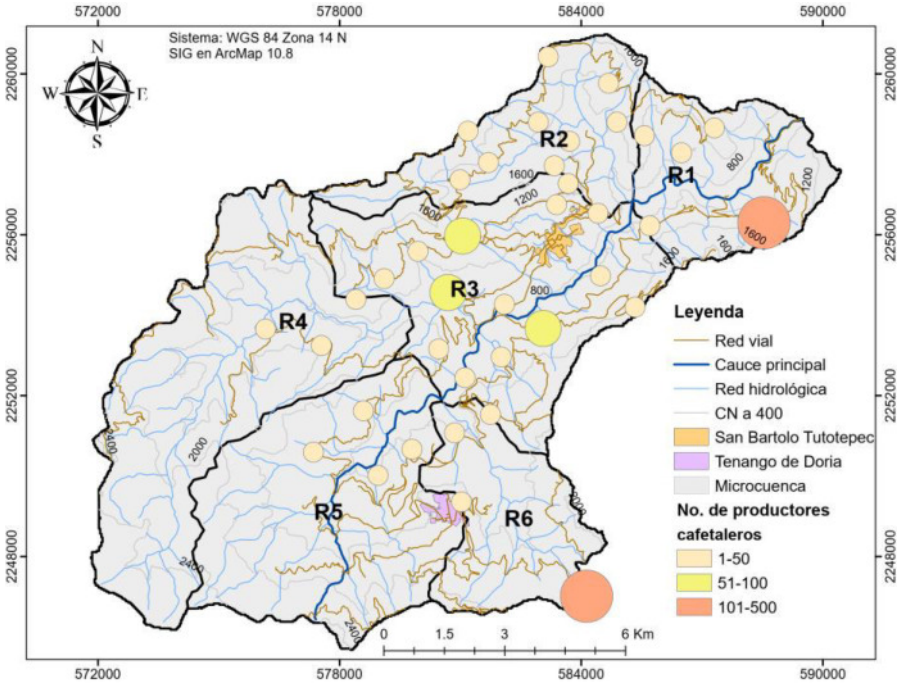


Figura 5.3. Número de productores cafetaleros, modificado de Pérez-Akaki (2006).

Tabla 5.2. Producción forestal maderable por municipio según grupos de especies (INEGI, 2004, 2012, 2017).

Estado/ Municipio	Coníferas									Latifoliadas					
	Pino			Oyamel			Otras			Encino			Otras		
Año	**2003**	**2011**	**2016**	**2003**	**2011**	**2016**	**2003**	**2011**	**2016**	**2003**	**2011**	**2016**	**2003**	**2011**	**2016**
Estatal	*97,100*	*80,944*	*97,535*	*4,440*	*3,579*	*6,861*	*443*	*2,542*	*115*	*22,844*	*35,082*	*23,159*	*1,189*	*1,945*	*2,054*
Huehuetla	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
San Bartolo Tutotepec	3,295	1,737	3,069	-	-	-	39	-	-	668	137	164	-	-	32
Tenango de Doria	383	321	205	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-
Total municipios	**3,678**	**2,058**	**3,274**	**-**	**-**	**-**	**39**	**-**	**-**	**668**	**146**	**164**	**-**	**-**	**32**

Reporte para los años de producción forestal 2003, 2011 y 2016, producción en metros cúbicos rollo. En el grupo de coníferas para pino comprende: *Pinus patula, Pinus teocote, Pinus leiophilia, Pinus moctezumae, Pinus rudis, Pinus pseudostrobus y Pinus ayacahuite*. Para oyamel comprende *Abies religiosa y* en otras coníferas se refiere a Cedro blanco (*Cupressus lindleyi*). En el grupo de latifoliadas el encino comprende *Quercus laurina, Crassipes* y *Rugosa;* y en otras latifoliadas incluye liquidámbar (*Liquidámbar styraciflua*) y hojosas (*Hojosas aile* y *Hojosas alnus firmifolia*).

Tabla 5.3. Población ganadera y avícola por municipio (INEGI, 2004, 2012).

Municipio/ Cabezas	2003				2007			
	Bovino	Porcino	Ovino	Aves de corral	Bovino	Porcino	Ovino	Aves de corral
Estatal	*591,766*	*412,873*	*849,954*	*12,717,240*	*310,300*	*203,601*	*822,349*	*5,515,725*
Huehuetla	16,823	3,968	250	22,677	4,510	2,278	1,165	25,506
San Bartolo Tutotepec	9,826	3,202	1,165	14,435	5,890	2,590	2,785	31,081
Tenango de Doria	6,621	4,719	3,679	12,700	3,269	2,634	2,761	28,169
Total municipios	**33,270**	**11,889**	**5,094**	**49,812**	**13,669**	**7,502**	**6,711**	**84,756**

Reporte para los años de producción ganadera 2003 y 2007, producción en cabezas de ganado.

Tabla 5.4. Producción de carne en canal de ganado y ave por municipio (INEGI, 2004, 2012, 2015).

Municipio /Toneladas	2003				2011				2014			
	Bovino	Porcino	Ovino	Aves de corral	Bovino	Porcino	Ovino	Aves de corral	Bovino	Porcino	Ovino	Aves de corral
Estatal	*29,998.70*	*19,015.63*	*5,380.81*	*58,449.57*	*33,796*	*13,791*	*6,927*	*62,227*	*31,195*	*11,905*	*7,281*	*57,601*
Huehuetla	589	137	2.50	14.75	595	174	35	36	775	74	5	46
San Bartolo Tutotepec	438	175.69	9.90	18.28	656	148	45	30	859	82	4	32
Tenango de Doria	309	255.73	25	13.21	245	205	41	25	483	135	15	25
Total municipios	**1,336**	**568.42**	**37.40**	**46.24**	**1,496**	**527**	**121**	**91**	**2,117**	**291**	**24**	**103**

Reporte para los años de producción ganadera 2003, 2011 y 2014, producción de toneladas de carne en canal.

Tabla 5.5. Superficie sembrada de temporal, años agrícolas 2002, 2007 y 2012 (INEGI, 2004, 2008, 2013).

Cultivo/ha	2002			2007			2012		
	Huehuetla	San Bartolo Tutotepec	Tenango de Doria	Huehuetla	San Bartolo Tutotepec	Tenango de Doria	Huehuetla	San Bartolo Tutotepec	Tenango de Doria
Maíz grano	4,670	2,965	2,753	4,705	2,980	2,680	6,753	-	-
Frijol	365	330	130	365	330	130	-	-	-
Café cereza	6,093	3,883	985	6,093	3,883	985	4,265	2,730	-
Caña de azúcar	165	150	45	165	150	45	-	-	-
Manzana	-	60	220	-	60	120	-	-	-
Total municipios	**11,293**	**7,388**	**4,133**	**11,328**	**7,403**	**3,960**	**11,018**	**2,730**	**-**

Reporte para la superficie sembrada en hectáreas, años agrícolas 2002, 2007 y 2012.

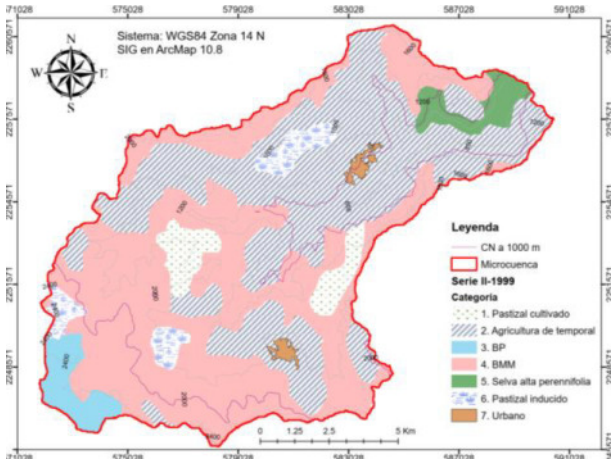
Dinámica del cambio de uso de suelo y cobertura vegetal (1999 – 2022)

El análisis del cambio de uso de suelo y cobertura vegetal facilita identificar los principales motores de cambio e investigar los procesos que los han generado mediante el cálculo de la tasa, matriz y mapa de cambio de un año inicial a uno final (Chughtai et al., 2021). Además de ubicar espacialmente regiones para el desarrollo potencial de iniciativas de conservación, restauración y aplicación de políticas de manejo sustentable (Toledo-Aceves et al., 2022); tales como la creación de áreas voluntariamente reservadas para la conservación y uso sustentable de los ecosistemas (Ochoa-Ochoa et al., 2021).

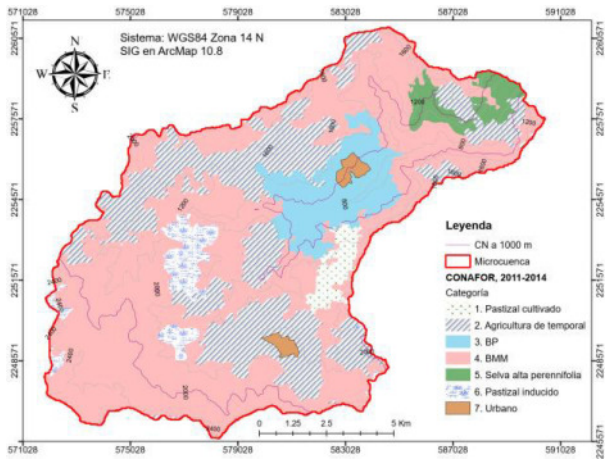
Para el área de estudio el uso de suelo y cobertura vegetal para cada año de análisis se muestra en la Figura 5.4 donde se observan las siete categorías identificadas. En la cartografía de CONAFOR (2021) se identifica la presencia de bosque mesófilo de montaña (BMM) en la microcuenca alta y bosque de pino (BP) en la microcuenca media y baja (Figura 5.4b). Esto es contrario a lo reportado por INEGI (2001) (Figura 5.4a) y lo observado en la microcuenca para septiembre del 2022 (Figura 5.4c). Por lo cual, al no existir cifras importantes de crecimiento de la producción forestal en los municipios que conforman la microcuenca, se considera que estas contradicciones se deben a un cambio en la metodología de clasificación de INEGI. Así mismo en la verificación de campo del año 2022 se identificó una franja de transición de BPQ poco conservado con 1,222.00 ha que delimita el cambio de BP a BMM, localizada entre los 2,000 y 2,400 m.s.n.m. (Figura 5.4c).

Con la cartografía de uso de suelo y cobertura vegetal se aprecia que antes del 2011 la agricultura de temporal y el BMM eran las principales categorías en la microcuenca, después de este año lo fue el BMM y pastizal inducido. De forma general, en la microcuenca para el año 2022 las categorías con mayor superficie son las de BMM (53.35 %), agricultura de temporal (17.65 %) y pastizal inducido (18.93 %) (Tabla 5.6). Con respecto a las tasas de cambio, los valores negativos indican una disminución de la cobertura vegetal y un valor positivo el aumento de esta (Tabla 5.6). Para el intervalo 1993 – 2022, las tasas de cambio indican que la mayor ganancia de superficie fue para la categoría de pastizal inducido (7.29 %) y la menor para la agricultura de temporal y el pastizal cultivado (-3.43 y -4.12 % respectivamente); las tasas de cambio para estas categorías también destacaron en los subintervalos 1993 – 2011 y 2011 – 2022. Así como el BP con un aumento de la superficie de 1993 – 2011 y una disminución para el 2022, lo cual se debe a la identificación de BP en la microcuenca media por CONAFOR (2021) que para 2022 corresponde a pastizal inducido que interactúa con BMM (Figura 5.4b).

5.4a) Serie II (1999)



5.4b) CONAFOR (2011 – 2014)



5.4c) USyV (2022)

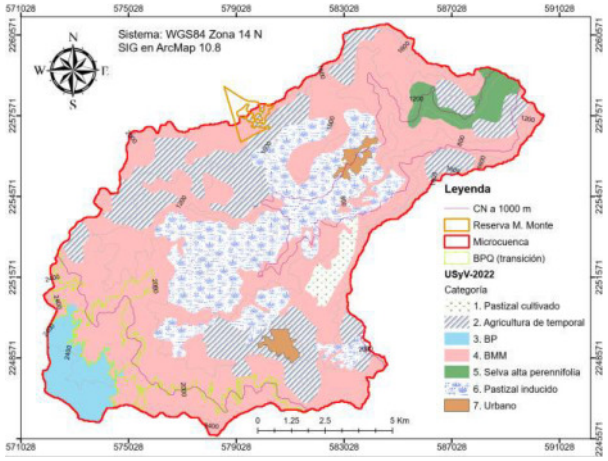


Figura 5.4. Uso de suelo y cobertura vegetal, elaboración propia con datos de: a) INEGI (2001), b) CONAFOR (2021) y c) USyV – 2022 para la microcuenca.
Bosque de pino (*BP*), bosque mesófilo de montaña (*BMM*).

Para el intervalo total (1993 – 2022), los cambios de superficie entre categorías se muestran en la matriz de cambio (Tabla 5.7), donde la diagonal indica la superficie en hectáreas que se mantiene sin cambio para cada categoría (persistencia) y en las filas la superficie pérdida para cada categoría del año inicial al final. Estos cambios de superficie son fáciles de observar con los diagramas de Markov, los cuales facilitan visualizar las transiciones entre categorías (Figura 5.5). Con este diagrama de flujo se observa la estrecha relación de las zonas de pastoreo y la producción agrícola con el BMM.

Durante el periodo de estudio (29 años), se observa que parte de la superficie que perdió el pastizal cultivado (407.70 ha) y la agricultura de temporal (6,636.99 ha) se originó por el aumento

del pastizal inducido y BMM (Tabla 5.7). Esta pérdida de superficie del pastizal cultivado y agricultura de temporal las identifica como las categorías con mayor vulnerabilidad al cambio, con probabilidades de permanencia bajas de 34.38 y 37.58 %, respectivamente; así mismo el pastizal inducido con una baja probabilidad (56.49 %) de permanecer con el mismo uso de suelo, debido al aumento de superficie de esta categoría (Figura 5.5). Este aumento propició que el pastizal inducido presentara las mayores ganancias con pérdidas menores (Tabla 5.7), así mismo la agricultura de temporal y el pastizal cultivado presentaron pérdidas mayores comparadas con las escasas ganancias, estas categorías tuvieron las tasas de cambio negativas más altas (Tabla 5.6). Con respecto a las categorías que presentaron probabilidades mayores del 90 % de mantener la superficie con el mismo uso de suelo se encuentran la selva alta perennifolia, BP y uso de suelo urbano (Figura 5.5).

Tabla 5.6. Superficie por tipo de uso de suelo y cobertura vegetal, elaboración propia con datos de INEGI (2001), CONAFOR (2021) y USyCV – 2022.

Categoría/Superficie (ha, %)	**1993**		**2011**		**2022**		**Tasa de cambio (%)**		
							1993 – 2022	1993 – 2011	2011 – 2022
Pastizal cultivado	*621.27*	**4.10**	*312.12*	**2.06**	*235.89*	**1.56**	-4.12	-5.58	-2.51
Agricultura de temporal	*5,973.30*	**39.38**	*3,796.56*	**25.03**	*2,677.41*	**17.65**	-3.43	-3.71	-3.13
BP	*504.54*	**3.33**	*1,287.90*	**8.49**	*665.55*	**4.39**	1.21	8.12	-5.82
BMM	*6,939.18*	**45.75**	*8,591.58*	**56.64**	*8,092.62*	**53.35**	0.67	1.80	-0.54
Selva alta perennifolia	*437.67*	**2.89**	*469.62*	**3.10**	*429.66*	**2.82**	-0.08	0.59	-0.81
Pastizal inducido	*568.80*	**3.75**	*563.04*	**3.71**	*2,870.73*	**18.93**	7.29	-0.08	15.96
Urbano	*123.75*	**0.82**	*147.69*	**0.97**	*196.65*	**1.30**	2.03	1.48	2.64

Superficie en hectáreas en cursiva y porcentaje en negrita. Bosque de pino (BP), bosque mesófilo de montaña (BMM).

Tabla 5.7. Matriz de cambio para el periodo 1993 – 2022.

		2022							
	Categoría (ha)	Pastizal cultivado	Agricultura de temporal	BP	BMM	Selva alta perennifolia	Pastizal inducido	Urbano	T_1
1993	Pastizal cultivado	**213.57**	0	0	106.20	0	301.50	0	621.27
	Agricultura de temporal	4.95	**2,244.42**	0	2,025.18	12.60	1,611.81	74.34	5973.30
	BP	0	0	**460.44**	44.10	0	0	0	504.54
	BMM	17.37	408.78	161.64	**5,697.72**	18.99	634.68	0	6,939.18
	Selva alta perennifolia	0	22.05	0	17.55	**398.07**	0	0	437.67
	Pastizal inducido	0	2.16	43.47	201.87	0	**321.30**	0	568.80
	Urbano	0	0	0	0	0	1.44	**122.31**	123.75
	T_2	235.89	2,677.41	665.55	8,092.62	429.66	2,870.73	196.65	15,168.51

Persistencias en negritas (P_{jj})

Durante el periodo de análisis se han presentado cambios importantes en el uso de suelo y cobertura vegetal de la microcuenca, principalmente en el uso de suelo de agricultura de

temporal, BMM, pastizal cultivado y pastizal inducido. Según los índices de vulnerabilidad, esta última categoría muestra mayor tendencia de ganar superficie que a permanecer estable (g_p = 7.93). Así como el pastizal cultivado y la agricultura de temporal son las categorías con índices de pérdida mayores (I_p de 1.91 y 1.66 respectivamente), lo que indica que presentan una tendencia a perder superficie que a permanecer con el mismo uso de suelo (Tabla 5.8). Las categorías que muestran menor vulnerabilidad al cambio y con los I_p menores son el BMM, BP, selva alta perennifolia y la zona urbana (0.22, 0.10, 0.10 y 0.01 respectivamente), por consiguiente, estas categorías se consideran estables.

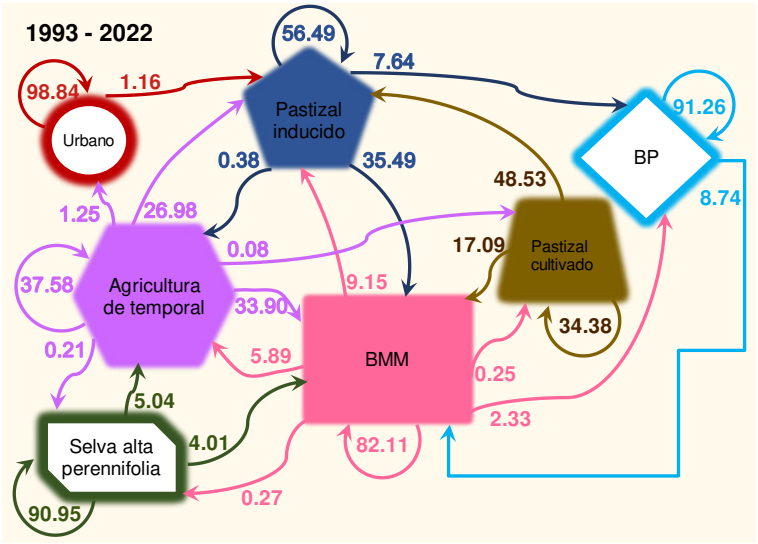


Figura 5.5. Diagrama de flujo con la probabilidad de transición. Elaboración propia.

Tabla 5.8. Superficie de intercambio, ganancia, pérdida, cambio total y neto (1993 – 2022).

Categoría	P_{jj}	Pérdida	Ganancia	C_t	Int	C_n	Índices de vulnerabilidad		
			ha				g_p	I_p	n_p
Pastizal cultivado	213.57	407.70	22.32	430.02	44.64	385.38	0.10	1.91	-1.80
Agricultura de temporal	2,244.42	3,728.88	432.99	4,161.87	865.98	3,295.89	0.19	1.66	-1.47
BP	460.44	44.10	205.11	249.21	88.20	161.01	0.45	0.10	0.35
BMM	5,697.72	1,241.46	2,394.90	3,636.36	2,482.92	1,153.44	0.42	0.22	0.20
Selva alta perennifolia	398.07	39.60	31.59	71.19	63.18	8.01	0.08	0.10	-0.02
Pastizal inducido	321.30	247.50	2,549.43	2,796.93	495.00	2,301.93	7.93	0.77	7.16
Urbano	122.31	1.44	74.34	75.78	2.88	72.90	0.61	0.01	0.60

Persistencias (P_{jj}), Cambio total (Ct), Intercambio (Int), Cambio neto (Cn), índices de pérdida (I_p), índice de ganancia (g_p), índice de cambio neto (n_p).

Por último, para observar espacialmente los cambios entre categorías que sucedieron en los 29 años en la microcuenca es útil el mapa de transición (Figura 5.6), donde se observan los cambios de categoría y las permanencias en la microcuenca de un año de análisis inicial a uno final. Por lo cual, el mapa de transición permite identificar los intercambios entre categorías. Por ejemplo,

en la microcuenca media se observó el cambio de uso de suelo de agricultura de temporal a pastizal inducido (transición *2→6*) y en la parte baja a BMM (transición *2→4*). Asimismo, en la parte media, se observa el cambio de pastizal cultivado a pastizal inducido (transición *1→6*) y BMM (transición *1→4*). Como cambio importante en la microcuenca alta resalta la ampliación del BP sobre BMM (transición *4→3*) y pastizal inducido (transición *6→3*). Esta representación gráfica del cambio de uso de suelo permitió observar que las pérdidas de superficie para la agricultura de temporal y BMM están relacionadas con el crecimiento de zonas de pastoreo y el abandono de tierras de cultivo de temporal (Figura 5.6). Sin embargo, el BMM como el segundo con mayor ganancia indica que la ganancia en superficie estuvo acotada por la agricultura de temporal abandonada y la expansión del pastoreo (Tabla 5.7).

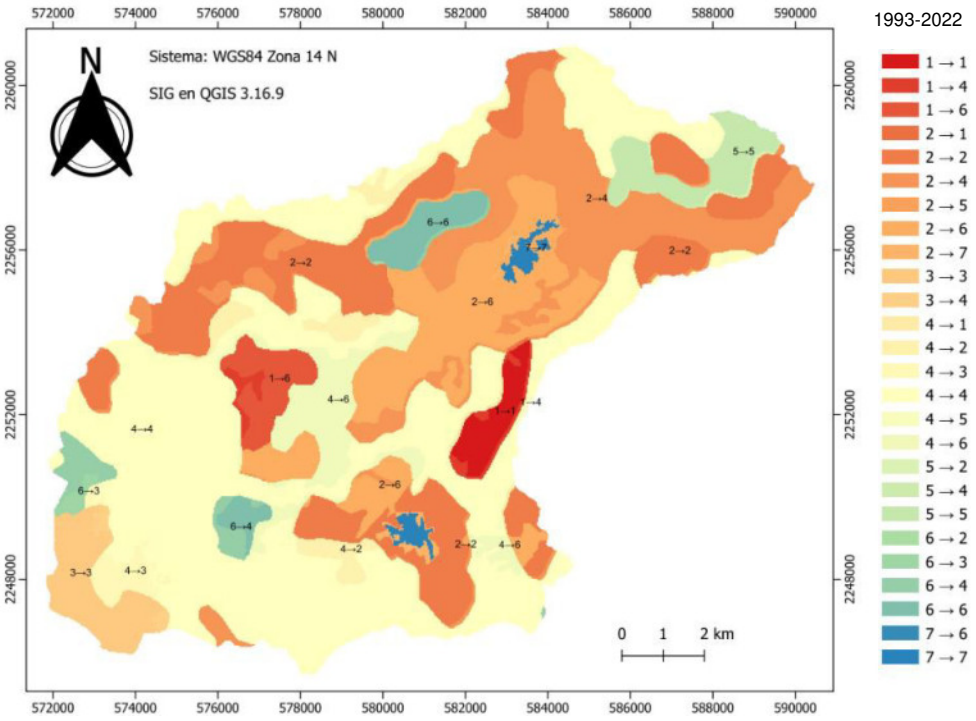


Figura 5.6. Mapa de transición para el periodo 1993 – 2022. Elaboración propia.

Categorías: *1.* Pastizal cultivado, *2.* Agricultura de temporal, *3.* Bosque de pino, *4.* Bosque mesófilo de montaña, *5.* Selva alta perennifolia, *6.* Pastizal inducido y *7.* Urbano.

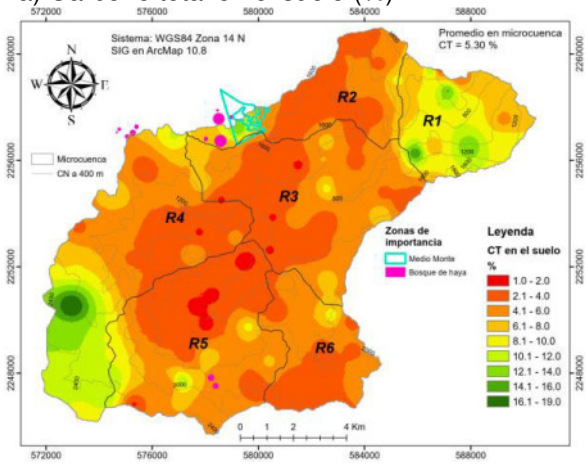
En el mapa de transición se observa que en la microcuenca media existe un proceso de cambio y deforestación marcado por la apertura de zonas para pastoreo que interactúan con el BMM y en la microcuenca baja por la ampliación de zonas agrícolas colindantes con la selva alta perennifolia (Figura 5.6). Lo que sugiere que el aumento de actividades agropecuarias se debe a que la necesidad de la producción de alimentos para ganado obtuvo importancia durante todo el

periodo de análisis y propició el abandono de zonas agrícolas. También evidencia el crecimiento del aprovechamiento forestal de BP en la microcuenca alta.

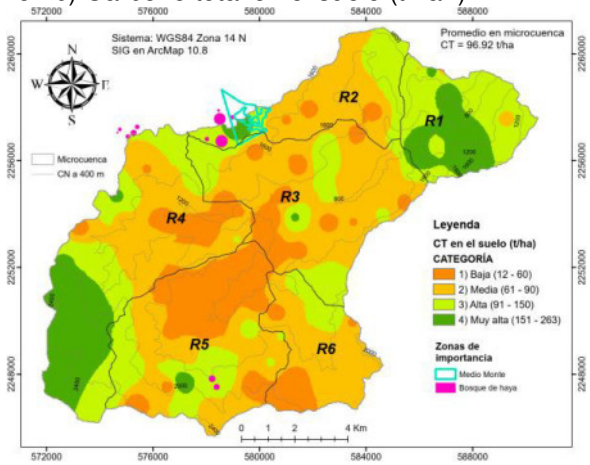
5.1.1.2. Captura de carbono en el suelo y áreas de conservación en la microcuenca

Una vez obtenida la distribución espacial del contenido de carbono total en porcentaje (%CT) se realizó la conversión a t ha^{-1} (Figura 5.7), posteriormente este mapa se categorizó según la escala definida por Vela Correa (2012) para carbono orgánico total en suelos con uso agrícola, cobertura de bosque y áreas reforestadas. Por lo cual las categorías consideradas fueron las siguientes: bajo (12 – 60), media (61 – 90), alta (91 – 150) y muy alta (151 – 263) (Figura 5.7b).

5.7a) Carbono total en el suelo (%)



5.7b) Carbono total en el suelo (t ha^{-1})



5.7c) CO_2 en el suelo (t ha^{-1})

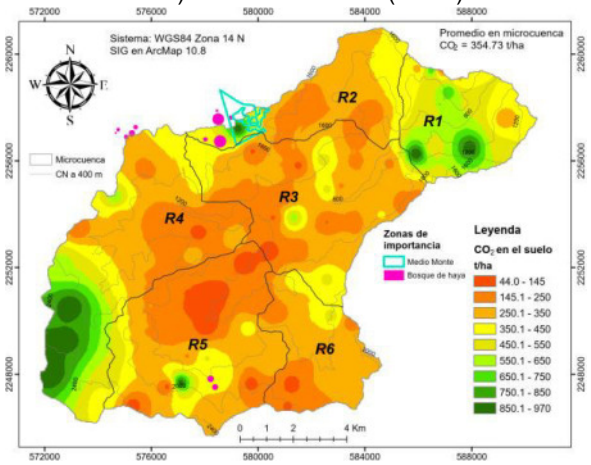


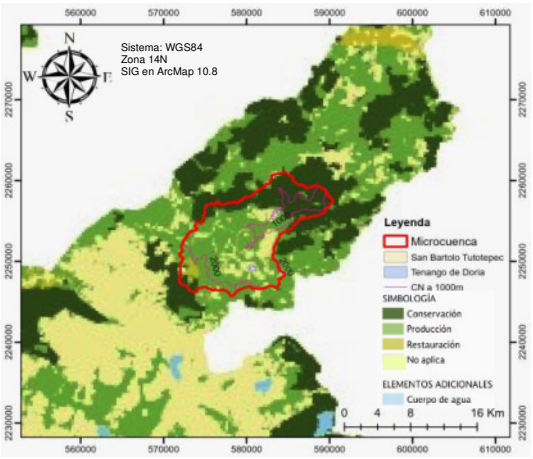
Figura 5.7. Carbono total (CT) y captura de CO_2 en el suelo por región; a) Concentración en porcentaje de CT, b) Concentración en t ha^{-1} de CT y c) Captura de CO_2 en la microcuenca. Elaboración propia con datos del TOC-L_{CPH}.

Según los resultados obtenidos para el área de estudio, se observó que las concentraciones mayores al 8 % de CT se encuentran en sitios de bosque mesófilo de montaña, bosque de pino y selva alta perennifolia, de forma contraria, las concentraciones menores a 8 % se ubican principalmente en las zonas agropecuarias (Figura 5.7a). La distribución espacial de la captura de carbono y CO_2 en el suelo permitió identificar que esta difiere según el tipo de cobertura vegetal y el uso de suelo en la microcuenca.

La distribución espacial del CO_2 y CT en el suelo permitió identificar zonas potenciales para la captura de carbono y susceptibles de protección ambiental en la microcuenca (Figura 5.7b y 5.7c). Como lo son las zonas que muestran altos niveles de CT (90 a 150 t ha^{-1}), sitios óptimos para aplicar como servicios ecosistémicos; además de la presencia del bosque de haya (*Fagus grandifolia* subsp. *Mexicana*) identificado por Rodríguez-Ramírez et al. (2018) en la región cinco y dos. En la región dos se localiza el área natural protegida de competencia municipal "Medio Monte" de San Bartolo Tutotepec, esta área protegida está conformada por bosque mesófilo de montaña y alberga especies en peligro de extinción (Gobierno de Hidalgo, 2020). Además, se ubica al norte de la microcuenca sobre zonas identificadas con una capacidad de captura de CT de alta a muy alta.

En la región dos y cuatro existen zonas escarpadas con concentraciones muy altas de CT (mayor a 150.00 t ha^{-1}) en zonas de bosque de pino, bosque mesófilo de montaña y selva alta perennifolia que representan un uso potencial de captura de carbono o turístico. De igual manera, sitios de bosque mesófilo de montaña en la microcuenca alta y selva alta perennifolia en la parte baja son susceptibles a conservación, según lo indica el ordenamiento ecológico territorial de Hidalgo (Gobierno de Hidalgo, 2022) y el IEFyS (CONAFOR, 2014) (Figura 5.8). En estos lugares existe la posibilidad de implementar áreas de protección de especies para un manejo sustentable que se ajuste a las normativas municipales y locales. Algunas de las especies de flora y fauna endémicas y en peligro de extinción según la norma mexicana "NOM-059-SEMARNAT-2010" (SEMARNAT, 2010) y la modificación del Anexo Normativo III de la "NOM-059-SEMARNAT-2010" (DOF, 2015) son la haya (*Fagus grandifolia* subsp. *Mexicana*) y la codorniz coluda veracruzana (*Dendrortyx barbatus*). De igual manera, en la microcuenca existen especies endémicas de flora y fauna identificadas como amenazadas (A) y sujetas a protección especial (Pr); como lo son la palma de todos santos (*Ceratozamia mexicana*) (A), ratón gigante xalapeño *(Megadontomys nelson)* (A) y ratón trepador de Jico (*Habromys simulatus*) (Pr) (CONABIO, 2023).

5.8a) Zonificación forestal



5.8b) Zonas de conservación

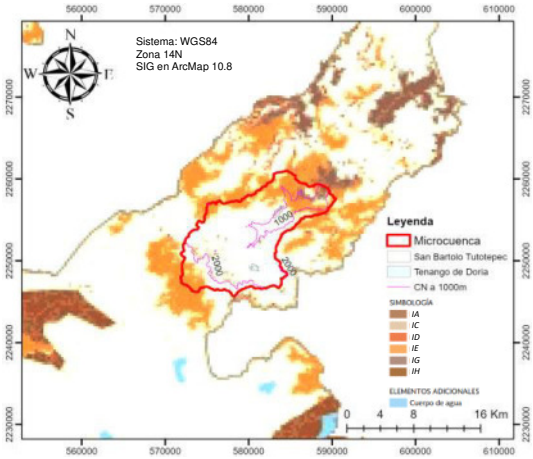


Figura 5.8. Inventario Estatal Forestal y de Suelos (IEFyS), a) zonificación forestal y b) zonificación de conservación. Elaboración con datos de CONAFOR (2014).

En microcuenca: selva alta perennifolia (*IG*) y bosque mesófilo de montaña (*IE*).

Con respecto al uso de suelo y la conversión de este, se ha reportado que cambios de uso de suelo de bosque a agricultura genera una disminución entre el 15 y 40 % del carbono en el suelo (Guo y Gifford, 2002; Ramesh et al., 2019) y en un periodo de 30 a 50 años de cultivo se puede presentar una disminución del 30 – 50 % (Post y Kwon, 2000; Ramesh et al., 2019). Así mismo, la conversión de agricultura a bosque secundario aumentaría la reserva de carbono en el suelo en un 53 % y el cambio de agricultura a pastizal de 19 – 26 % (Don et al., 2011; Guo y Gifford, 2002). Sin embargo, el cambio de uso de suelo de pastizal a agrícola generaría una disminución del 59 % (Guo y Gifford, 2002). En el caso de la conversión de bosque a pastizal, Murty et al. (2002) reportan que no se produce una tendencia clara en el cambio de carbono en el suelo. Por lo cual, el cambio de bosque a pastizal puede generar cambio en el ciclo del carbono, dependiendo del manejo de este, del contenido inicial de carbono, la aplicación de fertilizante y de evitar el sobre pastoreo.

Debido a que en el área de estudio la actividad agropecuaria se desarrolla en el 38.14 % de la superficie y que interactúa con el bosque mesófilo de montaña que cubre el 53.35 % de la microcuenca, se debe considerar que para la continuidad de la captura de carbono en el suelo hay que mejorar o mantener la capacidad productiva de la tierra. Lo que aumentaría la estabilización del suelo, la infiltración del agua, el secuestro de carbono, el ciclo y la disponibilidad de nutrientes, la biodiversidad y el hábitat de la vida silvestre; que en conjunto resultan en una mayor estabilidad y resiliencia económica del ecosistema (Teague y Kreuter, 2020). Así mismo, para considerar sitios como potenciales para captura de carbono y como zonas de conservación

y protección, se debe plantear que la interacción de varios factores generalmente ocasiona afectaciones en los servicios ecosistémicos, como lo es la conversión del uso de suelo. Sin embargo, estos cambios a su vez pueden generar nuevas oportunidades y limitaciones en el uso del suelo o agua, así como inducir modificaciones a nivel institucional como respuesta a la degradación y escasez de recursos. Por lo tanto, pueden influenciar socialmente como también generar cambios en la desigualdad de ingresos (Nelson et al., 2006).

5.1.1.3. Erosión hídrica en la microcuenca

La microcuenca es mayoritariamente rural, en donde se desarrollan actividades agropecuarias en ladera para la producen de cultivos como el maíz, café y caña de azúcar. Asimismo, existe una amplia apertura de zonas de pastoreo que interactúan con el bosque mesófilo de montaña, principalmente para el desarrolla de ganado bovino para producción de carne. Al desarrollarse estas actividades en zonas escarpadas, la pérdida de suelo puede ser significativa. Este fenómeno perjudica los servicios ecosistémicos y las funciones primordiales que proporciona el suelo, como la infiltración del agua, disminución de nutrientes, alteración a ciclos biogeoquímicos importantes, secuestro de carbono, control de inundaciones, y la capacidad de soporte y suministro de nutrientes para las plantas (Panagos et al., 2017; Singh et al., 2023). Asimismo, la pérdida del suelo influye directamente en la contaminación de cuerpos de agua y en el abandono de zonas agropecuarias (Arias-Muñoz et al., 2023; Benavidez et al., 2018). Estas afectaciones impactan tanto en el ecosistema como en el bienestar humano, ya que desencadenan problemas de seguridad alimentaria (Sartori et al., 2019; Wang et al., 2022), aumento de la migración y de eventos como los deslizamientos e inundaciones (Arias-Muñoz et al., 2023). Lo anterior expone la importancia del análisis de pérdida de suelo en la microcuenca.

La pérdida de suelo en el área de estudio se observa en la Figura 5.9, los resultados obtenidos de erosión del suelo se clasificaron con base en el cuartil según recomendación de Hoyos (2005), donde resultaron los rangos de 0 – 80, 80 – 160, 160 – 326 y 326 – 20,793.25. Debido a que valores superiores de 4000 t ha^{-1} $año^{-1}$ de pérdida de suelo representan el 0.03 % de la superficie de la microcuenca se consideró la siguiente clasificación: baja (< 80 t ha^{-1} $año^{-1}$), media (80 a 160 t ha^{-1} $año^{-1}$), alta (160 a 4000 t ha^{-1} $año^{-1}$) y muy alta (> 4000 t ha^{-1} $año^{-1}$). En la microcuenca la magnitud y distribución de la erosión está dada por las variaciones de los factores ambientales y antrópicas como la pendiente, el tipo de suelo y el uso de este. Lo que genera que el 12.04 % de la microcuenca está afectada por una tasa de pérdida de suelo media que oscila entre 60 – 180 t ha^{-1} $año^{-1}$ y el 14.57 % con valores dentro del rango de 160 – 4,000 t ha^{-1} $año^{-1}$. La identificación

de la importancia de este fenómeno ya había sido identificada por CENAPRED (2009), el cual reporta al área de estudio dentro de la segunda región del estado con mayor pérdida del suelo en un orden de más de 4,000 t ha^{-1} año^{-1}.

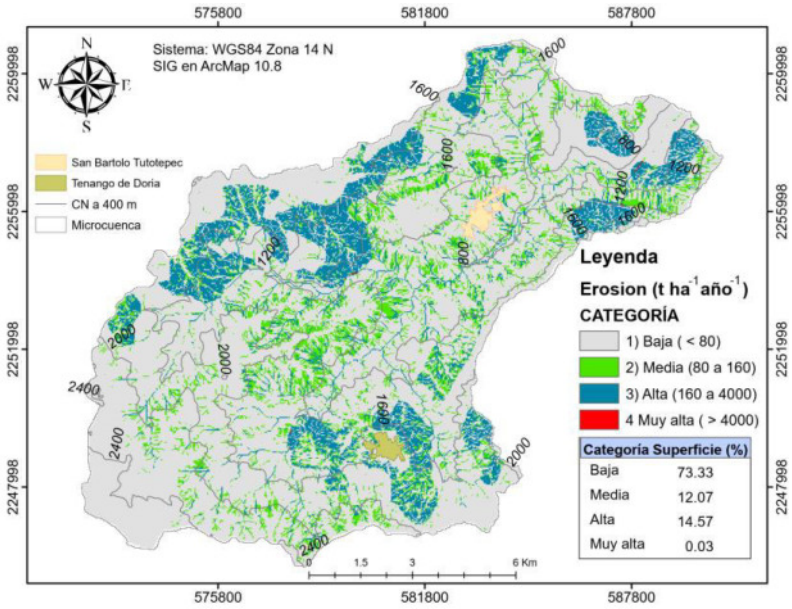


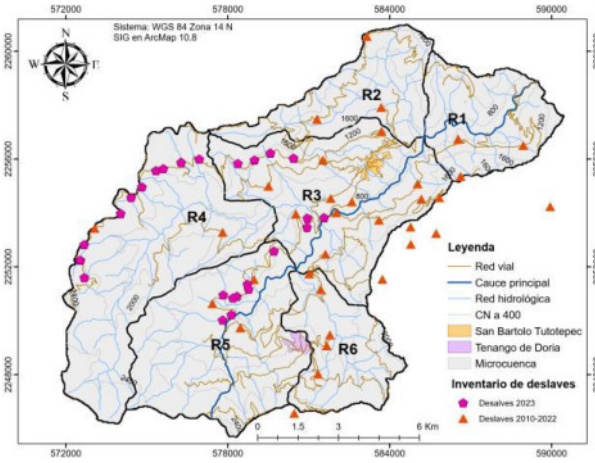
Figura 5.9. Pérdida del suelo (t ha^{-1} año^{-1}). Elaboración propia.

Entre los factores que influyen en la pérdida de suelo, la pendiente y el uso de suelo y cobertura vegetal determinan la magnitud de esta, lo cual se observó al comparar el valor promedio de la erosión para la microcuenca (92.46 t ha^{-1} año^{-1}) con algunos valores reportados para regiones con condiciones similares de precipitación y uso de suelo. Donde resulta que el valor promedio de pérdida de suelo en el área de estudio se encuentra por arriba del reportado para colinas (62.28 t ha^{-1} año^{-1}) ubicadas en Tulancingo, Hidalgo, México (Alvarado Cardona et al., 2024). Esta diferencia se debe a que en las colinas el uso de suelo de agricultura de temporal y la cobertura vegetal de bosque de encino se desarrollan en pendientes menores (7 al 10 %) que las presentes en la microcuenca, donde la pendiente oscila entre 15 y más de 45 %. Asimismo, las 92.46 t ha^{-1} año^{-1} de pérdida de suelo en la microcuenca es similar a las reportados por Ebrahimzadeh et al. (2018) para la cuenca “Nozhian” (89.32 t ha^{-1} año^{-1}). Esta se ubica en la provincia de Lorestan al oeste de Irán con una cobertura vegetal que varió de densa a vegetación primaria, el uso de suelo predominante es el de agricultura de riego con pendientes pronunciadas características de regiones montañosas. Esta similitud se debe a que la microcuenca del Río Pantepec y la cuenca Nozhian se localizan en zonas montañosas con pendientes escarpadas.

5.1.1.4. Deslizamiento del suelo en laderas

De los municipios que conforman la microcuenca, solo Tenango de Doria cuenta con la identificación oficial de sitios susceptibles a deslizamientos (SEDATU, 2013), a diferencia de los municipios de San Bartolo Tutotepec y Huehuetla donde también se presentan estos eventos. Según reportes periodísticos durante el periodo 2010 – 2022 y los registros georreferenciados en la microcuenca durante el año 2022 y 2023, la mayoría de los deslizamientos se ubican en la microcuenca media en zonas aledañas a San Bartolo Tutotepec (Figura 5.10a). En la mayoría de los deslizamientos registrados durante los años 2022 y 2023 se identificó el desarrollo de actividades agropecuarias cercanas o sobre la cabecera del deslizamiento (inicio del deslizamiento). En algunos casos, ya se han realizado acciones de contención en zonas cercanas a las carreteras y caminos de acceso, como lo son la construcción de muros de gaviones.

5.10a) Inventario de deslaves



5.10b) Susceptibilidad de deslizamiento

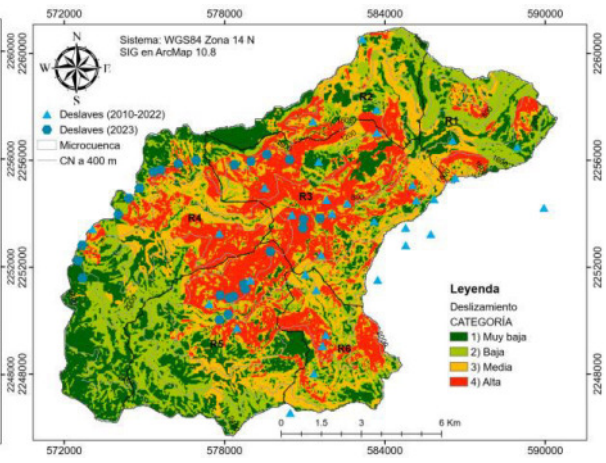


Figura 5.10. a) Inventario de deslaves y b) susceptibilidad de deslizamiento en la microcuenca; reportes de: notas periodísticas (2010 – 2022), atlas de riesgos naturales de Tenango de Doria (SEDATU, 2013) e inventario de recorrido de campo (2022 – 2023). Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos con la metodología planteada para la determinación de la distribución espacial de la susceptibilidad de deslizamiento del suelo, se verifico que las áreas de mayor susceptibilidad obtenidas para la microcuenca (Figura 5.10b) corresponden al inventario de deslaves (Figura 5.10a). El mapa obtenido muestra que las regiones tres, cuatro y cinco son las de mayor susceptibilidad a deslizamientos, debido al uso de suelo y la presencia de montañas fuertemente diseccionadas (roca lutita, arenisca, limolita, piroclástica, basalto y andesita) con pendientes mayores al 25 % (Figura A1.1, A1.3 y A1.4). En consecuencia, en la microcuenca la combinación de las condiciones ambientales y el uso de suelo agropecuario son los principales desencadenantes para el deslizamiento del suelo en laderas, lo cual indica la alta vulnerabilidad

de estas regiones debido al manejo de pastizales y zonas de cultivo. La información obtenida es de utilidad para el ordenamiento territorial, la planeación de obras de estabilización y conservación del suelo; así como para el monitoreo de sitios susceptibles a deslizamiento cercanos a asentamientos humanos, que podrían representar un riesgo ambiental para la población.

Para la microcuenca de estudio es importante mitigar el efecto del flujo de agua con la implementación de acciones de control del drenaje superficial y la estabilización de vías fluviales (Alewell et al., 2019), debido a que este factor actuante es le principal desencadenante de deslizamientos. También se debe considerar que la conversión de uso forestal a uso agrícola tiene un impacto negativo sobre la calidad y cantidad del agua (Golijanin et al., 2022), lo que se relaciona con la sedimentación y susceptibilidad a deslizamientos e inundaciones (Potić et al., 2022).

5.1.2. Entorno socioeconómico en la microcuenca

5.1.2.1. Población de la microcuenca

Según datos del censo de población y vivienda del 2010 el mayor número de habitantes se encuentra en la parte central de la microcuenca, así como de localidades, que en su mayoría cuentan con menos de 500 habitantes (INEGI, 2010a). Por otro lado, la región noroeste es la que presenta menos población con localidades de menos de 500 habitantes (Figura 5.11).

Al analizar la microcuenca por región, la región tres es la que presenta mayor número de habitantes en 29 localidades; además cuenta con la mayor cantidad de población de 3 años o más que hablan alguna lengua indígena, esta representa el 12.03% del total (Tabla 5.9 y 5.10). En las regiones uno (R1), tres (R3), cuatro (R4), cinco (R5) y seis (R6) la proporción de hombres oscila entre el 46 % y 49 %, superando el 50 % solo en la región dos (R2). A su vez la población de 15 años y más supera el 60 % en R1 y R4; y el 68 % en R2, R3 y R5 (Tabla 5.9). La segunda región con mayor número de habitantes es R5, donde el 8.51% de la población total habla alguna lengua indígena. A pesar de que R3 y R5 son las regiones con mayor población, la mayor proporción de hablantes de alguna lengua indígena se ubica en R2 (49.88%) y en R4 (43.10%) (Tabla 5.10).

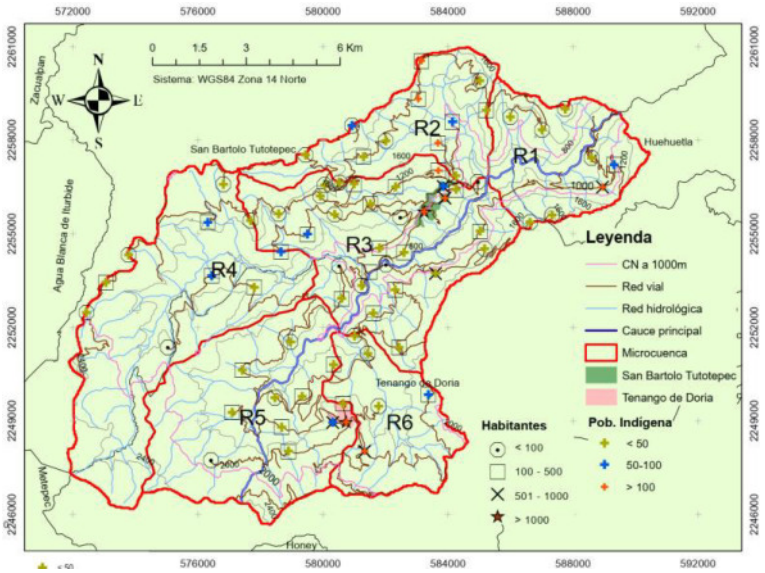


Figura 5.11. Población y habitantes indígenas, elaborado con datos de INEGI (2010a).

Tabla 5.9. Localidades y número de habitantes por región en la microcuenca (INEGI, 2010a).

Habitantes	**R1**		**R2**		**R3**		**R4**		**R5**		**R6**	
< 100	*6*	**328**	*5*	**386**	*11*	**447**	*5*	**171**	*3*	**153**	*3*	**122**
101 – 500	*1*	**210**	*6*	**1,290**	*14*	**3,434**	*5*	**648**	*7*	**1,547**	*1*	**321**
501 – 1000	*1*	**580**	-	-	*3*	**1,827**	-	**-**	*1*	**839**	*1*	**918**
> 1000	-	-	-	-	*1*	**2,568**	-	**-**	*1*	**2,433**	-	**-**
TOTAL (Localidad/habitantes)	*8*	**1,118**	*11*	**1,676**	*29*	**8,276**	*10*	**819**	*12*	**4,972**	*5*	**1,361**
Hombres		**555**		**844**		**4,110**		**383**		**2,441**		**664**
Mujeres		**563**		**832**		**4,166**		**436**		**2,531**		**697**
p_15ymas		**680**		**1,152**		**5,638**		**497**		**3,422**		**888**

Número de localidades en cursivas y número de habitantes en negritas. Población mayor de 15 años (p_15ymas).

Tabla 5.10. Localidades donde población de 3 años y más habla alguna lengua indígena (INEGI, 2010a).

No. habitantes	***Localidades indígenas por región***					
	R1	***R2***	***R3***	***R4***	***R5***	***R6***
< 50	6	6	19	6	9	3
50 – 100	1	2	2	3	1	1
> 100	1	3	3	0	1	1
Población total	**298**	**836**	**996**	**353**	**423**	**305**
Habla alguna lengua indígena	26.65%	49.88%	12.03%	43.10%	8.51%	22.41%

5.1.2.2. Desarrollo socioeconómico

Para describir el desarrollo socioeconómico en la microcuenca se consideran parámetros e indicadores sociales y económicos reportados a nivel localidad y municipal. Dentro de los principales índices municipales está el Índice de Desarrollo Humano (IDH) que comprende tres dimensiones esenciales (PNUD, 2019):

- La capacidad de gozar de vida larga y saludable, medida a través de la esperanza de vida al nacer.
- La capacidad de adquirir conocimientos, medida mediante una combinación del grado de alfabetismo de los adultos y el nivel de asistencia escolar de niños, adolescentes y jóvenes de 6 a 24 años.
- La capacidad de contar con el acceso a los recursos que permitan disfrutar de un nivel de vida digna y decoroso, medido por el PIB per cápita ajustado al poder adquisitivo del dólar en los Estados Unidos.

Para el año 2010, INEGI reporta para San Bartolo Tutotepec, Tenango de Doria y Huehuetla un IDH medio (Tabla 5.11, 5.12 y 5.13). El valor más bajo de este índice en la microcuenca corresponde a San Bartolo Tutotepec (0.559), el cual se ubica cercano al más bajo reportado a nivel estatal (La Misión, 0.534) y muy por arriba del valor mínimo a nivel nacional (0.364) (Figura 5.12 y Tabla 5.11).

Tabla 5.11. Índice de Desarrollo Humano 2010 (IDH), municipio San Bartolo Tutotepec (SNIM, 2010b).

Indicador		Nacional	
	Valor	Min	Max
Año promedio de escolaridad	4.00	1.056	13.642
Años esperados de escolaridad	11.60	7.037	15.666
Ingreso per cápita anual (dólares PPC)	$ 1,362.20	$ 2,097.80	$ 45,012.60
Tasa de mortalidad infantil	46.30	8.06	56.70
Índice de educación	0.454	0.344	0.872
Índice de ingreso	0.662	0.540	0.940
Índice de salud	0.58	0.259	0.981
Valor del Índice de Desarrollo Humano (IDH)	0.559	0.364	0.93
Grado de IDH		Medio	

En San Bartolo Tutotepec el año promedio de escolaridad es de cuatro años, la tasa de mortalidad infantil (46.30 %) es cercana a la máxima nacional (56.70 %); así mismo presenta el menor índice de salud. Con respecto al índice de educación los tres municipios en la microcuenca presentan valores similares.

El Índice de Rezago Social (IRS) es una medida ponderada que resume a los indicadores de carencias sociales de educación, salud, servicios básicos y calidad y espacios en la vivienda en un solo índice, que tiene como finalidad ordenar a las unidades de observación según sus carencias sociales (CONEVAL, 2020). Los indicadores poblacionales del IRS para cada municipio se muestran en la Tabla 5.14, donde el IRS alto corresponde a Huehuetla y San Bartolo Tutotepec; este último es el que presenta el valor más alto a nivel estatal (Figura 5.13) y se ubica

en el lugar 188 a nivel nacional (Tabla 5.14). Valores negativos del IRS, como es el caso para Mineral de la Reforma como el mejor calificado a nivel estatal, indican un rezago social de bajo a muy bajo (Figura 5.13).

Tabla 5.12. Índice de Desarrollo Humano 2010 (IDH), municipio Huehuetla (SNIM, 2010b).

Indicador	Valor	Nacional	
		Min	Max
Año promedio de escolaridad	3.90	1.056	13.642
Años esperados de escolaridad	12	7.037	15.666
Ingreso per cápita anual (dólares PPC)	$ 915.10	$ 2,097.80	$ 45,012.60
Tasa de mortalidad infantil	36.50	8.06	56.7
Índice de educación	0.461	0.344	0.872
Índice de ingreso	0.602	0.54	0.94
Índice de salud	0.673	0.259	0.981
Valor del Índice de Desarrollo Humano (IDH)	0.572	0.364	0.93
Grado de IDH		Medio	

Tabla 5.13. Índice de Desarrollo Humano 2010 (IDH), municipio Tenango de Doria (SNIM, 2010b).

Indicador	Valor	Nacional	
		Min	Max
Año promedio de escolaridad	4.6	1.056	13.642
Años esperados de escolaridad	10.6	7.037	15.666
Ingreso per cápita anual (dólares PPC)	$ 1201.4	$ 2,097.80	$ 45,012.60
Tasa de mortalidad infantil	27	8.06	56.70
Índice de educación	0.449	0.344	0.872
Índice de ingreso	0.643	0.54	0.94
Índice de salud	0.763	0.259	0.981
Valor del Índice de Desarrollo Humano (IDH)	0.604	0.364	0.93
Grado de IDH		Medio	

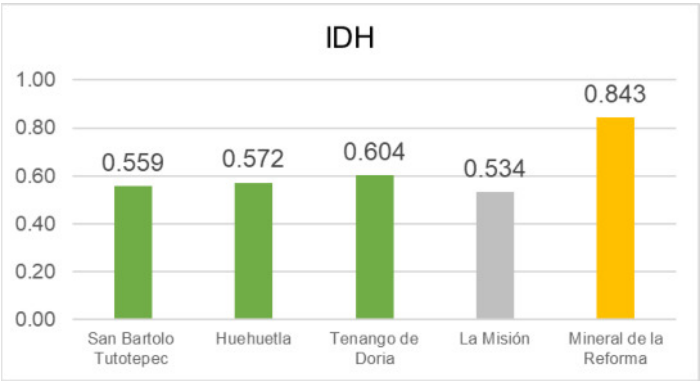


Figura 5.12 Índices de desarrollo humano (IDH). Elaboración propia con datos de (SNIM, 2010b). El valor peor calificado a nivel estatal resaltado en gris y el mejor en naranja.

Referente a los indicadores poblacionales, San Bartolo Tutotepec es el más deficiente con relación a la población de 15 años o más analfabeta (34 %), en este municipio el 28.06 % de las viviendas solo cuentan con piso de tierra, el 15.61 % no cuenta con escusado o sanitario y el 44.84 % no cuenta con drenaje. Asimismo, el 39.54 % de las viviendas no disponen de agua

entubada de la red pública, lo cual es similar para el municipio de Huehuetla con más del 50 % de viviendas sin disposición de agua entubada (Tabla 5.14).

Tabla 5.14. Datos poblacionales relacionados al IRS para el 2010 (CONEVAL, 2010b).

Indicadores poblacionales	San Bartolo Tutotepec	Tenango de Doria	Huehuetla
Población total	18,137	17,206	23,563
Población de 15 años o más analfabeta (%)	34.07	23.29	33.26
Población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela (%)	4.97	4.82	4.66
Población de 15 años y más con educación básica incompleta (%)	69.54	62.57	67.98
Población sin derechohabiencia a servicio de salud (%)	13.95	14.64	15.58
Viviendas con piso de tierra (%)	28.16	6.13	9.36
Viviendas que no disponen de excusado o sanitario (%)	15.61	8.33	10.77
Viviendas que no disponen de agua entubada de la red pública (%)	39.54	23.85	54.16
Viviendas que no disponen de drenaje (%)	44.84	26.42	32.57
Viviendas que no disponen de energía eléctrica (%)	22.53	5.84	11.33
Índice de rezago social	1.57291	0.27221	1.1048
Grado de rezago social	Alto	Medio	Alto
Lugar que ocupa en el contexto nacional	188	890	369

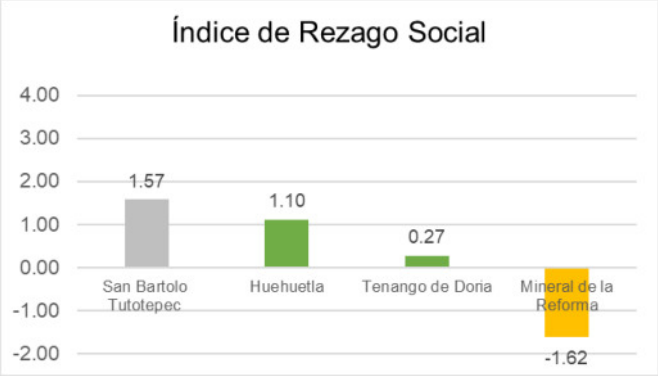


Figura 5.13. Índice de Rezago Social (IRS). Elaboración propia con datos de (CONEVAL, 2010b). El valor peor calificado a nivel estatal resaltado en gris y el mejor en naranja.

Según la Ley General de Desarrollo Social (Secretaría General, 2024) la medición de pobreza debe considerar el carácter multidimensional de la pobreza, por lo que el CONEVAL incorporó al IRS indicadores de educación, acceso a servicios de salud, servicios básicos, calidad y espacios en la vivienda y activos en el hogar (CONEVAL, 2010b). Para los municipios ubicados en la microcuenca los indicadores de pobreza, privación social, rezago educativo y bienestar económico se muestran en la Tabla 5.15. Para el 2010 el porcentaje de población en situación de pobreza superó el 76 % en los tres municipios, con variaciones de pobreza extrema del 39 al 55.70 %, además de un rezago educativo supera el 80 %. El porcentaje de población con alguna privación social es similar para los tres municipios, donde el municipio de San Bartolo Tutotepec presenta el mayor porcentaje de población con acceso a los servicios de salud. Esto se debe a

que en la cabecera municipal de este se ubica el Hospital Regional de la Otomí-Tepehua, lo cual facilita el acceso a los servicios de salud.

Tabla 5.15. Indicadores de rezago social (IRS) de 2010 para los municipios de en la microcuenca (CONEVAL, 2010b).

Indicadores	Porcentaje		
	San Bartolo Tutotepec	Tenango de Doria	Huehuetla
Pobreza			
Población en situación de pobreza	76.80	79.40	86.30
Población en situación de pobreza moderada	39	55.70	39.50
Población en situación de pobreza extrema	37.80	23.80	46.90
Población vulnerable por carencias sociales	18.60	17.40	12
Población vulnerable por ingresos	0.90	1.40	0.30
Población no pobre y no vulnerable	3.70	1.80	1.40
Privación social			
Población con al menos una carencia social	95.40	96.90	98.30
Población con al menos tres carencias sociales	65.30	41	70.40
Indicadores de carencia social			
Rezago educativo	40.80	37.60	41.30
Acceso a los servicios de salud	12.20	14.30	15
Acceso a la seguridad social	87.70	80.10	92.50
Calidad y espacios de la vivienda	43.50	14.70	26.90
Acceso a los servicios básicos en la vivienda	73.20	58.80	82.60
Acceso a la alimentación	50	28.40	55.10
Bienestar económico			
Población con ingresos inferiores a la línea de bienestar mínimo	48.60	50	60.80
Población con ingresos inferiores a la línea de bienestar	77.70	80.80	86.70

El Índice de Marginación (IM) es una medida que permite diferenciar el impacto global de las carencias que padece la población como resultado de la falta de acceso a la educación, la residencia en viviendas inadecuadas y la carencia de bienes (SNIM, 2010c). Este índice mide la intensidad espacial de la marginación como porcentaje de la población que no cuenta con bienes y servicios esenciales para el desarrollo de sus capacidades básicas, y varía de valores negativos para IM bajos a positivos para los IM altos. El valor de este índice para cada municipio en la microcuenca se muestra en la Tabla 5.16 y Figura 5.14, se observa que para el año 2010, a nivel estatal el municipio de San Bartolo Tutotepec presentó el mayor IM y ocupó el lugar 113 a nivel nacional. Este municipio junto con Huehuetla, que se ubica en el tercer lugar a nivel estatal con un IM muy alto, son los de mayor carencia y exclusión con base a la educación, vivienda, distribución poblacional e ingreso monetario. En la microcuenca San Bartolo Tutototepec presenta el mayor porcentaje de población de 15 años o más analfabeta (34.07 %) y con educación básica incompleta (69.54 %); además de viviendas que no disponen de excusado o sanitario (15.61 %), drenaje (44.84 %) y energía eléctrica (22.53 %).

Tabla 5.16. Índices de marginación del año 2010 para los municipios de la microcuenca (CONEVAL, 2010b).

Indicador	Valor por municipio		
	San Bartolo Tutotepec	Tenango de Doria	Huehuetla
Índice de marginación	1.745	0.3885	1.40723
Grado de marginación	Muy alto	Medio	Muy alto
Lugar a nivel estatal	1	22	3
Lugar a nivel nacional	113	855	215

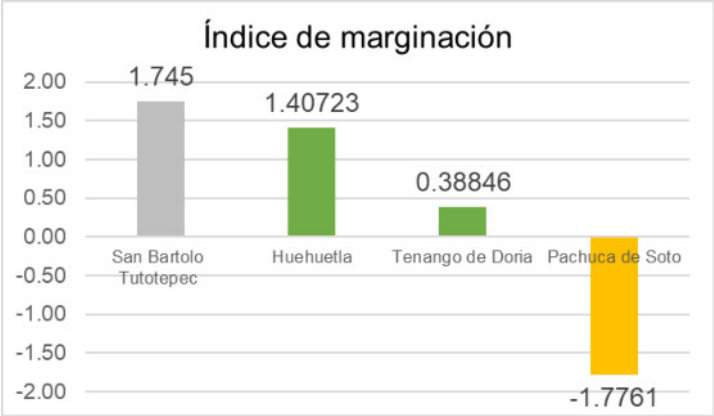


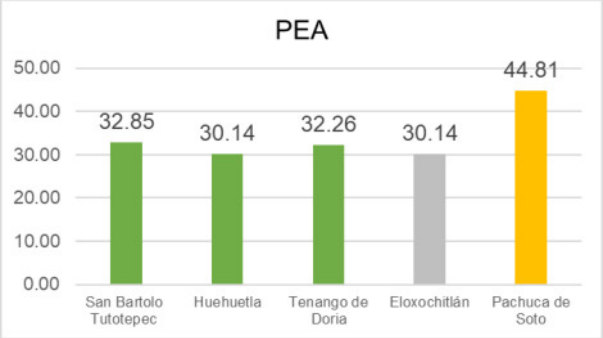
Figura 5.14. Índices de marginación (IM). Elaboración propia con datos de (CONEVAL, 2010b). El valor peor calificado a nivel estatal resaltado en gris y el mejor en naranja.

En cuanto a los indicadores económicos, estos se realizan a partir de evaluaciones definidas por el Sistema Nacional de Información Municipal (SNIM, 2010a), que a su vez se apoya de los censos realizados por INEGI. Algunos indicadores importantes de este índice son: la población económicamente activa (PEA), la población ocupada y desocupada, la población no económicamente activa y la tasa de participación económica (TPE). Para el año 2010 el municipio de San Bartolo Tutotepec presentó la mayor TPE (45.70 %), seguido de Tenango de Doria (43.97 %) (Figura 5.14c), y por último el municipio de Huehuetla, ubicado a nivel estatal en el número 74. Este municipio presentó la menor PEA (30.14 %), que lo ubica en el lugar 37 a nivel estatal, a pesar de presentar la misma PEA que el municipio ubicado en el lugar 84 (Eloxochitlán, 3.14 %) (Figura 5.14a). Asimismo, Huehuetla presentó la menor PEA ocupada (29.25 %) y PEA desocupada (0.89 %) (Figura 5.14b) con el mayor porcentaje de población económicamente inactiva (42.65 %) (Tabla 5.17). Lo cual indica que en este municipio una porción importante de la población se dedica a estudiar, trabajos del hogar o que se han retirado de la actividad laboral; ya sea por invalidez, jubilación o por desistir de buscar alguna ocupación laboral (INEGI, 2002).

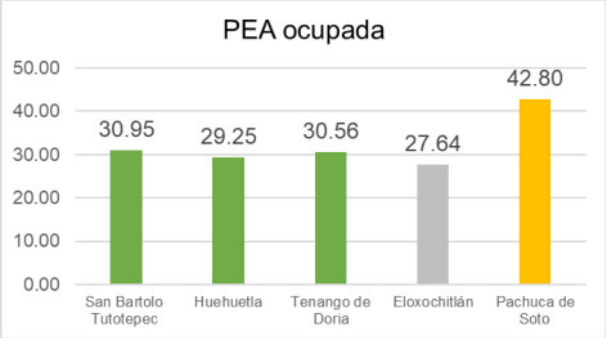
Tabla 5.17. Población con participación económica para el año 2010 y porcentaje con relación a la población total, número de habitantes por municipio (SNIM, 2010a).

Indicadores de participación económica	San Bartolo Tutotepec	%	Tenango de Doria	%	Huehuetla	%
Población económicamente activa (PEA)	5,958	32.85	5,550	32.26	7,103	30.14
• PEA Ocupada	5,613	30.95	5,258	30.56	6,893	29.25
• PEA Desocupada	345	1.90	292	1.70	210	0.89
Población económicamente inactiva	6,982	38.50	7,022	40.81	10,049	42.65
Tasa de participación económica (TPE)	45.70		43.97		41.20	

5.14a) Población económicamente activa (PEA)



5.14b) PEA ocupada



5.14c) Tasa de participación económica (TPE)

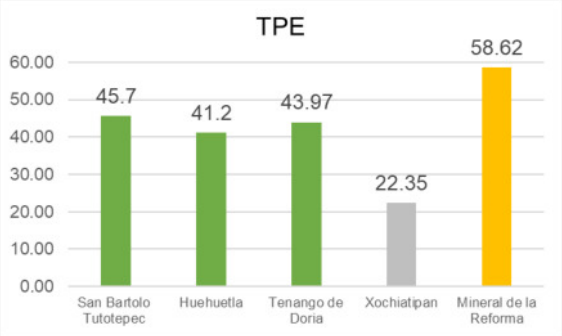


Figura 5.15. Indicadores de participación económica. Elaboración propia con datos de SNIM (2010a). El valor peor calificado a nivel estatal resaltado en gris y el mejor en naranja.

El análisis de la participación económica de la población por género muestra que los hombres presentan mayor TPE (superior al 73 %), lo que indica la baja participación de las mujeres con una TPE inferior al 17 % (Tabla 5.18). El municipio de Tenango de Doria presentó la mayor participación de mujeres (17.04 %) y Huehuetla la menor (11.14 %), esta participación de mujeres en Tenango de Doria propició una PEA de 20.41 %. Lo cual indica que en este municipio existe una porción importante de mujeres en edad de trabajar que contaban con un empleo o buscaban emplearse en alguno para el 2010. A pesar de que el porcentaje de población femenina económicamente inactiva es similar en los tres municipios de la microcuenca (Tabla 5.18).

Tabla 5.18. Porcentaje de hombres y mujeres con participación económica para el año 2010 (SNIM, 2010a).

Indicadores de participación económica	Hombres (%)			Mujeres (%)		
	San Bartolo Tutotepec	Tenango de Doria	Huehuetla	San Bartolo Tutotepec	Tenango de Doria	Huehuetla
Población económicamente activa (PEA)	81.37	79.59	85.98	18.63	20.41	14.02
• Población Ocupada	81.10	79.19	85.93	18.90	20.71	14.07
• Población Desocupada	85.80	86.64	87.62	14.20	13.36	12.38
Población económicamente inactiva	21.01	21.77	21.37	78.99	78.23	78.63
Tasa de participación económica (TPE)	76.24	73.96	73.57	16.62	17.04	11.14

5.1.3. Análisis FODA de la microcuenca

Los resultados que se obtuvieron con el análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas permitieron visualizar la situación general de la microcuenca (Figura 5.16). El análisis FODA muestra que entre las fortalezas de la microcuenca de estudio están la cobertura vegetal de bosque mesófilo de montaña, bosque de pino y selva alta perennifolia, que cubren el 60.56 % de la microcuenca. Lo cual representa una amplia biodiversidad que permite la existencia de especies de flora y fauna nativas y endémicas, estas en conjunto con la riqueza natural del paisaje, como las grutas, cañadas, ríos y formaciones geológicas importantes como la de Huayacocotla, conforman el patrimonio natural de la microcuenca.

Al ubicarse la microcuenca en la región Otomí-Tepehua, existe una amplia diversidad cultural y tradicional, como lo son los “tenangos” que son bordados artesanales representativas a nivel estatal, estas artesanías simbolizan no solo la cosmovisión del Otomí, sino también sus tradiciones y ceremonias (Lorenzo-Monterrubio et al., 2019). Por lo cual, la enseñanza de los “tenangos” forma parte de la identidad cultural de la región y se ha transmitido a través de generaciones. La elaboración de estos bordados, más allá de ser los que expresan el entorno, los mitos y ritos preservados a través del tiempo, representan un ingreso complementario a las actividades agropecuarias en la economía familiar. La comercialización de estas artesanías se enfrenta a los intermediaros que las adquieren a bajo coste y que la mayoría de las veces no cubre la mano de obra del bordado (Vargas González, 2011).

Como oportunidades en la microcuenca destacan zonas susceptibles a conservación de ecosistemas y especies, como el bosque de haya (*Fagus grandifolia* subsp. *Mexicana*) y el bosque mesófilo de montaña. El cual presta servicios ecosistémicos importantes de aprovisionamiento de bienes y materia prima, soporte de la biodiversidad, regulación del clima, erosión y del ciclo del agua, captura de carbono en el suelo, recarga de agua y polinización. Así como servicios culturales relacionados con la recreación y riqueza tradicional de la región (Arango Sánchez et al.,2023). La existencia de estas zonas potenciales de conservación también permite

la aplicación de estrategias turísticas alineadas al cuidado del medio ambiente y preservación de la gastronomía, tradiciones y costumbres, como lo es el ecoturismo y el turismo cultural.

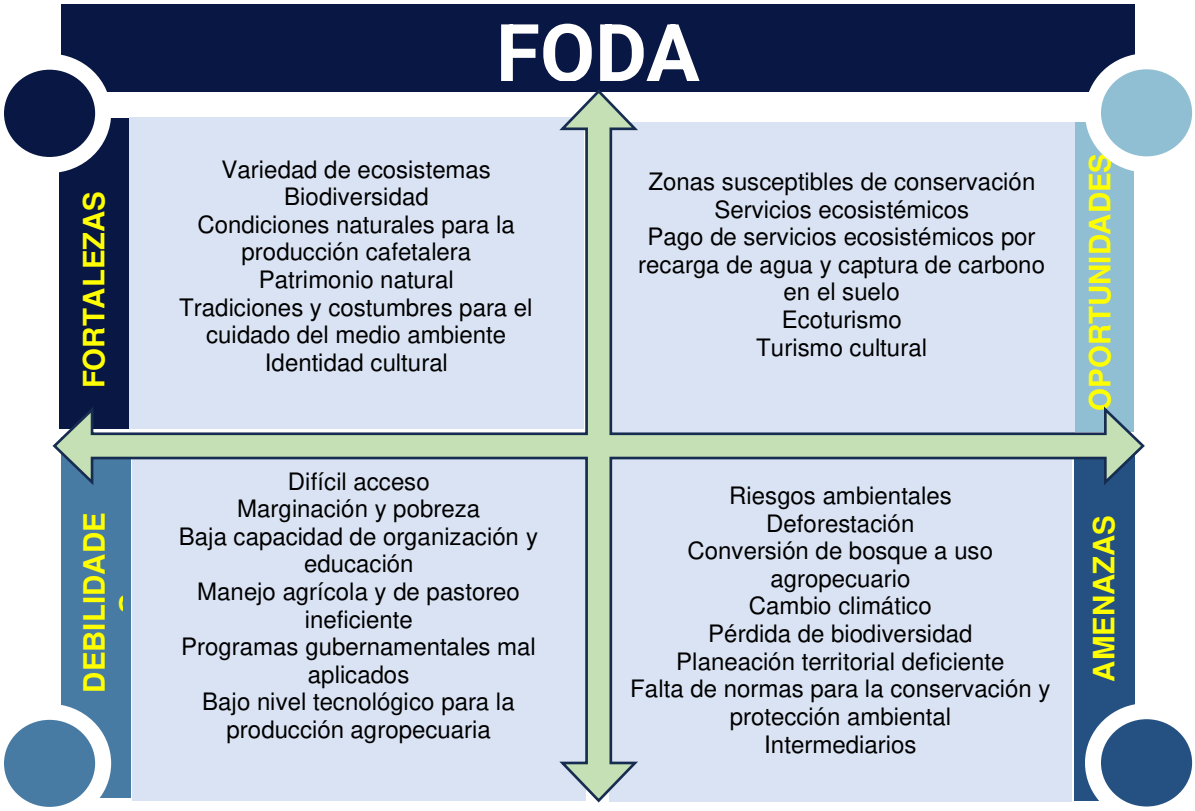


Figura 5.16. Análisis FODA para la microcuenca del Río Pantepec, Hidalgo. Elaboración propia.

Con respecto a las debilidades de la microcuenca estas están marcadas por la alta marginación y pobreza de la región; así como por la difícil accesibilidad a esta. Lo anterior genera desempleo, migración y bajos ingresos. Asimismo, la combinación de estas debilidades con niveles bajos de educación ocasiona un bajo aprovechamiento de los agroecosistemas que se desarrollan en la región, que se ve afectado por programas gubernamentales mal aplicados y por la escaza disponibilidad de tecnología para la producción agropecuaria. Por otro lado, las principales amenazas en la microcuenca están delimitadas por riesgos ambientales como la erosión hídrica y la susceptibilidad a deslizamiento del suelo, fenómenos que son agravados por la tala de árboles para la apertura de zonas agropecuarias y el aprovechamiento de la leña (Ramos-Bernal, 2018). Estas acciones que afectan directamente a la pérdida de especies que habitan en el bosque mesófilo de montaña, el cual actúa como un regulador del cambio climático (Monterroso-Rivas et al., 2013).

En la microcuenca existe una deficiente planeación territorial que es agravada por la falta de programas de conservación y manejo de los recursos naturales, las cuales deberían estar alineadas a los valores y tradiciones locales. A lo anterior se suma, la baja asistencia técnica y el efecto de la conversión del uso del suelo en la ocurrencia de riesgos ambientales. A pesar de la fortaleza que representan las condiciones naturales en la microcuenca para la producción cafetalera, esta se ha visto afectada por la ineficiente asistencia técnica para los procesos de producción y comercialización, mismos que se ven amenazados por los intermediarios (Pérez-Akaki, 2006).

5.2. Índice da calidad ambiental (ICAm)

El ICAm en una escala de cero a 100, corresponde a la agregación de los mapas del índice de fragilidad ambiental (IFA), índice de calidad del suelo (ICS) e índice de calidad del agua (ICA) ponderados según el vector de priorización para la microcuenca (Ecuación 12); cada subíndice que conforma al ICAm se explica en los apartados siguientes.

$$ICAm = 0.50 * IFA + 0.25 * ICS + 0.25 * ICA \quad \text{(Ec. 12)}$$

Donde: índice de calidad ambiental (ICAm), índice de fragilidad ambiental (IFA), índice de calidad del suelo (ICS) e índice de calidad del agua (ICA).

5.2.1. Índice de fragilidad ambiental (IFA)

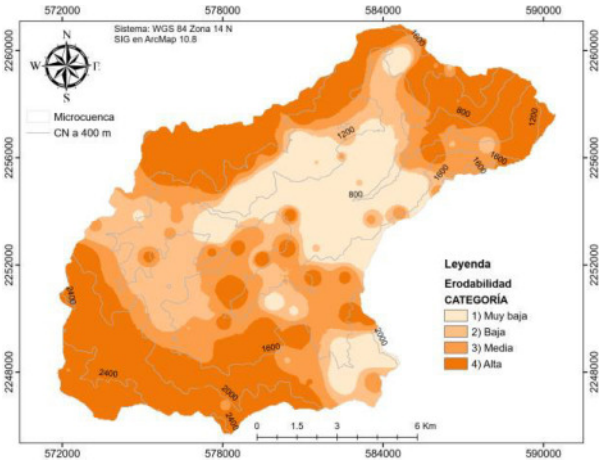
El grado de vulnerabilidad ante alguna intervención o perturbación antrópica se obtuvo con la agregación de los indicadores de susceptibilidad de deslizamiento (SD), erosividad (H), erodabilidad (E) e índices de alteración (I) según su vector de priorización (Ecuación 13). La distribución de cada componente del IFA se observa en la Figura 5.17 y 5.18.

$$IFA = SD * 0.492 + H * 0.272 + E * 0.144 + I * 0.092 \quad \text{(Ec. 13)}$$

Donde: Índice de fragilidad ambiental (IFA), susceptibilidad de deslizamiento (SD), erosividad (H), erodabilidad (E) e índices de alteración (I).

El IFA escalado de cero a 100 varió de 40 a 98.16; este rango se clasificó en seis grados de vulnerabilidad: alto (40 – 50), alto a medio (51 – 60), medio (61 – 70), medio a bajo (71 – 80), bajo (81 – 90) y muy bajo (91 – 98.16). Los cuales se distribuyen respectivamente en el 8.87, 26.02, 22.90, 22.04, 17.50 y 2.67 % de la superficie de la microcuenca (Figura 5.19), con un valor promedio de 67.59, que la clasifica con un grado de vulnerabilidad medio.

5.17a) Erodabilidad



5.17b) Erosividad

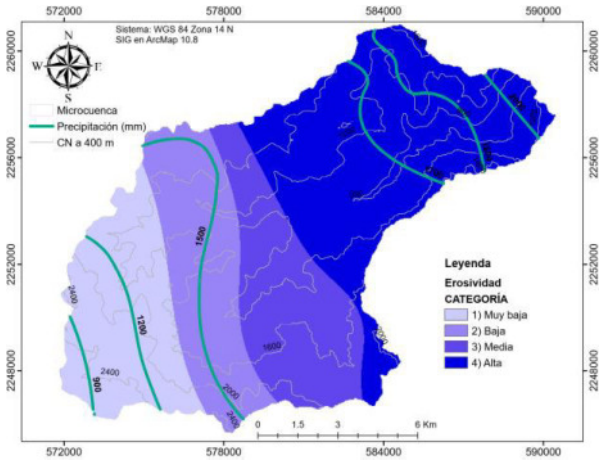
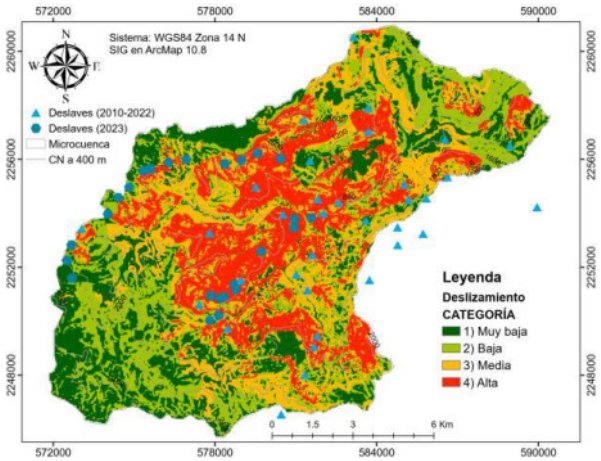


Figura 5.17. Categorización de los parámetros del IFA; a) Erodabilidad, b) Erosividad. Elaboración propia.

5.18a) Susceptibilidad de deslizamiento



5.18b) Índice de alteración

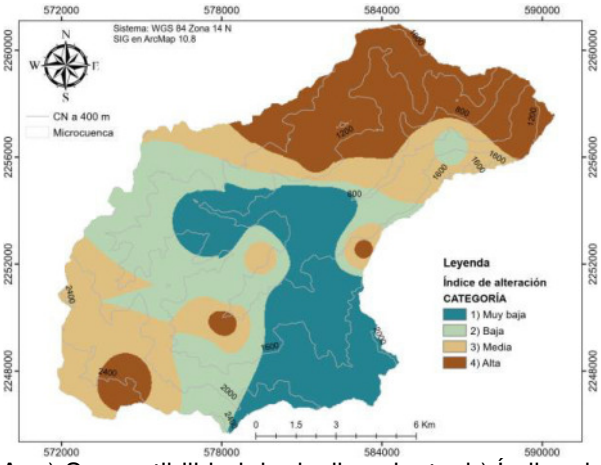


Figura 5.18. Categorización de los parámetros del IFA; a) Susceptibilidad de deslizamiento, b) Índice de alteración. Elaboración propia.

En el área de estudio, el IFA clasificado como “alto” se ubica con mayor presencia en R1, R2 y R3 las cuales se distribuyen desde la microcuenca media hasta la baja (Figura 5.19). Estas regiones fueron las que presentaron la mayor superficie clasificada con un IFA de “alto – medio” y “medio”, con valores entre 29.90 a 44.67 % y 23.88 a 26.40 % de la superficie, respectivamente (Figura 5.20a). El valor promedio para estas regiones fue el menor en la microcuenca y se ubican por debajo del obtenido para esta (Figura 5.20b), lo que indica que R1, R2 y R3 presentan la mayor fragilidad ambiental según sus condiciones ambientales y de uso de suelo.

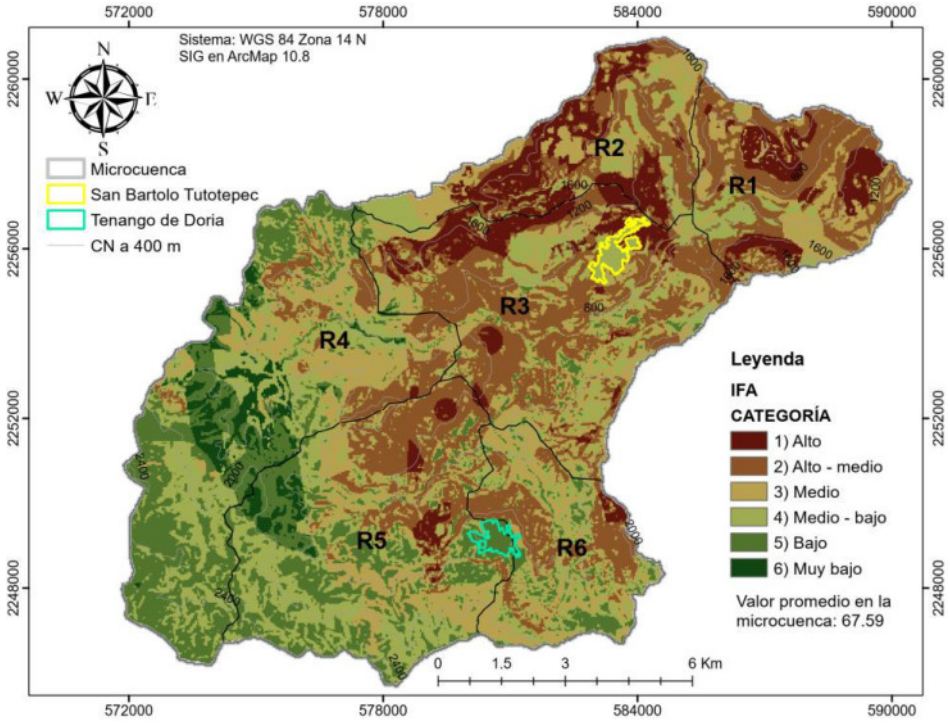


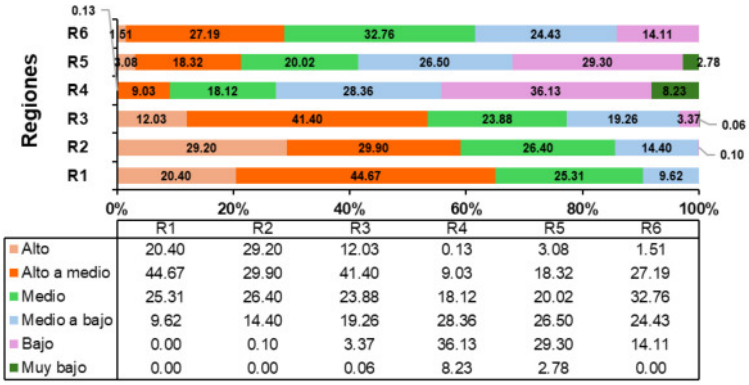
Figura 5.19. Distribución espacial del índice de fragilidad ambiental (IFA). Elaboración propia.

Las condiciones edáficas que propician un IFA clasificado como “alto” es el contenido de limo mayor a 39.68 % y los menores contenidos de arcilla (< 14.67 %) (Figura A1.8 y A1.10, Anexo 1) que propician una alta erodabilidad en la microcuenca baja (Figura 5.17a). Donde las precipitaciones son mayores a 1,500 mm (Figura A1.7, Anexo 1), con los valores más altos de erosividad en esta zona (Figura 5.17b), en la cual se presentan niveles de meteorización altos (Figura 5.8b). Los factores anteriores sumados con el uso de suelo agrícola de temporal y pastizal inducido (Figura A1.4, Anexo 1) propician que la mayor parte de la superficie de la microcuenca con un IFA alto se ubique en R1 (25 %), R2 (36 %) y R3 (30 %) (Figura 5.19).

La distribución espacial del IFA clasificado como “alto – medio” corresponde a usos de suelo y cobertura vegetal de pastizal inducido, agricultura de temporal y pastizal cultivado que se extienden desde la microcuenca baja hasta la parte alta (Figura A1.4, Anexo 1). En estas zonas existe una alta susceptibilidad a deslizamientos de laderas (Figura 5.18a); este fenómeno sucede principalmente en R3, donde el 41.40 % de la superficie presenta un IFA de alto a medio que es ocasionado por el efecto de las actividades agropecuarias que se desarrollan en la zona. A diferencia de R1 con cobertura vegetal de bosque mesófilo de montaña y selva alta perennifolia,

donde las condiciones climáticas, geográficas y edáficas propician que el 44.67 % de su superficie presente una fragilidad ambiental de alta a media (Figura 5.19 y 5.20a).

5.20a) Superficie por clasificación y región (%)



	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Alto	20.40	29.20	12.03	0.13	3.08	1.51
Alto a medio	44.67	29.90	41.40	9.03	18.32	27.19
Medio	25.31	26.40	23.88	18.12	20.02	32.76
Medio a bajo	9.62	14.40	19.26	28.36	26.50	24.43
Bajo	0.00	0.10	3.37	36.13	29.30	14.11
Muy bajo	0.00	0.00	0.06	8.23	2.78	0.00

5.20b) Valor promedio del IFA

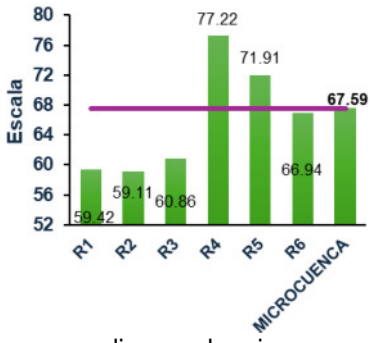


Figura 5.20. a) Porcentaje de superficie por región para el IFA y b) valor promedio para la microcuenca y sus regiones. Elaboración propia.

Región uno (*R1*), dos (*R2*), tres (*R3*), cuatro (*R4*), cinco (*R5*) y seis (*R6*).

Con respecto a la superficie que presentó el IFA clasificado de “bajo” y “muy bajo”, esta se distribuye principalmente en la microcuenca alta (20.17 %) (Figura 5.19). Las regiones que presentaron la mayor superficie con un IFA bajo fueron R4 y R5, 36.13 y 29.30 %, respectivamente (Figura 5.20a). Estas regiones obtuvieron el valor promedio del IFA superior al obtenido para la microcuenca (Figura 5.20b), lo que indica que R4 y R5 son las que muestran menor fragilidad ambiental por efecto antrópico. A pesar de que, en estas regiones, el índice de alteración y erodabilidad aumentan desde la microcuenca media hasta la parte alta (Figura 5.17a y 5.18b). Aunado a los factores anteriores, la baja vulnerabilidad a las acciones antrópicas en R4 y R5 se debe al tipo de cobertura vegetal y uso de suelo presente en estas. Donde el 69.50 % de la superficie de R4 y el 63 % de R5 corresponde a zonas boscosas (bosque mesófilo de montaña y pino) (Figura A1.4, Anexo 1).

5.2.2. Índice de calidad del suelo (ICS)

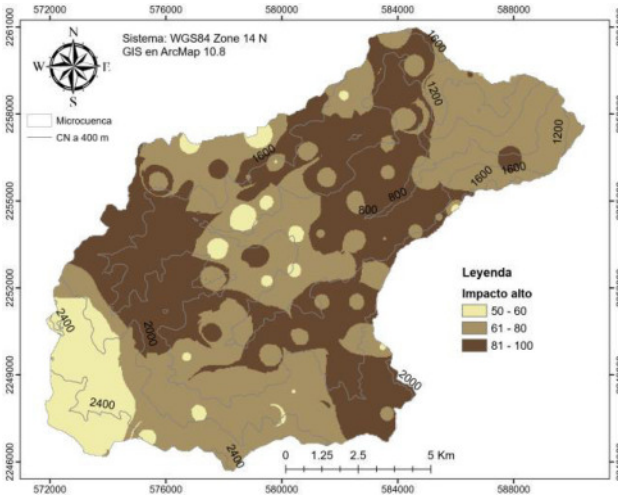
El ICS engloba 14 indicadores fisicoquímicos clasificados en tres grupos de impacto según su influencia en la fertilidad del suelo, estos fueron categorizados según su importancia en la calidad de este y en el equilibrio de compuestos que favorecen en el desarrollo de la flora. Para la obtención del ICS se realizó la agregación de los tres grupos de impacto, donde se consideró la importancia de cada uno según el vector de priorización para la calidad del suelo (Ecuación 14).

La distribución espacial de los parámetros agrupados según su impacto en la fertilidad del suelo se muestra en la Figura 5.21 y el ICS obtenido con la Ecuación 14 en la Figura 5.22.

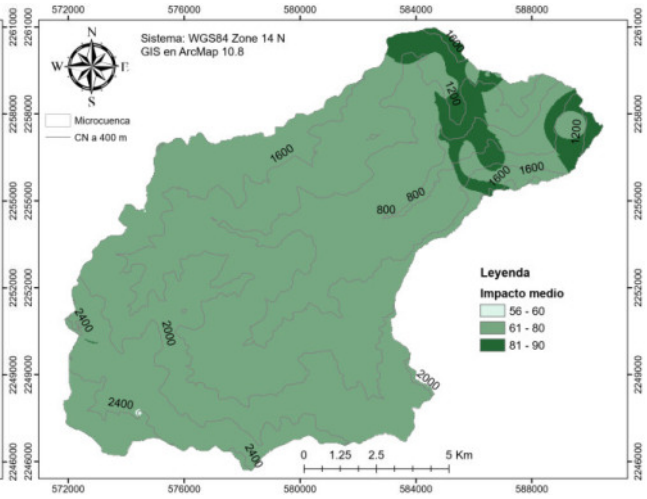
$$ICS = 0.49 * IA + 0.3133 * IM + 0.1967 * IB \quad \text{(Ec. 14)}$$

Donde: Índice de calidad del suelo (*ICS*), impacto alto (*IA*), impacto medio (*IM*) e impacto bajo (IB).

5.21a) Impacto alto (IA)



5.21b) Impacto medio (IM)



5.21c) Impacto bajo (IB)

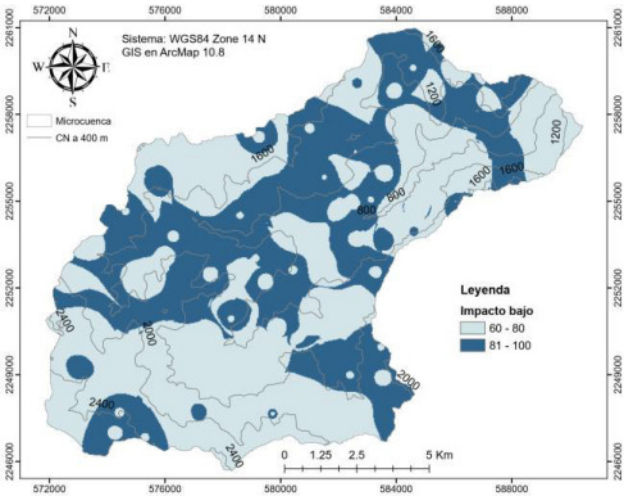


Figura 5.21. Parámetros agrupados según la fertilidad del suelo: a) Impacto alto, b) Impacto medio, c) Impacto bajo. Elaboración propia.

Para la microcuenca del Río Pantepec el ICS en una escala de 0 a 100 varió de 57.90 a 92.70 y se clasificó en cinco categorías: medio (57.90 – 60), medio a alto (61 – 70), alto (71 – 80), alto a muy alto (81 - 90) y muy alto (91 – 92.70). Con base en la clasificación anterior, el valor promedio del ICS para la microcuenca de 77.92, la sitúa con una calidad del suelo alta (Figura 5.22). La

distribución espacial del ICS muestra que las clasificaciones “alto” y “alto – muy alto” se extienden en toda la microcuenca (Figura 5.22) debido a una buena valoración de los parámetros de impacto alto y bajo (Figura 5.21a y 5.21b). Con la excepción del potasio intercambiable que marcó la diferencia para la microcuenca baja, ya que los valores categorizados de medios a altos se ubican principalmente en R1 (Figura A2.8, Anexo 2). Los parámetros que contribuyen a la distribución del ICS “alto – muy alto” son: el contenido de materia orgánica entre 6.10 y 10.90 %, valores de pH de 5.8 a 8.2, relaciones de C/N mayores a 11.10 y tipo de suelo franco. Así como valores adecuados de calcio, magnesio y sodio intercambiable, y hierro y manganeso disponible con bajas probabilidades de impactos adversos por la relación de Ca^{2+}/Al^{3+} (Anexo 2).

El ICS alto a muy alto se ubica principalmente en el 39.16 % de la microcuenca, en R2, R3 y R6 (Figura 5.23a). Estas regiones, fueron las que presentaron un valor promedio del ICS superior al de la microcuenca (Figura 5.23b), lo que sugiere que R2, R3 y R6 son las de mejor calidad del suelo, definida por los parámetros de impacto alto y bajo. En estas regiones, el ICS alto corresponde principalmente a agricultura de temporal y zonas de pastoreo que interactúan con el bosque mesófilo de montaña y la selva alta perennifolia; a diferencie del ICS alto a muy alto, que solo se ubica en el uso de suelo agropecuario y bosque mesófilo de montaña (Figura 5.22 y A1.4, Anexo 1).

Dentro del uso de suelo agropecuario sobresale la R3 con el 57.03 % de la superficie ocupada por actividades agropecuarias (38.86 % de pastizal y el 18.17 % de agricultura de temporal) y clasificada con un ICS de alto a muy alto (55.12 % de R3) (Figura 5.23a). Esta clasificación se debe al cambio de uso de suelo y cobertura vegetal, que se dio de 1993 al 2022 (INEGI, 2001; CONAFOR, 2021) en las zonas aledañas a la cabecera de San Bartolo Tutotepec, donde sucedió la conversión del uso agrícola a bosque (1993 – 2014) y posteriormente a pastizal inducido (2014 – 2022). Lo que indica que el cambio de zonas agrícolas a bosque, anterior al uso de suelo de pastizal inducido, influyó en la calidad del suelo en R3.

Con respecto al ICS con valores de medios a altos, R4 y R5 fueron las que presentaron la mayor superficie (31.74 y 22.64 %, respectivamente), estas regiones mostraron un valor promedio del ICS por debajo del obtenido para la microcuenca (Figura 5.23a). El ICS de medio a alto está definido principalmente por contenidos bajos de materia orgánica (< 4 %), valores de pH medianamente aceptables (5.2 – 5.7 y 8.3 – 8.8) y fuertemente ácidos (< 5.1); así como suelos con textura franca a arenosa y limosa (Figura A2.1, A2.2 y A2.3, Anexo 2).

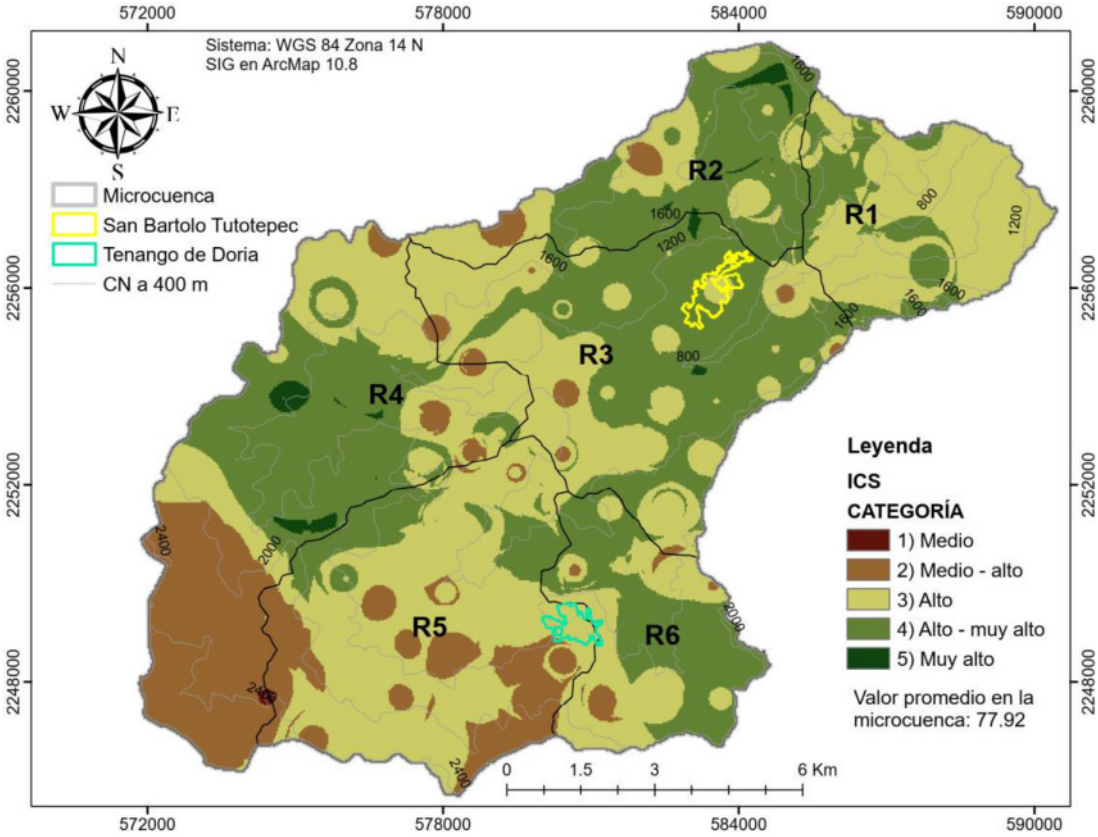
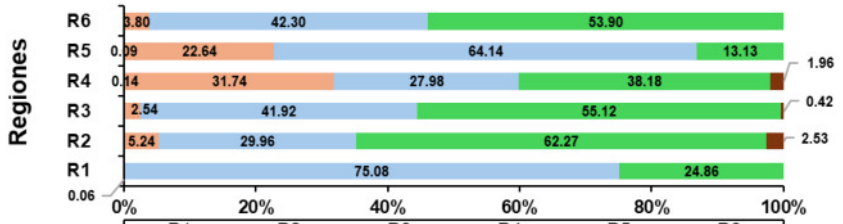


Figura 5.22. Distribución espacial del índice de calidad del suelo (ICS). Elaboración propia.

5.23a) Superficie por clasificación y región (%)



	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Medio	0.00	0.00	0.00	0.14	0.09	0.00
Medio a alto	0.06	5.24	2.54	31.74	22.64	3.80
Alto	75.08	29.96	41.92	27.98	64.14	42.30
Alto a muy alto	24.86	62.27	55.12	38.18	13.13	53.90
Muy alto	0.00	2.53	0.42	1.96	0.00	0.00

5.23b) Valor promedio del ICS

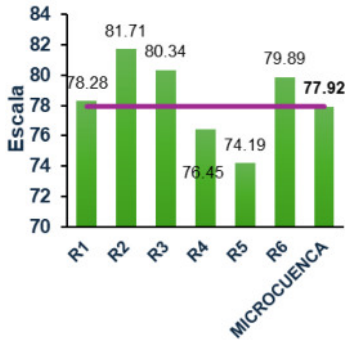


Figura 5.23. a) Porcentaje de superficie por región para el ICS y b) valores promedio para la microcuenca y sus regiones. Elaboración propia.

Región uno (*R1*), dos (*R2*), tres (*R3*), cuatro (*R4*), cinco (*R5*) y seis (*R6*).

5.2.3. Índice de calidad del agua (ICA)

El ICA incluye nueve parámetros fisicoquímicos y biológicos categorizados según su importancia para el consumo humano, la agregación de estos parámetros según el vector de priorización (Ecuación 15) permitió obtener la distribución espacial del índice (Figura 5.24). Este fue escalado

de cero a 100 y clasificado en dos categorías: alto (76.4 – 80) y alto a muy alto (80 – 83.80), según estas categorías, el valor promedio para la microcuenca de 81.84 la clasifica con una calidad del agua de alta a muy alta.

$$ICA = 0.25 * \%Sat + 0.25 * DBO_5 + 0.020 * Colf.Tot + 0.08 * pH + 0.08 * C.E. + 0.05 * NT + 0.05 * COT + 0.02 * SDT + 0.02 * Tbdz \quad \text{(Ec. 15)}$$

Donde: índice de calidad del agua (ICA), porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (%Sat), demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO_5), coliformes totales (Colf. Tot), conductividad eléctrica (C.E.), nitrógeno total (NT), carbono orgánico total (COT), solidos disueltos totales (SDT), turbidez (Tbdz).

En el área de estudio, el ICA con la mejor calidad (alto-muy alto) se extiende en la microcuenca alta hasta la parte baja (87.96 %) (Figura 5.25a) y comprende más del 92 % de R3, R4, R5 y R6; las cuales presentaron un valor promedio del ICA similar al de la microcuenca (Figura 5.25b). Esta clasificación del ICA está caracterizada por valores de pH entre 6.5 y 7.7 con concentraciones de NT menores a 0.50 mg L^{-1}, SDT entre 11.30 y 84 ppm, y valores de C.E. menores a 250 µS cm^{-1} (Figura A3.4, A3.5 y A3.7, Anexo 3).

Con respecto a la distribución del ICA clasificado como alto, este se ubica de forma puntual en R1, R2 y R5 (Figura 5.24). Su ubicación está definida por tres muestras de agua que presentaron valores mayores a 3 y 0.51 mg L^{-1} de la DBO_5 y NT respectivamente, muestras ubicadas en R1 y R5. Así como valores mayores de 250 µS cm^{-1} de C.E. y 11 mg L^{-1} de COT, ubicados en R2 (Figura A3.2, A3.4, A3.5 y A3.6, Anexo 3). Con respecto a los parámetros restantes, estos presentaron la mejor calidad para consumo humano según la categorización establecida (Tabla 4.21).

El cambio de categoría del ICA de “alto – muy alto” a “alto” se debe a las condiciones del sitio donde se realizó la colecta de agua, ya que la muestra ubicada en R5 se recolectó en un cauce tributario cercano a un puente vehicular. En este sitio se observó la presencia de basura inorgánica, al igual que la muestra ubicada en R2, ambos sitios son laterales a caminos principales. A diferencia de la muestra en R1, que se recolectó en la parte baja de la microcuenca, alejada de caminos principales y asentamientos humanos, donde se identificó el tráfico de ganado bovino.

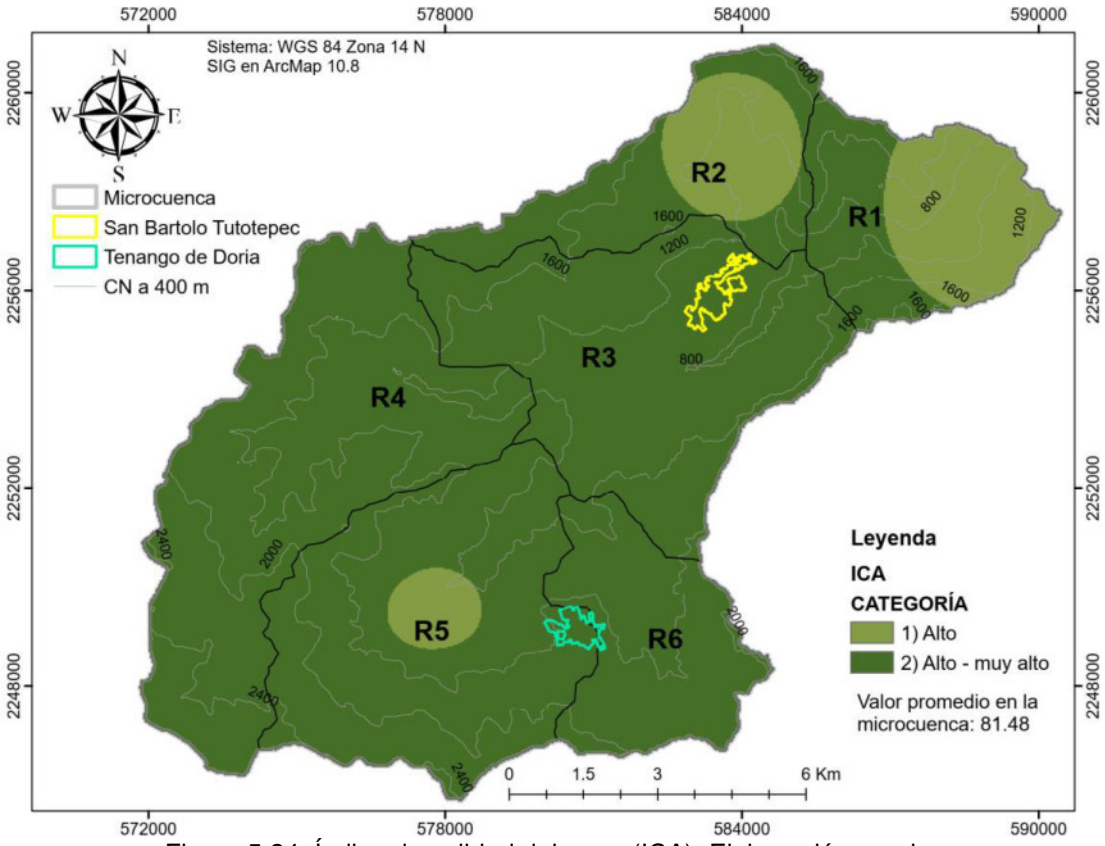
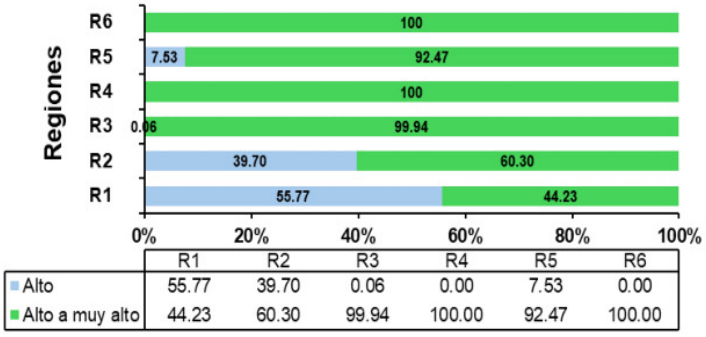


Figura 5.24. Índice de calidad del agua (ICA). Elaboración propia.

Lo mencionado anteriormente indica que en R1, R2 y R5, el aumento del valor de los parámetros químicos pudo estar influenciado por la cercanía a caminos principales y el efecto de las actividades antrópicas como lo son el depósito de basura y el tránsito de ganado. Con relación al valor de C.E. en R2 clasificado como contaminado por la OMS (2017), este pudo deberse al efecto combinado del tipo de geología y la presencia de una cascada aguas arriba que induce la liberación y acumulación de iones en el sitio de muestreo aguas abajo, contribuyendo así al aumento de la C.E. (SWAMP, s.f.b).

La microcuenca presentó valores óptimos de calidad del agua (Figura 5.24), sin embargo, las cifras obtenidas para el parámetro biológico de coliformes totales ≥ 2400 NMP 100 mL^{-1}, indica la presencia de contaminación en los cauces. La cual se puede deber por la presencia de desechos en descomposición de la flora o fauna que interactúa en los cauces y por el depósito de desechos en algunos de los sitios de muestreo. Estos sitios se ubican en cauces naturales dentro de zonas boscosas y agropecuarias o cercanos a asentamientos humanos y caminos principales.

5.25a) Superficie por clasificación y región (%)



	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Alto	55.77	39.70	0.06	0.00	7.53	0.00
Alto a muy alto	44.23	60.30	99.94	100.00	92.47	100.00

5.25b) Valor promedio del ICA

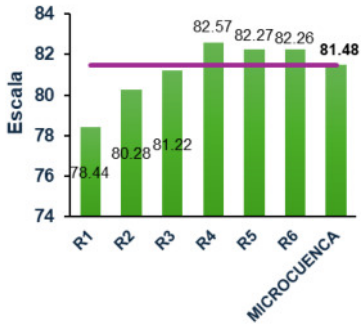


Figura 5.25. a) Porcentaje de superficie por región para el ICA y b) valor promedio para la microcuenca y sus regiones. Elaboración propia.

Región uno (*R1*), dos (*R2*), tres (*R3*), cuatro (*R4*), cinco (*R5*) y seis (*R6*).

5.2.4. Obtención del Índice da calidad ambiental (ICAm)

Una vez obtenido el mapa para cada subíndice que conforma el ICAm se aplicó la Ecuación 12, lo que permitió obtener la distribución espacial de este (Figura 5.26). Se identificaron cinco categorías: medio (56.80 – 60), medio a alto (61 – 70), alto (71 – 80), alto a muy alto (81 – 90) y muy alto (91 – 92.18); con base en la clasificación anterior, el valor promedio del ICAm de 73.65 indica una calidad ambiental alta en la microcuenca. Por lo que la mayor parte de la microcuenca está clasificada con un ICAm "alto", el cual se extiende en todas las regiones desde la parte baja hasta el alta, cubriendo el 45.02 % del total de la superficie, esta clasificación está definida principalmente por el IFA (medio) y por las categorías del ICS ("alto" y "alto – muy alto") (Figura 5.19 y 5.22).

Por otro lado, el ICAm clasificado con la mejor calidad "alta – muy alta" y "muy alta" se distribuye desde la microcuenca media hasta la parte alta, principalmente en R4 y R5, con una ocupación del 43.98 y 26.66 % de su superficie, respectivamente (Figura 5.27a). Estas regiones obtuvieron un ICAm superior al valor promedio de 73.65 de la microcuenca (Figura 5.27b). La distribución espacial de estas categorías de ICAm se deben principalmente a una baja vulnerabilidad ambiental a las actividades antrópicas, ya que en las zonas donde se ubica esta categoría la cobertura vegetal es principalmente de bosque. Estas se localizan en áreas de difícil acceso, con elevadas pendientes y con una susceptibilidad a deslizamientos de laderas de baja a muy baja; donde el ICS varía de medio a muy alto y el ICA de alto a muy alto.

Los resultados obtenidos sugieren que el uso de suelo, como la principal actividad antrópica en la microcuenca, determinó el patrón de distribución del ICAm clasificado de medio a alto (Figura

5.26 y A1.4, Anexo 1). Esto debido a que el uso agropecuario ocupa el 57, 30.50, 35 y 45.80 % de la superficie de R3, R4, R5 y R6, respectivamente, con un IFA de alto a medio; lo cual es diferente para la microcuenca baja (R1 y R2) donde el uso de suelo agropecuario cubre el 27.26 %. En R1 y R2 el 18 % de la superficie agropecuaria presentó una alta vulnerabilidad ambiental con una variación del ICAm de medio a alto, generado principalmente por las condiciones geográficas, climáticas y edáficas; lo anterior indica la baja actividad antrópica en la microcuenca baja.

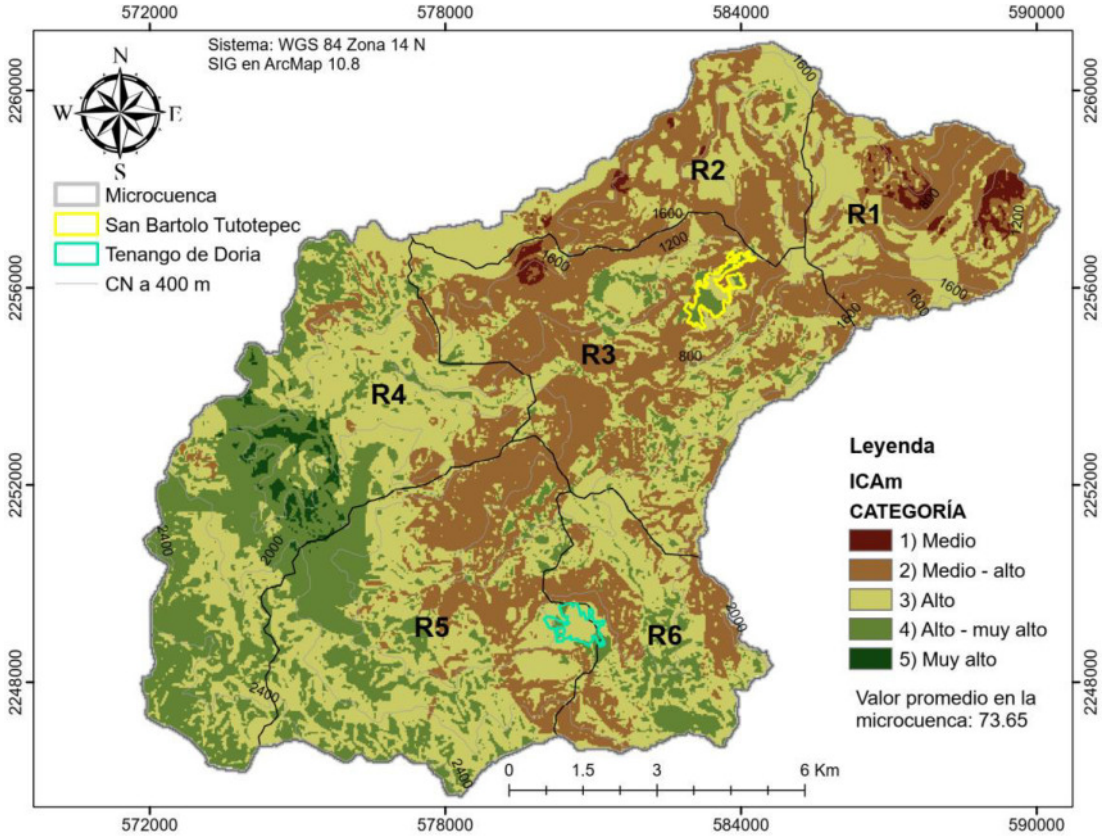
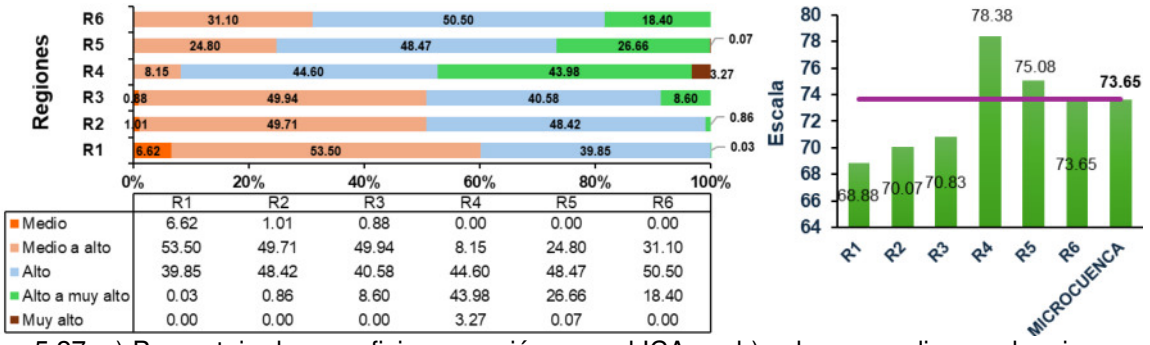


Figura 5.26. Distribución espacial del índice de calidad ambiental (ICAm). Elaboración propia.

Con lo indicado anteriormente, y los valores promedios del ICAm para cada uso de suelo y cobertura vegetal en la microcuenca (Figura 5.28), se corrobora que las actividades agropecuarias en conjunto con las condiciones climáticas, topografías y edáficas influyen en la calidad ambiental de la microcuenca media y alta. Por lo cual se observa que los bosques de pino y mesófilo de montaña presentan valores promedios del ICAm superiores al de la microcuenca, a diferencia de las actividades agropecuarias. Por otro lado, el ICAm correspondiente a la selva alta perennifolia está definido principalmente por las condiciones ambientales, en la microcuenca baja debido a que en esta cobertura vegetal no se desarrollan actividades agrícolas ni ganaderas.

5.27a) Superficie por clasificación y región (%) 5.27b) Valor promedio del ICAm



	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Medio	6.62	1.01	0.88	0.00	0.00	0.00
Medio a alto	53.50	49.71	49.94	8.15	24.80	31.10
Alto	39.85	48.42	40.58	44.60	48.47	50.50
Alto a muy alto	0.03	0.86	8.60	43.98	26.66	18.40
Muy alto	0.00	0.00	0.00	3.27	0.07	0.00

Figura 5.27. a) Porcentaje de superficie por región para el ICAm y b) valor promedio para la microcuenca y sus regiones. Elaboración propia.

Región uno (*R1*), dos (*R2*), tres (*R3*), cuatro (*R4*), cinco (*R5*) y seis (*R6*).

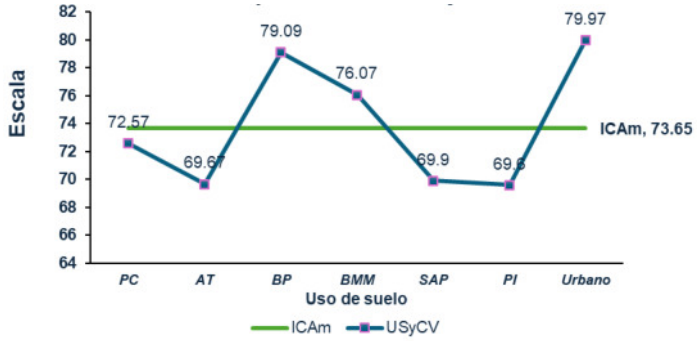


Figura 5.28. Valor promedio del ICAm para cada uso de suelo y cobertura vegetal (USyCV) en la microcuenca. Elaboración propia.

Uso de suelo: Pastizal cultivado (*PC*), agricultura de temporal (*AT*), bosque de pino (*BP*), bosque mesófilo de montaña (*BMM*), selva alta perennifolia (*SAP*), pastizal inducido (*PI*) y urbano.

5.3. Índices socioeconómicos

Los parámetros socioeconómicos son determinantes para la microcuenca, debido a que se localiza en la región Otomí-Tepehua caracterizada por el 90.80 % de la población rural. En esta región el 22.80 % habla alguna lengua indígena y se presentan elevados grados de marginación con una marcada desigualdad socio territorial (INEGI, 2010a; Manetta y Avilés, 2020). A pesar de que el desarrollo social está delimitado por sus condiciones sociales, económicas, ambientales, culturales y políticas; la pérdida de la población joven por migración y las malas condiciones socioeconómicas para los que se quedan, son factores limitantes para una mejor ventana de oportunidades (Manetta y Avilés, 2020). A continuación, se analizan los índices socioeconómicos para la microcuenca.

5.3.1. Índice de desarrollo social (IDSc)

El IDSc corresponde a la agregación de los mapas del índice de marginación (IM) e índice de rezago social (IRS) ponderados con la misma importancia en la microcuenca (Ecuación 16). La distribución espacial de cada subíndice y del IDSc se muestra en la Figura 5.29 y 5.30, respectivamente. Para la zona de estudio el valor del IDSc varió de 30 a 100, por lo cual se obtuvieron las siguientes categorías: bajo (30 – 40), bajo a medio (41 – 50), medio (51– 60), medio a alto (61 – 70), alto (71 – 80), alto a muy alto (81 – 90) y muy alto (91 – 100). Esta categorización indica que la microcuenca con un valor promedio de 46.90 presenta un IDSc de bajo a medio; donde la distribución de esta categoría ocupa el 41.50 % de la superficie y está definida por un IM e IRS medio (Figura 5.29 y 5.30).

$$IDSc = 0.50 * IM + 0.50 * IRS \quad \text{(Ec. 16)}$$

Donde: índice de desarrollo social (IDSc) e índice de marginación (IM).

5.29a) Índice de marginación (IM) 5.29b) Índice de rezago social (IRS)

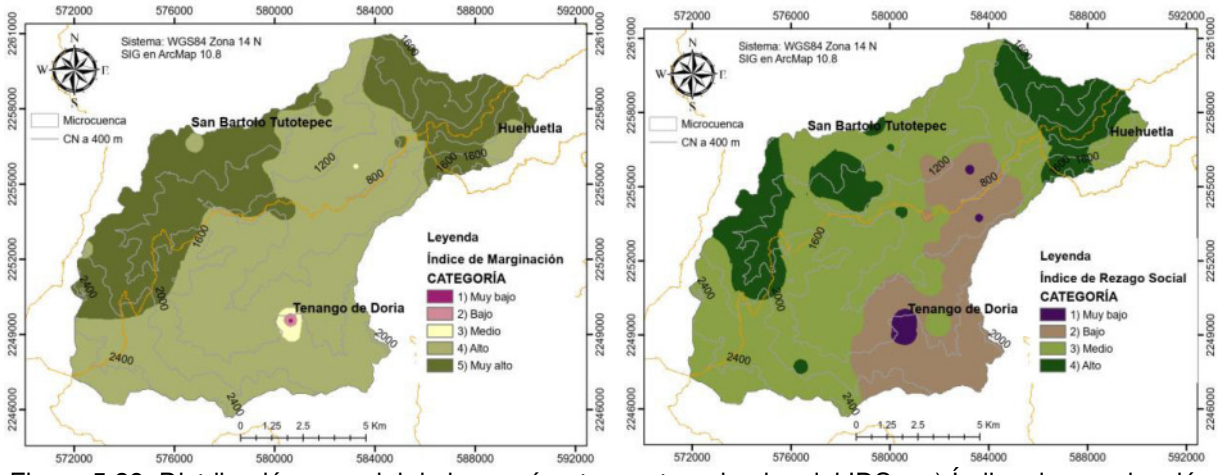


Figura 5.29. Distribución espacial de los parámetros categorizados del IDSc, a) Índice de marginación (IM), b) Índice de rezago social (IRS). Elaboración con datos de CONEVAL (2010a) y CONAPO (2010).

Tenango de Doria es el que presenta el menor IM (0.3885) e IRS (0.27) y el mayor índice de desarrollo humano de 0.572 (IDH) (CONEVAL, 2010b; SNIM, 2010b). En la microcuenca la alta marginación y rezago social se extienden en las localidades de San Bartolo Tutotepec y en dos de las cuatro del municipio de Huehuetla (Figura 5.29). La alta vulnerabilidad social en la microcuenca se presenta en la región de San Bartolo Tutotepec, con el menor índice de salud (0.58), la mayor tasa de mortalidad infantil (46.30 %), por debajo de la máxima nacional (56.70 %), y el menor IDH (0.559) (SNIM, 2010b). En este municipio el 28.16 % de las viviendas solo

cuentan con piso de tierra, el 39.54 % no dispone de agua entubada de la red pública, el 15.61 % no cuenta con escusado o sanitario y el 44.84 % no cuenta con drenaje (CONEVAL, 2010b). Por lo consiguiente y considerando que San Bartolo Tutotepec es el municipio con menor IM e IRS a nivel estatal, las localidades en R1, R2 y R4 son las que presentan mayor vulnerabilidad debido a la carencia de oportunidades y la capacidad para propiciarlas. Asimismo, estas regiones presentaron la mayor superficie con un IDSc bajo (Figura 5.31a), lo que sugiere una mayor inaccesibilidad a bienes y servicios esenciales para el bienestar humano.

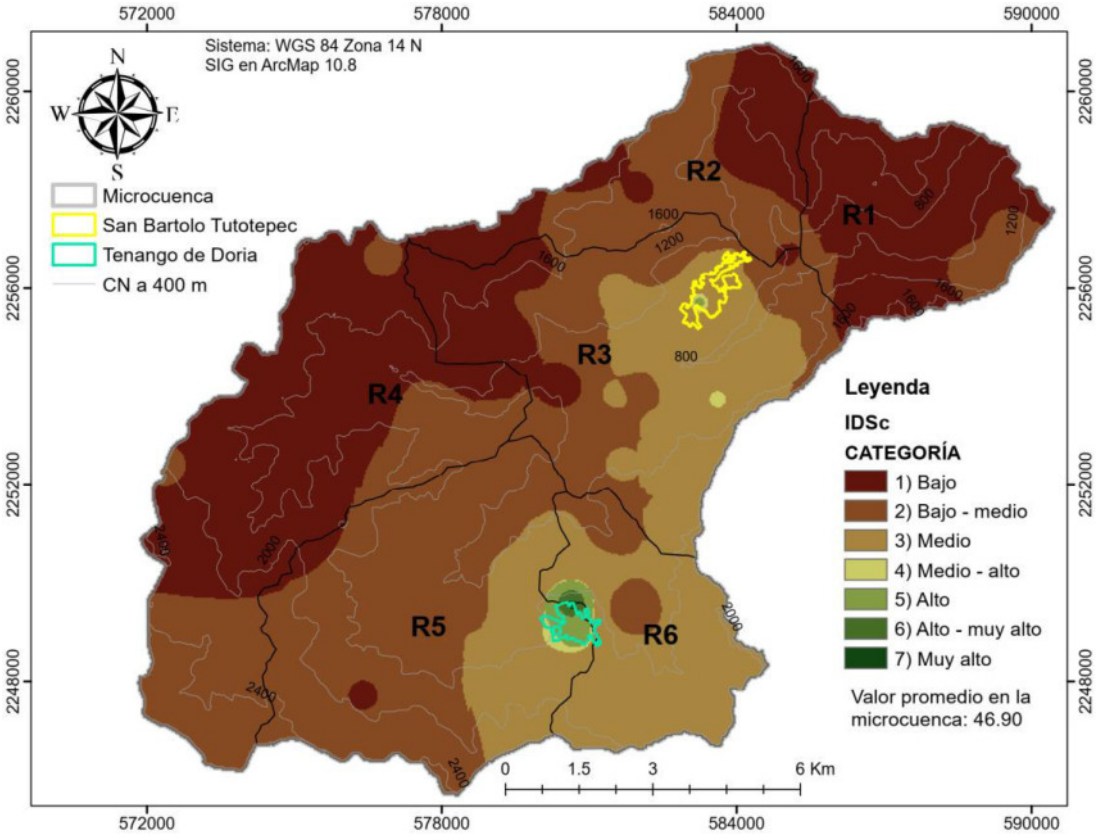
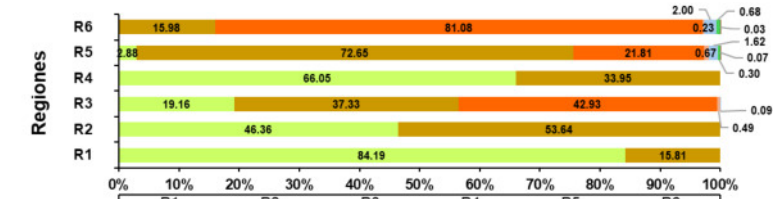


Figura 5.30. Distribución espacial del índice de desarrollo social (IDSc). Elaboración propia.

Como parte del bienestar social destacan la producción de alimentos y materias primas mediante el manejo de diferentes agroecosistemas (Partida-Sedas, 2018). Para el caso de la microcuenca el desarrollo de zonas de pastoreo ha denotado cambios de uso de suelo importantes y se ha convertido en una creciente actividad productiva. Su importancia la indica el valor promedio del IDSc para pastizal, de 58.30 a 52.72 (Figura 5.32a), este junto con el valor promedio de las zonas urbanas de 68.14 son los más altos en la microcuenca; por lo cual estos usos de suelo impulsan el desarrollo social. De forma similar el uso de suelo y cobertura vegetal de bosque de pino (49.30) mostró el tercer valor promedio del IDSc superior al de la microcuenca (46.90). Lo anterior está

relacionado con la amplia presencia de asentamientos humanos en zonas con el uso de suelo urbano y de pastoreo, lo que indica una mayor actividad antrópica en áreas aledañas a estas localidades. Donde destacan R3 y R6 por presentar valores del IDSc superiores al valor promedio de cada región, específicamente para usos de suelo urbano y de pastoreo (Figura 5.32b). La importancia del pastoreo en San Bartolo Tutotepec (R3) y la agricultura de temporal en R5 y R6 contribuye de forma importante para un valor promedio alto del IDSc, superior al de la microcuenca (Figura 5.32). En consecuencia, estas regiones están clasificadas con un IDSc de "medio-alto" a "muy alto" y se sitúan al noreste de la microcuenca con el mejor IDSc (Figura 5.30).

5.31a) Superficie por clasificación y región (%)



	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Bajo	84.19	46.36	19.16	66.05	2.88	0.00
Bajo a medio	15.81	53.64	37.33	33.95	72.65	15.98
Medio	0.00	0.00	42.93	0.00	21.81	81.08
Medio a alto	0.00	0.00	0.49	0.00	0.67	0.23
Alto	0.00	0.00	0.09	0.00	1.62	2.00
Alto a muy alto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.68
Muy alto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.03

5.31b) Valor promedio del IDSc

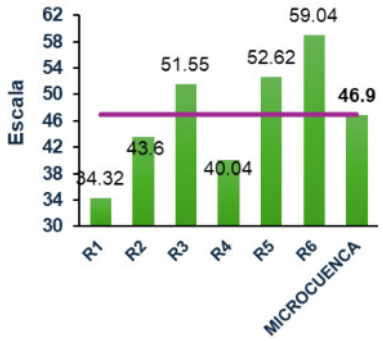
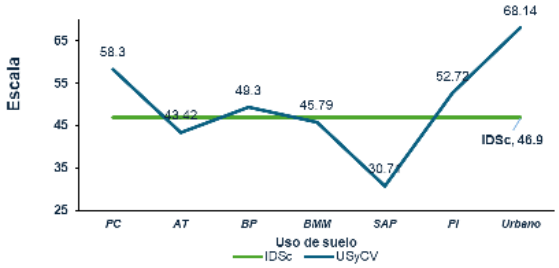


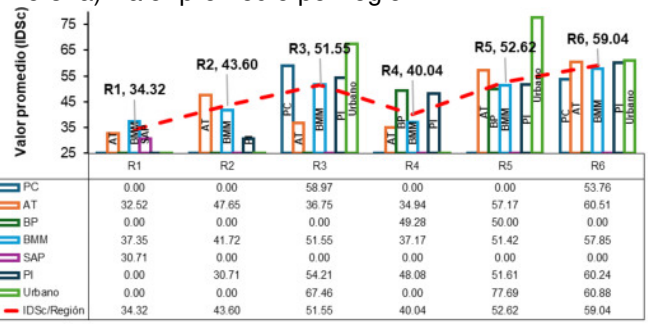
Figura 5.31. a) Porcentaje de superficie por región para el IDSc y b) valor promedio para la microcuenca y sus regiones. Elaboración propia.

Región uno (*R1*), dos (*R2*), tres (*R3*), cuatro (*R4*), cinco (*R5*) y seis (*R6*).

5.32a) Valor promedio para el USyCV



5.32a) Valor promedio por región



	R1	R2	R3	R4	R5	R6
PC	0.00	0.00	58.97	0.00	0.00	53.76
AT	32.52	47.65	36.75	34.94	57.17	60.51
BP	0.00	0.00	0.00	49.28	50.00	0.00
BMM	37.35	41.72	51.55	37.17	51.42	57.85
SAP	30.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PI	0.00	30.71	54.21	48.08	51.61	60.24
Urbano	0.00	0.00	67.46	0.00	77.69	60.88
IDSc/Región	34.32	43.60	51.55	40.04	52.62	59.04

Figura 5.32. Valores promedio para el IDSc para la microcuenca (a) y sus regiones (b), comparado con el uso de suelo y cobertura vegetal (USyCV). Elaboración propia.

Usos de suelo: Pastizal cultivado (*PC*), agricultura de temporal (*AT*), bosque de pino (*BP*), bosque mesófilo de montaña (BMM), selva alta perennifolia (*SAP*), pastizal inducido (*PI*) y urbano. Regiones: Región uno (*R1*), dos (*R2*), tres (*R3*), cuatro (*R4*), cinco (*R5*) y seis (*R6*).

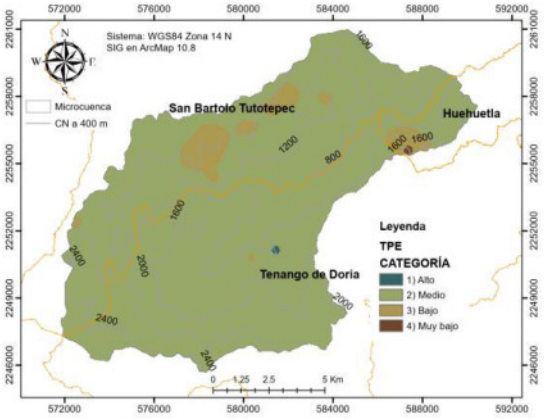
5.3.2. Índice de desarrollo económico (IDE)

El IDE considera tres parámetros escalados de cero a 100, relacionados con la población económicamente activa y el grado de participación (Figura 5.33); los cuales fueron agregados según el vector de priorización que corresponde a su importancia en el desarrollo económico de la microcuenca (Ecuación 17). El procedimiento anterior permitió obtener el mapa de la distribución espacial del IDE (Figura 5.34), el cual fue categorizado según la siguiente clasificación: muy bajo (20 – 30), bajo (31 – 40), bajo a medio (41 – 50), medio (51 – 60) y medio a alto (61 – 70).

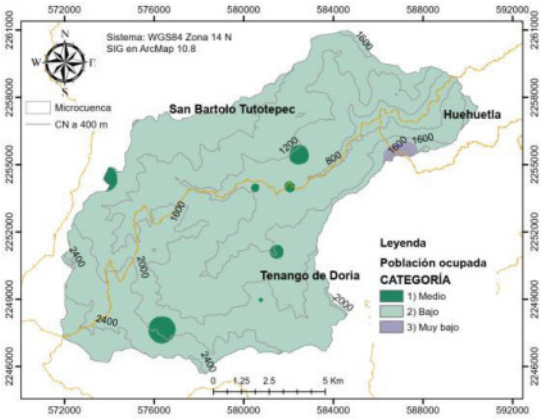
$$IDE = 0.49 * TPE + 0.3133 * Población\ ocupada + 0.1967 * PEA \quad \text{(Ec. 17)}$$

Donde: índice de desarrollo económico (IDE), tasa de participación económica (TPE) y población económicamente activa (PEA).

5.33a) Tasa de participación económica (TPE)



5.33b) Población ocupada



5.33c) Población económicamente activa (PEA)

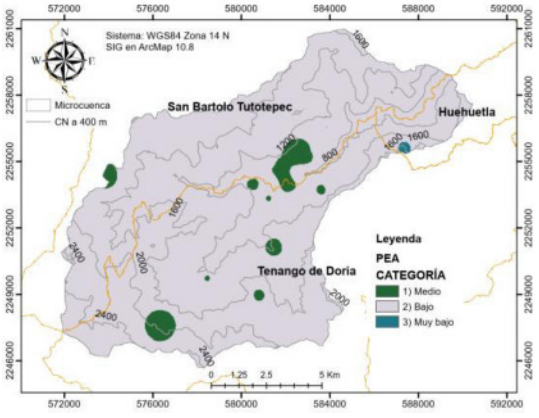


Figura 5.33. Distribución espacial de los parámetros del IDE, a) Tasa de participación económica (TPE), b) Población ocupada, c) Población económicamente activa (PEA). Elaboración con datos de INEGI (2010b).

Con respecto a esta escala de clasificación, el valor promedio obtenido para la microcuenca de 49.47, indica un IDE de bajo a medio, diferenciados por una TPE media y por niveles bajos de población ocupada y económicamente activa (Figura 5.33). Lo que generó que el 91.10 % de la superficie presente un IDE de bajo a medio; donde R1, R2 y R3 fueron las regiones que mostraron menos del 90 % de superficie con esta clasificación y con un valor promedio inferior al de la microcuenca (Figura 5.35), además de una porción importante clasificada con un IDE bajo (Figura 5.35a).

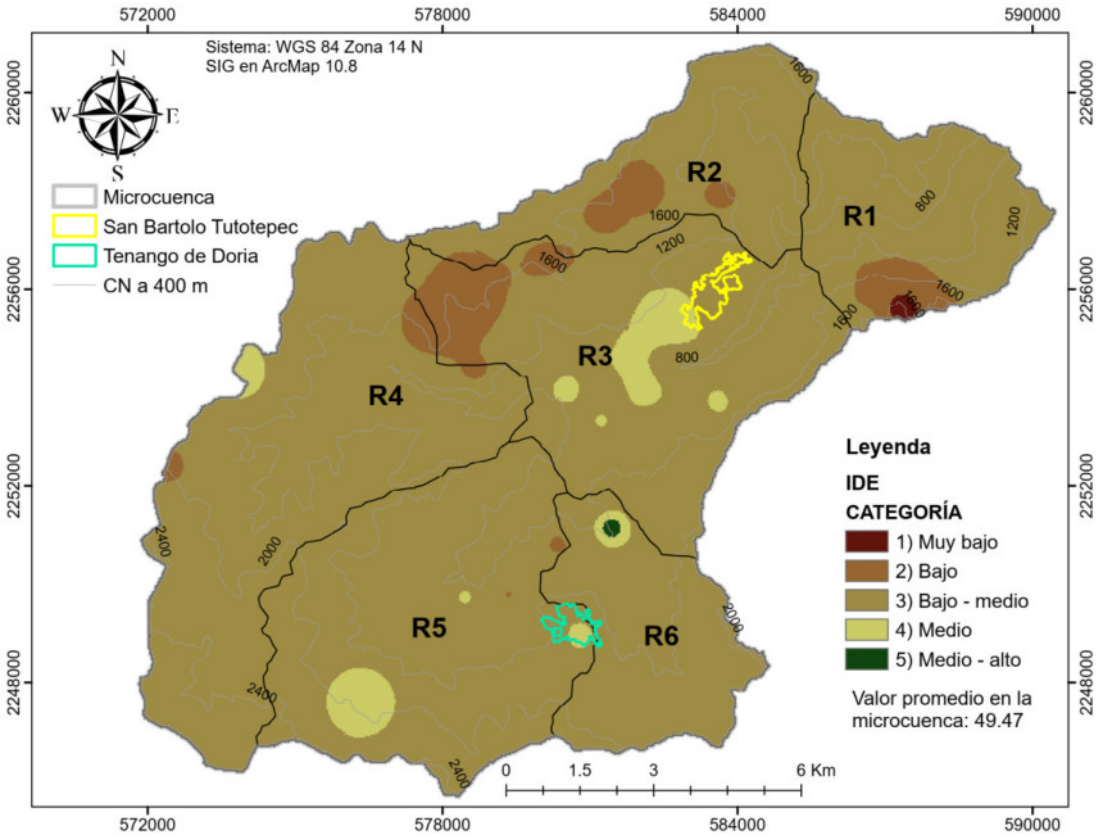
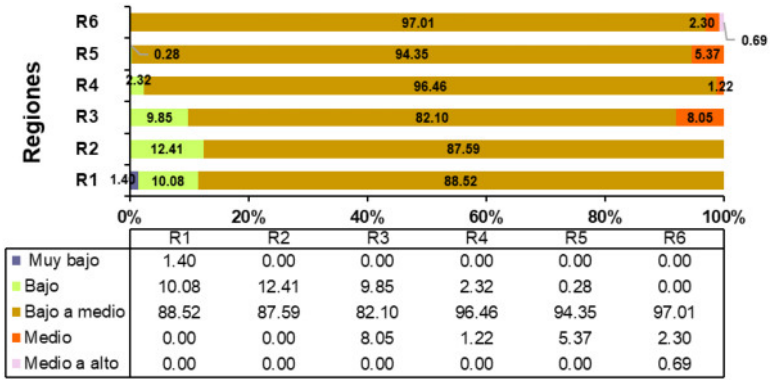


Figura 5.34. Distribución espacial del índice de desarrollo económico (IDE). Elaboración propia.

El bajo nivel de desempeño económico que se identificó en la microcuenca baja y media está relacionado con las cifras de pobreza y bienestar económico reportadas para el año 2010 para San Bartolo Tutotepec y Huehuetla. Este último presentó la mayor proporción de población en situación de pobreza (86.30 %) y de pobreza extrema (46.90 %); así como el mayor porcentaje de población con ingresos inferiores a la línea de bienestar (86.70 %), seguido de San Bartolo Tutotepec con un 37.80 % de población en situación de pobreza extrema. En ambos municipios la carencia a acceso a la alimentación se ubica entre el 50 y 55 % de la población (CONEVAL,

2010b). Por consiguiente, R1, R2 y R3 son las regiones que muestran mayor vulnerabilidad y se ubican en zonas con un IDE de bajo a muy bajo (Figura 5.34).

5.35a) Superficie por clasificación y región (%)



	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Muy bajo	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bajo	10.08	12.41	9.85	2.32	0.28	0.00
Bajo a medio	88.52	87.59	82.10	96.46	94.35	97.01
Medio	0.00	0.00	8.05	1.22	5.37	2.30
Medio a alto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.69

5.35b) Valor promedio del IDE

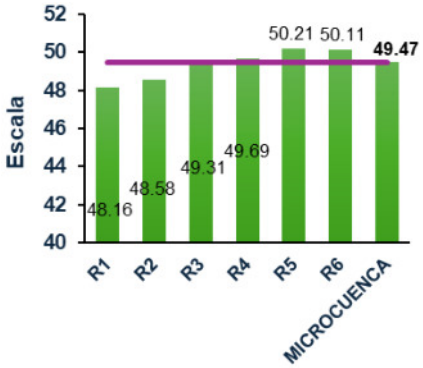


Figura 5.35. a) Porcentaje de superficie por región para el IDE y b) valor promedio para la microcuenca y sus regiones. Elaboración propia.

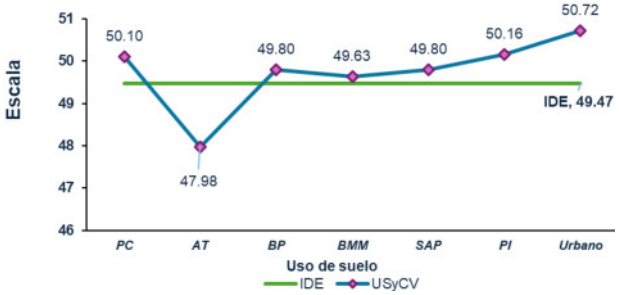
Región uno (*R1*), dos (*R2*), tres (*R3*), cuatro (*R4*), cinco (*R5*) y seis (*R6*).

Con base en lo anterior, se observa que la variación del IDE desde la microcuenca baja hasta la alta esta generada por las cifras reportadas para localidades de Huehuetla y San Bartolo Tutotepec que presentan un TPE baja y muy bajos niveles de población ocupada y activa (Figura 5.33). De estos municipios, las cifras menores del índice de ingresos (0.602) y del ingreso per cápita anual (915.10 dólares) fueron reportadas para Huehuetla, en este municipio se ubica aproximadamente el 50 % de R1 (SNIM, 2010b). A pesar de que el municipio de San Bartolo Tutotepec muestra el mayor índice de ingresos (0.662) en la microcuenca, las localidades con la TPE mayor al 55 % se ubican principalmente en Tenango de Doria con un índice de ingresos de 0.643 y un ingreso per cápita anual de 1,201.40 dólares (SNIM, 2010b). Lo anterior propició la distribución del IDE categorizado como “medio” y “medio – alto” a lo largo de la microcuenca (Figura 5.34).

El cambio paulatino del IDE desde la microcuenca baja hasta la parte alta se observa al analizar los valores promedio para cada uso de suelo y cobertura vegetal (Figura 5.36). Donde destaca la importancia que adquieren las actividades de producción ganadera y el desarrollo económico en las cabeceras municipales sobre el uso de suelo agrícola (Figura 5.36a). Este comportamiento se manifiesta principalmente en R3, donde la AT (45) y el PI (50.77) presentaron el valor del IDE más bajo y alto de toda la microcuenca; lo que indica la importancia de la producción ganadera sobre la agrícola. A diferencia de R6, donde las actividades que se desarrollan en el uso de suelo

urbano en conjunto con la producción agropecuaria contribuyen en mayor medida al IDE (Figura 5.36b).

5.36a) Valor promedio para el USyCV



5.36b) Valor promedio por región

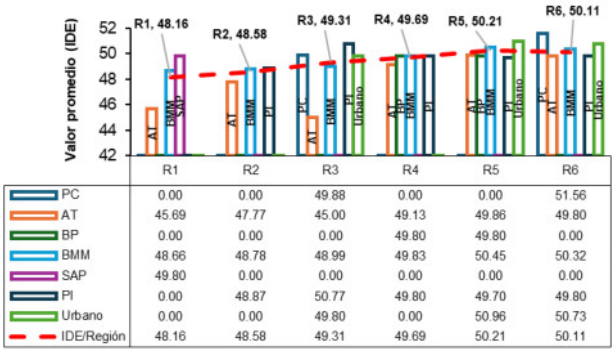


Figura 5.36. Valor promedio del IDE para cada uso de suelo y cobertura vegetal (USyCV) por región. Elaboración propia.

Usos de suelo: Pastizal cultivado (*PC*), agricultura de temporal (*AT*), bosque de pino (*BP*), bosque mesófilo de montaña (BMM), selva alta perennifolia (*SAP*), pastizal inducido (*PI*) y urbano. Regiones: Región uno (*R1*), dos (*R2*), tres (*R3*), cuatro (*R4*), cinco (*R5*) y seis (*R6*).

5.4. Índice general de sustentabilidad (IGS)

La integración de índices ambientales, sociales y económicos permitió estimar el IGS de la microcuenca del Río Pantepec mediante su agregación según el vector de priorización, que considera para una relación lógica la misma importancia entre el ICAm y el IDSc (Ecuación 18). La metodología propuesta permitió obtener el mapa del IGS que fue clasificado en las siguientes categorías: bajo a medio (41.07 – 50), medio (51 – 60), medio a alto (61 – 70), alto (71 – 80), alto a muy alto (81 – 81.91). Con base en lo anterior, el valor promedio del IGS en la microcuenca de 58.13 la clasifica con un nivel de sustentabilidad medio, que se distribuye en el 51 % de la superficie total (Figura 5.37).

$$IGS = 0.40 * ICAm + 0.40 * IDSc + 0.20 * IDE \quad \text{(Ec. 18)}$$

Donde: índice de calidad ambiental (ICAm), índice de desarrollo social (IDSc) e índice de desarrollo económico (IDE).

En el área de estudio se observa que las zonas con el grado de sustentabilidad más bajo (bajo – medio) se distribuyen desde la microcuenca baja hasta la media, debido a los bajos niveles de los índices socioeconómicos (Figura 5.30 y 5.34) y por valores del ICAm clasificados como “medio” y “medio – alto” (Figura 5.26). Lo anterior indica una baja sustentabilidad en una porción

de la superficie de R1, R2 y R3 (50.52, 5.59 y 9.18 %, respectivamente) (Figura 5.38a). Sin embargo, R1, R2 y R4 son las regiones que presentaron un valor promedio del IGS menor al de la microcuenca, esto debido a que la superficie con niveles de sustentabilidad de medio a alto en estas regiones son las menores en toda la zona de estudio (Figura 5.38b). Estos bajos niveles de sustentabilidad están definidos por una alta marginación y una baja tasa de participación económica (Figura 5.29a y 5.33a) que, en conjunto con las condiciones ambientales, marcan una alta vulnerabilidad ambiental (Figura 5.19); a pesar de que se presentan valores altos del ICS e ICA (Figura 5.22 y 5.24).

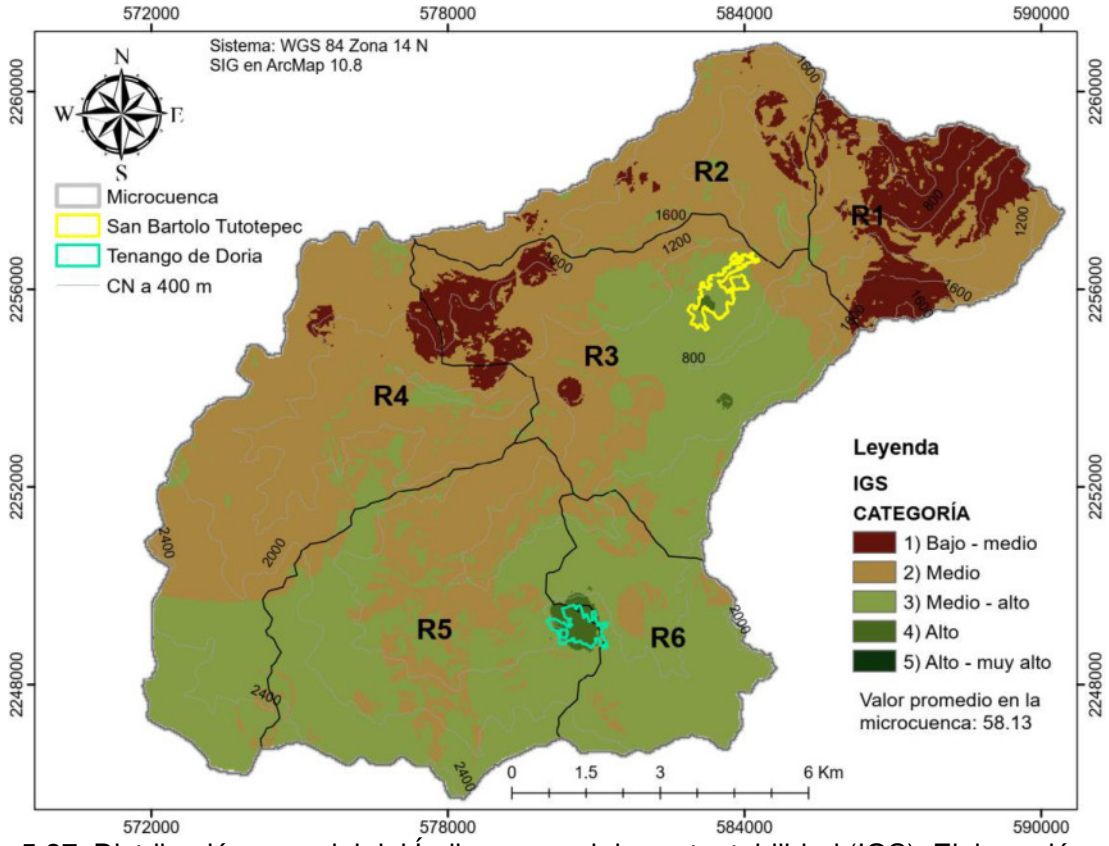
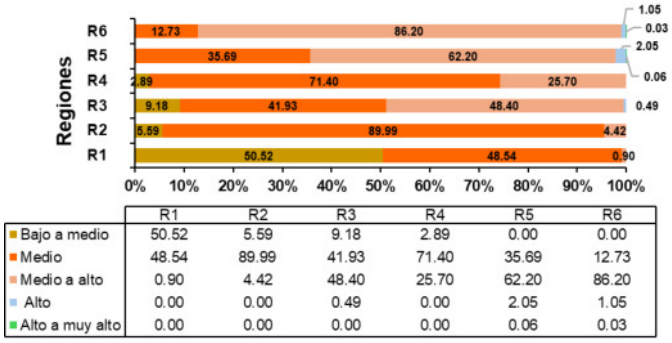


Figura 5.37. Distribución espacial del Índice general de sustentabilidad (IGS). Elaboración propia.

Los niveles mayores de sustentabilidad se ubican desde la microcuenca media hasta la parte alta (Figura 5.37), su distribución se debe a valores altos del ICAm en R4 y R5, y a un IDSc de medio a alto en R3, R5 y R6 (Figura 5.26 y 6530). Lo anterior tiene relación con el tipo de uso de suelo y cobertura vegetal, ya que en la microcuenca los usos de suelo que presentaron un valor promedio del IGS mayor al de cada región, son el BP (R4), PI (R4 y R6), zona urbana (R3, R5 y R6), BMM (R5 y R6) y AT (R5) (Figura 5.39). Lo cual indica mejores niveles de sustentabilidad

por el efecto de las actividades que se desarrollan en las zonas urbanas y agropecuarias, así como por valores del IGS de medios a altos en zonas boscosas de pino y mesófilo de montaña.

5.38a) Superficie por clasificación y región (%)



	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Bajo a medio	50.52	5.59	9.18	2.89	0.00	0.00
Medio	48.54	89.99	41.93	71.40	35.69	12.73
Medio a alto	0.90	4.42	48.40	25.70	62.20	86.20
Alto	0.00	0.00	0.49	0.00	2.05	1.05
Alto a muy alto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.03

5.38b) Valor promedio del IGS

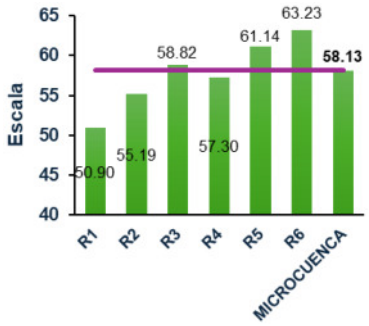


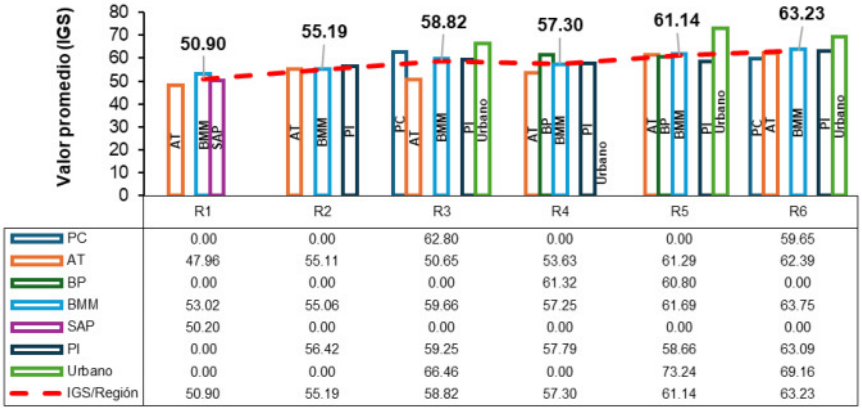
Figura 5.38. a) Porcentaje de superficie por región para el IGS y b) valor promedio para la microcuenca y sus regiones. Elaboración propia.

Región uno (*R1*), dos (*R2*), tres (*R3*), cuatro (*R4*), cinco (*R5*) y seis (*R6*).

En el área de estudio los usos de suelo que destacan con un IGS superior al de la microcuenca son el PC, BP y urbano (Figura 5.40a). Así mismo, los usos de suelo que presentaron los valores mayores de los índices ambientales y socioeconómicos son el BP y BMM (ICAm), PC (IDSc e IDE), PI (IDE) y zonas urbanas (ICAm, IDSc e IDE) (Figura 5.40b). Cabe mencionar que estos usos de suelo presentaron un valor promedio del IGS superior o muy cercano al de la microcuenca (Figura 5.40a). Por lo tanto, los valores obtenidos del IGS según el uso de suelo y cobertura vegetal muestran la importancia de la producción ganadera y el uso urbano en la microcuenca media y alta. Así como de la producción maderable en zonas de BP en R4, donde se identifican zonas de aprovechamiento forestal (Figura A1.4, Anexo 1).

En síntesis, la marginación, el rezago social y la baja participación económica de la población son factores que propician niveles bajos de desarrollo social y económico, por consiguiente, la conjunción del IDSc, IDE e IFA de bajos a medios impacta en la microcuenca según el uso de suelo. Tal como lo muestra la susceptibilidad de deslizamientos y los valores altos de vulnerabilidad ambiental en zonas de uso agropecuario (Figura 5.18a y 5.19). Sin embargo, en el área de estudio, la producción ganadera propició un mayor impacto socioeconómico que la agrícola, además de que las zonas de pastizales presentaron valores promedio del ICAm, IDSc, IDE e IGS superiores a la agricultura de temporal (Figura 5.40). Lo anterior indica que la producción ganadera en conjunción con las actividades desarrolladas en el uso de suelo urbano,

han propiciado niveles medios de sustentabilidad en la microcuenca con valores altos del ICS e ICA (Figura 5.40 y 5.41).

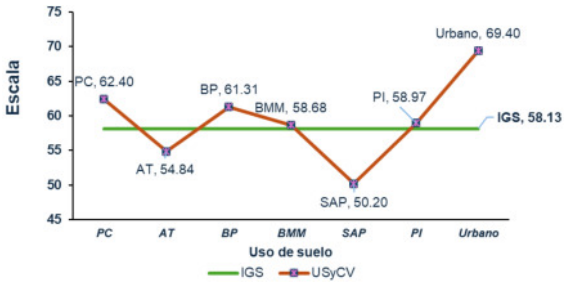


	R1	R2	R3	R4	R5	R6
PC	0.00	0.00	62.80	0.00	0.00	59.65
AT	47.96	55.11	50.65	53.63	61.29	62.39
BP	0.00	0.00	0.00	61.32	60.80	0.00
BMM	53.02	55.06	59.66	57.25	61.69	63.75
SAP	50.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PI	0.00	56.42	59.25	57.79	58.66	63.09
Urbano	0.00	0.00	66.46	0.00	73.24	69.16
IGS/Región	50.90	55.19	58.82	57.30	61.14	63.23

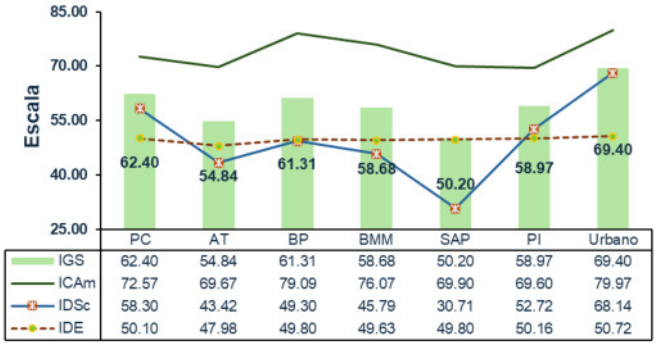
Figura 5.39. Valor promedio del IGS para cada uso de suelo y cobertura vegetal (USyCV) por región. Elaboración propia.

Usos de suelo: Pastizal cultivado (*PC*), agricultura de temporal (*AT*), bosque de pino (*BP*), bosque mesófilo de montaña (BMM), selva alta perennifolia (*SAP*), pastizal inducido (*PI*) y urbano. Regiones: Región uno (*R1*), dos (*R2*), tres (*R3*), cuatro (*R4*), cinco (*R5*) y seis (*R6*).

5.40a) Valor promedio del IGS



5.40b) Valor promedio de ICAm, IDSc, IDE e IGS



	PC	AT	BP	BMM	SAP	PI	Urbano
IGS	62.40	54.84	61.31	58.68	50.20	58.97	69.40
ICAm	72.57	69.67	79.09	76.07	69.90	69.60	79.97
IDSc	58.30	43.42	49.30	45.79	30.71	52.72	68.14
IDE	50.10	47.98	49.80	49.63	49.80	50.16	50.72

Figura 5.40. Valor promedio del IGS, ICAm, IDSc e IDE para cada uso de suelo y cobertura vegetal (USyCV). Elaboración propia.

Uso de suelo: Pastizal cultivado (*PC*), agricultura de temporal (*AT*), bosque de pino (*BP*), bosque mesófilo de montaña (*BMM*), selva alta perennifolia (*SAP*), pastizal inducido (*PI*) y urbano.

Dentro de los factores que podrían afectar la disminución del nivel medio de sustentabilidad en la microcuenca se pueden mencionar a las dificultades de producción y venta de productos agrícolas, la baja remuneración laboral que genera migración, las condiciones de marginación con servicios básicos ineficientes y la conversión de bosques a actividades agropecuarias en

zonas vulnerables a riesgos ambientales. La acentuación de estos factores tendrá efecto en los índices de desarrollo socioeconómico y debido a que los habitantes en la microcuenca subsisten por el uso y aprovechamiento de los recursos naturales a los que tienen acceso, la calidad ambiental decaería de niveles altos a medios. Asimismo, los bajos niveles de desarrollo socioeconómico repercuten en la pobreza, seguridad alimentaria, salud, aprovechamiento sustentable del medio ambiente y educación; así como en la promoción de oportunidades de aprendizaje y la garantía a la disponibilidad de agua limpia. Lo cual impedirá el desarrollo sustentable en la microcuenca.

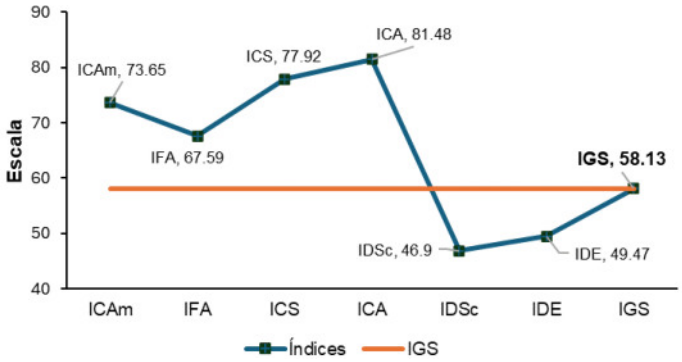


Figura 5.41. Nivel de sustentabilidad e índices ambientales y socioeconómicos en la microcuenca. Elaboración propia.

5.5. Influencia de los valores – creencias y normas locales en la sustentabilidad

La información obtenida mediante las encuestas (Anexo C) se analizó con base en los parámetros de conciencia de responsabilidad (AC) y atribución de responsabilidad (AR) para la región tres (R3) y cinco (R5). Lo anterior permitió identificar el nivel de estos según la influencia de los valores – creencias y normas locales sobre el cuidado del medio ambiente y la práctica de medidas para el cuidado y manejo del suelo y agua. Así como la percepción a la designación de áreas de conservación y turísticas. En la cual tienen influencia las normas, tradiciones, creencias y cosmovisión de la familia y los pueblos originarios. También se analizó la influencia de la conciencia y atribución de responsabilidad en la calidad ambiental, el desarrollo socioeconómico y el nivel de sustentabilidad en cada región. Posteriormente se realizó una comparación de AC y AR entre R3 y R5.

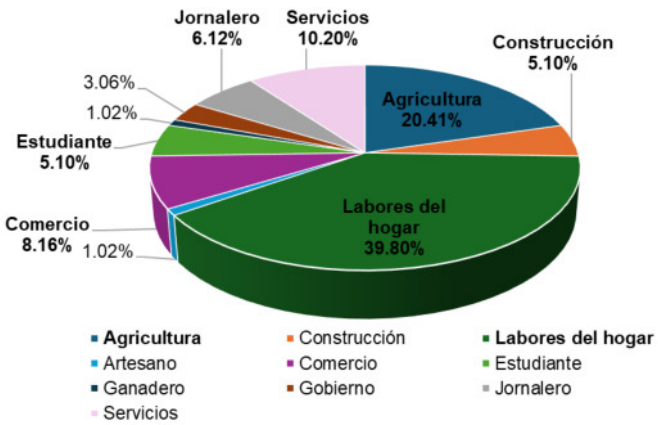
Región tres (R3)

Las 98 encuestas realizadas en la región tres (R3) se ejecutaron en 16 localidades, donde el 39.80 % se dedica cotidianamente a labores del hogar y el 20.41 % a actividades agrícolas,

combinadas con el comercio y la producción cafetalera y ganadera. También resaltan las ocupaciones en servicios de alimentos, albañilería, jornal y comercio (Figura 5.42a). De los encuestados, el 21.43 % habla Otomí, de los cuales el 42.86 % se dedica principalmente a labores del hogar (Figura 5.42b).

Con relación al uso y manejo del suelo en R3, el 90.82 % de los encuestados es consciente de la necesidad por el cuidado y mejoramiento de las tierras de cultivo; las principales prácticas de mejoramiento mencionadas fueron el abonado (31.25 %) y mantener los residuos de la cosecha como cobertura natural del suelo (25 %) (Figura 5.43a). Entre los productos para el abonado destacaron los de origen orgánico (69.01 %) y la combinación de estos con fertilizantes (12.68 %). Con relación a la erosión hídrica, el 60.64 % de los encuestados reconoce la magnitud de la escorrentía como el principal factor causante de este fenómeno (68.42 %), así como el 17.54 % relacionó la pérdida de suelo con los deslaves. Sin embargo, el 22.81 % no sabe qué hacer para evitar la erosión y el 35.09 % mencionó que no está en sus manos evitarlo. Entre las posibles acciones a realizar para mitigar la pérdida del suelo, destacaron la construcción de canales de desvió de escorrentía y evitar la tala árboles (Figura 5.43b). Por consiguiente, la alta identificación de la necesidad de mejorar las tierras de cultivo mediante el abonado muestra una buena percepción de la responsabilidad por el cuidado del suelo (parámetro AC). Asimismo, lo indica la identificación de la escorrentía como el principal factor causante de la erosión y la mención de acciones para su control; sin embargo, existe una baja iniciativa de acción contra la erosión (57.89 %), lo cual indica un bajo nivel de atribución de responsabilidad de los encuestados (parámetro AR).

5.42a) Ocupación laboral



5.42b) Hablantes de alguna lengua originaria

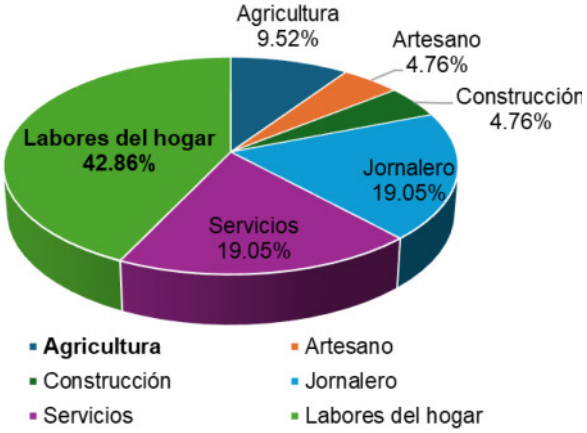
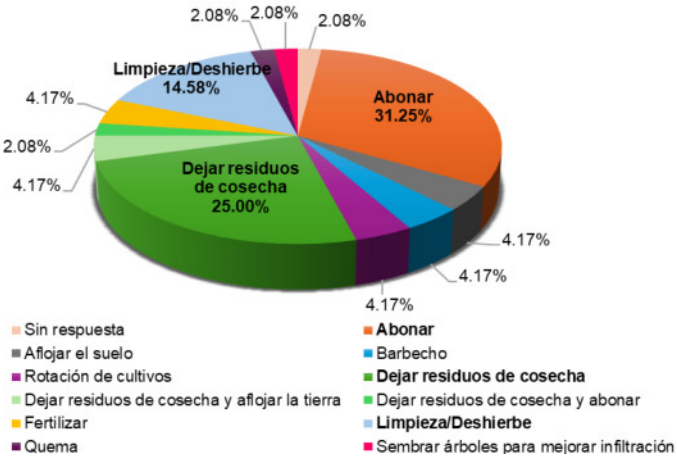


Figura 5.42. a) Ocupación laboral en R3 y b) hablantes de alguna lengua originaria según ocupación. Elaboración propia.

Para el uso y cuidado del agua, la totalidad de encuestados en R3 reconoció como una responsabilidad el cuidado del agua, el 91.84 % mencionó practicar el ahorro y el 5.10 % el reúso de esta. Además, como medidas para su cuidado indicaron la combinación de acciones como evitar la contaminación del agua y la tala de árboles. En esta región más del 64.28 % de los encuestados se abastece de manantiales, por lo cual esta es la principal fuente de abastecimiento de agua para consumo humano (Figura 5.44a), de estos solo el 53.97 % la hierve y el 7.94 % la clora (Figura 5.44b). Así mismo destacó que el 34.92 % de los encuestados, habitantes de las localidades de Los Manantiales, Colonia Industrial, El Bopo, Huasquilla, La Campana, La Joya, Media Cuesta, San Bartolo Tutotepec, El Dónimo, Santa María Temaxcalapa y Santiago, mencionó consumir el agua sin ningún tratamiento previo. Cabe mencionar que estas localidades cuentan con servicio de agua entubada de la red pública y solo algunas presentan un porcentaje menor de viviendas sin este servicio. El porcentaje que presenta cada localidad es: San Bartolo Tutotepec (0.5 %), Santiago (0.6 %), Colonia Industrial (0.5 %), La Joya (8 %), El Bopo (1.2 %), Huasquilla (5.6 %) y Santa María Temaxcalapa (0.7 %) (CONEVAL, 2020); las últimas tres pertenecientes a Tenango de Doria.

5.43a) Prácticas mara mejorar la calidad del suelo



5.43b) Erosión hídrica

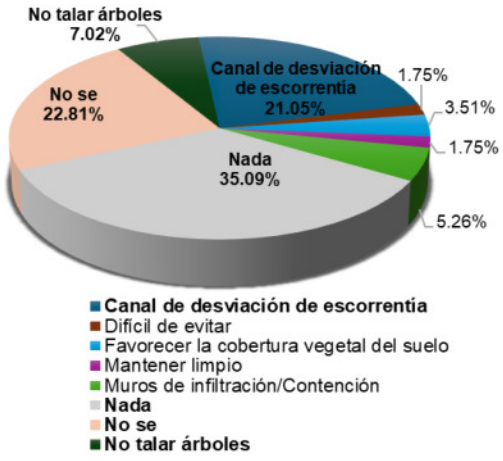


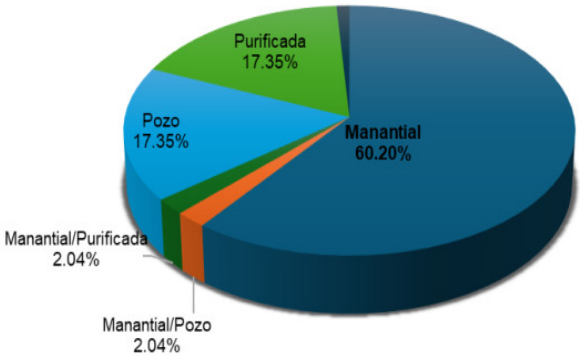
Figura 5.43. Manejo y cuidado del suelo, a) prácticas para mejorar la calidad del suelo y b) erosión hídrica. Elaboración propia.

Del municipio de San Bartolo Tutotepec, las localidades de Los Manantiales, Huasquilla, Santiago y San Bartolo Tutotepec forman parte del programa “Agua limpia” que lleva a cabo acciones de desinfección del agua en depósitos de distribución mediante hipoclorito de calcio, sodio y plata colorida (CONAGUA, 2016). Este municipio reportó en el segundo informe de gobierno 36 localidades dentro de este programa (San Bartolo Tutotepec, 2022). Lo anterior muestra una

buena disponibilidad del servicio de agua potable acompañada de acciones para su desinfección, así como una alta percepción de la necesidad del ahorro del agua, lo que permite alcanzar en R3 niveles adecuados de los parámetros AC y AR, con respecto al uso y cuidado de esta.

Se identificó que el 67.35 % de los encuestados reflexionó la importancia del cuidado del medio ambiente, debido a la relación de este con el suministro de servicios ambientales necesarios para una buena calidad de vida (Figura 5.45a). Además, reconocen la relación directa de contar con un medio ambiente limpio y cuidado para tener un mejor futuro, tanto para ellos como para sus hijos. Por otro lado, el 22.45 % relaciona el cuidado del medio ambiente con la mejora de servicios ecosistémicos proporcionados por la vegetación y el suelo, tales como la provisión de aíre puro y agua limpia, la recarga de mantos acuíferos y contar con un lugar natural agradable para habitar. El 5.10 % de los encuestados identificó la necesidad de su cuidado para evitar la pérdida de flora y fauna, y el 4.08 % reconoció efectos del cambio climático como la sequía y el aumento de la temperatura (Figura 5.45a). Asimismo, como parte fundamental del cuidado de los recursos naturales en la región se cuestionó el consentimiento por la aplicación de reglas para el uso del suelo y agua, donde el 98.98 % de los encuestados acepta la implementación de estas y el 89.70 % reconoce la necesidad de la existencia de reglas y normas. Entre los factores que impulsan su aplicación se mencionaron a la necesidad del cuidado del medio ambiente (4.12 %) y regulación del uso de los recursos naturales (2.06 %) (Figura 5.45b).

5.44a) Fuentes de agua para consumo humano



5.44b) Tratamiento del agua de manantial

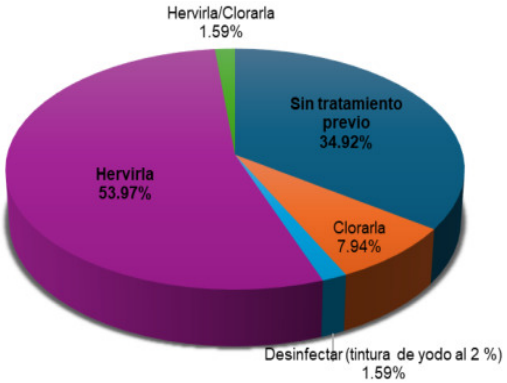
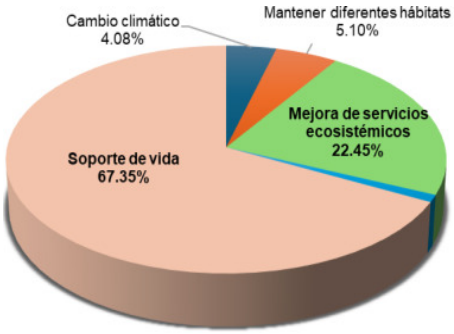


Figura 5.44. Uso y cuidado del agua, a) fuentes de agua para el consumo humano y b) medidas para su consumo. Elaboración propia.

Por consiguiente, en R3 existe un alto entendimiento de la importancia del medio ambiente en la calidad de vida, lo cual tiene relación con la enseñanza proveniente del hogar en cuanto al manejo de la basura y cuidado del agua. La cantidad de encuestados que mencionó adquirir este

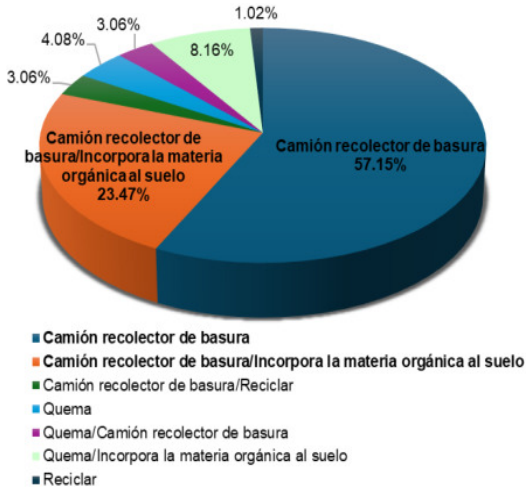
conocimiento de la familia se ubicó entre el 38 y 54 %, así mismo entre el 30 y 39 % lo relacionó con autoaprendizaje. Se supone que este conocimiento fue adquirido empíricamente o por la exposición eventual a información emitida por medios de comunicación o propaganda. Con respecto al manejo de la basura, la acción de recolección de basura municipal y la incorporación de la materia orgánica al suelo, indican una atribución de responsabilidad media. Esto debido a que el 4.08 % de los encuestados manifestó quemar la basura por la baja o nula periodicidad de recolección de esta, así mismo el 8.16 % agregó a esta acción la incorporación de materia orgánica al suelo (Figura 5.45c). Lo anterior indica una buena atribución de responsabilidad (AR) a pesar de la deficiencia en la recolección de basura.

5.45a) Importancia del cuidado del medio ambiente



5.45b) Aspectos a considerar para la aplicación de normas

5.45c) Manejo de la basura



5.45d) Percepción de la calidad de la lluvia

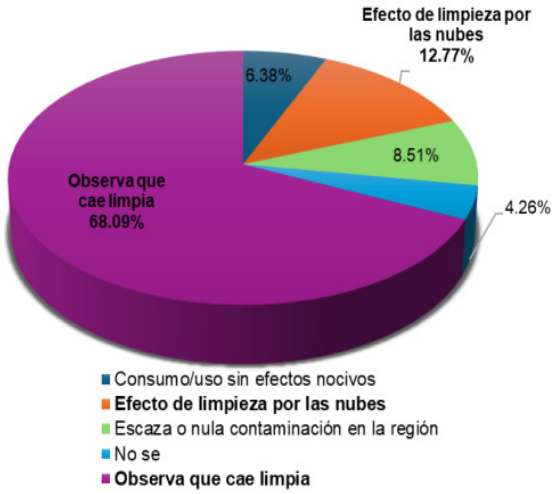


Figura 5.45. Cuidado del medio ambiente, a) importancia de su cuidado y b) aspectos a considerar para aplicación de normas para uso de suelo y agua, c) manejo de la basura y d) percepción de la calidad de la lluvia. Elaboración propia.

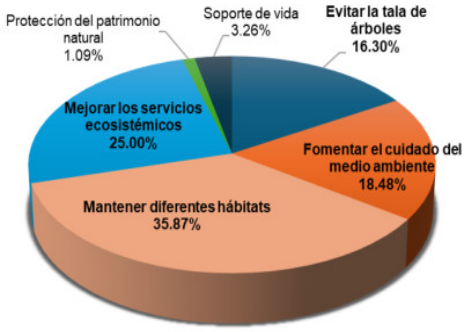
No obstante, a la alta percepción de la importancia del cuidado del medio ambiente, el 52.04 % de los encuestados niega la posibilidad de que el agua precipitada este contaminada. Lo cual se atribuye a la baja disponibilidad e interés de información referente al tema y por la apreciación de que la contaminación existente no representa un problema en la región. Por consiguiente, los habitantes relacionan principalmente la información obtenida por autoaprendizaje con este cuestionamiento; donde resultó que el 68.09 % de los encuestados observó que el agua de la lluvia cae limpia y el 12.77 % relacionó el efecto de purificación del agua con el ciclo hidrológico (Figura 5.45d).

Dentro de la importancia del cuidado del medio ambiente, también se cuestionó sobre la designación de espacios para la conservación de los recursos naturales como lo son las zonas protegidas, así como el aprovechamiento de estas mediante zonas turísticas. Donde resultó que el 93.88 % de los encuestados está de acuerdo con la designación de zonas para la protección y conservación de la naturaleza. Entre los principales motivos se mencionaron: mantener diferentes hábitats (35.87 %), mejorar los servicios ecosistémicos prestados por la vegetación, tales como la generación de oxígeno, infiltración y agua limpia (25 %), evitar la tala de árboles (16.30 %) y fomentar el cuidado del medio ambiente (18.48 %) (Figura 5.46a). Igualmente, la protección del patrimonio natural representó el 1.09 % de los motivos mencionados, lo cual tiene relación con la identificación de especies nativas y endémicas en la región (Figura 5.46c). Donde el 56.38 % de los encuestados mencionó conocer algún tipo de vegetación que crece específicamente en la región sin ser introducido mediante su plantación. Los principales géneros mencionados fueron: Betulaceae (26.42 %), Ceiba (15.09 %), Persea (15.09 %) y Qercus (9.43 %) (Figura 5.46d); las principales especies identificadas fueron: aile (*Alnus* sp.), ceiba (*C. pentandra*), aguacate Chinín (*Persea schiedeana* Nees) y encino (*Quercus* sp.) (CONABIO, 2023, s.f.; Guía-Ramírez et al., 2020; Quiñones-Islas et al., 2023).

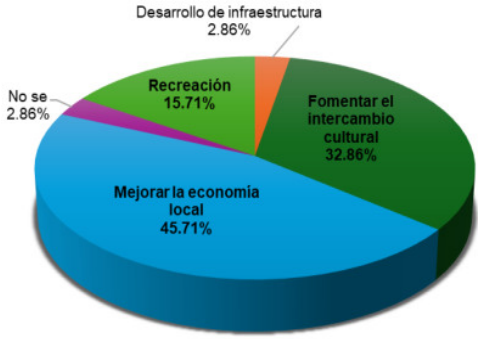
Con respecto a la designación de zonas turísticas en zonas naturales, se manifestó mayor rechazo que por las zonas protegidas. La aceptación por áreas turísticas alcanzó una aprobación del 74.47 %; el principal motivo a considerar para su apertura fue impulsar la economía local (45.71 %) con el aumento de oportunidades laborales y la venta de alimentos y productos locales. Igualmente, el 32.86 % de los encuestados considera la posibilidad de fomentar el intercambio cultural mediante el turismo (Figura 5.46b). A pesar del porcentaje de aceptación por zonas naturales protegidas y turísticas, solo el 42.55 % admitió conocer la reserva de bosque mesófilo de montaña “Medio Monte”, lo cual indica una afluencia turística local media en esta zona natural

protegida. Por consiguiente, se observó una aceptación muy alta por la designación de áreas protegidas y un rechazo moderado por la creación de zonas turísticas en áreas naturales. Esto sumado al posible flujo local por turismo en zonas protegidas, indica la posibilidad de inclusión de estrategias para la conservación de áreas naturales y la implementación de modalidades de ecoturismo dirigidas a la apreciación del entorno natural y la prevalencia de este (WWAP/ONU-Agua, 2018).

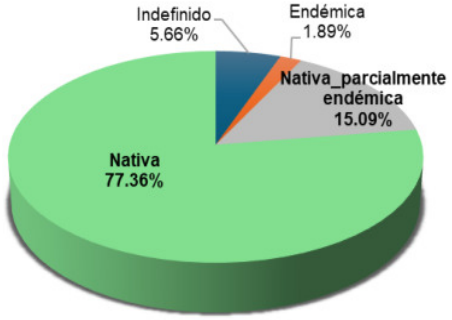
5.46a) Designación de zonas protegidas



5.46b) Designación de zonas turísticas



5.46c) Especies endémicas y nativas



5.46d) Géneros identificados

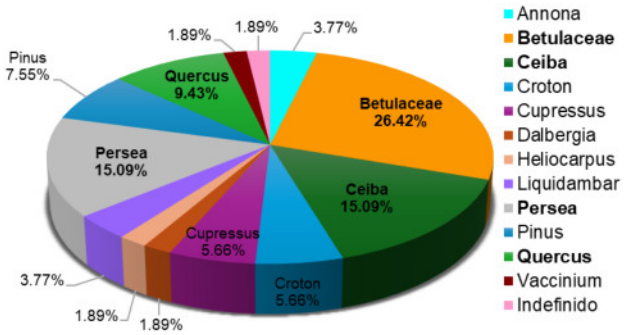


Figura 5.46. Motivos para la designación de zonas naturales y turísticas; especies endémicas y nativas reconocidas por los encuestados; a) zonas naturales protegidas, b) zonas turísticas c) especies endémicas y nativas, y c) géneros identificados. Elaboración propia.

Con respecto a la cosmovisión que promueve el cuidado del suelo, agua, flora y fauna, solo el 15.31 % de los encuestados práctica o conoce celebraciones, fiestas o rituales que fomentan o enseñan su cuidado. El 78.57 % de estas prácticas combina el cuidado del agua y suelo con la preservación de la flora y fauna, el resultado de las encuestas reveló que en esta región este aprendizaje proviene primeramente de enseñanzas tradicionales (78.57 %), seguido de enseñanzas católicas (21.43 %). Aguirre (2018) menciona que entre las principales celebraciones destacan los rituales y ofrendas al agua realizados en zonas de grutas y manantiales ubicados en San Bartolo Tutotepec, lo cual se corroboró en las encuestas realizadas. Pese a lo anterior y

debido a la baja tasa de promoción (15.31 %), se observó una baja participación en prácticas o rituales tradicionales que impulsan el cuidado de los recursos naturales. Por consiguiente, se puede considerar que el conocimiento heredado vinculado con el cuidado y valoración de su entorno con base en creencias espirituales está en decadencia; lo cual fue puntualizado para la región Otomí-Tepehua por Manetta y Avilés (2020).

En R3 los encuestados manifestaron una buena reflexión de responsabilidad por el cuidado del medio ambiente. Lograron identificar a este como una necesidad inherente para el sostén de la vida y lograron asociar esta necesidad con servicios ecosistémicos como la provisión de agua y aire limpio, al igual que el uso del agua para consumo humano y del suelo para la producción agrícola. Lo anterior es diferente con relación a la pérdida del suelo y la posibilidad de contaminación del agua de lluvia, donde los encuestados mostraron menor conocimiento al respecto. Esto podría estar influenciado por la escasa participación de los encuestados en programas o talleres que promuevan el cuidado del agua; lo cual sugiere el limitado acceso a información con respecto a la posible contaminación del agua de lluvia. Al respecto del conocimiento aplicado para el cuidado del agua, el 54.08 % fue obtenido de la familia y el 38.78 % por autoaprendizaje.

En esta región se observa la práctica y conocimiento de acciones que responden a la atribución de responsabilidad por el cuidado del medio ambiente, como lo son el manejo de la basura, la incorporación de la materia orgánica y dejar residuos de cosecha para mejorar el suelo. Así como, evitar la tala de árboles, construir canales de desvió como medidas para el control de la erosión y reportar a las instituciones gubernamentales las zonas identificadas con erosión. Por lo tanto, la información obtenida mediante los parámetros de conciencia y atribución de responsabilidad indican que la calidad ambiental en R3, clasificada con un ICAm entre medio a alto en el 49.94 % de la región y como alto en el 40.58 %, está influenciada por los valores y creencias locales. Estos están relacionados con aspectos del cuidado de la tierra de cultivo y el agua, el manejo de la basura, y la capacidad para relacionar el efecto de las actividades desarrolladas en la región con la pérdida del suelo por erosión y las afectaciones al medio ambiente. Además de que existe influencia por las prácticas heredadas, así como por el conocimiento adquirido por talleres y programas de educación ambiental. Lo anterior permite alcanzar valores de medios a altos de percepción de la necesidad del cuidado del medio ambiente, agua y de normas para el uso del suelo y agua.

El servicio de agua entubada en las localidades que consume este líquido directamente y la aplicación de medidas para su consumo, como hervir y clorar el agua indica un bajo riesgo por contaminación. A lo cual se suma, la inclusión de varias localidades de San Bartolo Tutototepec en el programa de “Agua limpia” (CONAGUA, 2016). Estas medidas en conjunto con el manejo de la basura mediante el servicio de recolección tienen influencia en los indicadores del índice de rezago social, tales como los de carencias de salud, servicios básicos y calidad en la vivienda. Lo cual repercute en la variación del índice de rezago social de medio a muy bajo y en la magnitud del IDSc para R3, este es superior al de la microcuenca y está categorizado como medio en el 42.93 % de la región y como bajo a medio en el 37.33 %.

Como actividades que impulsan el desarrollo socioeconómico y la conservación del medio ambiente en R3, se observó que la mayoría de los encuestados acepta la designación de áreas para el cuidado y conservación de este (93.88 % a favor). Asimismo, solo el 74.47 % acepta como un beneficio de desarrollo económico o social la designación de zonas turísticas en áreas naturales. Lo anterior, puede tener influencia con el bajo desarrollo económico identificado en la región, clasificado de bajo a medio en el 82.10 % y bajo en el 9.85 %; a pesar de la riqueza natural, cultural y gastronómica en esta región. A este respecto, se le suman limitantes de desarrollo económico como una comercialización ineficiente de productos locales que se enfrentan a los precios fijados por intermediarios, el desempleo y la migración.

Por consiguiente, se observa una percepción moderada del aprovechamiento potencial de áreas naturales como un componente importante para la economía local, intercambio cultural y desarrollo recreativo. Tal como lo indica la baja afluencia turística local en la Reserva Medio Monte ubicada en San Bartolo Tutotepec, ya que solo el 42.55 % de los encuestados manifestó conocerla. Sin embargo, la información expone que los encuestados tienen conocimiento de especies endémicas y nativas importantes en la región, debido a su presencia exclusiva y reconocida por lo menos por dos generaciones atrás. Lo que indica la posibilidad y el interés local por la creación de zonas de conservación que permitan una interacción con el medio ambiente. Al respecto, se mencionaron algunas condiciones como: permitir el aprovechamiento de leña, asegurar agua limpia, evitar alteraciones del paisaje natural y aplicar reglamentos y sanciones.

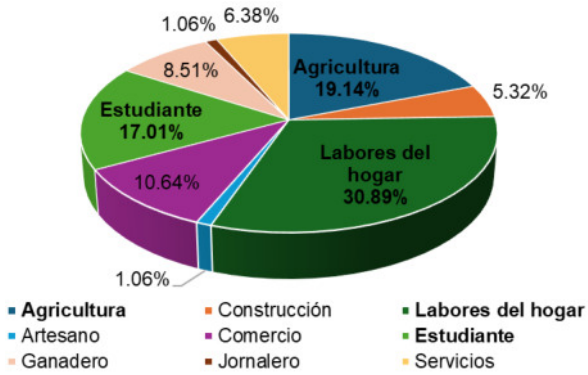
Región cinco (R5)

En la región cinco (R5) se realizaron 94 encuestas en ocho localidades, las actividades más representativas son: labores del hogar (29.60 %), el 20.41 % estudia nivel licenciatura y el 18.37

% es agricultor; esta última ocupación se combina con la ganadería y labores del hogar (Figura 5.47a). El 19.15 % de los encuestados habla alguna lengua originaria y se dedican cotidianamente a activades del hogar, agrícolas y elaboración de artesanías (Figura 5.47b). En R5 el 85.11 % de los encuestados reconoce la necesidad de mejoramiento de las tierras de cultivo, entre las prácticas que conocen o aplican para este fin, destacan la aplicación de abonos (82.90 %) y mantener los residuos de la cosecha como cobertura natural del suelo (4.90 %) (Figura 5.48a). Los principales productos mencionados para el abonado fueron los abonos de origen orgánico (76.67 %) y la combinación de estos con fertilizantes (18.33 %).

La práctica de dejar residuos de las cosechas también fue identificada como una medida para evitar la pérdida de suelo; con respecto al fenómeno de erosión, el 57.14 % de los encuestados reconoce a la magnitud de la escorrentía como el principal factor causante (55.36 %). Así como el 19.64 y 10.71 % relacionó la pérdida de suelo con los deslaves y deforestación, respectivamente; sin embargo, el 7.14 % no sabe qué hacer para evitar la erosión y el 35.71 % mencionó que no está en sus manos evitarlo. Así mismo entre las acciones de mitigación de la erosión, destacaron favorecer la cobertura vegetal del suelo y la construcción de muros de infiltración y contención (Figura 5.48b). Por consiguiente, en R5 existe una clara percepción de la responsabilidad por el cuidado del suelo (AC), lo cual se corrobora con la identificación de factores causantes y prácticas de control de la erosión. Sin embargo, existe una baja iniciativa de acción ante este fenómeno (42.86 %), lo cual indica un bajo nivel de atribución de responsabilidad (AR) ante la pérdida del suelo.

5.47a) Ocupación laboral



5.47b) Hablantes de alguna lengua originaria

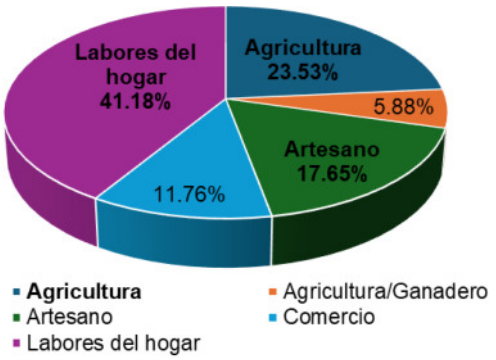
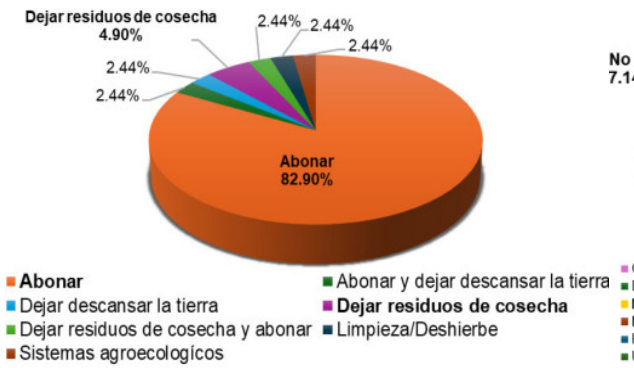


Figura 5.47. Ocupación laboral y hablantes de alguna lengua originaria, a) ocupación y b) hablantes de alguna lengua originaria según ocupación. Elaboración propia.

Según la información obtenida en esta región, la percepción de responsabilidad del cuidado del agua es mayor que la del suelo, ya que la totalidad de los encuestados admite la importancia de esta acción. Además de practicar diferentes medidas para su aprovechamiento, como lo son el ahorro del agua combinado con acciones de evitar la contaminación de esta y la tala de árboles (94.68 %), acciones que afectan la disposición y calidad del agua. Debido a que la principal fuente de abastecimiento son los manantiales, más del 84 % de los encuestados utiliza el agua de manantial para consumo humano (Figura 5.49a), de los cuales el 53.97 % la hierve y el 34.92 % la consume tal y como se suministra (Figura .49b).

Las localidades donde se utiliza el agua para consume humano sin ningún tratamiento previo son El Desdavi, El Dexhuadá, El Gosco, El Madhó, El Texme, San Francisco Ixmiquilpan y Tenango de Doria, las cuales cuentan con servicio de agua entubada de la red pública. Las localidades que presentan una porción menor de viviendas sin el servicio de agua entubada fueron: El Desdavi (1.9 %), El Texme (1.2 %), San Francisco Ixmiquilpan (3.4 %) y Tenango de Doria (0.1 %) (CONEVAL, 2020); asimismo Tenango de Doria participa en el programa “Agua limpia”. Por lo tanto, los bajos niveles de carencia del servicio de suministro de agua potable, la alta percepción del cuidado de esta y la aplicación de medidas para desinfectar el agua proveniente de manantial para el consumo humano (54.44 % de los encuestados) indican niveles adecuados de consciencia y atribución de responsabilidad para su aprovechamiento.

5.48a) Cuidado de las tierras de cultivo



5.48b) Erosión hídrica

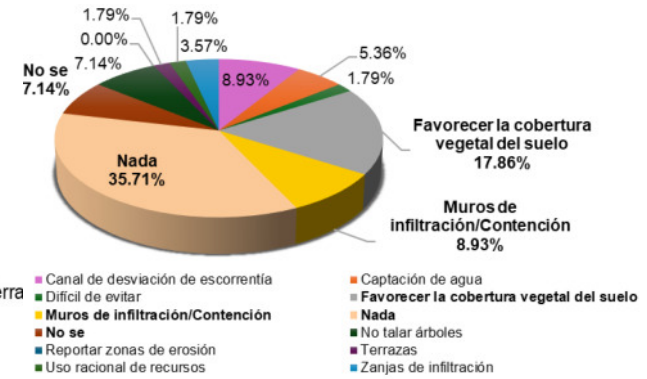
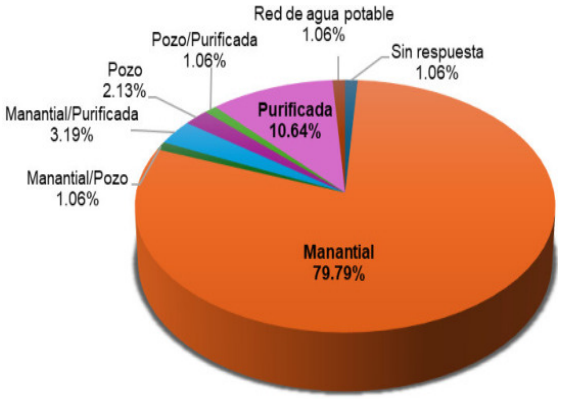


Figura 5.48. Manejo y cuidado del suelo, a) prácticas para el mejoramiento de las tierras del cultivo y b) erosión hídrica. Elaboración propia.

En relación con la percepción de la importancia del cuidado del medio ambiente, se identificó que el 55.91 % de los encuestados lo considera fundamental como medio de soporte de vida, ya que permite una mejor calidad de esta; así como mejorar los servicios ecosistémicos relacionados

con el agua y suelo (22.58 %). Al respecto, destacó la mención de las afectaciones por el cambio climático (11.83 %) y la relevancia de mantener la flora y fauna (5.38 %). Estos fueron considerados como motivos que determinan la importancia del medio ambiente (Figura 5.50a), ya que los encuestados relacionaron la pérdida de especies, la sequía y el aumento de temperatura con el cambio climático. Como parte esencial del cuidado del medio ambiente, se cuestionó la existencia de reglas para el uso del agua y suelo, donde resultó que el 2.13 % no está de acuerdo con estas, debido a que consideran que no son necesarias si se prioriza el funcionamiento natural del medio ambiente. El 97.87 % de los encuestados a favor, mencionó que la existencia de reglas para el uso del suelo y agua son una necesidad para el cuidado del medio ambiente (78.48 %), así como son importantes para regular el uso de los recursos naturales (11.83 %) (Figura 5.50b).

5.49a) Fuentes de agua para consumo humano



5.49b) Tratamiento del agua de manantial

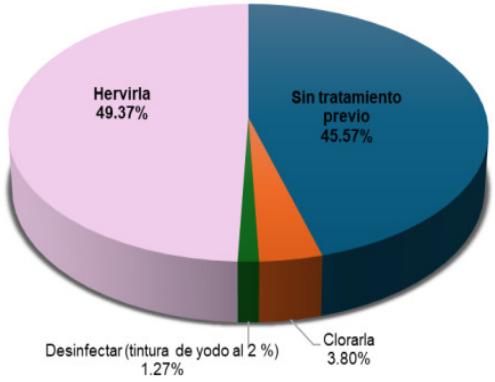
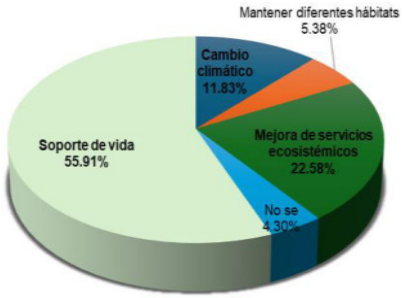


Figura 5.49. Uso y cuidado del agua, a) fuentes de agua para el consumo humano y b) medidas para su consumo. Elaboración propia.

Con base en lo anterior, en R5 existe una alta percepción de la importancia del cuidado del medio ambiente, así como de su influencia e impacto en la calidad de vida y el cambio climático. Además de que los encuestados conciben la necesidad de reglas para regular el uso de recursos naturales y no solo por ser un elemento básica de organización. Lo cual tiene relación con el aprendizaje adquirido en el hogar, ya que aproximadamente el 90.42 % de los encuestados manifestó haber aprendido medidas para el cuidado del agua a través de la familia (44.68 %) y por autoaprendizaje 45.74 %). Por consiguiente, estos representan la mayor fuente de enseñanza y aprendizaje en R5, los cuales están vinculados con la enseñanza obtenida en reuniones comunitarias (1.06 %) y el conocimiento adquirido en la escuela (3.19 %). Sin embargo, el 21.28 % de los encuestados manifestó haber adquirido conocimientos referentes al cuidado del agua, manejo de huertos de traspatio, limpieza y reforestación por medio de talleres y cursos, que, a pesar de la baja tasa

participativa, este medio de aprendizaje tiene influencia en el desarrollo de la conciencia y atribución de responsabilidad por el cuidado del medio ambiente.

5.50a) Importancia del cuidado del medio ambiente



5.50b) Aspectos para la aplicación de normas

5.50c) Manejo de la basura

5.50d) Percepción de la calidad de la lluvia

Figura 5.50. Cuidado del medio ambiente, a) importancia de su cuidado y b) aspectos a considerar para aplicación de normas para uso de suelo y agua, c) manejo de la basura y d) percepción de la calidad de la lluvia. Elaboración propia.

Con respecto a la recolección de basura y manejo de esta, se observó que el 55.91 % de los encuestados hace uso del camión recolector, medida combinada con la incorporación de la materia orgánica al suelo. Sin embargo, el 8.60 % de los encuestados manifestó quemar la basura debido a la baja periodicidad de recolección de esta. Lo anterior indica una atribución de responsabilidad de media a baja con respecto al manejo de la basura, a pesar de la amplia combinación de medidas como la incorporación de la materia orgánica al suelo, reciclaje y enterrar la basura (Figura 5.50c). De igual manera, los niveles de atribución de responsabilidad para el manejo de la basura y la alta percepción de la necesidad del cuidado del medio ambiente tienen influencia en la concepción de la calidad del agua de lluvia. Debido a que el 47.87 % de los encuestados considera que esta es limpia. Entre los razonamientos que motivan esta creencia

se encuentran: certeza de que el agua está limpia debido a que así se observa (53.33 %), existencia de una escasa o nula contaminación en la región (24.44 %) e influencia del efecto de limpieza por acción de las nubes (15.56 %) (Figura 5.50d).

Como parte importante de la conservación del medio ambiente, se cuestionó sobre la postura para la designación de áreas protegidas y turísticas en áreas naturales de la región. Los encuestados manifestaron mayor rechazo por la designación de zonas turísticas que por la de áreas protegidas, esta alcanzó una aceptación del 92.55 % la cual es mayor a la de zonas turísticas (65.04 %). A pesar del alto porcentaje de encuestados a favor de la designación de áreas protegidas, solo el 13.27 % conoce la reserva “Medio Monte”, ubicada en San Bartolo Tutotepec, esto puede tener influencia en el rechazo por la designación de zonas turísticas en áreas naturales. Las principales razones que motivan el rechazo son: el deterioro y contaminación del entorno natural, y la tala de árboles debida a la adecuación de accesos o zonas de recreación. Por otro lado, el 60.91 % de los encuestados que manifestaron estar de acuerdo considera que es una oportunidad para el aumento de ingresos debido a la creación de empleo, inversión municipal, venta de productos locales, consumo de alimentos e incremento del comercio. Como ventajas se mencionaron el contar con áreas para recreación (14.06 %) y fomentar el intercambio cultural (14.06 %) (Figura 5.51a).

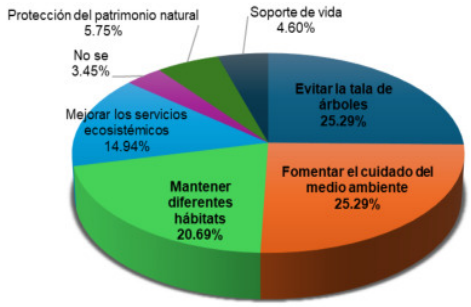
En cuanto a los motivos para la designación de áreas protegidas, resaltaron fomentar el cuidado del medio ambiente (25.29 %), evitar la tala de árboles (25.29 %), mejorar los servicios ecosistémicos (14.94 %) y mantener diferentes hábitats (20.69 %) (Figura 5.51b). Como componente fundamental de la conservación de especies, se cuestionó sobre el conocimiento de la vegetación representativa de la región, donde resaltaron los siguientes géneros: Betulaceae (51.72 %), Pinus (12.07 %), Liquidambar (8.62 %) y Quercus (8.62 %) (Figura 5.51c). Así mismo las especies mencionadas en su mayoría son nativas (96.55 %) (Figura 5.51d), tales como el aile (*Alnus* sp.), Ocote (*Pinus oocarpa*), Copal o liquidámbar (*Liquidambar styraciflua*) y encino (*Quercus* sp.) (CONABIO, 2023, s.f.; CONAFOR, s.f.b). La identificación de especies nativas por parte de los encuestados tiene relación con la percepción de la necesidad de protección del patrimonio natural, el cual obtuvo el 5.75 % de las menciones como importancia para la designación de áreas protegidas.

Entre el conjunto de creencias que promueven el cuidado del medio ambiente, se identificó que el 23.40 % de los encuestados conoce o participa de ceremonias tradicionales que promueven

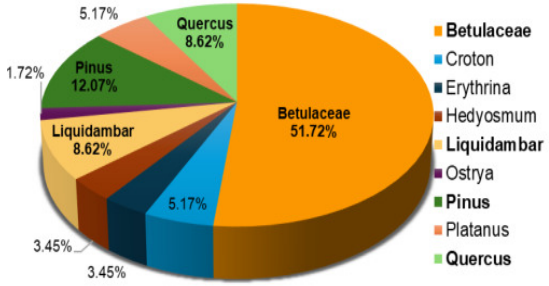
su cuidado. Entre las prácticas mencionadas resaltan fiestas y rituales que engloban el cuidado del agua y suelo en combinación con la flora y fauna, estas representan el 40.91 % de las mencionadas. Así mismo, se identificó que este aprendizaje proviene en su mayoría de creencias católicas (54.55 %), lo anterior muestra una menor contribución de las tradiciones ancestrales. Sin embargo, la participación del 23.40 % de los encuestados en este tipo de prácticas indica la importancia de la cosmovisión con respecto al cuidado del medio ambiente mediante creencias tradicionales, principalmente católicas.

5.51a) Designación de zonas turísticas

5.51b) Designación de zonas protegidas



5.51c) Géneros identificados



5.51d) Especies endémicas y nativas

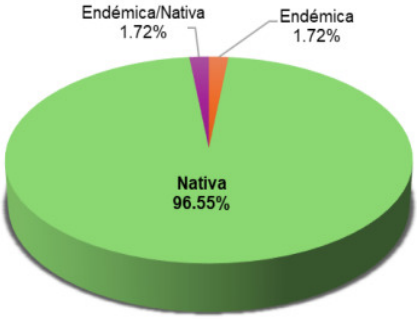


Figura 5.51. Motivos para la designación de zonas naturales y turísticas; especies endémicas y nativas reconocidas por los encuestados; a) zonas turísticas, b) zonas naturales protegidas c) géneros identificados, y c) especies endémicas y nativas. Elaboración propia.

En R5 se observó una buena reflexión de responsabilidad por el cuidado del medio ambiente, donde relacionan con este los servicios ecosistémicos que proporciona y el impacto del cambio climático. Las prácticas mencionadas para el consumo del agua y el manejo del suelo para la producción agrícola indican una atribución de responsabilidad de media a alta, ya que más del 90 % de los encuestados ahorra el agua y utiliza o conoce la aplicación de abono natural para mejorar las tierras de cultivo. En R5 se alcanzaron estos niveles de atribución de responsabilidad a pesar del bajo porcentaje de encuestados que hierve el agua para consumo humano (45 %). Aun cuando la buena consciencia y atribución de responsabilidad por el cuidado de las tierras de

cultivo, es diferente para la percepción de la pérdida del suelo, este fenómeno alcanzó un reconocimiento del 57.14 %. Además, el 10.17 % de los encuestados que reconocen el efecto de la erosión del suelo logró identificar a la deforestación como un factor causante.

Otras prácticas sobresalientes atribuidas por los encuestados para el cuidado del medio ambiente fueron el manejo de la basura mediante recolección e incorporación de residuos orgánicos al suelo, dejar residuos de cosecha para mejorar el suelo y favorecer la cobertura vegetal para mitigar la erosión. Así como evitar la tala de árboles, realizar la captación de agua, construir canales de desvió, muros de retención, zanjas de infiltración y terrazas como medidas de control para la pérdida del suelo. Con respecto a la consciencia y atribución de responsabilidad por la conservación de áreas naturales, en R5 se observó una aceptación muy alta por la designación de áreas protegidas con una buena percepción de la necesidad de normas que regulen el uso del suelo y agua. De forma contraria el rechazo por la creación de zonas turísticas en áreas naturales fue de medio a alto, ya que el 34.69 % no lo considera viable por posibles afectaciones al entorno natural durante su creación y uso, donde los encuestados consideran que la contaminación y tala de árboles son las principales causas.

La información obtenida muestra que la calidad ambiental en R5, clasificada con un ICAm alto en el 48.47 % de la región y de alto a muy alto en el 26.66 %, tiene influencia por la conciencia y atribución de responsabilidad adquirida en esta región para el mejoramiento de la tierra de cultivo. Donde destacó la aplicación de abonos naturales; así mismo solo el 57.14 % de los encuestados reconoce el fenómeno de la pérdida del suelo. Con respecto a la percepción de la calidad del agua de lluvia, el 24.44 % de los encuestados cree que está limpia debido a la baja o nula contaminación en la región. A pesar de que solo el 40.86 % mencionó hacer manejo de sus residuos mediante el camión recolector de basura y 15.05 % realiza esta medida en conjunto con la incorporación de la materia orgánica al suelo. Estas medias en conjunto con el servicio de agua entubada que cubre más del 96 % de las viviendas en las localidades de R5 y la aplicación de medidas para su consumo, indican niveles adecuados de consciencia y atribución de responsabilidad para su aprovechamiento. Lo anterior tiene influencia con el IDSc identificado en R5 de 52.62, categorizado como bajo a medio en el 72.65 % de la región y de medio en el 21.81 %. Las acciones de contar con servicio de agua entubada en más del 90 % de las localidades y recolección de basura en más de la mitad de estas influyen en el índice de marginación. Este considera la población que no cuenta con bienes y servicios esenciales, en R5 varió de alto a muy bajo. De forma contraria estas acciones influyen en menor medida en el índice de rezago

social, ya que este varió de medio a muy bajo, por lo que se infiere que en R5 este índice está influenciado por los indicadores de carencias sociales de salud, educación y calidad de la vivienda. Asimismo, en R5 el cuidado del medio ambiente, esta influenciado por el conocimiento adquirido en talleres y programas de educación ambiental, ya que el 21.28 % de los encuestados manifestó participar en estos. Lo anterior permite alcanzar valores medios de percepción de la necesidad del cuidado del medio ambiente y de la utilidad de normas para regular el uso de los recursos naturales.

Como parte de la conciencia y atribución de responsabilidad por el cuidado del medio ambiente, resaltó que la mayoría de los encuestados acepta la designación de áreas para la conservación de este (92.55 %) y solo el 65.31 % reconoce como un beneficio de desarrollo económico o social la designación de zonas turísticas en áreas naturales. Sin embargo, existe una buena percepción del aprovechamiento potencial de áreas naturales como un componente importante para la economía local (60.94 %). El rechazo moderado por áreas turísticas puede tener influencia en el desarrollo económico de R5, el cual presentó un IDE de bajo a medio en el 94.35 % de la región. Así mismo el rechazo por zonas turísticas en áreas naturales se puede relacionar con la escasa información en este tipo de estrategias. El interés por áreas de conservación está relacionado con el conocimiento de especies endémicas y nativas representativas de la región. Al respecto, el 4.69 % de los encuestados mencionó la necesidad del aprovechamiento de leña para las actividades domésticas, actividad que a su parecer no es favorecida por la designación de zonas de conservación. Sin embargo, la implementación de estrategias que se ajusten al uso y conservación del medio ambiente con las normas locales y según las necesidades y costumbres de los habitantes es potencial en R5, lo cual permitirá un mayor desarrollo social y económico.

5.5.1. Comparativo de la influencia de valores – creencias y normas en dos regiones de la microcuenca

La información obtenida mediante encuestas muestra una alta conciencia de responsabilidad del cuidado del agua y medio ambiente en R3 y R5. Donde destacan acciones de atribución de responsabilidad como el ahorro del agua, aplicación de medidas para su consumo, manejo de la basura mediante la recolecta municipal y la incorporación de la materia orgánica al suelo. Así como una alta percepción del cuidado del medio ambiente, basada en el reconocimiento de este como el medio para el sustento de la vida y mejora de la calidad de esta (Tabla 5.19). A pesar del bajo nivel de percepción de la contaminación como un factor importante en la calidad del agua de lluvia, ya que aproximadamente el 47 % de los encuestados considera que es limpia. De igual manera, se identificaron medidas del manejo de la basura que regulan la percepción de la

contaminación en el suelo y el agua, como lo son su incorporación al suelo y la quema de esta. Aunque la quema de basura inorgánica como plástico es una medida práctica de manejo de residuos en las localidades, esta acción puede repercutir en la calidad del suelo y agua; así como en la salud humana y ambiental. De igual manera, esta práctica representa un foco de contaminación que es generada por la baja frecuencia de recolección de basura por el camión municipal y falta de conciencia por parte de los habitantes del impacto que genera la quema de basura. Lo cual indica la necesidad de mejorar el servicio de recolección de basura en las localidades de ambas regiones e impartición de cursos de educación ambiental.

Tabla 5.19. Comparativo del cuidado del medio ambiente.

Componente	R3		R5	
	%	Nivel	%	Nivel
Cuidado del medio ambiente				
fundamental como medio de soporte de vida	67.35	++++	55.91	+++
mejorar servicios ecosistémicos	22.45	++	22.58	++
Cuidado del agua				
Medidas para el cuidado del agua				
ahorro	93.88	+++++	94.68	+++++
reúso	5.10	+	1.06	+
Medidas para el consumo de agua de manantial				
hervirla	53.97	+++	49.37	+++
consume sin tratamiento previo	34.92	++	45.57	+++
Contaminación				
Medidas para el manejo de la basura				
camión recolector de basura	57.15	+++	40.86	+++
camión recolector de basura/incorporación de la materia orgánica al suelo	23.47	++	15.05	+
quema	4.08	+	8.60	+
quema/incorporación de la materia orgánica al suelo	8.16	+	10.75	+
Considera que el agua de lluvia está limpia	47.96	+++	47.87	+++
observa que está limpia	68.09	++++	53.33	+++
escasa o nula contaminación en la región	8.51	+	24.44	++
limpieza por acción de las nubes	12.77	+	15.56	+
Manejo y cuidado del suelo				
Reconoce la necesidad del cuidado de las tierras de cultivo	90.82	+++++	85.11	+++++
Prácticas de mejoramiento del suelo				
aplicación de abonos naturales	83.10	+++++	96.67	+++++
mantener cobertura en el suelo con residuos de cosecha	25.00	++	4.90	+
Percibe la erosión	60.64	++++	57.14	+++
Factor causante de pérdida de suelo				
magnitud de la escorrentía	68.42	++++	55.36	+++
efecto de los deslaves	17.54	+	19.64	+
deforestación	-	+	10.17	+
Medidas para mitigación de erosión				
No talar árboles	7.02	+	7.14	+
Construcción de estructuras de control	7.01	+	23.22	++
no sabe qué hacer para evitar erosión	22.81	++	7.14	+
esta fuera de sus manos evitarlo	35.09	++	35.71	++

Escala: + (Muy baja), ++ (Baja), +++ (Media), ++++ (Alta), +++++ (Muy alta)

Con respecto al cuidado y manejo del suelo, en R3 y R5 se identificó una percepción media a alta de la pérdida de suelo, acompañada de una baja atribución de responsabilidad. Donde R5 presentó el menor porcentaje de encuestados (42.85 %) que no conciben alguna medida para su mitigación; así como el mayor porcentaje que relaciona la erosión como el efecto de deslaves y deforestación (29.81 %) y que considera la construcción de estructuras para su control (23.22 %) (Tabla 5.19). En cuanto al mejoramiento de las tierras de cultivo, en R5 existe mayor consciencia de responsabilidad por la aplicación de abonos naturales (96.67 %). Sin embargo, en R3 el 25 % de los encuestados logro identificar la práctica de mantener los residuos de cosechas como cobertura del suelo, acción que tiene efecto tanto en el mejoramiento del suelo como en el control de la erosión. Por lo tanto, con respecto al cuidado y manejo del suelo, en R5 existe mayor atribución de responsabilidad y en R3 una alta percepción de la importancia de su cuidado (Tabla 5.19).

Según lo expuesto, los bajos niveles de atribución de responsabilidad en R3 para el cuidado y manejo del suelo muestran influencia en la magnitud del IGS, ya que en esta región los niveles de sustentabilidad están relacionados con el uso de suelo y la susceptibilidad de deslizamiento. El uso de suelo de agricultura de temporal que cubre el 12 % de R3 presentó niveles de sustentabilidad de “medio” a “bajo – medio” y el de pastizal inducido distribuido en el 39 % de la región presentó la variación de “medio” a “medio – alto”. Asimismo, la mayor susceptibilidad a deslizamientos del suelo se presentó principalmente en zonas agropecuarias. A diferencia de R5 que presentó mayor atribución de responsabilidad y el IGS varío de “medio” a “medio-alto” en el 9 % de la superficie con uso de suelo agrícola y clasificado como medio en el pastizal inducido que ocupa el 26 % de R5. Lo anterior tiene relevancia para R5, debido a que no existe diferencia notable con R3 según el porcentaje de encuestados con ocupación agrícola (R3: 20.41 % y R5: 19.14 %) y que habla alguna lengua originaria (R3: 21.43 % y R5: 19.15 %). Sin embargo, si se identificó en R5 una mayor porción de agricultores que hablan Otomí (R5: 23.53 %) (Tabla 5.20); por lo tanto, en R5 las prácticas y el conocimiento de esta minoría contribuye en el cuidado y manejo del suelo.

En R3 y R5 se identificó una muy alta aceptación por la designación de zonas protegidas y por la necesidad de normas para el uso de suelo y agua, en donde R3 destacó con mayor percepción en la mejora de servicios ecosistémicos y conservación de la biodiversidad. Lo anterior tiene influencia con la alta riqueza e identificación de especies nativas y endémicas en esta región (Tabla 5.21). De igual manera, en R5 destacó una mayor identificación de la necesidad de

regulación de los recursos naturales. Este nivel de percepción tiene influencia en la designación de zonas turísticas en áreas naturales; ya que en R5 se mostró el mayor rechazo, a pesar de que el 60.90 % de los encuestados a favor identificó como principal ventaja el impulso de la economía local (Tabla 5.21). Asimismo, este rechazo puede estar influenciado por la baja proporción de encuestados en R5 que conoce la Reserva Medio Monte ubicada en San Bartolo Tutotepec (13.27 %), lo que pudo generar un mayor rechazo debido al desconocimiento de este tipo de estrategias.

Tabla 5.20. Comparativo ocupación y hablante de alguna lengua originaria.

Componente	R3		R5	
	%	Nivel	%	Nivel
Ocupación				
labores del hogar	39.80	++	30.89	++
estudiante	5.10	+	17.01	+
agricultor	20.41	++	19.14	+
Hablante de alguna lengua originaria	21.43	++	19.15	+
labores del hogar	42.86	+++	41.18	+++
agricultor	9.52	+	23.53	++
servicios	19.05	++	-	+
comercio	-	+	11.76	+
artesano	4.76	+	17.65	+

Escala: + (Muy baja), ++ (Baja), +++ (Media), ++++ (Alta), +++++ (Muy alta)

En cuanto al nivel de aprendizaje con respecto al cuidado del medio ambiente, se observó en R3 mayor influencia de la enseñanza proveniente de la familia para el cuidado del agua y de talleres gubernamentales para el manejo de la basura. A diferencia de R5 donde destacó el autoaprendizaje para el cuidado del agua y manejo de la basura, y la participación en programas o cursos del cuidado del medio ambiente. Del mismo modo en esta región se identificó mayor participación en fiestas o ceremonias que fomentan el cuidado del agua, suelo, flora y fauna; las cuales pertenecen en su mayoría a prácticas católicas (Tabla 5.22). En ambas regiones, el porcentaje de participación en celebraciones o fiestas que promueven el cuidado del medio ambiente fue del 14 al 23 %, esto puede tener relación con la baja porción de encuestados que hablan alguna lengua originaria. Sin embargo, la porción con ocupación agrícola (23.53 %) y artesana (17.65 %) (Tabla 5.20), puede tener influencia en una mayor valoración de las costumbres tanto tradicionales como católicas en R5.

Con base en la información analizada, en R5 y R3 se presentaron buenos niveles de conciencia de responsabilidad (AC) y de atribución de responsabilidad (AR) con respecto al cuidado del medio ambiente, agua y designación de zonas naturales protegidas. En R5 se mostró el mayor rechazo a la apertura de zonas turísticas en áreas naturales y en R3 se alcanzó una alta percepción de la necesidad de conservación de especies; lo cual está relacionado con la riqueza

y la presencia de especies nativas y endémicas en esta región. El uso de suelo en R3 influye en la magnitud del IGS debido a la baja atribución de responsabilidad para el cuidado y manejo del suelo, en esta contribuyen las acciones mencionadas por la porción de agricultores hablantes de alguna lengua originaria.

Tabla 5.21. Comparativo del cuestionamiento sobre la designación de zonas protegidas y turísticas.

Componente	R3		R5	
	%	Nivel	%	Nivel
Designación de zonas protegidas				
A favor de la existencia de reservas naturales	93.88	+++++	92.55	+++++
Ventajas de zonas protegidas				
fomentar el cuidado del medio ambiente	18.48	+	25.29	++
evitar la tala de árboles	16.30	+	25.29	++
mejorar los servicios ecosistémicos	26.14	++	14.29	+
mantener diferentes hábitats	25.00	++	14.94	+
A favor de la existencia de normas para el uso del suelo y agua	98.98	+++++	97.87	+++++
son necesarias	89.70	+++++	78.48	++++
regular el uso de recursos naturales	2.06	+	11.83	+
Conocimiento de árboles endémicos	56.38	+++	59.18	+++
Especies identificadas				
aile (*Alnus* sp.)	26.42	++	51.72	+++
ocote (*Pinus oocarpa*)	7.55	+	12.07	+
copal o liquidámbar (*Liquidambar styraciflua*)	3.77	+	8.62	+
encino (*Quercus* sp.)	9.43	+	8.62	+
ceiba (*C. pentandra*)	15.09	+	-	+
aguacate Chinín (*Persea schiedeana* Nees)	15.09	+	-	+
Designación de zonas turísticas				
A favor de la existencia de zonas turísticas	74.47	++++	65.31	++++
Ventajas de zonas turísticas				
impulsar la economía local	45.71	+++	60.94	++++
fomentar el intercambio cultural	32.86	++	14.06	+
recreación	15.71	+	14.06	+
Desventajas de zonas turísticas				
Deterioro del entorno natural	20.83	++	30.77	++
Deterioro del entorno natural/contaminación	66.67	++++	53.85	+++
Conocimiento de la reserva Medio Monte	42.55	+++	13.27	+

Escala: + (Muy baja), ++ (Baja), +++ (Media), ++++ (Alta), +++++ (Muy alta)

Con respecto al aprendizaje y obtención de conocimiento para el cuidado del medio ambiente, en ambas regiones destacó la intervención de la familia y el autoaprendizaje para la obtención de estas enseñanzas. Así como en R5 la participación en fiestas o ceremonias católicas que fomentan el cuidado del agua, suelo, flora y fauna. Lo anterior exhibe la necesidad por educación ambiental, asesoría técnica y aumento de la inversión que permita mejorar el parámetro AR con

respecto a la conservación del suelo y los niveles de susceptibilidad de deslizamiento en zonas agropecuarias. Principalmente en R3 que presentó un IDSc medio y un IDE bajo en el 42.93 y 9.85 % de la superficie, respectivamente; así como un IDSc e IDE de bajo a medio en el 37.33 y 82.10 %, respectivamente. En R3 los índices socioeconómicos son bajos con referencia los obtenidos en R5 (IDSc e IDE de bajo a medio en el 70 y 94.35 % de la superficie, respectivamente); sin embargo, se debe considerar el impacto del inicio de acciones de mitigación y control de erosión en R5 que favorecerían a R3.

Tabla 5.22. Comparativo de la ocupación laboral, promoción y enseñanza del cuidado del medio ambiente.

Componente	R3		R5	
	%	Nivel	%	Nivel
Ocupación				
labores del hogar	39.80	++	30.89	++
estudiante	5.10	+	17.01	+
agricultor	20.41	++	19.14	+
Hablante de alguna lengua originaria	21.43	++	19.15	+
labores del hogar	42.86	+++	41.18	+++
agricultor	9.52	+	23.53	++
servicios	19.05	++	-	+
comercio	-	+	11.76	+
artesano	4.76	+	17.65	+
Promoción/enseñanza del cuidado del medio ambiente				
Aprendizaje del cuidado del agua				
familia	54.08	+++	44.68	+++
autoaprendizaje	38.78	++	45.74	+++
Participación de algún programa o cursos	18.37	+	21.28	++
Aprendizaje del manejo de la basura				
familia	38.78	++	43.62	+++
autoaprendizaje	30.61	++	44.68	+++
Talleres por parte del gobierno	18.37	+	4.25	+
Celebraciones o fiestas				
Participación	14.43	+	23.40	++
Tipo				
tradicional	78.57	++++	40.90	+++
católica	21.43	++	54.55	+++
tradicional/católica	-	+	4.55	+

Escala: + (Muy baja), ++ (Baja), +++ (Media), ++++ (Alta), +++++ (Muy alta)

CAPÍTULO VI

6. Prácticas de manejo y conservación del suelo y agua

Cada práctica de manejo y conservación del suelo y agua proporciona beneficios para la gestión de estos recursos, como la disponibilidad, calidad y regulación de fenómenos naturales. También son aptos para aplicarse a diferentes escalas, ya sea microcuenca, laderas, cauces, etc. (Vela y del Busto, 2022).

Algunas recomendaciones que se deben considerar para la implementación de prácticas de manejo y conservación del suelo y agua son las siguientes:

- Considerar las afectaciones en la captura de carbono, ya que las acciones de excavación o remoción de tierra en los primeros 40 cm expone aproximadamente el 50 % del carbono orgánico del suelo. Esto ocasiona su mineralización y liberación de CO_2; convirtiendo así al suelo como un emisor en lugar de un sumidero de CO_2 (Cotler Ávalos et al., 2015).
- Se deben considerar soluciones basadas en la naturaleza que plantean procesos naturales que permitan lograr el manejo y conservación del suelo y agua; asimismo, estas deben propiciar beneficios tanto para la naturaleza como para la sociedad. Este enfoque utiliza los servicios del ecosistema para contribuir a un resultado de gestión del suelo y agua; lo cual puede implicar la conservación o rehabilitación de ecosistemas naturales y/o la mejora o creación de procesos naturales en ecosistemas modificados o artificiales. A pesar de que las soluciones basadas en la naturaleza tienen la facilidad de aplicarse a diferentes escalas, estas deben evaluarse y diseñarse para uso local (WWAP/ONU-Agua, 2018).

Con base a lo anterior, la determinación del tipo de práctica de manejo y conservación del suelo y agua debe basarse en las condiciones locales, en considerar que estas prácticas deben mejorar o rehabilitar los ecosistemas naturales. Para este fin, su ejecución se ajusta a la disponibilidad de recursos locales tanto monetarios y materiales, como humanos. Por consiguiente, para la microcuenca del Río Pantepec se debe considerar la vulnerabilidad ambiental, como lo es la susceptibilidad a deslizamiento de suelo y la erosión hídrica. En estos dos fenómenos la magnitud de la pendiente, el tipo de geomorfología y el flujo hídrico son factores determinantes para la implementación de medidas de manejo y control de pérdida de suelo. Estos factores naturales están influenciados por el tipo de uso de suelo y cobertura vegetal, por lo que la conjunción de ellos puede repercutir en la calidad del suelo y agua; así como en la producción agropecuaria. A continuación, se mencionan las prácticas de conservación de suelo y agua que podrían beneficiar

a la microcuenca. Estas fueron seleccionadas por su aplicabilidad al tipo de vulnerabilidad ambiental y a su facilidad de ejecución que está determinada por la asesoría técnica disponible, la cual debe estar vinculada con las habilidades de los posibles beneficiarios.

Dentro de las prácticas para la conservación del suelo en zonas agrícolas se encuentran las prácticas culturales que tiene como objetivo restaurar o mantener la capacidad productiva del suelo. Como lo son la labranza que determina el control de la erosión mediante la alteración de la estructura del suelo, y la incorporación y traslape de residuos al suelo; así como aumentar la infiltración o compactación de este. Un efecto importante de la labranza es el manejo de residuos de la cosecha y el labrado en contorno ubicado de forma perpendicular al flujo de la escorrentía, este último favorece la dispersión e infiltración del agua (Silva, 2014). Además, se debe propiciar que toda práctica de conservación debe mantener, recuperar, y/o incrementar el contenido de materia orgánica del suelo (Cotler Ávalos et al., 2015). Por lo cual entre las prácticas de conservación de suelo que dependen del tipo de labranza se mencionan las siguientes:

- **Mantener los residuos de la labranza sobre el suelo:** la permanencia de los residuos después de la labranza tiene influencia en la disminución de la erosión, al protegerlo del impacto de la lluvia, mantener la agregación del suelo, y fomentar la infiltración (Silva, 2014); asimismo, favorece mantener coberturas vivas a lo largo del ciclo de cultivo. Para el caso de la microcuenca, se debe considerar que en zonas húmedas puede ser difícil definir el momento adecuado para la incorporación de los residuos de cosecha, por lo cual es más simple mantener coberturas vivas en zonas de mayor humedad (López Obando, 2008), desde la microcuenca media hasta la baja.

- **Rotación de cultivos:** consiste en alternar el uso de la tierra a lo largo del tiempo, tienen la ventaja de romper los ciclos de las plagas, mejorar el perfil del suelo como consecuencia de la exploración diferencial de las raíces, el contenido de materia orgánica y de nitrógeno, protección al suelo contra la erosión, entre otras. Esta práctica se puede planificar en un área única diferenciando periodos con cobertura de cultivo y con cobertura de descanso o mediante el seccionamiento fraccionado, donde el año de cobertura de cultivo se desplaza a la fracción siguiente y en su lugar se establece una cobertura de descanso (Silva, 2014). Las coberturas vegetales de descanso corresponderán a los periodos de tiempo en que la tierra se deja bajo una cobertura protectora que permitirá restablecer las propiedades del suelo agotadas por el cultivo. Durante este período de descanso, la muy

baja intensidad de uso y la regeneración de la vegetación, permite la recuperación parcial de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, como la restitución de la materia orgánica y nutrientes del suelo, humedad, descompactación y protección contra la erosión, temperatura y radiación (Silva, 2014; López Obando, 2008). En la microcuenca de estudio, este enfoque de rotación de cultivo con coberturas vegetales de descanso es aplicable a las zonas agrícolas de producción de cultivos básicos. Así como a las zonas de pastoreo donde la rotación de pastizales mediante un seccionamiento fraccionado permitirá la regeneración de la vegetación y la disminución de la carga de pastoreo en zonas susceptibles a la pérdida y deslizamiento.

Debido a que los habitantes de la microcuenca dependen para subsistir de los recursos naturales existentes en esta y a que las actividades agropecuarias se desarrollan en interacción con el bosque mesófilo de montaña, se recomienda la aplicación del sistema de agroforestería. Este sistema se enfoca a mejorar la productividad de las tierras y a su vez permitir un manejo sustentable de estas, por lo cual se debe considerar la implementación de la agroforestería con regeneración natural. Esta técnica de uso de suelo utiliza plantas leñosas perennes en los mismos sitios que están ocupados por cultivos o el pastoreo; la interacción de estos está definida mediante una ordenación espacial o temporal (Hillbrand et al., 2017). Entre sus ventajas se pueden mencionar las siguientes: permitir el reciclaje de nutrientes, mantener la fertilidad del suelo, aprovechar la diversidad natural existente en la región y aplicabilidad a zonas cafetaleras por el requerimiento de sombra. De igual manera, la agroforestería puede mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo, mitigar la erosión y propiciar algunos servicios ecosistémicos (Candelario Presidente, 2022). Uno de los beneficios directos que proporciona a las comunidades rurales es el proveer materias primas útiles para subsistir; ya que proporciona alimentos, forraje, madera y leña, entre otros. Asimismo, aumenta la resiliencia de estas ante la sequía, escasez de alimentos y al cambio climático.

Para la adopción de los sistemas agroforestales se requiere normativa favorable que garantice el derecho al uso de los árboles y suelo, así como la apropiación de estos sistemas; lo cual podría promoverse mediante incentivos para su mantenimiento, inversión y facilidad para el comercio de los productos agroforestales (Hillbrand et al., 2017). El establecimiento de estos sistemas puede ser complejo ya que la implementación requiere el apoyo especializado dirigido por métodos participativos que permitan enseñar su manejo y garanticen la compatibilidad con la conservación del suelo y la producción agropecuaria a corto y largo plazo. Además, para su implementación se

debe facilitar el desarrollo de capacidades técnicas locales para recolección, producción y distribución de variedades agrícolas, arbóreas y de razas ganaderas que toleren las condiciones ambientales como sequía y estrés térmico (Hillbrand et al., 2017). También se debe mejorar la coordinación entre los diferentes sectores involucrados, garantizar la tenencia de la tierra y árboles, y apoyar las cadenas de valor de los productos obtenidos.

Dentro de las prácticas de conservación del suelo que propician la intercepción de la escorrentía para disminuir el efecto erosivo se encuentran las barreras vivas, como las más simples, y las prácticas mecánicas que comprenden la modificación de la pendiente y representan mayor costo y mantenimiento (Silva, 2014). Algunas de estas son las terrazas y zanjas de infiltración; así como las que tienen influencia con los deslizamientos de laderas (muros de contención mediante gaviones). Dentro de este tipo de prácticas, destacan para la microcuenca de estudio las siguientes:

- **Barreras vivas:** práctica de conservación agronómica aplicable a tierras arables y no arables de ladera, y a diversos sistemas agrícolas; tienen como objetivo interceptar la escorrentía para disminuir la acción erosiva, son de bajo costo, simples de diseño y fáciles de mantener mediante podas periódicas que disminuyan el efecto de sombreado en zonas de cultivo (Andrade y Rodríguez, 2002). Las barreras vivas están conformadas por hileras de vegetación preferentemente perenne y densa desde su base (López Obando, 2008). Para la selección de esta se debe considerar la capacidad de reducción de pérdida de suelo, de mantener el contenido de humedad y de favorecer el rendimiento del cultivo (Andrade y Rodríguez, 2002; Silva, 2014). Para la determinación del tipo de vegetación para la barrera viva se debe considerar la magnitud de la escorrentía, el contenido de materia orgánica presente y la disponibilidad de nutrientes (Andrade y Rodríguez, 2002; Silva, 2014). Por consiguiente, para su implementación se debe considerar un ancho de barrera viva que permitan mejorar su eficiencia, así como combinar diferentes tipos de vegetación a lo largo de la pendiente que favorezca el desarrollo de la barrera. Para lo cual, la vegetación seleccionada debe de tener un sistema radical profundo, denso y resistente, ser de poco requerimiento de nutrientes y propagarse vegetativamente; lo que evita que se convierta en maleza y en hospedera de enfermedades (Silva, 2014). Algunos tipos de barreras eficientes en ladera son mediante pastos como el vetiver y Guatemala, caña de azúcar y zacate valeriana; así como la combinación de estos con helechos (Andrade y Rodríguez, 2002; Hellin y Larrea, 1999). Para la microcuenca se debe

determinar la mejor barrera viva y la combinación más eficiente con la plantación de árboles en lindero ya existentes, formadas principalmente por árboles de aile (*Alnus sp.*), palo mulato (*Bursera simaruba*), jovo – ciruela (*Spondias purpurea*), chalahuite (*Inga sp.*), guayabo (*Psidium guajava* L.), quemite (*Erythrina coralloides*), palo de grado (*Croton draco*) y tabaquillo (*Buddleja americana*). En los linderos donde se identificaron estas especies los contenidos de CT en el suelo variaron de bajos a medios (< 90 t ha^{-1}), solo en el 28.57 % de los sitios que contaban con linderos formados por aile y quemite se presentaron contenidos altos de CT (90 - 150 t ha^{-1}), en estos sitios los árboles contaban con una altura mayor a siete metros. Lo anterior indica la posibilidad de aumentar la captura de carbono en el suelo al considerar barreras vivas con árboles como el aile y quemite, en lugar de arbustos.

- **Terrazas de drenaje:** práctica mecánica trazada a lo largo de la ladera separadas entre sí, construidas con un desnivel que permita el desalojo del agua. El material de corte se utiliza para la formación de la plataforma o escalón que será útil para el establecimiento del cultivo, esta plataforma debe tener un pequeño desnivel contrario a la pendiente de la ladera que evite el desbordamiento del agua y la erosión. El tamaño de la terraza dependerá de la profundidad efectiva del suelo y de la pendiente del terreno, a medida que la pendiente de la ladera aumente las terrazas serán más pequeñas, esto garantiza una profundidad constante de excavación. Así mismo el ancho de esta depende de la clase del suelo, la pendiente del terreno y la inclinación de los taludes que la conforman (Silva, 2014). Para la microcuenca de estudio este tipo de estructuras serian efectivas en las zonas agrícolas donde se identificaron magnitudes de erosión mayores a 160 t ha^{-1} $año^{-1}$.

- **Zanjas de infiltración:** tienen la función de interceptar la escorrentía y propiciar su infiltración a lo largo de la ladera, así mismo favorecen la humedad del suelo en periodos críticos para el desarrollo de la vegetación, por ejemplo, en etapas de reforestación. Estas estructuras son de longitudes cortas y su separación está definida por sus dimensiones, las cuales deben permitir almacenar la escorrentía generada en 24 horas (P_{24}) por un periodo de retorno, ya sea de dos o cinco años. Se debe considerar que el incremento de la humedad no debe afectar la estabilidad del suelo o favorecer el deslizamiento de laderas (Silva, 2014). Para la microcuenca, este tipo de obras son aplicables en la parte alta donde no existe susceptibilidad de deslizamiento con magnitudes de erosión hídrica

de media a alta (> 80 t ha^{-1} $año^{-1}$). Así como en zonas de reforestación de bosque mesófilo de montaña que colinda con las áreas de pastoreo en la microcuenca media y en combinación con barreras vivas como delimitación de potreros.

- **Canales de desvío:** son estructuras diseñadas hidráulicamente que protegen el suelo de la escorrentía generada aguas arriba mediante el desalojo de un gasto definido según un periodo de retorno. Este volumen es conducido con una velocidad controlada mediante la forma e inclinación del canal, así como con la colocación de disipadores de energía que eviten una sobre excavación o sedimentación. Asimismo, el agua debe desalojarse en un drenaje seguro de baja susceptibilidad de deslizamiento, y en el caso de zonas agrícolas, la profundidad de excavación no debe afectar el desarrollo de los cultivos y vegetación (Silva, 2014). En la microcuenca de estudio este tipo de estructura es útil en zonas aledañas a las parcelas y potreros, ubicadas desde la microcuenca media hasta la parte alta y con niveles de erosión de medios a altos, así como sitios con una alta susceptibilidad de deslizamiento que cuenten con lugares seguros para drenaje.

- **Muros de contención:** Este tipo de estructuras proveen estabilidad a masas de tierra con poca cohesión y deben resistir las fuerzas generadas por esta. Donde su estabilidad esta influenciada por el peso propio y la magnitud del empuje lateral de la masa que sostiene. Por lo cual son de utilidad en excavaciones para delimitar áreas de construcción y contener deslizamientos de suelo, esto los convierte en estructuras adecuadas para minimizar las afectaciones por deslaves a áreas de cultivo y caminos (Fernández Reynoso, et al., 2017). El material de construcción de este tipo de estructuras puede ser rígido como la mampostería o flexible como gaviones, el diseño del muro de contención con base a cada tipo de material debe garantizar la estabilidad y capacidad de soportar el deslizamiento que genera el movimiento de la masa que contendrá. Por lo cual debe resistir las presiones laterales y el empuje que produce el material retenido, estabilizar y contener el deslizamiento de suelo (Fernández Reynoso, et al., 2017). El buen funcionamiento de este tipo de estructuras dependerá de las características del suelo donde se construya, tales como cohesión, granulometría y acides (en el caso de muros de gaviones); además de que se deben considerar sistemas de drenaje en los muros de contención. En la microcuenca de estudio este tipo de estructuras se han construido por parte de las autoridades municipales en zonas donde se han presentado deslaves que han afectado vías principales de comunicación. A pesar de la inversión significativa para

la implementación de este tipo de estructuras, son adecuadas para regiones donde existe una alta susceptibilidad de deslizamientos, principalmente en zonas aledañas a asentamientos humanos y vías de comunicación. Asimismo, la inversión para la construcción de muros de contención se puede disminuir por el uso del material de la región y mano de obra de los beneficiarios.

Debido a que se recomienda la aplicación de soluciones basadas en la naturaleza para la conservación del agua, se debe considerar que estas plantean el mejoramiento de la disponibilidad del agua mediante la gestión del almacenamiento, la infiltración y el transporte del agua pluvial. Lo cual requiere un enfoque con mejor localización, temporización y aumento de la cantidad de agua disponible (Vela y del Busto, 2022). Entre las prácticas de conservación y captación de agua aplicables a la zona de estudio, se encuentran las siguientes:

Captación de agua de lluvia: los sistemas de captación de agua de lluvia deben asegurar abastecimiento, y considerar la calidad, cantidad y continuidad del agua para uso doméstico y consumo humano, así como agrícola, ganadero y forestal. La aplicación de estos tipos de sistemas favorece la salud, economía y la integración social (Anaya Garduño et al., 2018); así mismo disminuyen la presión sobre el agua superficial. La implementación de sistemas de captación puede adaptarse a diferentes materiales y condiciones, sin embargo, se deben considerar los siguientes puntos:

- Cantidad de precipitación pluvial, variaciones de precipitación media a alta son más favorables para la captación
- Intensidad máxima, se debe considerar que la intensidad baja facilita la captación de agua
- Distribución temporal de precipitación, los sistemas de captación serán más efectivos en regiones donde la precipitación se distribuye en un mayor número de meses con lluvia
- Diseño hidráulico, estimar el área de captación, coeficiente de escurrimiento, distancia entre la captación y almacenamiento y tipo del material donde se creará el almacenamiento

Con base en lo anterior la economía y eficiencia de los sistemas de captación estará determinada por precipitaciones de media a alta con una distribución pluvial amplia e intensidad baja (Anaya Garduño et al., 2018). Por lo cual en la zona de estudio que se caracteriza con una precipitación media de 1,200 a 2,000 mm distribuida entre los meses de junio y octubre con precipitaciones máximas en agosto y septiembre se puede considerar que los sistemas de captación de agua

pluvial son eficientes. Este aprovechamiento pluvial puede realizarse mediante el área de captación de techos y de zonas de escurrimiento de laderas y montañas aguas arriba, como lo son los arroyos, cascadas y zonas de infiltración. Al respecto se debe considerar que el área de captación del escurrimiento superficial y subsuperficial estará limitada por la topografía escarpada de la región; así como la captación del agua pluvial dependerá del sistema de filtrado o sedimentación y del depósito de distribución, punto en el cual se puede aplicar medidas de cloración y desinfección. Por consiguiente, la investigación de sistemas de captación pluvial y de flujos constantes como los manantiales y cascadas combinados con líneas de conducción y depósitos para distribución en laderas será relevante para el aprovechamiento del agua pluvial y escurrimientos en la microcuenca.

Sistema de filtrado: proceso físico de tratamiento del agua que evita el ingreso de sólidos y retiene impurezas. El tamaño de las partículas filtrantes tiene influencia en la capacidad de purificación y de mejora de la calidad del agua, por lo que las partículas filtrantes mayores a 6 mm tienen efecto en el DBO y nitrificación. Por otro lado, las partículas de menor tamaño entre 2 y 3 mm son efectivas en la eliminación de nutrientes (AWF, 2023; González Martínez et al., 2011). Entre los diferentes medios filtrantes, la importancia de las rocas volcánicas ha adquirido relevancia debido a la capacidad de remoción de metales pesados, la cual está determinada por la alta área superficial, el bajo costo y la disponibilidad en grandes cantidades (Alemayehu y Lennartz, 2009; WWAP/ONU-Agua, 2018). De igual manera, la utilidad de las rocas volcánicas para los sistemas de filtrado radica en la superficie poroso de las partículas que genera biopelículas más estables y aumenta la capacidad de retención de microorganismos (AWF, 2023).

Aunque las rocas sedimentarias tienen una capacidad de filtración menor, su uso complementario con rocas volcánicas maximiza la eficacia. Por lo tanto, en el área de estudio el establecimiento de un sistema de filtrado con material disponible en la región tiene impacto en la economía y el uso sustentable de los recursos, ya que el material parental existente permite el aprovechamiento de roca volcánica y sedimentaria en sistemas de filtrado. Para este uso destacan rocas basálticas, andesitas y piroclásticas ubicadas desde la microcuenca media hasta la parte alta, estas rocas volcánicas pueden ser utilizadas en filtros de grava conformados por varias capas que permitan la infiltración y retención de impurezas y solidos en suspensión. Por otro lado, la capacidad de las rocas sedimentarias como la arenisca y lutita (distribuidas desde la microcuenca media hasta la parte baja) de prevenir la infiltración de contaminantes hacia aguas subterráneas está influenciada por el tamaño de partícula y el grado de cementación (Leynes Chavarria, 2015;

Munilla Giménez, 2023). Por consiguiente, la capacidad de actuar como una barrera natural depende de la permeabilidad (Leynes Chavarria, 2015). Lo cual las hace relevantes para su aplicación en humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales que se depositan en los cauces naturales, donde la arenisca puede ser empleada junto con grava volcánica para capturar sedimentos más finos.

Humedales artificiales: sistemas de depuración de aguas residuales en los que se reproducen los procesos de eliminación de contaminantes a través de una serie de procesos físicos, químicos y biológicos para reducir los contaminantes presentes. Estos procesos incluyen la sedimentación, precipitación, adsorción de partículas del suelo, asimilación por el tejido vegetal y transformaciones microbianas (Hernández Castañeda, 2021; Vela y del Busto, 2022). Los humedales artificiales pueden eliminar contaminantes como la materia orgánica, sólidos suspendidos, nitrógeno, fosforo, metales pesados y coliformes, entre otros (Nava-Rojas, et al., 2023). Alguno de los criterios con los cuales se clasifican los humedales artificiales son: hidrología (flujo superficial y subterráneo), tipos de macrófitos (flotantes libres, emergentes y sumergidos) y según la trayectoria de flujo (horizontal o vertical). Entre los diferentes tipos de humedales artificiales están los de superficie libre, de flujo subsuperficial y los combinados o híbridos (Hassan, et al., 2021).

En los humedales de superficie libre el agua residual fluye sobre la superficie del suelo o sustrato, este está compuesto por suelo arcilloso o arenoso que soporta las raíces de las plantas y la estructura que lo conforma. En este tipo de sistema el fondo del suelo está sellado para mantener el agua dentro de este (Hassan, et al., 2021). Por otro lado, en los humedales artificiales de flujo subsuperficial el agua fluye de forma horizontal o vertical a través de un medio poroso sellado en el fondo y formado por gravas o agregados. En estos sistemas el nivel del agua debe estar por debajo del nivel del suelo (Hassan, et al., 2021; Hernández Castañeda, 2021). En el sistema subsuperficial horizontal el flujo del agua es a través de un canal ubicado por debajo de la superficie del suelo, este está lleno con grava y arena que sostienen las plantas. En los humedales subsuperficiales verticales el flujo circula a través de un medio granular subterráneo vertical que permite una carga intermitente (Hassan, et al., 2021). En estos tipos de sistema un factor fundamental para asegurar la estabilidad y adaptación de las plantas es el suelo, ya que sus características específicas permiten un desarrollo óptimo del tratamiento; así mismo utilizar roca volcánica como medio granular permite que el agua ingrese al interior de las partículas y se

adhiera a la superficie exterior (Badillo Guevara et al., 2016). Por último, los humedales combinados e híbridos buscan mejorar los procesos de remoción y aumentar los niveles de eliminación de compuestos (Hernández Castañeda, 2021). Para la microcuenca de estudio la aplicación de estos sistemas se adapta en zonas de descargas o de acumulación de escorrentía dirigidas al cauce principal, en sitios cercanos a las cabeceras municipales o puntos de drenaje de canales de desvío.

CAPÍTULO VII

7. Validación de las hipótesis de investigación

Con respecto a la hipótesis general, los resultados obtenidos muestran la relación entre el manejo de los agroecosistemas, las actividades antrópicas, las condiciones socioeconómicas y los valores, creencias y normas locales, los cuales impactan en el grado de sustentabilidad de la microcuenca del Río Pantepec. Esta relación esta evidenciada por los siguientes aspectos:

- El dinamismo del cambio de uso de suelo de 1993 al 2022 está definido por la conversión de agricultura de temporal a pastizal inducido que se desarrolló en zonas de bosque mesófilo de montaña. Sin embargo, en la región tres existió la conversión de agricultura de temporal a bosque mesófilo de montaña en el subperiodo de 1993 – 2014, lo cual impactó en la calidad del suelo y la sustentabilidad de la microcuenca.
- El ICA presentó el valor promedio mayor en la microcuenca (81.84), aun cuando el valor de coliformes totales ≥ 2400 NMP 100 mL^{-1} indica la presencia de contaminación en los cauces naturales. Esto debido al efecto combinado de los desechos en descomposición de la flora o fauna que interactúa en los cauces y por el depósito de desechos.
- Las actividades agropecuarias en conjunto con las condiciones climáticas, topografías y edáficas son las que afectan la calidad ambiental en la microcuenca media y alta. Los valores del ICAm de medio a alto en la microcuenca baja están relacionados con las condiciones geográficas, climáticas y edáficas, debido a la baja actividad antrópica en las regiones uno y dos.
- El valor promedio del IDSc en la microcuenca (46.90, “bajo – medio”) está definido por los índices de marginación y rezago social clasificados como medios. Los valores medios a altos del IDSc se ubican al noreste de la microcuenca y están influenciados por la importancia del pastoreo en San Bartolo Tutotepec y la agricultura de temporal en zonas aledañas a Tenango de Doria.
- El valor promedio de 49.47 del IDE clasifica a la microcuenca con un desarrollo económico de bajo a medio debido a una TPE media y a niveles bajos de población ocupada y económicamente activa a nivel de localidad. La microcuenca baja y media mostró un IDE que varió de bajo a muy bajo, en estas regiones la producción ganadera adquirió importancia sobre la agrícola. A diferencia de la microcuenca alta donde las actividades que se desarrollan en las zonas urbanas en conjunto con la producción agropecuaria contribuyen a un IDE de medio a alto.
- Los bajos niveles de los índices socioeconómicas tienen influencia en las regiones con el IGS de bajo a medio distribuido desde la microcuenca media y baja; ya que el rezago

social y la baja participación económica de la población son factores que propician niveles bajos de desarrollo social y económico. Por consiguiente, la conjunción del IDSc, IDE e IFA de bajos a medios impacta en la microcuenca según el uso de suelo.

Lo anterior valida la hipótesis especifica número uno: el grado de sustentabilidad de la microcuenca es función de factores ambientales como el uso de suelo y cobertura vegetal, la calidad del agua y el suelo, la susceptibilidad de alteración de los ecosistemas por acción antrópica y por el desarrollo socioeconómico. Asimismo, el grado de sustentabilidad está afectado por los deslizamientos del suelo, ya que en este subíndice se incluyó el parámetro de uso de suelo y cobertura vegetal de la microcuenca, el cual mostró ser significativo para el índice de fragilidad ambiental y de sustentabilidad. Esto permitió validar la hipótesis especifica número dos e identificar la relación directa de los agroecosistemas y la intervención antrópica en el uso del suelo y cobertura vegetal con la susceptibilidad a deslizamientos y pérdida de suelo. Con respecto a la influencia de los valores, creencias y normas locales en el grado de sustentabilidad (hipótesis especifica número tres) se concluye que los valores – creencias y normas en la región tres y cinco indican una alta conciencia de responsabilidad del cuidado del agua y medio ambiente. Así como una percepción de media a alta de la pérdida del suelo con una baja atribución de responsabilidad. En la región cinco se identificó mayor atribución de responsabilidad por el cuidado y manejo del suelo y en la región tres una alta percepción de su importancia. Por consiguiente, los resultados obtenidos de valores – creencias y normas en ambas regiones con referencia a la atribución de responsabilidad por cuidado y manejo del suelo muestran influencia en el IGS de la microcuenca, donde las prácticas y el conocimiento de los encuestados que hablan Otomí contribuyen en la calidad del suelo.

CAPÍTULO VIII

8. Conclusión

La microcuenca del Río Pantepec presenta un grado de sustentabilidad medio con un valor promedio del IGS de 58.13 que esta influenciado de forma directa por las actividades antrópicas, por el manejo de los agroecosistemas y las condiciones socioeconómicas en las localidades ubicadas en el área de estudio. De acuerdo con los objetivos específicos planteados y los resultados obtenidos, se concluye lo siguiente.

Objetivo específico 1: Evaluar el cambio de uso de suelo y cobertura vegetal, y los deslizamientos del suelo en una microcuenca mediante un modelo espacial, identificando la susceptibilidad de alteración de los ecosistemas por acción antrópica, así como su relación con el manejo de agroecosistemas, y la calidad del agua y el suelo.

- El análisis del cambio de uso de suelo y cobertura vegetal mostró la creciente importancia de las actividades ganaderas sobre las de agricultura de temporal. La superficie de estas actividades productivas expuso una ampliación sobre el bosque mesófilo de montaña. Se identificó influencia de la conversión de zonas agrícolas a bosque y posteriormente a pastizal inducido en el subintervalo de análisis del año 1993 al 2014 en la calidad del suelo de la microcuenca media.
- La fragilidad ambiental ante alguna intervención o perturbación antrópica esta influenciado por la susceptibilidad de deslizamiento del suelo que incluye el parámetro de uso de suelo y cobertura vegetal; así como por las condiciones climáticas, geológicas y edáficas que varían en la microcuenca.
- Los indicadores del contenido de materia orgánica (< 4%) y los valores de pH medianamente aceptables (5.2 – 5.7 y 8.3 – 8.8) y fuertemente ácidos (< 5.1) en suelos con textura franca a arenosa y limosa, ubicados principalmente en la microcuenca alta, pueden influir en la variación del ICS de “medio – alto” a “medio” y “bajo – medio”.
- La calidad el agua es aceptable según los parámetros fisicoquímicos considerados, pero contaminada según el parámetro biológico de coliformes totales. Por lo cual el tratamiento y purificación del agua pluvial y de escurrimiento es de importancia en las zonas aledañas a las cabeceras municipales y sitios con influencia en los manantiales que abastecen de agua para uso doméstico y de consumo humano.
- Los valores del ICAm están influenciados por las actividades agropecuarias en conjunto con las condiciones climáticas, topografías y edáficas.

Objetivo específico 2: Evaluar el grado de sustentabilidad de una microcuenca como consecuencia del tipo y manejo de los agroecosistemas, la calidad del agua y el suelo, la vulnerabilidad ambiental por las actividades antrópicas, las condiciones socioeconómicas y los valores, creencias y normas locales.

- En la microcuenca la distribución espacial del grado de sustentabilidad está influenciado por el rezago social, la baja participación económica de la población y la pobreza extrema presente en dos de los municipios del área de estudio. Estos factores generaron niveles bajos de desarrollo social y económico que propició una variación del IGS de bajo a medio al noreste de la microcuenca; por consiguiente, la conjunción del IDSc, IDE e IFA de bajos a medios impacta en el grado de sustentabilidad de la microcuenca según el uso de suelo.
- Una variación negativa del IGS en la microcuenca generada por los parámetros de los índices socioeconómicos influirá en el índice de calidad del suelo y agua, a pesar de los niveles medios y altos que se obtuvieron para estos índices.
- El IGS podría cambiar de medio a bajo si no se promueve un impulso socioeconómico que propicie el desarrollo sustentable, debido a que los habitantes de la microcuenca subsisten por los recursos que les proporciona el entorno natural que los rodea. Este uso desmedido y la nula aplicación de estrategias de conservación y protección de los recursos naturales repercutirá en la calidad ambiental.
- Los valores obtenidos del IGS clasificados como medios en zonas con vegetación natural que interactúa con el pastizal inducido y la agricultura de temporal podrían cambiar a valores del IGS bajos debido a la falta de un programa de manejo y planeación ineficiente de las actividades agropecuarias.

Objetivo específico 3: Identificar la relación de las condiciones socioeconómicas, los valores, creencias y normas locales y las actividades antrópicas con la sustentabilidad de una microcuenca.

- El análisis de los parámetros de conciencia de responsabilidad (AC) y atribución de responsabilidad (AR) con respecto al cuidado del medio ambiente y conservación de los recursos naturales muestra que el grado de sustentabilidad en la microcuenca está influenciado por los valores, creencias y normas locales. A pesar de que la evaluación de estos parámetros solo se efectuó en las regiones tres (R3) y cinco (R5) del área de estudio.
- Los resultados del estudio de percepción reflejaron una alta conciencia de responsabilidad del cuidado del agua y medio ambiente, así como una percepción de media a alta de la

pérdida del suelo con una atribución de responsabilidad por el cuidado y manejo del suelo que varía de baja a media. Lo cual indica una influencia del parámetro AR con respecto al cuidado y manejo del suelo en el IGS.

- La alta aceptación por la designación de áreas protegidas en R3 y R5 muestra la factibilidad potencial de la creación de zonas de conservación y protección en la microcuenca, como lo son sitios identificados para la captura de carbono en el suelo y la conservación de secciones con bosque de haya y bosque mesófilo de montaña. Lo anterior impactaría en la mejora de los servicios ecosistémicos y el impulso de estrategias para el aprovechamiento de los recursos naturales, como el ecoturismo.
- La existencia de rechazo por la asignación de áreas turísticas en zonas naturales de R3 y R5 está relacionado con los bajos niveles de educación ambiental, asesoría técnica, gestión e inversión que tienen impacto en el desarrollo socioeconómico de la microcuenca.

Objetivo específico 4: Generar recomendaciones y propuestas para un manejo sustentable y conservación de los recursos, basadas en la riqueza natural y sus usos potenciales.

- Para el manejo y conservación del suelo y agua de la microcuenca en estudio se deben implementar diferentes medidas a escala de parcela y ladera, lo cual demanda asistencia técnica e inversión.
- Se debe considerar la inclusión de las prácticas de conservación de suelo y agua según la susceptibilidad de deslizamientos del suelo, vulnerabilidad de pérdida de suelo y necesidad de almacenamiento y tratamiento del agua pluvial. Estas medidas deben fundamentarse en soluciones basadas en la riqueza natural que permitan el uso de los recursos existentes en la microcuenca y que impacten en el aspecto social y económico (Apartado 6.6). A continuación, se describen las propuestas y perspectivas para el área de estudio.
- En la microcuenca se identificaron posibles sitios en la microcuenca alta y la parte baja para la captura de carbono en el suelo y la designación de zonas protegidas como lo son las secciones de bosque de haya mencionadas por Rodríguez-Ramírez et al. (2018). Así como áreas aptas para conservación de la biodiversidad y aplicación de estrategias como el ecoturismo.

CAPÍTULO IX

9. Propuestas y perspectivas para la microcuenca

Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten crear una línea base de evaluación y monitoreo en la microcuenca del Río Pantepec; además de ser el primer estudio de este tipo en la región, la metodología planteada permite generar diferentes propuestas potenciales para el manejo sustentable de la microcuenca. De igual manera, el análisis realizado facilita identificar aspectos que influyen en el manejo integral de la microcuenca. Asimismo, la evaluación de la sustentabilidad mediante modelos integrados con la aplicación de matrices de comparación para la asignación de importancia de parámetros y la jerarquización de estos es altamente aplicable a escala de microcuenca. Esto debido a que a este nivel se logra una mejor identificación de los factores actuantes en la sustentabilidad; por lo cual su aplicación a escalas mayores estará limitada por la disponibilidad de información y recursos. De forma particular, las recomendaciones propuestas para la microcuenca son las siguientes:

a) Conservación del bosque mesófilo de montaña

Este bosque tiene un papel crucial en varios servicios ecosistémicos como lo son la captura de carbono, recarga de acuíferos y regulación del microclima (Monterroso-Rivas et al., 2013). En la microcuenca está distribuido en el 53.35 % de la superficie, por lo cual es fundamental implementar un programa de manejo sustentable que promueva la reforestación y conservación de la biodiversidad existente en este. En este sentido, se pueden aplicar estrategias de restauración forestal con especies nativas y ejercer talleres que impulsen la participación comunitaria. Así como la aplicación de medidas de conservación del suelo y agua como los sistemas agroforestales y las prácticas de mitigación de la erosión hídrica; las medidas aplicadas no solo tendrán efecto en la preservación del bosque mesófilo de montaña, sino también en la atenuación de riesgos ambientales.

b) Designación de áreas protegidas

En la microcuenca alta y media existen áreas susceptibles a ser protegidas debido a la presencia de especies en peligro de extinción, amenazadas y sujetas a protección (SEMARNAT, 2010; CONABIO, 2023); como lo es el bosque de haya (*Fagus grandifolia* subsp. *Mexicana*) que fue identificado en zonas de bosque mesófilo de montaña por Rodríguez-Ramírez et al., 2018. En la microcuenca, resalta la porción de bosque de haya identificado en las cercanías de la Reserva Medio Monte, la ampliación de esta área protegida hasta el bosque de haya identificado favorecería la preservación de esta especie. La importancia de la reserva fue identificada en la

región tres, donde desempeña un papel importante para el suministro de agua de manantial, utilizada para uso doméstico y consumo humano en casas aledañas a la localidad de Medio Monte. Asimismo, la designación de la protección del bosque de haya en Tenango de Doria impulsaría estrategias de conservación ambiental como el ecoturismo.

c) Ecoturismo y turismo cultural

El ecoturismo está enfocado a promover la apreciación de la naturaleza y su preservación, así como el turismo cultural a preservar la gastronomía, arquitectura, tradiciones y costumbres de la región; a su vez estas estrategias generan beneficios socioeconómicos basados en el turismo, deporte y recreación (WWAP/ONU-Agua, 2018). En la microcuenca alta y baja existen zonas factibles para este tipo de actividades que podrían impulsar el desarrollo socioeconómico principalmente al noreste de la microcuenca donde los niveles del IDSc e IDE son bajos. Algunos sitios de interés para el ecoturismo y turismo cultural en San Bartolo Tutotepec son las grutas, la formación geológica de Huayacocotla y los manantiales; en Tenango de Doria resaltan las zonas de senderismo, cascadas y parques recreativos. En ambos municipios las fiestas tradicionales podrían fomentar el turismo cultural, ya que dan a conocer la gastronomía y las costumbres tanto ancestrales como católicas. Debido a la influencia de los índices socioeconómicos en el grado de sustentabilidad en la microcuenca, una gestión adecuada en estas regiones podría impulsar el cambio de IGS de medio a alto, proteger áreas ecológicamente sensibles y preservar las tradiciones y costumbres de la región.

d) Captura de carbono en el suelo

La captura del carbono en el suelo implica el traspaso del CO_2 atmosférico al suelo a través de las plantas, residuos vegetales y otros sólidos orgánicos, que se almacenan y retienen como parte de la materia orgánica del suelo. Más del 50 % del depósito de carbono está contenido entre los 30 y 100 cm de profundidad, por lo cual la función de sumidero esta influenciada por el uso de suelo y cobertura vegetal. La función del suelo de sumidero de carbono tiene como objetivos: compensar las emisiones de gas de efecto invernadero ocasionadas por acciones antrópicas como la quema de combustibles y la deforestación. Por lo cual la captura de carbono busca reducir la concentración atmosférica de CO_2, restaurar la calidad, función y servicios ecosistémicos del suelo y mejorar la capacidad de retención de agua y nutrientes; así como reducir los riesgos de erosión hídrica y aumentar y mantener la productividad agronómica. Lo anterior promovería la seguridad alimentaria, entre otros aspectos (Lal et al., 2015). En la microcuenca baja (región uno y dos) y alta (región cuatro) se identificaron zonas potenciales para

la captura de carbono en el suelo debido a los altos niveles de CT (> 150 t ha^{-1}) con capturas de CO_2 mayores a 550 t ha^{-1}; estos sitios corresponden a zonas de bosque mesófilo de montaña, pino y selva alta perennifolia ubicados en áreas altamente escarpadas, las cuáles no interfieren con el desarrollo agropecuario de la microcuenca. Sin embargo, se debe considerar los limites factibles para la validación y designación de estas zonas, ya que estas deben ser evaluadas y monitoreadas por los organismos correspondientes.

e) Programa de muestreo para la fertilidad del suelo

La importancia de la implementación de programas de muestreo para evaluar la fertilidad del suelo radica en el hecho de que el aprovechamiento agropecuario en la microcuenca es la actividad antrópica que demanda mayor uso de recursos; los cuáles dependen de su disponibilidad y calidad (Partida-Sedas, 2018). Por consiguiente, la calidad del suelo es de gran importancia para la producción alimentaria que está limitada por la heterogeneidad del suelo, que deriva de las propiedades físicas, químicas y biológicas de este. Este dinamismo en el suelo requiere de muestreo constante que permita determinar el tratamiento adecuado para conservar o mejorar su fertilidad. De esta manera, contar con análisis de fertilidad de suelo a nivel parcela y potrero permitirá la implementación de prácticas de conservación y manejo enfocadas al mejoramiento y restablecimiento de las funciones del suelo. Esta estrategia es relevante en áreas de producción agrícola para cultivos básicos como el maíz y frijol, así como en zonas cafetaleras que se extienden en toda la microcuenca. De igual manera contar con información de fertilidad del suelo en zonas de pastoreo permitirá una mejor producción de forraje y la implementación de acciones para evitar la degradación del suelo ocasionada por el sobrepastoreo.

f) Monitoreo de la calidad del suelo y agua, y el deslizamientos y erosión del suelo

El monitoreo del recurso suelo y agua representa una herramienta importante para la gestión de acciones que permitan conservar o mejorar la calidad ambiental en la microcuenca, por lo tanto, el monitoreo de la calidad de estos recursos impactará directamente en las actividades agropecuarias, recreativas y de aprovechamiento del agua para uso doméstico y consumo humano. Aunado a lo anterior, el monitoreo de las zonas susceptibles a deslizamientos de suelo y a la pérdida de este representa contar con un instrumento espacial que favorece a la planeación territorial, manejo y conservación del suelo y agua, acciones que repercuten en la calidad ambiental de la microcuenca. A pesar de que esta presenta niveles altos, la atenuación de riesgos ambientales combinados con la degradación del suelo afectarán directamente en la calidad del agua y el bienestar de los habitantes de la microcuenca.

g) Manejo de zonas susceptibles a deslizamientos del suelo y mitigación de la erosión

Debido a la importancia de las prácticas de manejo y conservación del suelo, se debe contemplar la aplicación de estas según la susceptibilidad a deslizamientos y pérdida del suelo. La compatibilidad de estas prácticas dependerá del estado actual de vulnerabilidad del suelo; por ejemplo, en la construcción de canales de desvío se debe garantizar el desfogue en sitios de baja susceptibilidad a deslizamiento. Asimismo, la necesidad de concientizar la relación existente de estos fenómenos con el uso del suelo y cobertura vegetal exige la implementación de estrategias de educación ambiental y conservación del suelo a nivel microcuenca, a pesar de la existencia de regiones con baja probabilidad de incidencia de estos riesgos ambientales. Por lo cual la implementación de medidas de conservación y manejo del suelo beneficiaran la mitigación de la erosión y el control de los deslizamientos del suelo. Algunas medidas de control son: mantener una cubierta vegetal en el suelo, adaptar barreras vivas tanto en parcelas como en potreros, aplicar sistemas de agroforestería, terrazas de drenaje y zanjas de infiltración. Sin embargo, se debe tener en cuenta que para la eficiencia de estas acciones se debe generar un valor de pertenencia y beneficio por parte de los habitantes de la microcuenca.

h) Mejorar la gestión hídrica, captación de agua de lluvia y manejo del agua residual

En la microcuenca se cuenta con una basta disponibilidad del agua, su aprovechamiento está limitado por las condiciones topográficas y por la escasa infraestructura para su captación, almacenamiento, conducción, purificación y tratamiento. Por lo cual la implementación de medidas para su captación y aprovechamiento es importante a escala habitacional, institucional y localidad; asimismo la implementación de acciones para el tratamiento del agua pluvial y residual representa el inicio de estrategias que pueden escalar según la disponibilidad de inversión. Para que la implementación de estas estrategias tenga un impacto social y económico es de gran importancia el uso de los recursos naturales disponibles en el área, como lo es el material parental existente. Este puede ser utilizado para la implementación de filtros en el tratamiento del agua, así como la construcción de humedales artificiales que tengan impacto en puntos de desfogue de escurrimientos o descargas de aguas residuales. De esta manera la construcción de humedales artificiales con filtros de roca y grava es aplicable en las regiones donde se ubican las cabeceras municipales (región tres, cinco y seis de la microcuenca).

i) Educación ambiental

Como un factor crucial para el manejo sustentable de la microcuenca, la educación ambiental tiene que impulsar no solo la importancia económica, sino también la social, ecológica, espiritual y política en un marco de valores que no solo provengan de las instituciones existentes en la microcuenca. Por lo cual se debe propiciar un vínculo entre la cosmovisión de la familia, de las comunidades originarias y de cada grupo de la sociedad en un esquema en donde la interculturalidad rebase la limitada posición de la educación por competencias y dirija sus objetivos hacia la apropiación del cuidado del medio ambiente como una mejor forma de vida (Alejandro García, 2022). La educación ambiental debe estar enfocada a impulsar las actividades desarrolladas en la microcuenca y a la inclusión de nuevas propuestas, estrategias y normativas que permitan su desarrollo sustentable.

j) Aplicabilidad a programas gubernamentales

Dentro de los programas que pueden impulsar la realización de acciones de conservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable en la microcuenca están los siguientes:

- Designación de Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADVC)
- Pago por Servicios Ambientales (PSA)
- Sembrando vida

El programa de designación de ADVC forma parte de las metas de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) para el 2025 (SHCP, 2025a). Este programa plantea que las ADVC son áreas naturales protegidas que son designadas de manera voluntaria por ejidos, comunidades, personas físicas o morales y organismos públicos centralizados y descentralizados (municipios, empresas estatales y dependencias federales, entre otros). Estas áreas cumplen la finalidad de preservar los recursos naturales y ampliar la superficie protegida en el país (CONANP, 2023).

El programa de PSA forma parte de las acciones de protección del medio ambiente y recursos naturales de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) para el ejercicio del 2025, donde impulsa el fortalecimiento de los mecanismos locales de pago por servicios ambientales (SHCP, 2025a). Este programa plantea atraer inversión y potenciar los recursos federales mediante la apropiación del cuidado de los servicios ambientales por parte de los proveedores y usuarios de estos. El programa de PSA promueve acciones integrales para la conservación de los ecosistemas forestales, el fortalecimiento del capital social y el desarrollo económico sustentable, para lo cual plantea la ejecución de actividades productivas amigables con el medio ambiente. Entre estas

actividades están el ecoturismo y los viveros comunitarios, entre otras, que buscan generar los servicios ambientales necesarios para el bienestar de la sociedad y favorecer la adaptación y mitigación de los efectos del cambio climático (CONAFOR, 2022). Este programa está dirigido a propietarios de terrenos forestales que representan ecosistemas en buen estado de conservación ubicados en zonas con altos valores ambientales. El apoyo económico que es otorgado por cinco años está condicionado por el cumplimiento de los compromisos adquiridos por los beneficiarios, los cuales están obligados a reinvertir en actividades de conservación, protección, manejo, gobernanza y proyectos productivos alineados con el cuidado del medio ambiente (CONAFOR, 2022).

Uno de los servicios ambientales susceptibles a pago es la captura de carbono, esta medida busca mitigar los efectos del cambio climático mediante la captura y almacenamiento de este, acción a la cual contribuyen los bosques. Con el fin de promover la conservación e incremento del carbono en los ecosistemas forestales la CONAFOR recomienda la implementación de actividades que propicien un manejo sustentable de los bosques. De esta manera el PSA se convierte en un mecanismo que incentiva a las localidades y propietarios de terrenos forestales a incrementar el carbono en los bosques (CONAFOR, 2022; Ramírez Reyes, 2022).

A este respecto, existen otros mecanismos que retribuyen estas acciones, como lo es la generación de bonos de carbono que cotizan en el mercado voluntario, esta medida requiere de cumplir con altos estándares, así como con el registro, validación, verificación y certificación del proyecto. En México el mercado voluntario de carbono busca indemnizar a entidades físicas o morales que pueden compensar sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al adquirir bonos de un proyecto el cual está sujeto a medidas de verificación y cuantificación. En este la captura de carbono debe ocurrir como una actividad adicional y debe comprometerse a mantener los créditos por un periodo mínimo que depende del tipo de proyecto (Ramírez Reyes, 2022). En el estado de Hidalgo se han establecido proyectos forestales de este tipo por el desarrollador “Bioforestal Innovación Sustentable S.C.” en los municipios de Zacualtipán de Ángeles, Cardonal y Molango de Escamilla. Así como por la Asociación de Silvicultores de la Región Forestal Pachuca y Tulancingo, A.C. en Epazoyucan, Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Cuautepec de Hinojosa, Singuilucan, Mineral del Monte, Omitlán de Juárez, Acaxochitlán y Huasca de Ocampo. Estos proyectos están registrados en el “Climate Action Reserve”, el cual establece estándares para cuantificar y verificar proyectos de reducción de emisiones de GEI (Climate Action Reserve, 2025).

Por último, sembrando vida es uno de los programas que opera el Sector Bienestar Social, este busca implementar acompañamiento técnico agrícola con un enfoque intercultural, además de otorgar apoyos económicos y en especie con el fin de impulsar la productividad de la tierra, lograr la autosuficiencia alimentaria y agroforestal. Para esto, el programa busca la coordinación con las instituciones públicas bajo un marco de cooperación que impulsa la mejora de las condiciones de vida de las familias campesinas ubicadas en los ejidos y comunidades con mayor pobreza, rezago social y degradación ambiental. Algunas de las estrategias que impulsa son el establecimiento de sistemas agroforestales, la implementación de estrategias de inclusión social, la integración productiva y las finanzas populares (SHCP, 2025b). Como requisito de aplicabilidad a este programa el beneficiario debe ser propietario de 2.5 ha disponibles para ser sembradas con sistemas agroforestales y milpa intercalada entre árboles frutales, donde la producción está enfocada a cubrir las necesidades alimentarias básicas (Gobierno de México, 2022).

Para la aplicación de estos programas en la microcuenca de estudio se requiere de asesoría y asistencia técnica tanto para la etapa inicial de identificación y organización de beneficiarios, como para la elaboración de propuestas que cumplan con las reglas operacionales de cada programa. Durante este proceso se debe considerar la necesidad de implementar actividades de concientización y vinculación entre los beneficiarios y organismos públicos que intervienen en las áreas susceptibles a este tipo de estrategias, así como la alineación de estas con los valores y costumbres locales.

k) Usos y costumbres

Para la implementación de un manejo sustentable en la microcuenca se debe considerar la relación entre el hombre y la naturaleza bajo un marco de valores que combine el conocimiento con los usos y costumbres de las comunidades originarias y de los grupos e instituciones establecidos en la microcuenca. Esta relación debe visualizarse más que como una estrategia política, como una forma de vida (Alejandro García, 2022; Zarta Ávila, 2018). Un punto importante que arrojó el estudio de percepción en dos regiones de la microcuenca es la apertura de los encuestados a la designación de zonas protegidas bajo consideraciones que protejan el medio ambiente y sus costumbres. Por lo cual se plantea propiciar una relación entre las estrategias mencionadas y las condiciones edafoclimáticas y geográficas, tradiciones, y los usos y costumbres existentes en la microcuenca. Dentro de estas estrategias, se planeta la adaptación de modelos de conservación de áreas naturales mediante reglamentos locales, como lo es la

Conservación Basada en Comunidad (CBC) aplicada en Zacualtipán, Hidalgo para la conservación de bosque de haya en 48.50 ha, esta área protegida es administrado por un grupo de personas locales. La estrategia CBC propició que los habitantes contribuyeran a la conservación de los ecosistemas bajo ciertas formas de gobernanza locales y con el fin de lograr conservar un área y los organismos que en esta habitan bajo la cooperación local (Pulido Silva, 2020).

Otro ejemplo de CBC es la Zona Ecológica de Preservación Chicamole ubicada en el ejido de Chicamole, en la comunidad de Pueblo Nuevo, municipio de San Bartolo Tutotepec; esta zona de preservación con 67.56 ha de uso común se rige por las decisiones tomadas bajo asamblea por los ejidatarios. La designación de esta área protegida permitió el acceso a apoyos gubernamentales por parte de SEMARNAT como lo son: cercados perimetrales, acciones de educación ambiental, proyectos productivos de conservación y Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre. Al igual que proyectos ecoturísticos de senderismo, obras de restauración, creación de brechas corta fuego y acciones para la conservación de suelo (Calva-Soto, 2019). A pesar de que en la microcuenca de estudio este tipo de estrategias se enfrentan a una comunicación vertical ineficiente y a la imposición de diferentes visiones e iniciativas, esta táctica de conservación ambiental propone el cumplimiento de objetivos marcados por las comunidades que buscan satisfacer sus necesidades y respetar las normativas locales que los rigen.

Finalmente, la información generada con el presente trabajo de investigación permite resaltar el potencial sustentable de la microcuenca según el entorno natural donde se encuentra. De tal manera, que el conjunto de recursos naturales y actividades productivas existentes puntualiza la importancia del medio ambiente mediante el desarrollo sustentable de estrategias enfocadas a los diferentes objetivos de la agenda 2030. Las siguientes acciones pueden impulsar 11 de los 17 objetivos de desarrollo sostenible que propiciarán el desarrollo sustentable de la microcuenca: mitigar la pobreza (Objetivo 1), lograr la seguridad alimentaria (Objetivo 2), promover la salud (Objetivo 3), garantizar la disponibilidad de agua limpia (Objetivo 4) y la educación ambiental (Objetivo 6), así como promover oportunidades de aprendizaje. Empoderar a mujeres mediante la capacitación y participación en el turismo cultural y prácticas de conservación del suelo y agua (Objetivo 5), promover el empleo pleno y productivo (Objetivo 8), reducir la desigualdad socioeconómica mediante la generación de oportunidades al noreste de la microcuenca con actividades turísticas (Objetivo 10) enfocadas a salvaguardar el patrimonio cultural y natural

(Objetivo 11). Adoptar medidas en áreas con cobertura vegetal natural y zonas urbanas que combatan el cambio climático y promuevan la conservación de la biodiversidad (Objetivo 13), tales como evitar usos de suelo en áreas vulnerables, detener la deforestación, propiciar un manejo sustentable agrícola y ganadero. Así como, designar áreas de conservación natural y concientizar sobre el impacto de las actividades antrópicas en el medio ambiente (Objetivo 15) (Rodríguez Barba, 2016).

CAPÍTULO X

10. Referencias

Acevedo Sandoval, O. A., P. G., F., Prieto Méndez, J., Marmolejo Santillán, Y., & Romo Gómez, C. (2022). Chemical weathering in hardened volcanic horizons (tepetates) of the State of Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, *39(2)*, 116-127. https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2022.2.1644

Aguirre, J. A. (2018). Grutas de San Bartolo: turismo y misticismo *El sol de Tulancingo*. https://www.elsoldetulancingo.com.mx/local/grutas-de-san-bartolo-turismo-y-misticismo-2278121.html

Aldwaik, S. Z., & Pontius, R. G. (2012). Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition. *Landscape and Urban Planning*, *106(1)*, 103-114. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.02.010

Alejandro García, S. (2022). Educación ambiental para la sustentabilidad, una apuesta desde la pedagogía crítica y sentipensante. *Revista CoPaLa, Construyendo Paz Latinoamericana*, *Número 14*(14), 67-76. https://doi.org/10.35600/25008870.2022.14.0214

Alemayehu, E., & Lennartz, B. (2009). Virgin volcanic rocks: kinetics and equilibrium studies for the adsorption of cadmium from water. *J Hazard Mater*, *169*(1-3), 395-401. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.03.109

Alewell, C., Borrelli, P., Meusburger, K., & Panagos, P. (2019). Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. *International Soil and Water Conservation Research*, *7(3)*, 203-225. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.004

Almazán-Núñez, R. C., Álvarez-Álvarez, E. A., Ruiz-Gutiérrez, F., Almazán-Juárez, Á., Sierra-Morales, P., & Toribio-Jiménez, S. (2018). Biological survey of a cloud forest in southwestern Mexico: plants, amphibians, reptiles, birds, and mammals. *Biota Neotropica*, *18*. https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2017-0444

Anaya Garduño, M., Pérez Hernández, A., López Hernández, N. A., & Martínez Ponce, I. R. (2018). *Sistemas de Captación del Agua de Lluvia (SCALL), Manual Técnico*. https://www.g-22.org/uploads/1/1/9/3/11936477/manual-colpos-feb2019.pdf

Andrade, B., O.C.,, & Rodríguez, P., O.S.,. (2002). Evaluación de la eficiencia de barreras vivas como sistemas de conservación de suelos en ladera. *Bioagro*, *14(3)*, 123-133. https://www.redalyc.org/pdf/857/85714301.pdf

Andrade, L. H. (2009). *Fragilidad ambiental de la cuenca hídrica del Lago Potrero de Los Funes, San Luis, Argentina.* Universidad Nacional de La Pampa]. San Luis, Argentina. https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/2188

Arabameri, A., Saha, S., Roy, J., Chen, W., Blaschke, T., & Tien Bui, D. (2020). Landslide Susceptibility Evaluation and Management Using Different Machine Learning Methods in The Gallicash River Watershed, Iran. *Remote Sensing*, *12(3)*, 475. https://doi.org/10.3390/rs12030475

Arango Sánchez, J. F., Pacheco Figueroa, C. J., & Vargas Marín, L. A. (2023). Valoración económica de los servicios ecosistémicos: una revisión sistemática. *Revista Venezolana de Gerencia*, *28*(103), 948-964. https://doi.org/10.52080/rvgluz.28.103.3

ArGisPro. (s.f.). Conceptos del conjunto de herramientas de Interpolación. ESRI. https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/comparing-interpolation-methods.htm

Arias-Muñoz, P., Saz, M. A., & Escolano, S. (2023). Estimación de la erosión del suelo mediante el modelo RUSLE. Caso de estudio: cuenca media alta del río Mira en los Andes de Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, *(79)*, 207-230. https://doi.org/10.14198/INGEO.22390

Asgari, M. (2021). A critical review on scale concept in GIS-based watershed management studies. *Spatial Information Research*, *29(3)*, 417-425. https://doi.org/10.1007/s41324-020-00361-7

Asia Air Survey, & NextGIS. (2013). MOLUSCE – quick and convenient analysis of land cover changes. https://nextgis.com/blog/molusce_2013/

Astier, M., Masera, O. R., & Galván-M., Y. (2008). Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional. *Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable*, *200*. https://doi.org/10.22201/ciga.9788461256419e.2008

Ayala, M. D., & Monterroso, R., A. I.,. (2021). Determinaciones de Carbono y Nitrógeno en suelos y tejidos vegetales.

AWF. (2023). Por qué las piedras filtrantes de agua son el futuro de la filtración. Australia. https://www-awesomewaterfilters-com-au.translate.goog/blogs/news/why-water-filter-stones-are-the-future-of-filtration?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=rq

Badillo Guevara, L. P., Carvajal Arias, C.E.,, Plata Plata D., & Fernández Calderón D.F. (2016). Construcción y evaluación de la eficiencia de dos prototipos de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de la Universidad El Bosque. *Revista de Tecnología*, *15(2)*, 161-170. https://doi.org/https://doi.org/10.18270/rt.v15i2.2184

Barragán Acosta, M. C., Daza Lesmes, N. M., Calderón Larrañaga, Y., Navarro Cuervo, L. F., & Tosse Luna, O. (2018). *Guía metodológica para la formulación de los planes de manejo ambiental de microcuencas – PMAM* (G. D. d. C. y. C. A. Miniambiente, Ed. Primera ed.) https://www.andi.com.co/Uploads/GU%C3%8DA%20METODOL%C3%93GICA%20FORMULACI%C3%93N%20PMA%20MICROCUENCAS.pdf

Barragán Monrroy, R. J., Ormaza Varela, J. N., Vargas Cedeño, G. E., & Bravo, G. V. E. (2019). Derechos de la naturaleza frente a los delitos ambientales provocados por las actividades antropogénicas en la provincia de Los Ríos. *RECIMUNDO*, *3(3 ESP)*, 481-497. https://doi.org/https://doi.org/10.26820/recimundo/3.(3.Esp).noviembre.2019.481-497

Bartholomew, W. V., & Clark, F. E. (1965). Soil Inorganic Nitrogen. In *Agronomy Monographs*. https://doi.org/10.2134/agronmonogr10.c2

Belalcázar, B., P.A.,, & Ortega, B., M.,. (2019). Evaluación de la sostenibilidad de la subcuenca hidrográfica La Fragua ubicada en el departamento de Nariño, mediante cuatro indicadores: Hidrología, Medio

Ambiente, Vida y Política. Universidad de Manizales. Manizales, Colombia. https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/3654/Marisol_Ortega_%20Bola%C3%B1oz_23-05-2019.pdf?sequence=1

Ben-Eli, M. U. (2018). Sustainability: definition and five core principles, a systems perspective. *Sustainability Science*. https://doi.org/10.1007/s11625-018-0564-3

Benavidez, R., Jackson, B., Maxwell, D., & Norton, K. (2018). A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R) USLE): With a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. *Hydrology and Earth System Sciences*, *22(11)*, 6059-6086. https://doi.org/10.5194/hess-22-6059-2018

Berríos Villarroel, A., & Bastías Bastías, L. S. (2021). Aproximación a las percepciones de los estudiantes de pedagogía hacia la Agenda 2030 para el desarrollo sustentable. *Revista de Estudios y Experiencias en Educación*, *20*(43), 113-128. https://doi.org/10.21703/rexe.20212043berrios6

Bolton P., Bradbury P.A, Lawrence P., & Atkinson E. (1995). CALSITE V-3.1 - User Manual. In. Wallingford, U.K.: HR Wallingford Ltd.

Bover-Felices, K., & Suárez-Hernández, J. (2020). Contribución del enfoque de la agroecología en el funcionamiento y estructura de los agroecosistemas integrados. *Pastos y Forrajes*, *Vol. 43, No.2* 102-111. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942020000200102&script=sci_arttext

Braimoh, A. K. (2006). Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *113*, 254-263. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.10.019

Cai, Y., & Zhang, L. (2018). Multi-scale ecological indicators for supporting sustainable watershed management. *Ecological Indicators*, *92*, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.079

Candelario Presidente, J. A. (2022). Guía para el diseño e implementación de prácticas de conservación de suelo y agua en cultivo de café (Coffea arabica L.) en Finca Leticia, Colón, La Libertad. Universidad de El Salvador. El Salvador, Centro América. https://oldri.ues.edu.sv/id/eprint/27525/1/13101772.pdf

Cantú Silva, I., & Luna Robles, E. O. (2022). Reservorio de Nitrógeno y relación C:N de un Umbrisol bajo manejo forestal en Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *13*(72), 82-111. https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i72.1055

Cao, Q., Liu, Y.,, Georgescu, M., & Wu, J. (2020). Impacts of landscape changes on local and regional climate: A systematic review. *Landscape Ecology*, *35*, 1269-1290. https://doi.org/10.1007/s10980-020-01015-7

Carbajal Ávila, J., Rodríguez Rosales, A. A., Ávila Caballero, L. P., Rodríguez Herrera, A. L., & Hernández Cocoletzi, H. (2017). Captura de carbono por una fachada vegetada. *Acta Universitaria*, *27(5)*, 55-61. https://doi.org/https://doi.org/10.15174/au.2017.1388

Carrasco, D. S. (2005). Metodología de la investigación científica (S. Marcos, Ed.) https://pdfcoffee.com/download/metodologia-de-la-investigacion-cientifica-carrasco-diaz-2-pdf-free.html

Carrasco, J., Jorge, , Squella, N., Fernando, , Riquelme, S., Jorge, , Hirzel, C., Juan, , & Uribe, C., Hamil,. (2012). Técnicas para el control de la erosión. In I. d. I. A. C. R. d. I. Rayentué (Ed.), *Técnicas de conservación de suelos, agua, y vegetación en territorios degradados* (pp. 211). Instituto de

investigaciones agropecuarias. https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/741c38f9-2c14-4839-8f02-f8a1269b7a58/content

Castañeda Rodríguez, V. M. (2021). De otro mundo y en otra lengua. Informes de sostenibilidad sin conflictos ambientales ni pueblos originarios. *Innovar*, *31*(81), 3-4. https://doi.org/10.15446/innovar.v31n81.95566

CENAPRED. (2009). Atlas de riesgos del estado de Hidalgo. http://rmgir.proyectomesoamerica.org/PDFAtlasEstatales/HIDALGO_2009.pdf

Chaves, H., & Alipaz, S. (2007). An integrated indicator based on basin hydrology, environment, life, and policy: the watershed sustainability index. *Water Resources Management*, *21(5)*, 883-895. https://doi.org/10.1007/s11269-006-9107-2

Chughtai, A. H., Abbasi, H., & Karas, I. R. (2021). A review on change detection method and accuracy assessment for land use land cover. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *22*. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100482

Climate Action Reserve. (2025). Public reports. Projects. https://thereserve2.apx.com/myModule/rpt/myrpt.asp?r=111

Calva-Soto, K., Bravo-Cadena, J., Ortega-Meza, D., Pulido-Silva, M.T. (2019). Perspectivas de conservación desde múltiples actores: el caso de la Zona Ecológica de Preservación Chicamole, México. *Bosque (Valdivia)*, *40*(2), 105-115. https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002019000200105

CONABIO. (1998). Climas. Catálogo de metadatos geográficos, escala 1:1000000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/

CONABIO. (2023). Portal Enciclovida. https://enciclovida.mx/explora-por-region?utf8=%E2%9C%93&pagina=1#5/25.02 6/ -93.977

CONABIO. (s.f.). Alnus acuminata. http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/9-betul1m.pdf

CONAFOR. (2014). Inventario Estatal Forestal y de Suelo, Hidalgo. SNIGF, Sistema Nacional de Información y Gestión Forestal. https://old-snigf.cnf.gob.mx/producto/resultados-del-inventario-estatal-de-hidalgo/

CONAFOR. (s.f.-a). Datos del inventario nacional forestal y de suelos, resultados 2004-2009, 2009-2014 y 2015-2020 SNIGF. https://old-snigf.cnf.gob.mx/producto/resultados-del-inventario-estatal-de-hidalgo/

CONAFOR. (s.f.-b). Pinus ocarpa. http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/974Pinus%20oocarpa.pdf

CONAGUA. (2010). Normales Climatológicas por Estado. Servicio Meteorológico Nacional (SMN). https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado

CONAGUA. (2016). Programa de agua potable, alcantarillado y saneamiento (PROAGUA). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/105921/ATECPROAGUAAL2016HGO.pdf

CONAGUA. (2024). Calidad del agua en México. https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua

CONANP. (2020). El gran valor de la conservación. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://www.gob.mx/conanp/es/articulos/el-gran-valor-de-la-conservacion?idiom=es

CONANP. (2023). ADVC. ¿Qué son las áreas destinadas voluntariamente a la conservación?. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://advc.conanp.gob.mx/infografia-que-son/

CONAPO. (2010). Índice de marginación por localidad, 1990-2010 https://datos.gob.mx/busca/dataset/indice-de-marginacion-carencias-poblacionales-por-localidad-municipio-y-entidad

CONEVAL. (2010a). Anexos estadísticos del IRS 2000-2020. IRS a nivel localidad. https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Indice_de_Rezago_Social_2020_anexos.aspx

CONEVAL. (2010b). Pobreza a nivel municipal 2010 https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Hidalgo/Paginas/pob_municipal.aspx

CONEVAL. (2015). Índice de rezago social https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Interactivos_municipal.aspx

CONEVAL. (2020). Índice de rezago social 2020 a nivel nacional, estatal, municipal y localidad. https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Indice_Rezago_Social_2020.aspx

Cotler Ávalos, H., Galindo Alcántar, A., González Mora, I. D., Pineda López, R. F., & Ríos Patrón, E. (2013). Cuencas Hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. In *SEMARNAT* (Primera ed., pp. 36). México D.F.: SEMARNAT.

Cotler Ávalos, H., Cram Heydrich, S., Martinez Trinidad, S., & Bunge, V. (2015). Evaluación de prácticas de conservación de suelos forestales en México: caso de las zanjas trinchera. *Investigaciones Geográficas*(88). https://doi.org/10.14350/rig.47378

Cronan, C. S., & Grigal, D. F. (1995). Use of calcium/aluminum ratios as indicators of stress in forest ecosystem. *Environ Qual*, *24*, 209-226. https://doi.org/10.2134/jeq1995.00472425002400020002x

Cruz, P., V. C.,, & Martínez, D., J. P.,. (2023). El agroecosistema como sistema social. *Interciencia*, *48(2)*, 102-108. https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2023/02/05_6922_E_Martinez_Davila_v48n2_7.pdf

Cuervo-Osorio, V. D., Ruiz-Rosado, O., Vargas-Villamil, L. M., García-Pérez, E., Gallardo-López, F., & Díaz-Rivera, P. (2020). Marcos metodológicos para la evaluación de la sustentabilidad agrícola en cuencas hidrográficas: una revisión. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *23*, 28. https://doi.org/ http://doi.org/10.56369/tsaes.3118

da Silva, J., Fernandes, V., Limont, M., Dziedzic, M., Andreoli, C. V., & Rauen, W. B. (2020). Water sustainability assessment from the perspective of sustainable development capitals: Conceptual model and index based on literature review. *Journal of environmental management*, *254*. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109750

Dahl, A. L. (2012). Achievements and gaps in indicators for sustainability. *Ecological Indicators*, *17*, 14-19. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.04.032

DOF. (2015). Proyecto de Modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de

flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5420810&fecha=21/12/2015#gsc.tab=0

Don, A., Schumacher, J., & Freibauer, A. (2011). Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks–a meta-analysis. *Global change biology*, *17(4)*, 1658-1670. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02336.x

Ebrahimzadeh, S., Motagh, M., Mahboub, V., & Mirdar Harijani, F. (2018). An improved RUSLE/SDR model for the evaluation of soil erosion. *Environmental earth sciences*, *77*, 1-17. https://doi.org/10.1007/s12665-018-7635-8

ESNECA. (2023). Ventajas y desventajas del turismo. https://www.esneca.com/blog/ventajas-desventajas-turismo/

Espinoza, L., Slaton, N., & Mozaffari, M. (2012). Cómo interpretar los resultados de los análisis de suelos. *Research & Extension*, Issue. https://www.uaex.uada.edu/publications/PDF/FSA-2118SP.pdf

FAO. (1996). Forest resources assessment 1990: survey of tropical forest cover and study of change processes. http://www.fao.org/3/w0015e/W0015E00.htm#TOC

Farfán G., M., Rodríguez T., G., & Mas, J. F. (2016). Análisis jerárquico de la intensidad de cambio de cobertura/uso de suelo y deforestación (2000-2008) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México. *Investigaciones Geográficas (90)*. https://doi.org/10.14350/rig.48600

Fassbender, H. W., & Bornemisza, E. (1987). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina (2da ed.).

Fernández Reynoso, D. Landeral Cazares, R., López Velasco, O. Muros de contención. Colegío de Postgraduados, México. https://es.slideshare.net/slideshow/muros-de-contencin-2da-ed/131655237

Fraser, E. D., Dougill, A. J., Mabee, W. E., Reed, M., & McAlpine, P. (2006). Bottom up and top down: analysis of participatory processes for sustainability indicator identification as a pathway to community empowerment and sustainable environmental management. *J Environ Manage*, *78(2)*, 114-127. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.04.009

Ganasri, B. P., & Ramesh, H. (2015). Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.10.007

Gashaw, T. (2015). Review. The implications of watershed managment for reversing land degradetion in Ethiopia. *Agriculture and Environmental Management*, *4(1)*, 5-12. https://apexjournal.org/rjaem/archive/2015/Jan/fulltext/Gashaw.pdf

Ge, Y., Guo, X., Zhan, M., & Yan, H. (2021). Erosion Rate of Lateral Slope Deposit Under the Effects of Different Influencing Factors. *Frontiers in Earth Science*, *9, 670087*. https://doi.org/10.3389/feart.2021.670087

Gelagay, H. S., & Minale, A. S. (2016). Soil loss estimation using GIS and Remote sensing techniques: A case of Koga watershed, Northwestern Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, *4(2)*, 126-136. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.01.002

GISLAB. (2014). Landscape change analysis with MOLUSCE. https://wiki.gis-lab.info/w/Landscape_change_analysis_with_MOLUSCE_-_methods_and_algorithms#Area_Analysis

Gobierno de Hidalgo. (2020). Certificado de Preservación 01/2020. México https://periodico.hidalgo.gob.mx/?tribe_events=Periodico-Oficial-Ordinario-0-del-02-de-marzo-de-2020

Gobierno de Hidalgo. (2022). Ordenamiento territorial ecológico. México https://periodico.hidalgo.gob.mx/?tribe_events=periodico-oficial-alcance-4-del-25-de-febrero-de-2022

Gobierno de México. (2022). Programas para el bienestar. Sembrando vida. https://programasparaelbienestar.gob.mx/sembrando-vida/

Golijanin, J., Nikolić, G., Valjarević, A., Ivanović, R., Tunguz, V., Bojić, S., & Stankov, S. (2022). Estimation of potential soil erosion reduction using GIS-based RUSLE under different land cover management models: A case study of Pale Municipality, B&H. *Frontiers in Environmental Science*, *10, 945789*. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.945789

Gómez, J. (2014). Del Desarrollo Sostenible a la Sustentabilidad Ambiental. *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Militar Nueva Granada.*, *XXI (1)*, 115-136. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90931814009

González Martínez, S., Millán Salazar, T. C., & González Barceló, O. (2011). Filtración aerada de aguas residuales municipales utilizando un medio filtrante de bajo costo. *Revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, *3,1*, 132-144. https://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/23796

Granco, G., Heier Stamm, J. L., Bergtold, J. S., Daniels, M. D., Sanderson, M. R., Sheshukov, A. Y., & Aistrup, J. A. (2019). Evaluating environmental change and behavioral decision-making for sustainability policy using an agent-based model: A case study for the Smoky Hill River Watershed, Kansas. *Science of the Total Environment*, *695*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133769

Gros, A., & Domínguez, A. (1992). Abonos guía práctica de la fertilización. E. Mundi-Prensa, Ed. 8va edición.

Guía-Ramírez, S., Terrazas Salgado, T. M., Aguilar Rodríguez, S., Yáñez-Espinosa, L., & Tejero-Díez, J. D. (2020). Desarrollo de la corteza: Estudio comparativo en dos especies de Ceiba (Malvaceae). *Acta Botanica Mexicana*(128). https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1781

Guo, L. B., & Gifford, R. M. (2002). Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global change biology*, *8(4)*, 345-360. https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x

Hak, T., Kovanda, J., & Weinzettel, J. (2012). A method to assess the relevance of sustainability indicators: Application to the indicator set of the Czech Republic's Sustainable Development Strategy. *Ecological Indicators*, *17*, 46-57. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.04.034

Hassan, I., Chowdhury, S. R., Prihartato, P. K., & Razzak, S. A. (2021). Wastewater Treatment Using Constructed Wetland: Current Trends and Future Potential. *Processes*, *9*(11). https://doi.org/10.3390/pr9111917

Hellin, J., & Larrea, S. (1999). Uso de vegetación para la conservación de suelo y agua en laderas: consideraciones sociales y técnicas. *Ceiba*, *40(1)*, 35-39. https://revistas.zamorano.edu/index.php/CEIBA/article/view/1104/1042

Hernández, A., Y., , & Ramírez, A., H.,. (2016). Evaluación del riesgo asociado a vulnerabilidad física por taludes y laderas inestables en la microcuenca Cay, Ibagué, Tolima, Colombia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, *26(2)*. https://doi.org/10.18359/rcin.1800

Hernández Castañeda, L. (2021). Humedales artificiales en el tratamiento de aguas urbanas: una revisión bibliográfica. Universidad de los Andes. Bogotá. http://hdl.handle.net/1992/53835

Hinojosa-Pérez, M. G., Acevedo-Sandoval, O. A., Vázquez Cuevas, G. M., Bravo Cadena, J., Razo Zarate, R., Navarro Gómez, H. I., & Valencia Pulido, S. B. (2023). *Vulnerabilidad de cambio de uso de suelo en una Microcuenca del Río Pantepec, Hidalgo, México* Vulnerabilidad de cambio de uso de suelo en una Microcuenca del Río Pantepec, Hidalgo, México, CDMX. https://www.smcsmx.org/47-congreso-nacional-de-la-ciencia-del-suelo

Hillbrand, A., Borelli, S., Conigliaro, M., & Olivier, E. (2017). Agroforesteria para la restauración del paisaje: explorando el potencial de la agroforesteria para mejorar la sostenibilidad y la resiliencia de los paisajes degradados. *FAO*. https://agris.fao.org/search/en/providers/122621/records/6473b99313d110e4e7ac30c8

INEGI. (2001). Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250000. In (Vol. Serie II). México: INEGI.

INEGI. (2002). Guia de conceptos, uso e interpretación de la Estadística sobre la Fuerza Laboral en México. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/metodologias/est/702825000156.pdf

INEGI. (2004). Anuario estadístico del estado de Hidalgo http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1334/702825159030-2/702825159030-2_3.pdf#[4,{%22name%22:%22Fit%22}]

INEGI. (2007a). Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Escala 1:250,000. https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=13#collapse-Mapas

INEGI. (2007b). Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Escala 1:250,000 Serie II (Conitnuo nacional). https://www.inegi.org.mx/app /areasgeograficas/?ag=13#collapse-Mapas

INEGI. (2007c). Conjunto de datos vectoriales Temperatura. Escala 1:1000000. https://www.inegi.org.mx/app /mapas/

INEGI. (2008). Anuario estadístico del estado de Hidalgo https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825200688-2/702825200688-2_3.pdf#[43,{%22name%22:%22Fit%22}]

INEGI. (2010a). Censo de población y vivienda 2010. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/

INEGI. (2010b). Principales resultados por localidad (ITER) del Censo de Población y Vivienda 2010. https://www.inegi.org.mx/app/descarga/ficha.html?tit=81675&ag=0&f=csv

INEGI. (2012). Anuario estadístico de Hidalgo. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/anuario_multi/2012/hgo/702825046095.pdf#%5B%7B%22num%22%3A1599%2C%22gen%22%3A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22FitH%22%7D%2C795%5D

INEGI. (2013). Anuario estadístico y geográfico del estado de Hidalgo. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/anuario_multi/2013/hgo/AEyGHGO13.pdf

INEGI. (2014). Diccionario de datos de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250000. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825063443.pdf

INEGI. (2015). Anuario estadístico y geográfico de Hidalgo.http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2015/702825077143.pdf

INEGI. (2017). Anuario estadístico y geográfico de Hidalgo. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825095093.pdf

INEGI. (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/

INEGI. (2021). Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250000. https://www.inegi.org.mx/app /mapas/

INEGI. (s.f.). SIATL. Simulador de Flujos de Aguas de Cuencas Hidrográficas SIATL v4.0. https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/

IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.globalchange.gov/reports/ipcc-climate-change-2014-synthesis-report

Julca, O., A.,, Meneses, F., L.,, Blas, S., R., , & Bello, A., S.,. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia*, *V.24 n.1*. https://doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009

Juwana, I., Muttil, N., & Perera, B. J. (2012). Indicator-based water sustainability assessment - a review. *Sci Total Environ*, *438*, 357-371. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.093

Kayet, N., Pathak, K., Chakrabarty, A., & Sahoo, S. (2018). Evaluation of soil loss estimation using the RUSLE model and SCS-CN method in hillslope mining areas. *International Soil and Water Conservation Research*. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.11.002i

Keller, A. A., Garner, K., Rao, N., Knipping, E., & Thomas, J. (2023). Hydrological models for climate-based assessments at the watershed scale: A critical review of existing hydrologic and water quality models. *Science of the Total Environment*, *867*, 161209. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161209

Larrouyet, M. C. (2015). Desarrollo sustentable. Origen, evolución y su implementación para el cuidado del planeta. (Trabajo final integrador). *RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes*. http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/154

Lal, R., Negassa, W., & Lorenz, K. (2015). Carbon sequestration in soil. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *15*, 79-86. https://doi.org/http://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.09.002

Leija-Loredo, E. G., & Pavón, N. P. (2017). The northernmost tropical rain forest of the Americas: endangered by agriculture expansion. *Tropical Ecology*, *(58)3*, 641-652. https://www.researchgate.net/profile/Numa-P-Pavon/publication/322527158_The_northernmost_tropical_rain_forest_of_the_Americas_Endangered_by_agriculture_expansion/links/5a5e2a19aca272d4a3dfb610/The-northernmost-tropical-rain-forest-of-the-Americas-Endangered-by-agriculture-expansion.pdf

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. (2024). Reforma publicada en Diario Oficial de la Federación (DOF 01-04-2024), México. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf

Leynes Chavarria, M. d. S. (2015). Porosidad: génesis, clasificación y caracterización en las rocas sedimentarias para el almacenamiento de fluidos UNAM. México. http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/8458/LEYNES.CHAVARRIA.MARIA.DEL.SOCORRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Li, X., Zhang, L., Zheng, Y., Yang, D., Wu, F., Tian, Y., ... & Zheng, C. (2021). Novel hybrid coupling of ecohydrology and socioeconomy at river basin scale: A watershed system model for the Heihe River basin. *Environmental Modelling & Software*, *141*, 105058. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105058

Lianes, E., Marchamalo, M., & Roldán, M. (2009). Evaluación del factor C de la RUSLE para el manejo de coberturas vegetales en el control de la erosión en la cuenca del río Birrís, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/6722

Liu, J., Huffman, T., Green, M., Joosse, P., & Martin, T. (2020). Changes in land use and management by farm type and the impact on soil cover in Canada, 1991–2011. *Ecological Indicators*, *116*. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106531

López Báez, W. (2014). Análisis del manejo de cuencas como herramienta para el aprovechamiento sustentable de recursos naturales. *Revista chapingo serie zonas aridas*, *XIII(2)*, 39 - 45 https://doi.org/10.5154/r.rchsza.2012.06.017

López Obando, K., S.,. (2008). Evaluación de la calidad del establecimiento y efecto de las prácticas de conservación de suelo y agua sobre la calidad del suelo en laderas de Nicaragua. Universidad Nacional Agraria facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Nicaragua. https://repositorio.una.edu.ni/1109/1/tnp36l864.pdf

Lorenzo-Monterrubio, C., Vergara-Hernández A., & Pacheco, M. E. (2019). Historia y significado de los Tenangos. *MAGOTZI Boletín Científico de Artes del IA*. https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/ia/article/download/3138/5479

LQAA. (s.f.). Manual de usuario TOC-L In U. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniaría (ICBI) (Ed.). Mineral de la Reforma, Hgo.

Lyytimäki, J., Antikainen, R., Hokkanen, J., Koskela, S., Kurppa, S., Känkänen, R., & Seppälä, J. (2018). Developing Key Indicators of Green Growth. *Sustainable Development*, *26(1)*, 51-64. https://doi.org/10.1002/sd.1690

Maass, J. M., & Martínez-Yrízar, A. (1990). Los ecosistemas: definición, origen e importancia del concepto. *Ciencias*, *Especial 4*. http://www.telematica.ccadet.unam.mx/antologias/ecologia/narrativas/sabores/pdf/ecosistemas.pdf

Mahala, A. (2018). Soil erosion estimation using RUSLE and GIS techniques—a study of a plateau fringe region of tropical environment. *Arabian Journal of Geosciences*, *11(13), 335*. https://doi.org/10.1007/s12517-018-3703-3

Malta, F. S., & Marques da Costa, E. (2021). Socio-Environmental Vulnerability Index: An Application to Rio de Janeiro-Brazil. *International Journal of Public Health*, *66*. https://doi.org/10.3389/ijph.2021.584308

Manetta, A., & Avilés, T. S. (2020). Desigualdades territoriales y migración: consecuencias sociodemográficas y líneas de acción para la región Otomí-Tepehua (Hidalgo, México). *Redes*, *25*(4), 1787-1811. https://doi.org/10.17058/redes.v25i4.14564

Martínez, J. M., Duval, M. E., López, F. M., Iglesias, J. O., & Galantini, J. A. (2017). Ajustes en la estimación de carbono orgánico por el método de Calcinación en molisoles del sudoeste bonaerense. *Ciencia del suelo*, *35(1)*, 171-180. https://www.suelos.org.ar/publicaciones/v35n1-html/vol35-n1-html/v35n1a16.htm

Maycotte, M., C. C. . (2011). *Edafología 1* (E. G. C. S. A. Colombia, Ed. Primera ed.) https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf

McCool, S. F., & Stankey, G. H. (2004). Indicators of sustainability: challenges and opportunities at the interface of science and policy. *Environ Manage*, *33(3)*, 294-305. https://doi.org/10.1007/s00267-003-0084-4

Mensah, J. (2019). Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review. *Cogent Social Sciences*, *5(1)*. https://doi.org/10.1080/23311886.2019.1653531

Meza Rodríguez, D. (2019). *Introducción a los sistemas de información geográfica*. https://www.researchgate.net/publication/336361900_INTRODUCCION_A_LOS_SISTEMAS_DE_INFORMACION_GEOGRAFICA_Manual_Tecnico_Grafico_de_ArcView_GIS_para_Principiantes_en_los_Sistemas_de_Informacion_Geografica

Moldan, B., Janoušková, S., & Hák, T. (2012). How to understand and measure environmental sustainability: Indicators and targets. *Ecological Indicators*, *17, 4-13*. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.04.033

Monterroso-Rivas, A. I., Gómez-Díaz, J. D., & Tinoco-Rueda, J. A. (2013). Bosque mesófilo de montaña y escenarios de cambio climático: Una evaluación en Hidalgo, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, *XIX (1)*, 29-43. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.03.029

Morales, M. S., & Holguín, E. J. (2014). Estrategias para la evaluar la sustentabilidad de los sistemas de manejo de recursos naturales. *Vidsupra, visión científica*, *2*, 97-72. https://www.ciidirdurango.ipn.mx/assets/files/ciidirdurango/docs/VIDSUPRA/REVISTAS/VSV6N2.pdf

Moreira Franco, L. F. (2021). Análisis jerárquico aplicado a la determinación de la fragilidad ambiental de la subcuenca del Río Carrizal. Universidad Estatal del Sur de Manabí. Ecuador. https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2774

Munguía-Uribe, G. A., & Valderrábano-Almegua, M. (2020). Instrumentos de participación ciudadana en México y sus alcances hacia el cumplimiento de los objetivos de la Agenda 2030. *Meio Ambiente (Brasil)*, *v.2, n.5*, 107-117. https://meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/view/104/80

Munilla Giménez, V. (2023). Rocas sedimentarias: qué son, características, formación, tipos y ejemplos. https://www.geoenciclopedia.com/rocas-sedimentarias-que-son-caracteristicas-formacion-tipos-y-ejemplos-576.html

Murray, R. S., & Larry, J. S. (2009). Estadística (S. A. d. C. V. McGraw-Hill/Interamericana editores, Ed. Cuarta ed.) (Theory and Problems of Statistics)

Murty, D., Kirschbaum, M. U., Mcmurtrie, R. E., & Mcgilvray, H. (2002). Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? A review of the literature. *Global change biology*, *8(2)*, 105-123. https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1354-1013.2001.00459.x

Naiman, R. J., Bisson, P., A., , Lee, R. G., & Turner, M. G. (2014). Watershed management. Expanded version of chapter Approches to Management at the Watershed Scale. In N. Wear D. (Ed.), *Creating a forestry for the 21st century: The science of exosystem management*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/248379025_Watershed_Management_Balancing_Sustainability_and_Environmental_Change

Nava-Rojas, J., Lango-Reynoso, F., Castañeda-Chávez, M.R., & Reyes-Velázquez, Ch. (2023). Remoción de Contaminantes en los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial: Una Revisión. *Terra Latinoamericana*, *41*, e1715. Epub 16 de febrero de 2024.https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1715

Nelson, G. C., Bennett, E., Berhe, A. A., Cassman, K., DeFries, R., Dietz, T., Dobermann, A., Dobson, A., Janetos, A., Levy, M., Marco, D., Nakicenovic, N., O'Neill, B., Norgaard, R., Petschel-Held, G., Ojima, D., Pingali, P., Watson, R., & Zurek, M. (2006). Anthropogenic Drivers of Ecosystem Change: an Overview. *Ecology and Society*, *Vol. 11, No. 2*. http://www.jstor.org/stable/26266018

NMX. (2001*). NMX-AA-012-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la nmx-aa-012-1980)*. (CDU: 546:21; Secretaría de Economía DG. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166768/NMX-AA-012-SCFI-2001.pdf

NMX. (2008). PROY-NMX-AA-121/1-SCFI-2008. Análisis de agua - aguas naturales epicontinentales, costeras y marinas – muestreo - (todas las partes cancelan al PROY NMX-AA-121-SCFI-2006). Secretaría de Economía. http://legismex.mty.itesm.mx/normas/AA/proy0909/proy-nmx-aa-121-1-scfi08.pdf

NMX. (2015). NMX-AA-042-SCFI-2015. Análisis de agua - Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y Escherichia Coli – Método del número más probable en tubos múltiples. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166147/nmx-aa-042-scfi-2015.pdf

NMX. (2016). NMX-AA-132-SCFI-2016. Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra (cancela a la NMX-A-132SCFI-2006). (ICS: 13.080.05; Secretaría de Economía, SINEC. http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-aa-132-scfi-2016.pdf

NMX. (2021). NMX-AA-028-SCFI-2021. Análisis de agua - Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Dilución y método de siembra - Método de prueba. DOF: 26/10/2022. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5669720&fecha=26/10/2022&print=true

OCC. (2021). ¿Qué es un análisis FODA, cómo se hace, para qué sirve? Guía 2021. https://www.occ.com.mx/blog/que-es-un-analisis-foda-y-como-se-hace/

Ochoa-Ochoa, L. M., Mejía-Domínguez, N. R., & Bezaury-Creel, J. (2021). Prioritization for the conservation of Mexico's cloud forests. *Natural Resources Conservation and Research*, *4(1)*, 7-20. https://doi.org/10.24294/nrcr.v4i1.1550

OECD. (2001). Sustainable development strategies What are they and how can development co-operation agencies support them? *OECD Observer*. https://www.oecd.org/dac/environment-development/1899857.pdf

OECD. (2003). OECD environmental indicators: Development, measurement and use, Reference Paper. *Performance and Information Division*, 37. https://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/24993546.pdf

OMS. (2017). Guidelines for drinking-water quality. https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf?sequence=1

Ortiz, L., A.,, & Vázquez, S., G.,. (2015). Estudios demográficos del Estado de Hidalgo (Primera ed.). Fondo editorial.

Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Yu, B., Klik, A., Jae Lim, K., Yang, J. E., Ni, J., Miao, C., Chattopadhyay, N., Sadeghi, S. H., Hazbavi, Z., Zabihi, M., Larionov, G. A., Krasnov, S. F., Gorobets, A. V., Levi, Y., Erpul, G., Birkel, C., . . . Ballabio, C. (2017). Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. *Scientific reports*, *7(1), 4175*. https://doi.org/10.1038/s41598-017-04282-8

Pande, C. B. (2020). Watershed Management and Development. In Springer (Ed.), *Sustainable Watershed Development: A Case Study of Semi-arid Region in Maharashtra State of India* (pp. 13-26). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47244-3

Paronyan, H., Aldaz, G. L. N., Carballido, R. M., & Sandoval, E. M. S. (2020). Pueblos indígenas, derechos medio-ambientales y sostenibilidad. *Revista digital de Ciencia, Tecnología e Innovación*, *7*, 1287-1296. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8298032

Partida-Sedas, S. (2018). Valoracion de la sustentabilidad del río aguacapa en el municipio de Huatusco, Veracruz COLPOS. Veracruz, México. http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/3022

Pérez-Akaki, P. (2006). Los pequeños productores de café de la región Otomí-Tepehua, su problemática y sus alternativas. Universidad Nacional Autónoma de México. México. http://132.248.9.195/pd2007/0613717/Index.html

Pires, A., Morato, J., Peixoto, H., Botero, V., Zuluaga, L., & Figueroa, A. (2017). Sustainability Assessment of indicators for integrated water resources management. . *Sci Total Environ*, *578*, 139-147. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.217

PNUD. (2019). Informe de Desarrollo Humano Municipal 2010–2015. Transformando México desde lo local. El PNUD en México. https://www.undp.org/es/mexico/publicaciones/idh-municipal-2010-2015

Pontius, R. G., Huffaker, D., & Denman, K. (2004). Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models. *Ecological Modelling*, *179(4)*, 445-461. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.05.010

Post, W. N., & Kwon, K. C. (2000). Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global change biology*, *6*, 317-327. https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00308.x

Potić, I., Mihajlović, L. M., Šimunić, V., Ćurčić, N. B., & Milinčić, M. (2022). Deforestation as a cause of increased surface runoff in the catchment: Remote Sensing and Swat Approach—A case study of southern Serbia. *Frontiers in Environmental Science*, *10, 896404*. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.896404

Pulido Silva. (2020). ¿Qué es la Conservación Basada en Comunidad?. Publicación semestral, Herreriana, Vol. 2, No. 1, 14-17. https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/herreriana/article/view/5498/7268

Priego, A., Bocco, G., Mendoza, M., & Garrido, A. (2010). Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisaje. *Centro de investigaciones en geografia ambiental*. https://doi.org/10.22201/ciga.9789688179239p.2011

Quiñones-Islas, N. S., Lazcano-Escobar, J. F., Ramírez-López, C., & Trejo-Estrada, S. R. (2023). Descriptores de frutos de aguacate en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *14*(4), 603-613. https://doi.org/10.29312/remexca.v14i4.3127

Ramesh, T., Bolan, N. S., Kirkham, M. B., Wijesekara, H., Kanchikerimath, M., Rao, C. S., & Freeman II, O. W. (2019). Soil organic carbon dynamics: Impact of land use changes and management practices: A review. *Advances in agronomy*, *156*, 1-107. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.02.001

Ramírez, M., O.,. (2020). Variación de los escurrimientos en una cuenca debido a efectos antropogénicos y climáticos UNAM. México. http://132.248.9.195/ptd2020/octubre/0804568/Index.html

Ramírez Reyes. (2022). Mercado voluntario de bonos de carbono. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/564602/Mercado_voluntario_de_bonos_de_carbono.pdf

Ramos Bernal, R. N. (2018). Estudio de la susceptibilidad al deslizamiento de laderas en el Estado de Guerrero, México, aplicando Tecnologías de Información Geográfica. Posgrado, Universidad Rey Juan Carlos. Madrid, España. http://hdl.handle.net/10115/15869

Reddy, V. R., Saharawat, Y. S., & George, B. (2017). Watershed management in South Asia: A synoptic review. *Journal of hydrology*, *551*, 4-13. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.05.043

Renard, K. G., Foster GR, Weesles GA, & Porter J. P. (1991). Revised universal soil loss equation. *J Soil Water Conserv*, *46(1)*, 30-33. https://www.tucson.ars.ag.gov/unit/publications/pdffiles/775.pdf

Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/64080530/rusle/ah_703.pdf

Renard, K. G., & Freimund, J. R. (1994). Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of hydrology*, *157(1-4)*, 287-306. https://www.tucson.ars.ag.gov/unit/publications/PDFfiles/942.pdf

Röder, J., Villavicencio, G., R.,, & Zarazúa, V., P.,. (2006). Aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo “USLE” en SIG para estimar riesgo potencial de erosión en el área protegida “Sierra de Quila”. Universidad de Guadalajara. http://www.ibugana.cucba.udg.mx/sites/default/files/publicaciones1/avances/avances_2006/Agronomia/RoederJan/Roeder_Jan.pdf

Rodríguez Barba, F. (2016). México y la Agenda para el Desarrollo Sostenible 2030 de la ONU. *Chroniques des Amériques*, *16 (1)*. https://ceim.uqam.ca/db/IMG/pdf/cda_volume_16_numero_1.pdf

Rodríguez-Ramírez, E. C., Sánchez-González, A., & Ángeles-Pérez, G. (2018). Relationship between vegetation structure and microenvironment in Fagus grandifolia subsp. mexicana forest relicts in Mexico. *Journal of Plant Ecology*, *11(2)*, 237-247. https://doi.org/10.1093/jpe/rtw138

SADER. (2023). Nuestra Riqueza el ganado Cebú. México: Gobierno de México https://www.gob.mx/agricultura/articulos/nuestra-riqueza-el-cebu

Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. (Vol. I). International journal of services sciencies.

San Bartolo Tutotepec. (2022). Segundo informe de gobierno municipal, San Bartolo Tutotepec. https://sanbartolo.gob.mx/SANBARTOLO/wp-content/TRANSPARENCIA/DOCS/Informe_gobierno/SEGUNDO_INFORME_DE_GOBIERNO_MUNICIPAL.pdf

Sartori, M., Philippidis, G., Ferrari, E., Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L., & Panagos, P. (2019). A linkage between the biophysical and the economic: Assessing the global market impacts of soil erosion. *Land use policy*, *86*, 299-312. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.014

SE. (2015). NMX-AA-042-SCFI-2015. Análisis de agua - enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli – método del número más probable en tubos múltiples. Secretaría de economía. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166147/nmx-aa-042-scfi-2015.pdf.

Secretaría General. (2024). Ley General de Desarrollo Social. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGDS.pdf

SEDATU. (2013). Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Tenango de Doria, Hidalgo. http://tenangodedoria.hidalgo.gob.mx/descargables/ATLAS.pdf

SEMARNAT. (2002). NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf

SEMARNAT. (2010). NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf

SEMARNAT. (2013). Indicadores de calidad del agua. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2013/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet28b9.html

SEMARNAT. (2018). Estadísticas ambientales. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2018/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServletbd61.html

SEMARNAT. (2021). NOM-127-SSA1-2021. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0

SGM. (2004). Carta geológico-minera, Pahuatlán F14-D73, Hidalgo, Veracruz y Puebla. Escala 1:50 000. Servicio Geológico Mexicano. http://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas_Online/geologia/1814_F14-D73_GM.pdf

Sharpley, A. N., & Williams, J. R. (1990). EPIC-Erosion/Productivity Impact Calculator: 1. Model Documentation: 1639. http://agrilife.org/epicapex/files/2015/05/EpicModelDocumentation.pdf

SHCP. (2025a). Proyecto de presupuesto de egresos de la federación 2025. Estrategia programática. Ramo 16: Medio Ambiente y Recursos Naturales. https://www.ppef.hacienda.gob.mx/work/models/GYPPF25Q/PPEF2025/lurbgnma/docs/16/r16_ep.pdf

SHCP. (2025b). Proyecto de presupuesto de egresos de la federación 2025. Estrategia programática. Ramo 20: Bienestar. https://www.ppef.hacienda.gob.mx/work/models/GYPPF25Q/PPEF2025/lurbgnma/docs/20/r20_ep.pdf

Shimadzu, E. G. (s.f.). TOC Application Handbook. No. SCA-130-513. TOC determination with solid module SSM-5000A. https://www.ssi.shimadzu.com/sites/ssi.shimadzu.com/files/pim/pim_document_file/ssi/applications/application_note/16415/TOC%20Application%20-%20TOC%20%20%20TOC%20Application%20Handbook%20Version%202-PT.pdf.

Silva, O. (2014). Conservación de Suelos y Agua. Manual de Prácticas. Conceptos y procedimientos para la evaluación y conservación de la cuenca del río Güey. Universidad Central de Venezuela. https://www.researchgate.net/profile/Oscar-Silva-6/publication/268523270_Conservacion_de_Suelos_y_Agua_Manual_de_Practicas_Conceptos_y_pro

cedimientos_para_la_evaluacion_y_conservacion_de_la_cuenca_del_rio_Guey/links/546fb8a00cf2d67fc0311bf6/Conservacion-de-Suelos-y-Agua-Manual-de-Practicas-Conceptos-y-procedimientos-para-la-evaluacion-y-conservacion-de-la-cuenca-del-rio-Gueey.pdf

Singh, M. C., Sur, K., Al-Ansari, N., Arya, P. K., Verma, V. K., & Malik, A. (2023). GIS integrated RUSLE model-based soil loss estimation and watershed prioritization for land and water conservation aspects. *Frontiers in Environmental Science*, *11, 1136243*. https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1136243

SNIM. (2010a). Economía. http://www.snim.rami.gob.mx/

SNIM. (2010b). Índice de Desarrollo Humano Municipal 2010. http://www.snim.rami.gob.mx/

SNIM. (2010c). Índice de Marginación. http://www.snim.rami.gob.mx/

Soares, D., & García García, A. (2017). La cuenca del Río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático. https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/la-cuenca-rio-usumacinta/files/assets/common/downloads/publication.pdf

Srivastava, R. K., Sharma, H. C., & Raina, A. K. (2010). Suitability of soil and water conservation measures for watershed management using geographical information system. *Soil and water conservation*, *9(3)*. http://indiaenvironmentportal.org.in/files/GIS.pdf

SWAMP. (s.f.-a). Folleto Informativo 3.1.1.0 Oxígeno Disuelto (OD). Surface Water Ambient Monitoring Program (SWAMP). https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110sp.pdf

SWAMP. (s.f.-b). Folleto Informativo 3.1.3.0. Conductividad electrica/Salinidad. Surface Water Ambient Monitoring Program (SWAMP). https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130sp.pdf

Teague, R., & Kreuter, U. (2020). Managing Grazing to Restore Soil Health, Ecosystem Function, and Ecosystem Services. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *4*. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.534187

Toledo-Aceves, T., Günter, S., Guariguata, M. R., García-Díaz, M., & Zhunusova, E. (2022). Financial Revenues from Timber Harvesting in Secondary Cloud Forests: A Case Study from Mexico. *Forests*, *13(9)*. https://doi.org/10.3390/f13091496

Torrecillas Núñez, C. E. (2016). Diseño metodológico de manejo integral para la sustentabilidad de cuencas: caso de estudio la cuenca de los Twin Streams, Auckland, Nueva Zelanda Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. https://docplayer.es/84140475-Diseno-metodologico-de-manejo-integral-para-la-sustentabilidad-de-cuencas-caso-de-estudio-la-cuenca-de-los-twin-streams-auckland-nueva-zelanda.html

Townsend, V., J. (2022, junio). Unidad de análisis, población y muestreo. *Taller de tesis-Orientaciones metodológicas en la elaboración de trabajos de investigación*. https://www.thesisworkshop.com/p/poblacion-y-muestra.html

USDA. (2012). Multi-Point Texture Triangle Excel Version. Texture and Structure - Soil Health Guide. In N. R. C. Service & N. R. C. Service (Eds.). USA: USDA.

USGS. (s.f.). *EarthExplorer*. https://earthexplorer.usgs.gov/

Vargas González, P. (2011). Pobreza, migración y desempleo: mujeres En la región Otomí-Tepehua de Hidalgo. *Nueva antropología*, *Vol. 24, No. 75*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-06362011000200006

Vela, C., & del Busto, E. (2022). Soluciones basadas en la naturaleza para el agua en cooperación al desarrollo. Experiencias realizadas y herramientas de análisis. https://ongawa.org/wp-content/uploads/2022/03/Soluciones-basadas-en-la-naturaleza_INFORME_v07_br.pdf

Vela Correa, G. (2020). Manual de técnicas para el análisis de suelos, UAM-X. In U. A. Metropolitana (Ed.), *División de ciencias biológicas y de la salud. Departamento de "El Hombre y su Ambiente". Laboratorio de Edafología*. México.

Vela Correa, G., López Blanco, J., & Rodríguez Gamiño, M. D. L. (2012). Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México. *Investigaciones Geográficas*, *77*, 18-30. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112012000100003&lng=es&tlng=es

Villavicencio, N., M.G.,, & Pérez, E., B.E.,. (2005). Guía de la flora útil de la Huasteca y la zona de Otomí Tepehua, Hidalgo. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Od7Yhva25BMC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Sierra+Otom%C3%AD+Tepehua&ots=nd3olNfXLr&sig=olnqzgckg4o3b1bHotC8cGMsiLk#v=onepage&q&f=false

Wackerly, D. D., Mendenhall, W. I., & Scheaffer, R. L. (2010). Estadística matemática con aplicaciones. Estadística matemática con aplicaciones. (Thomson/Brooks-Cole, Ed. Séptima ed.). CEBGAGE Learning. https://www.cimat.mx/ciencia_para_jovenes/bachillerato/libros/%5BWackerly,Mendenhall,Scheaffer%5DEstadistica_Matematica_con_Aplicaciones.pdf (Mathematical statistics with applications)

Wang, B., Zeng, Y., Li, M., Chen, D., Wang, H., Wang, Y., & Fang, N. (2022). Evaluation of the driving effects of socio-economic development on soil erosion from the perspective of prefecture-level. *Frontiers in Environmental Science*, *10, 1066889*. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1066889

Wang, G., Mang, S., Cai, H., Liu, S., Zhang, Z., Wang, L., & Innes, J. L. (2016). Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends. *Journal of Forestry Research*, *27(5)*, 967-994. https://doi.org/10.1007/s11676-016-0293-3

Weil y Brady. (2016). Figure 01.02 Soil ecosystem function concepts example of full color illustrations Pearson Education. https://www.researchgate.net/publication/301551818_Figure_0102_Soil_ecosystem_function_concepts_example_of_full_color_illustrations_in_15th_edition

Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. https://doi.org/10.1007/s10666-004-6595-4

WWAP/ONU-Agua. (2018). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261605_spa

Zarta Ávila, P. (2018). La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. *Tabula Rasa*(28), 409-423. https://doi.org/10.25058/20112742.n28.18

Zhang, H., Wei, J., Yang, Q., Baartman, J. E. M., Gai, L., Yang, X., Li, S., Yu, J., Ritsema, C. J., & Geissen, V. (2017). An improved method for calculating slope length (λ) and the LS parameters of the Revised Universal Soil Loss Equation for large watersheds. *Geoderma*, *308*, 36-45. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.006

11. ANEXO A

Fecha:_____

Localidad donde vive: _____

Genero: M:_____ F:_____

1 ¿Habla alguna lengua originaria?

Si _____ No _____

2 ¿A qué se dedica cotidianamente?

Sector:

Agricultura _____ Comercio _____ Estudiante_____

Servicios _____ Gobierno _____ Otro _____

Tipos de servicios: hotelería, restaurantes, alimentos, seguridad, limpieza

3 ¿Sabe que productos se pueden aplicar para ayudar a la producción de cultivos?

Si _____ No _____ *Si la respuesta es sí, indique cual:*

Abono natural _____ Fertilizante _____ Herbicidas_____ Plaguicidas _____

Otro _____

4 ¿Cree que las tierras de cultivo necesitan ayuda para mejorar?

Si _____ No _____

5 ¿Conoce de alguna actividad o práctica para mejorar la tierra de cultivo?

Si _____ No _____

Quema_____ Dejar residuos de cosecha _____ Dejar descansar la tierra_____

Cambiar de cultivo entre años de siembra _____ Otro _____

6 ¿Cree que es importante no tirar basura?

Si _____ No _____

7 ¿Qué hace con la basura?

La entierra _____ La quema _____ Camión recolector de basura _____

Otro _____

¿Quién le enseño a hacerlo? _____

8 ¿Cree que es importante cuidar el agua?

Si _____ No _____

9 ¿Qué hace para cuidar el agua?

Recolecta _____ Reúsa _____ Ahorra _____ Otro _____

¿Quién le enseño a hacerlo? _____

10 ¿De dónde viene el agua que consume?

Manantial _____ Pozo _____ Arroyo _____ Otro _____

11 ¿Realiza algo al agua antes de beberla?

Si _____ No _____ *Si la respuesta es sí, indique cual:*

Hervirla _____ Clorarla _____ Otro _____

12 ¿Cree que el agua que llueve es limpia?

Si _____ No _____ ¿Por qué? _____

_____

13 ¿Cree que el agua que escurre se lleva el suelo?

Si _____ No _____ *Si la respuesta es sí:*

¿Qué puede hacer para evitarlo?

_____

_____

14 ¿Cree que es importante cuidar del medio ambiente?

Si _____ No _____

15 ¿Ha participado en algún programa o curso de cuidado del medio ambiente?

Si _____ No _____ *Si la respuesta es sí indique cual, y aplique las preguntas 16 y 17.*

Limpieza _____ Plantar arboles _____ Otro _____

16 ¿Quién impartió el curso?

Escuela _____ Gobierno _____ Otro _____

17 ¿Considera que le fue útil la información obtenida en estos programas o cursos?

Si _____ No _____

18 ¿Está de acuerdo con que existan reglas para el uso de la tierra y el agua?

Si _____ No _____

19 ¿Conoce la Reserva Medio Monte?

Si _____ No _____

20 ¿Está de acuerdo que existan zonas protegidas como las reservas naturales?

Si _____ No _____ *Si la respuesta es sí:*

¿Por qué?

_____

21 ¿Está de acuerdo que existan zonas turísticas en zonas naturales?

Si _____ No _____

22 ¿Sabe cuál árbol es originario de su localidad?

Si _____ No _____ *Si la respuesta es sí, ¿Cuál?:*

Aile _____ Haya _____ Otro _____

23 ¿Participa de alguna celebración/fiesta que promueva o enseñe el cuidado del medio ambiente?

Si _____ No _____ *Si la respuesta es sí, indique cuales y que tipo:*

Conservación de:

Agua _____ Suelo _____ Plantas _____ Animales _____

¿Qué tipo de celebración?

Tradicional _____ Católica _____

12. ANEXO B

Anexo 1. Índice de Fragilidad Ambiental (IFA)

Parámetros para el mapa de Susceptibilidad de Deslizamiento (SD)

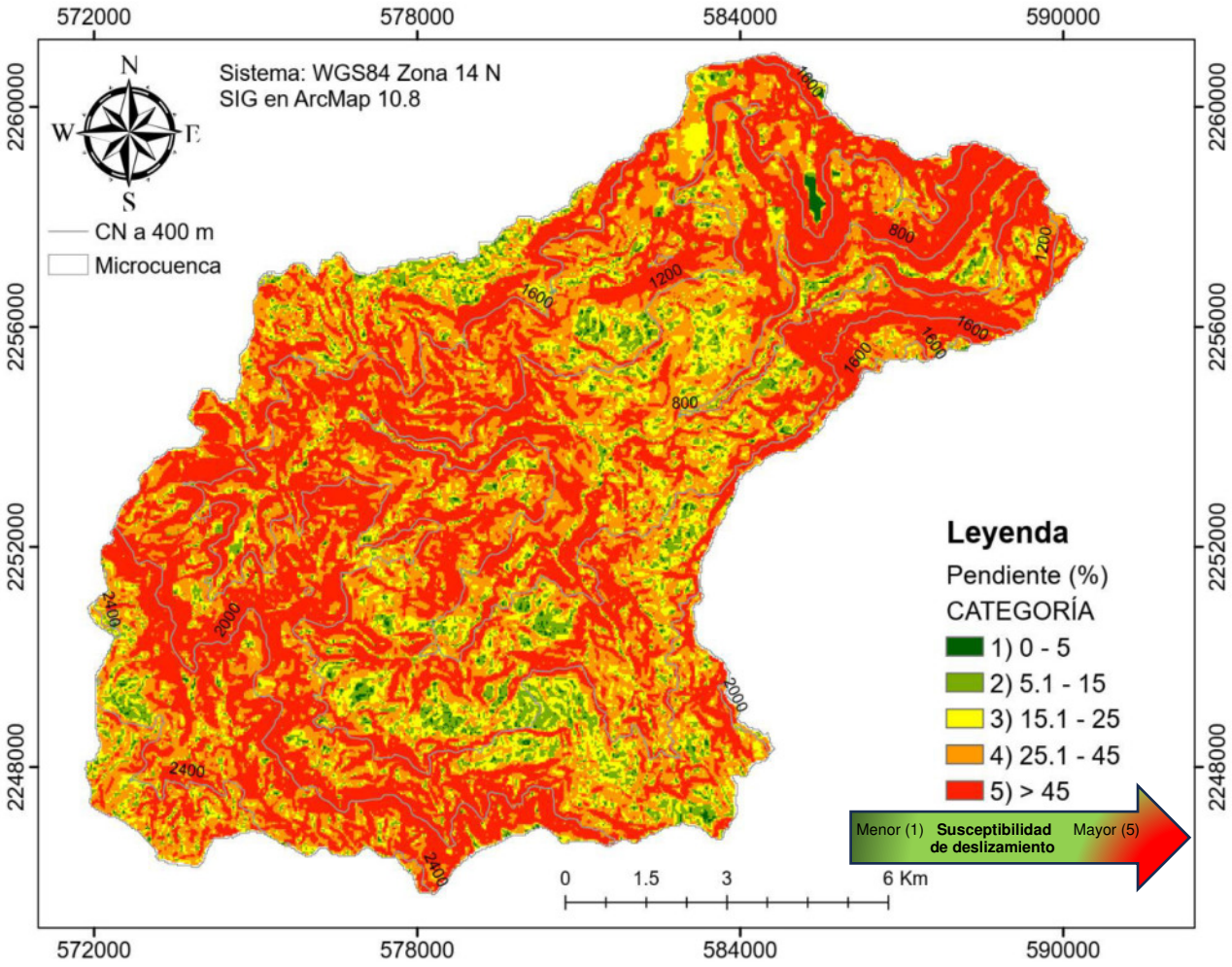


Figura A1.1 Inclinación de la pendiente en porcentaje. Elaboración propia con datos de USGS (s.f.).

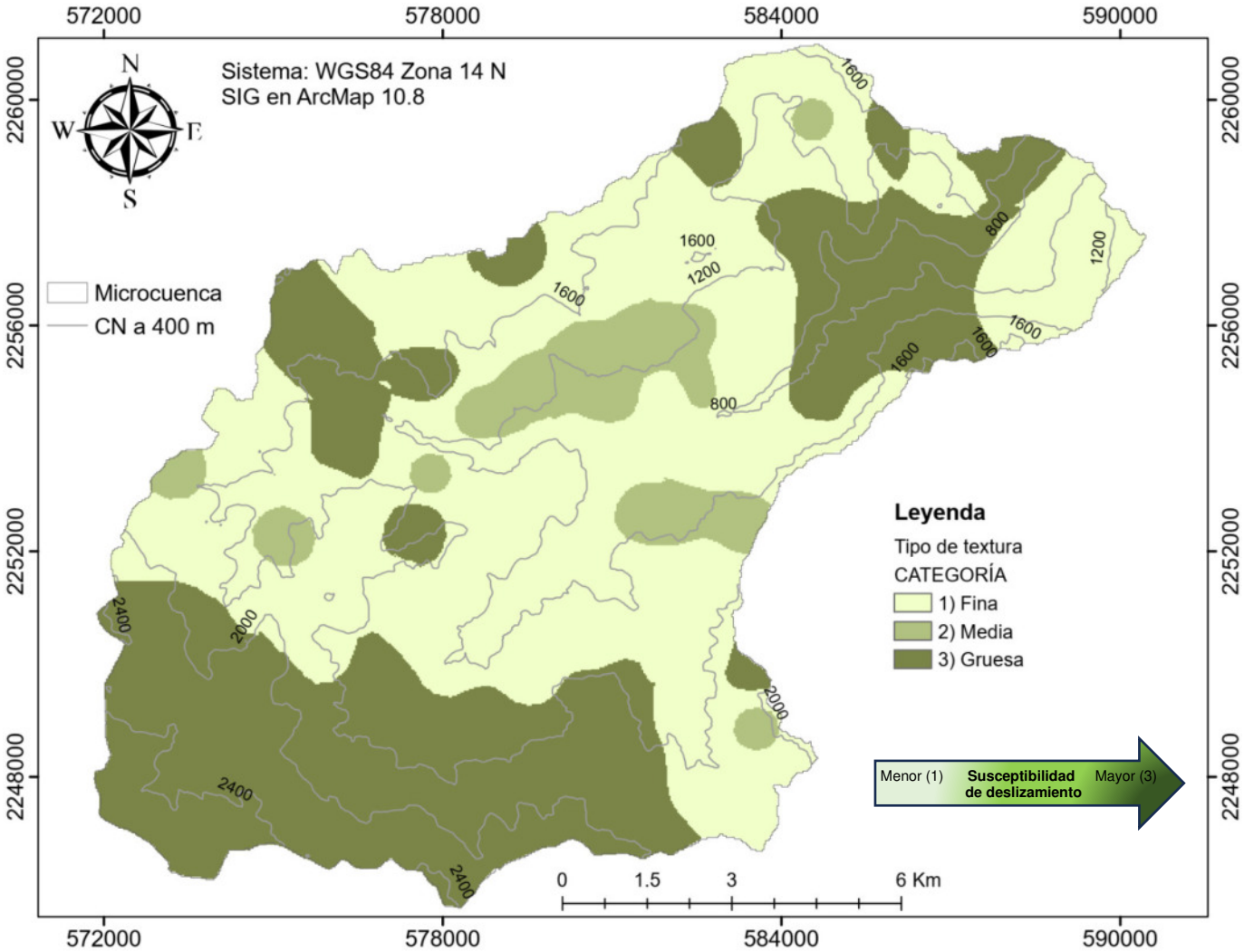


Figura A1.2 Tipo de textura del suelo. Categorías: 1) Fina (>35% de arcilla), 2) Media (suelos francos), 3) Gruesa (>65% de arena). Elaboración propia.

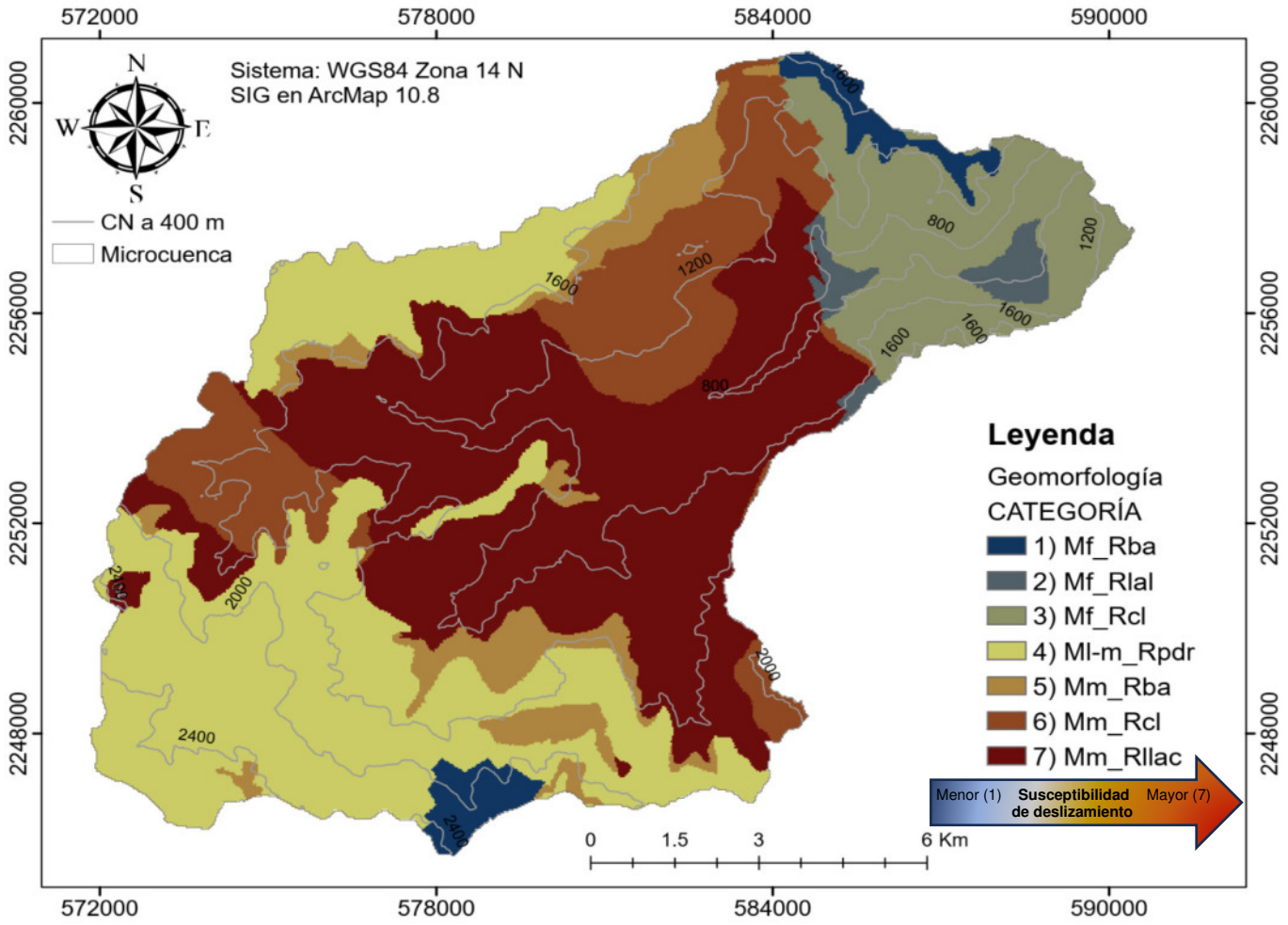


Figura A1.3 Geomorfología. Categorías: 1) Montañas medianamente diseccionadas con lutita, limolita, arenisca y coluvión (Mf_Rba), 2) Montañas medianamente diseccionadas con caliza y lutita (Mf_Rlal), 3) Montañas medianamente diseccionadas con basalto y andesita (Mf_Rcl), 4) Montañas de ligera a medianamente diseccionadas con roca piroclástica, dacita y riolita (Ml-m_Rpdr), 5) Montañas fuertemente diseccionadas con caliza y lutita (Mm_Rba), 6) Montañas fuertemente diseccionadas con lutita, arenisca y limolita (Mm_Rcl), 7) Montañas fuertemente diseccionadas con roca piroclástica, basalto y andesita (Mm_Rllac). Elaboración propia con datos de USGS (s.f.) y SGM (2004).

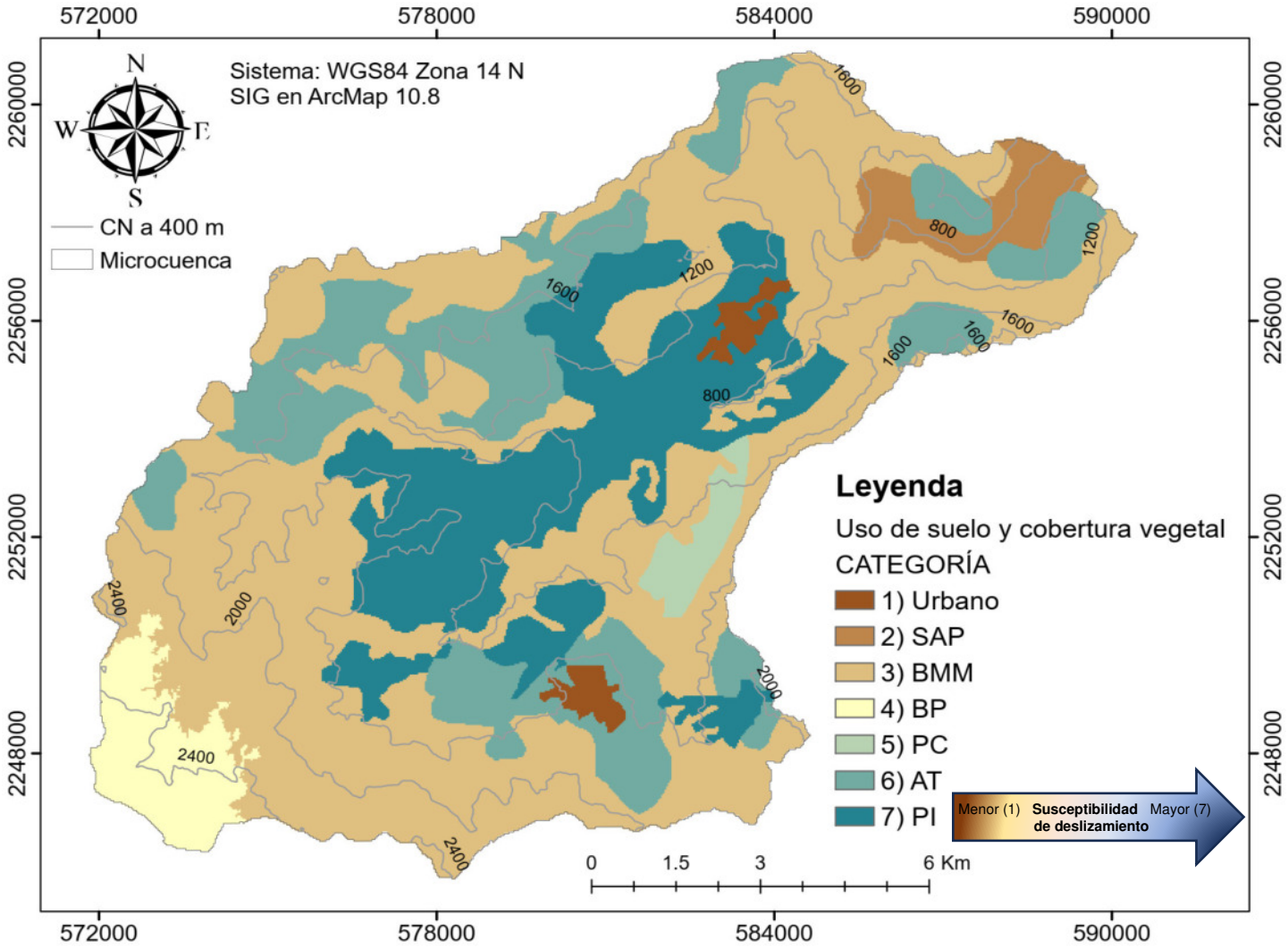


Figura A1.4 Tipos de uso de suelo y cobertura vegetal. Categorías: 1) Urbano, 2) Selva Alta Perennifolia (SAP), 3) Bosque Mesófilo de Montaña (BMM), 4) Bosque de Pino (BP), 5) Pastizal Cultivado (PC), 6) Agricultura de Temporal (AT), 7) Pastizal Inducido (PI). Elaboración propia con datos de INEGI (2021) y USGS (s.f.).

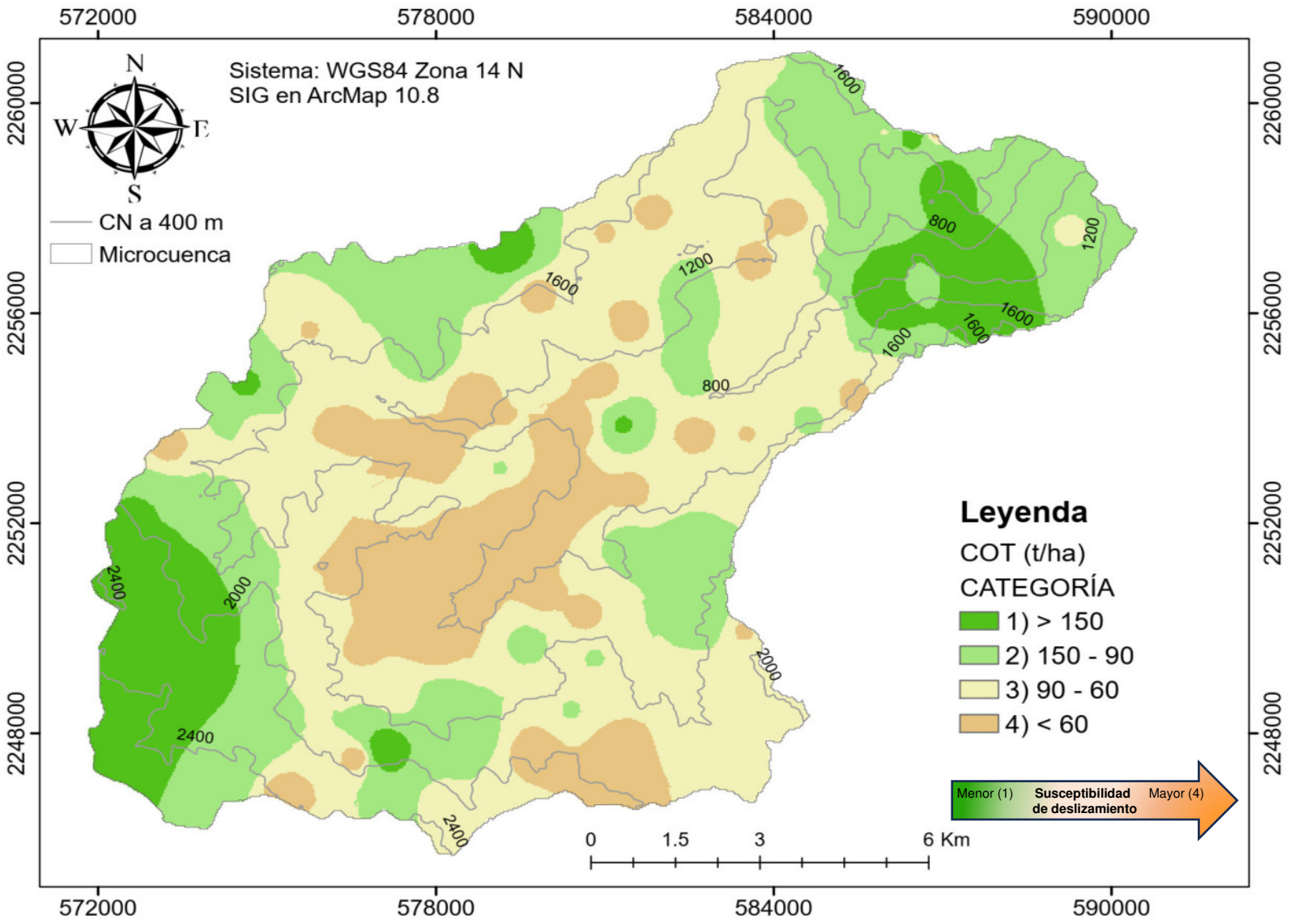


Figura A1.5 Carbono Orgánico Total del suelo (COT, t/ha). Categorización según Vela Correa et al. (2012).

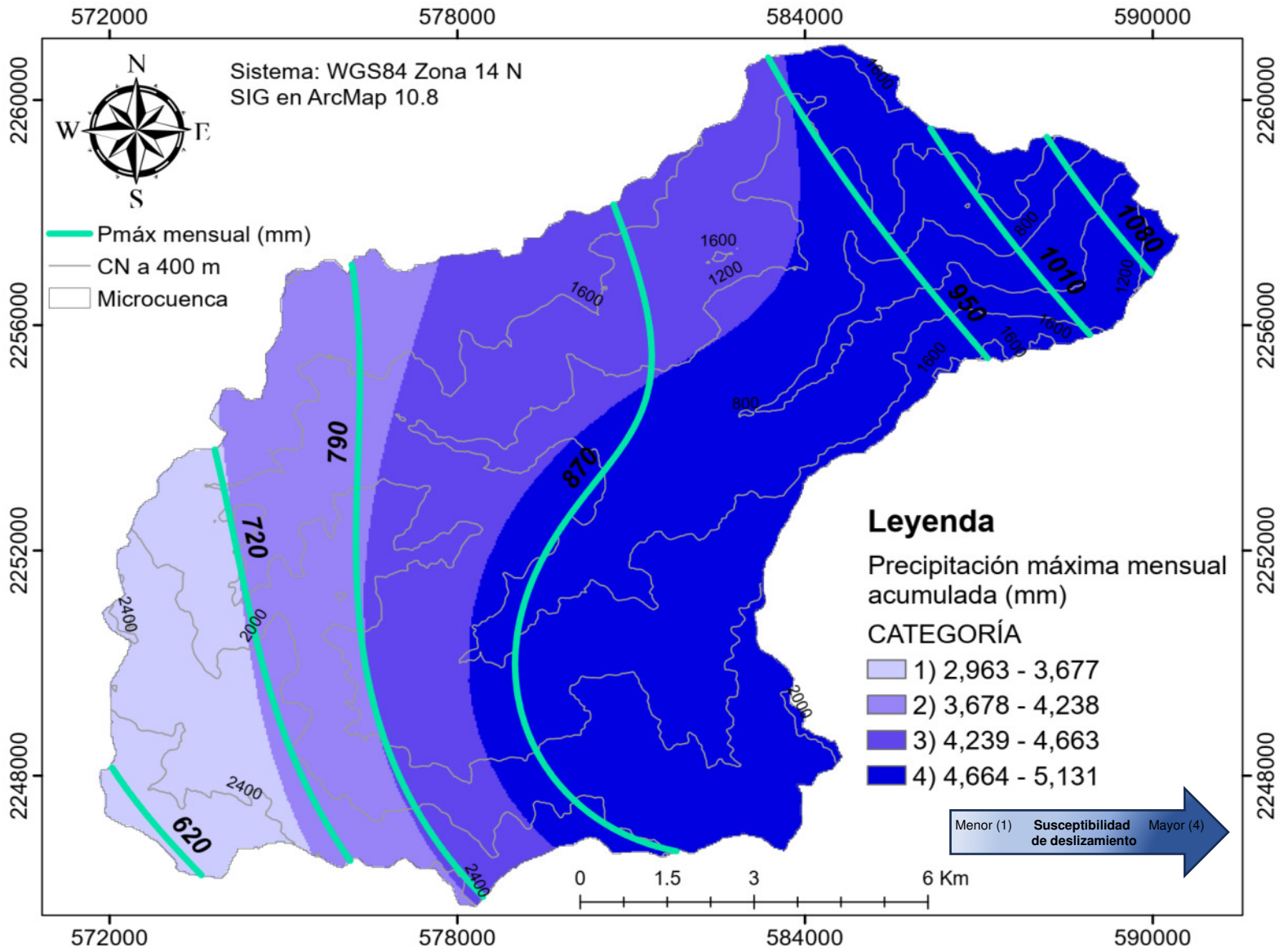


Figura A1.6 Precipitación máxima mensual (Pmáx mensual) acumulada en milímetros (mm). Elaboración propia con datos de CONAGUA (2010).

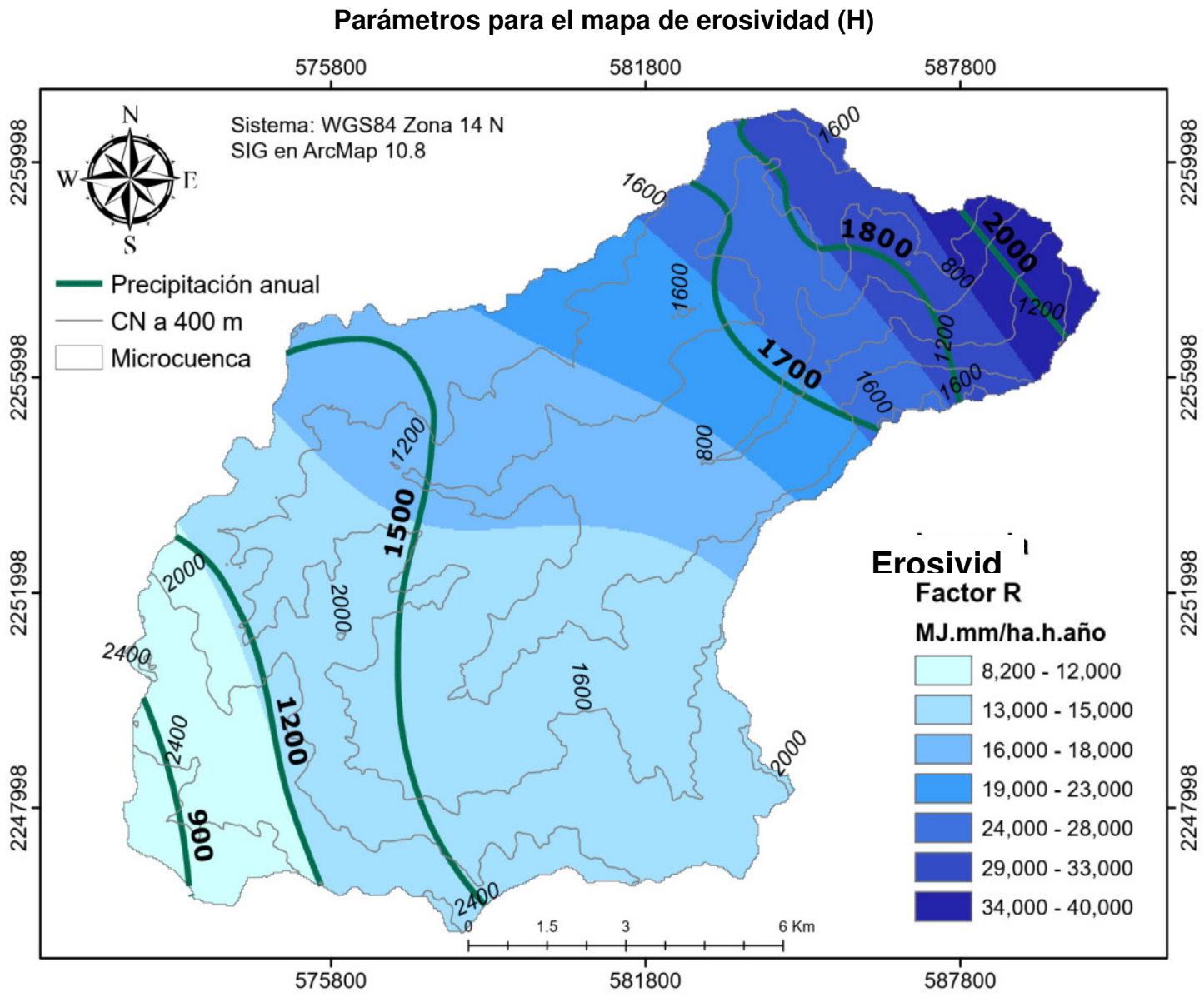


Figura A1.7 Erosividad (MJ.mm/ha.h.año) y precipitación anual (mm). Elaboración propia con datos de CONAGUA (2010).

Parámetros para el mapa de erodabilidad (E)

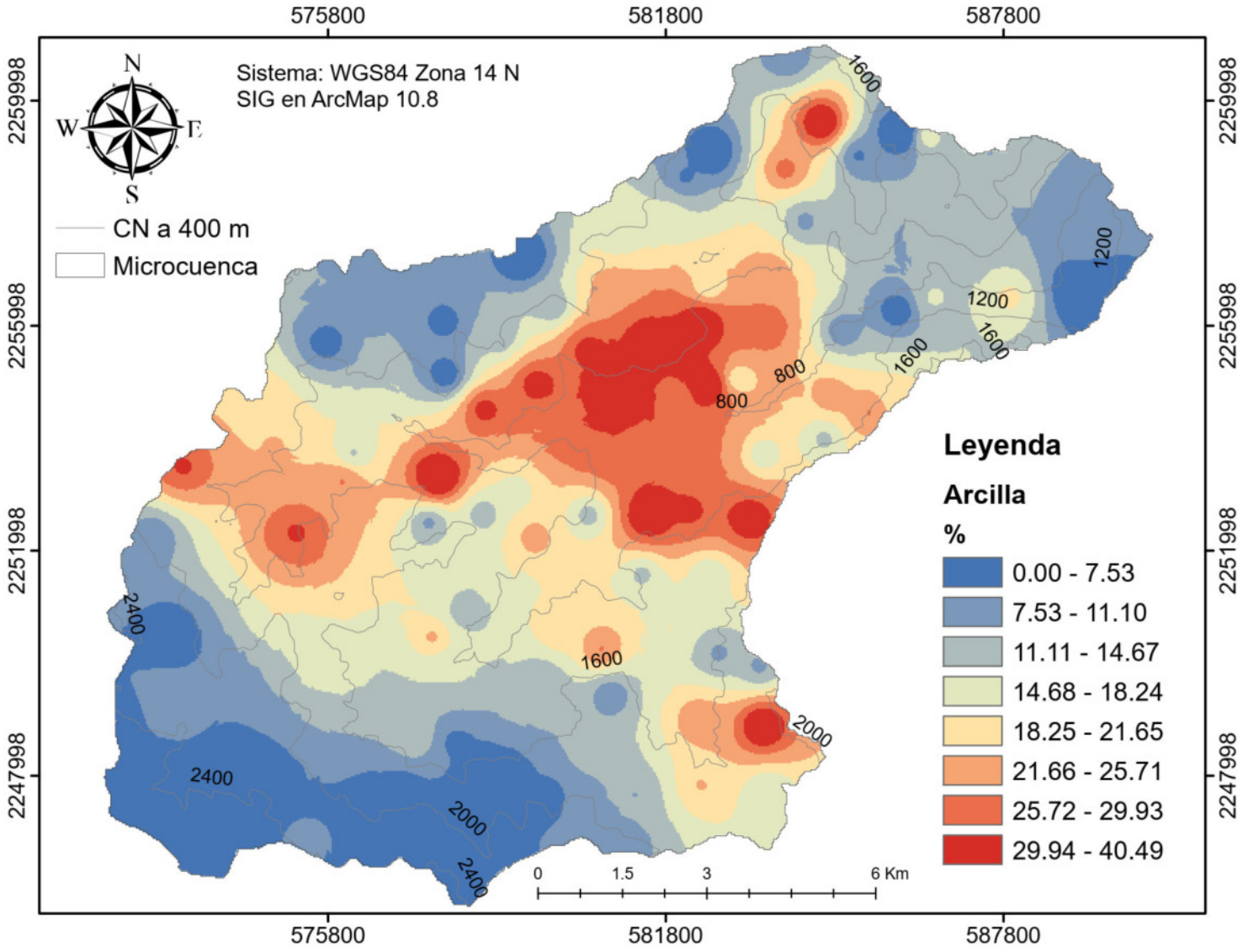


Figura A1.8 Contenido de arcilla en porcentaje. Elaboración propia.

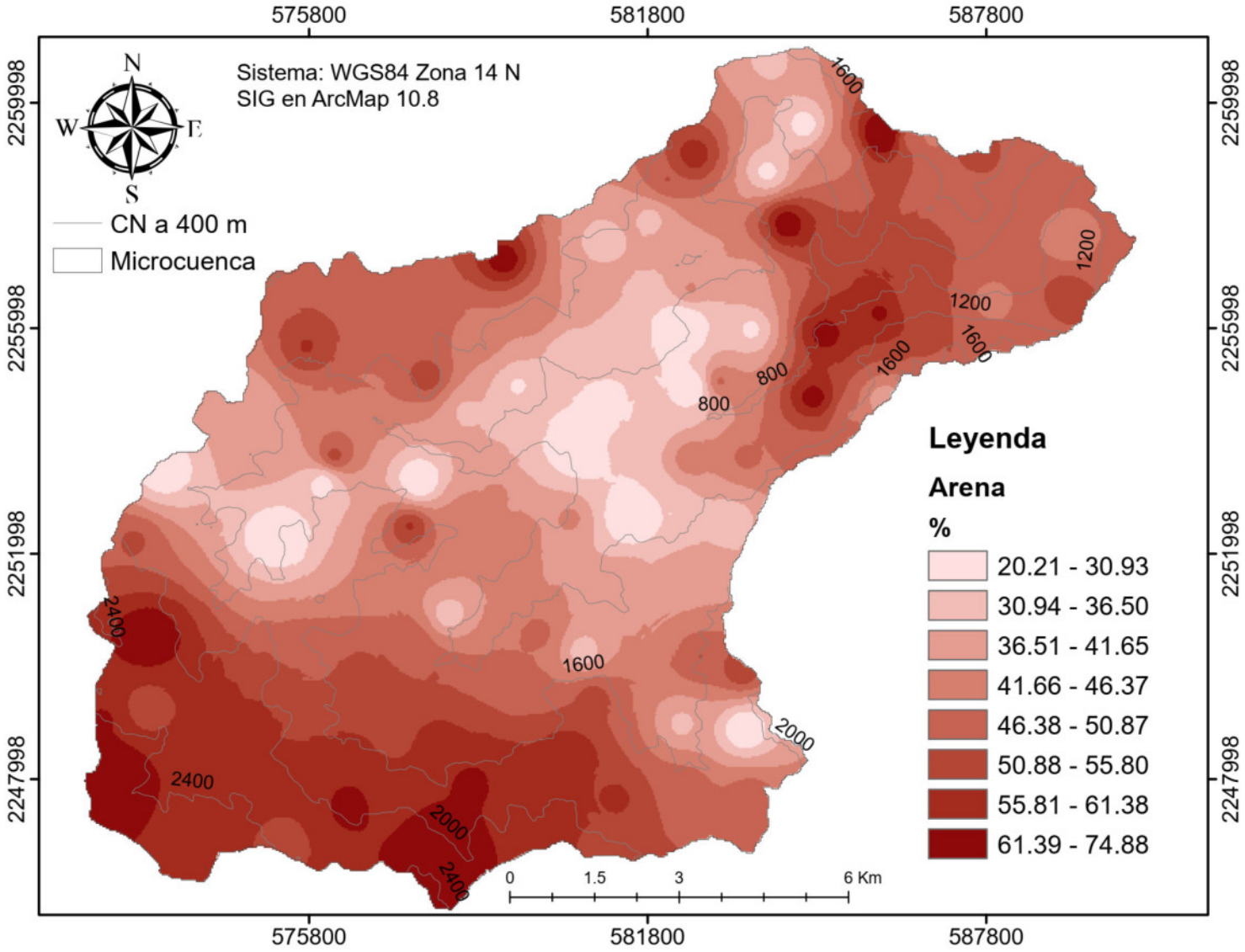


Figura A1.9 Contenido de arena en porcentaje. Elaboración propia.

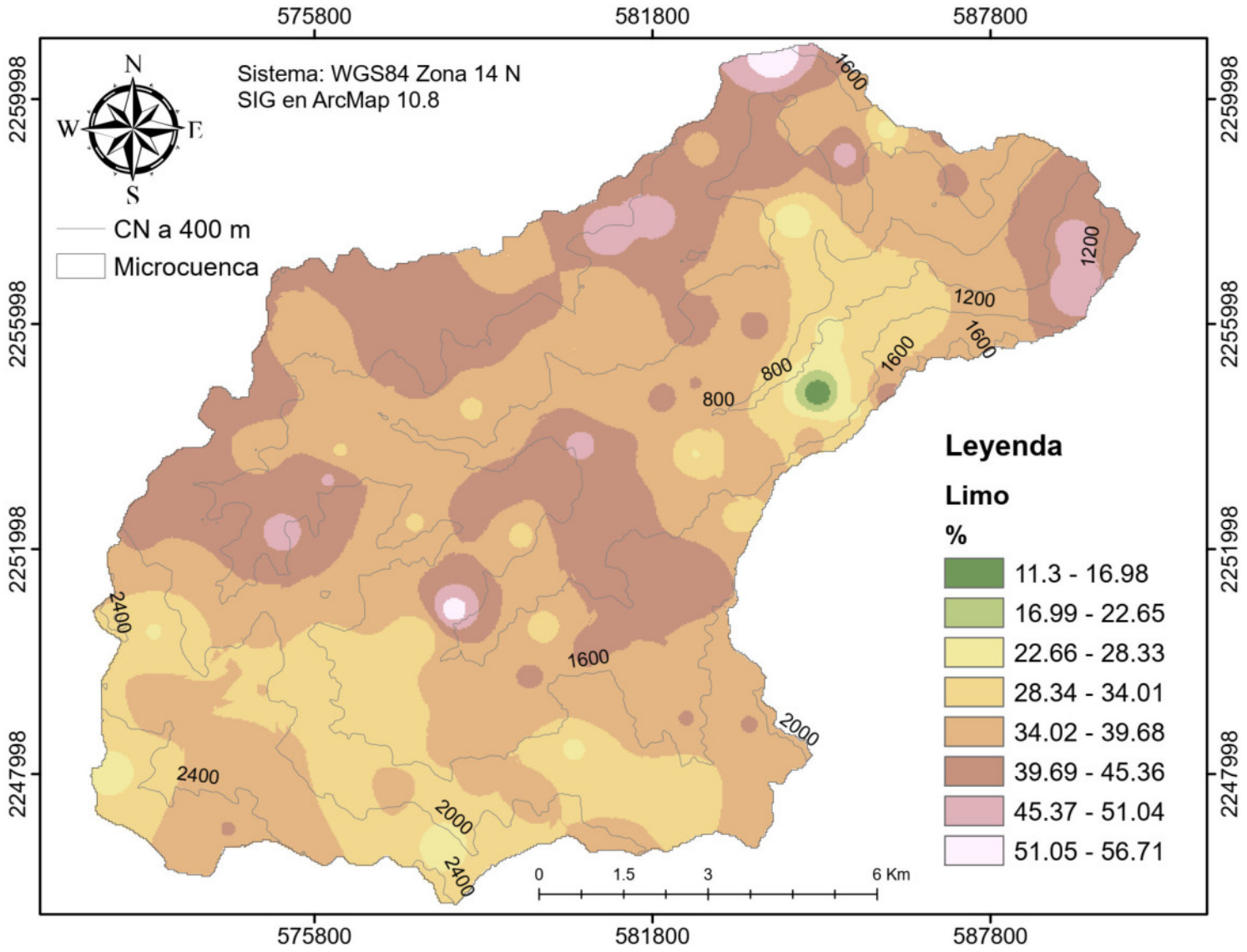


Figura A1.10 Contenido de limo en porcentaje. Elaboración propia.

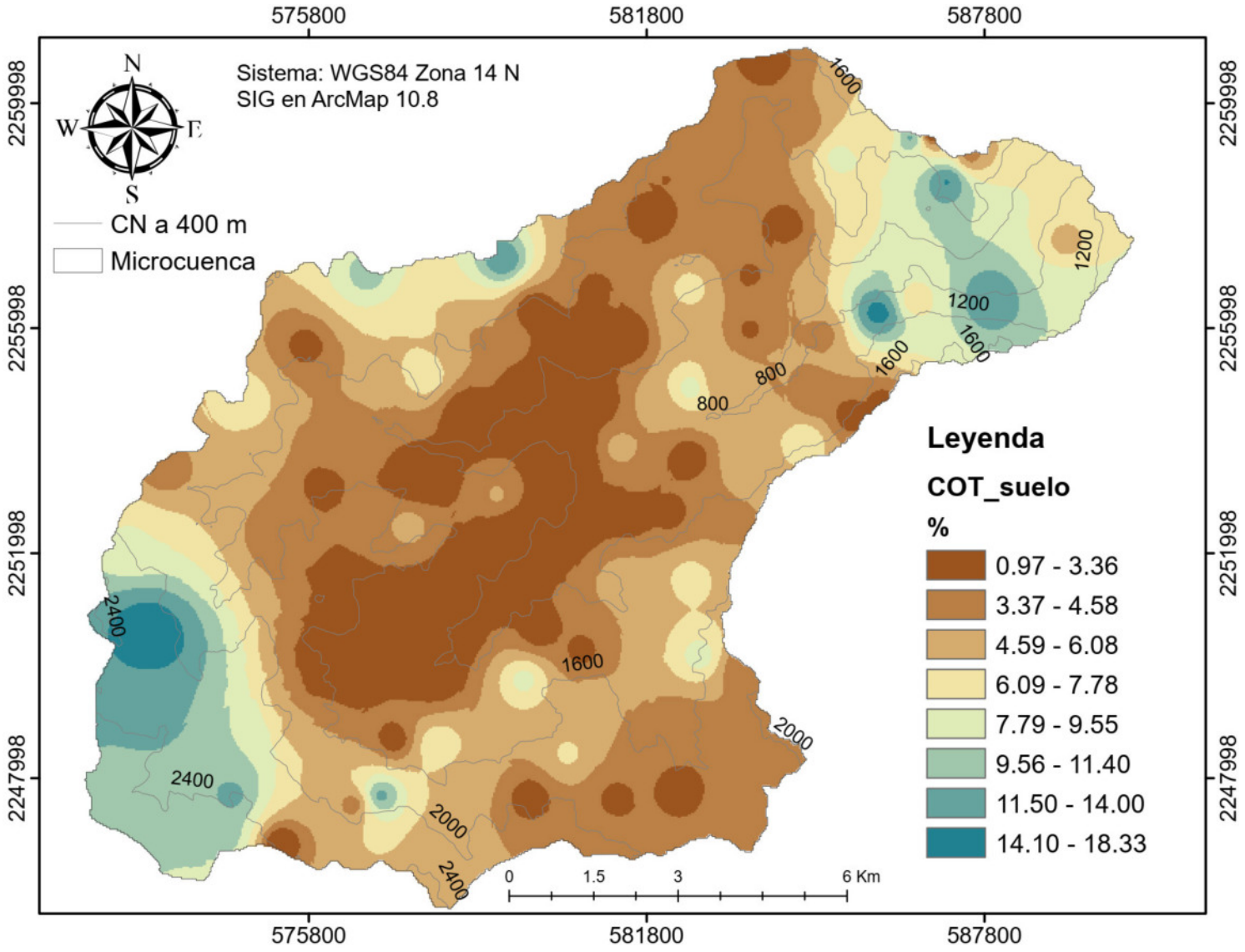


Figura A1.11 Contenido de carbono orgánico total del suelo (COT_suelo) en porcentaje. Elaboración propia.

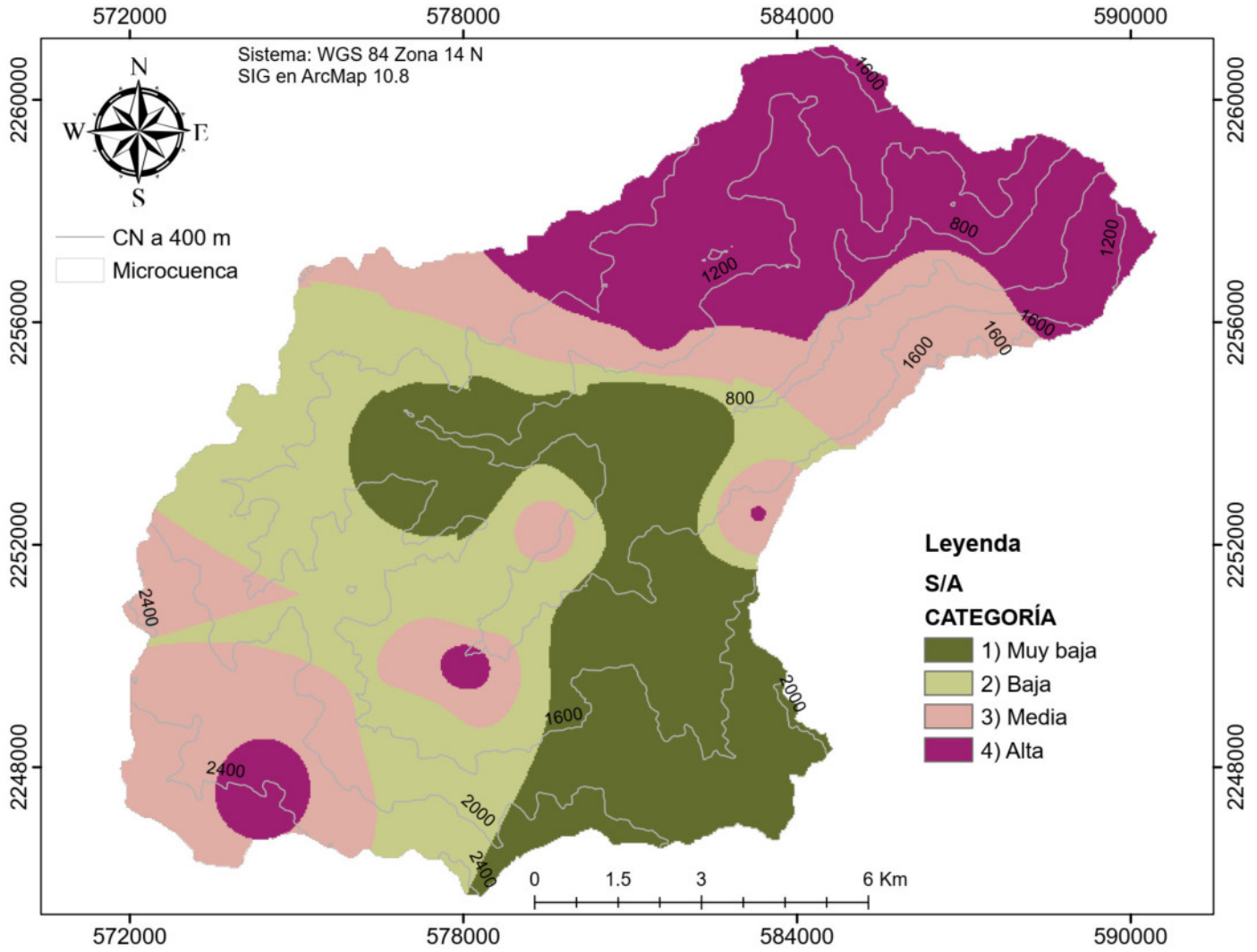


Figura A1.12 Relación sílice y alúmina (S/A, adimensional). Categorías: 1) Muy baja (6.40 – 14.37), 2) Baja (5.92 – 6.39), 3) Media (5.27 – 5.29), 4) Alta (3.25 – 5.26). Elaboración propia.

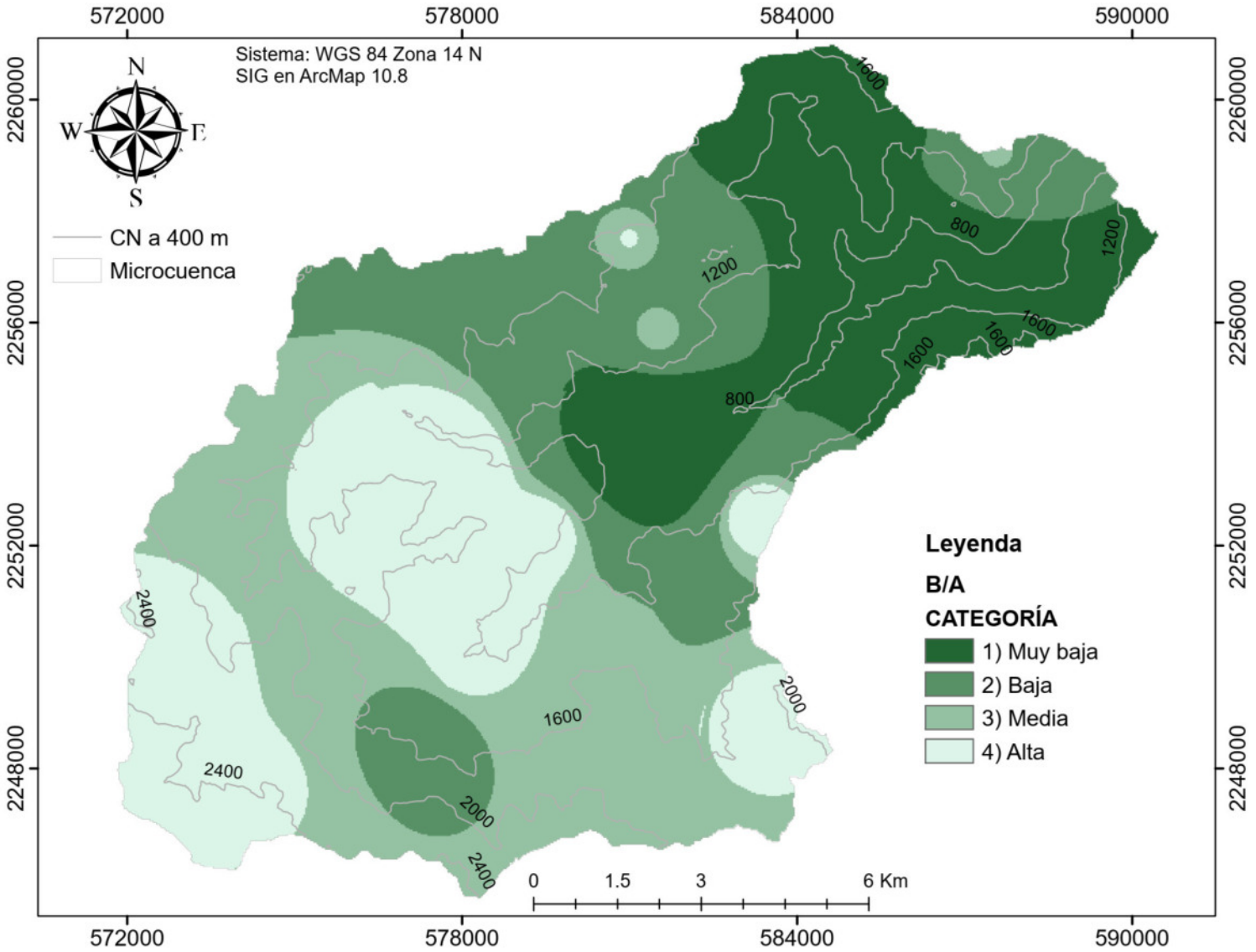


Figura A1.13 Relación suma de bases y alúmina (B/A, adimensional). Categorías: 1) Muy baja (0.76 – 1.86), 2) Baja (0.48 – 0.75), 3) Media (0.42 – 0.47), 4) Alta (0.19 – 0.41). Elaboración propia.

Anexo 2. Índice de Calidad del Suelo (ICS)

Mapas categorizados para los parámetros de Impacto Alto (IA) en la fertilidad del suelo

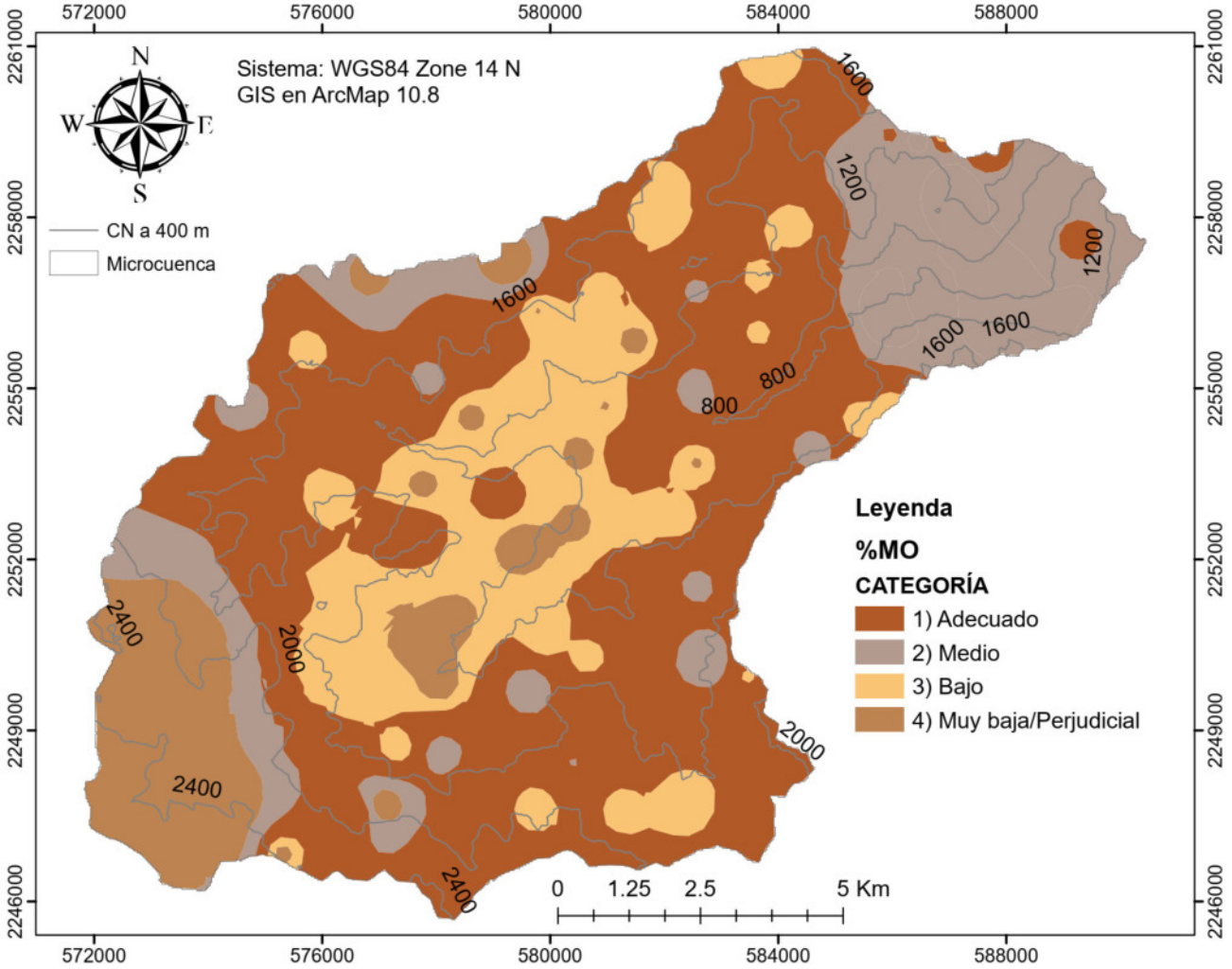


Figura A2.1 Contenido de Materia Orgánica en porcentaje (%MO). Categorías: 1) Adecuado (6.10 – 10.90), 2) Medio (11 – 16), 3) Bajo (4.10 – 6), 4) Muy bajo/Perjudicial (<4, >16.10). Categorización según SEMARNAT (2002) y Partida-Sedas (2018).

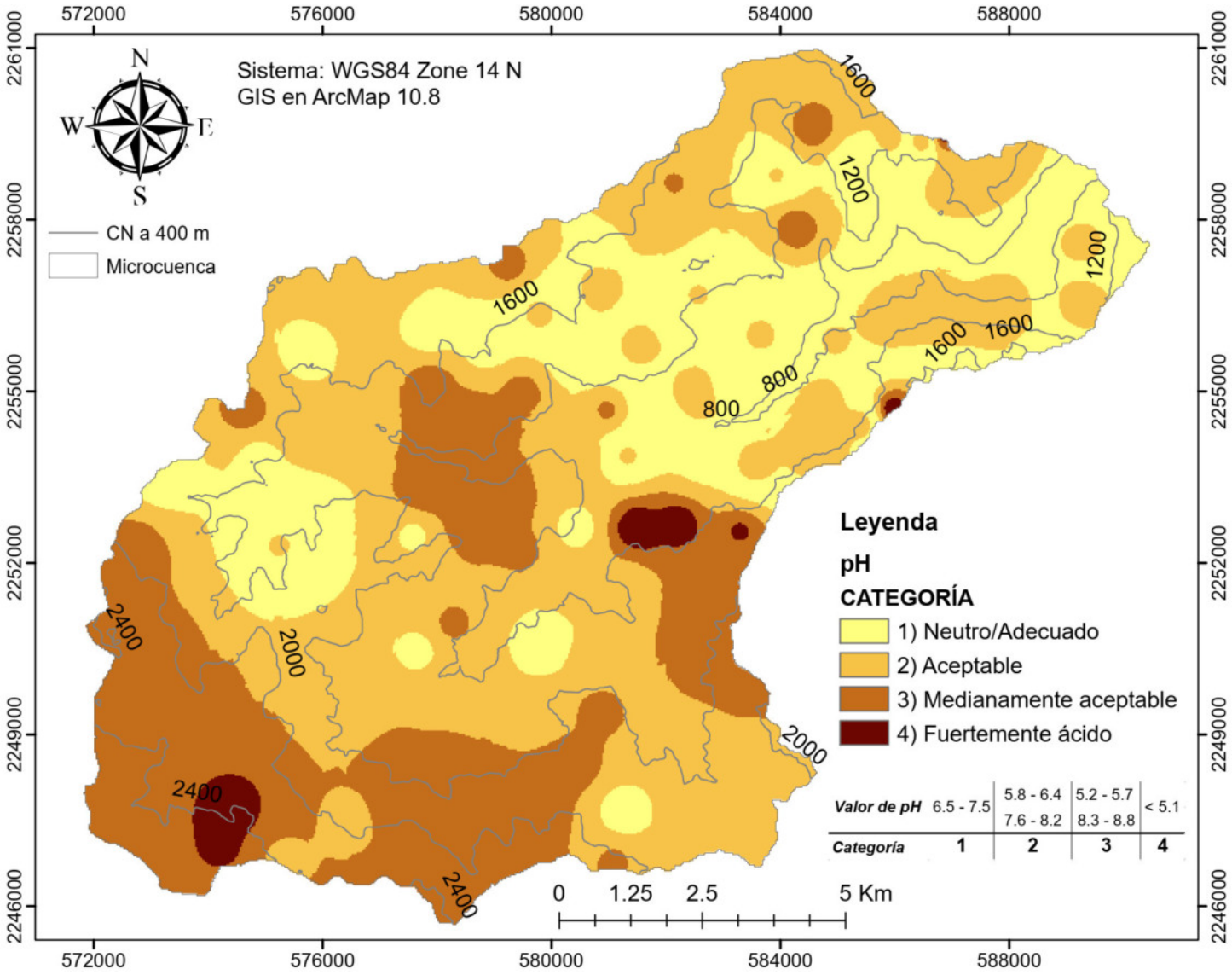


Figura A2.2 Potencial de hidrogeno en agua (pH). Categorización según SEMARNAT (2002) y Partida-Sedas (2018).

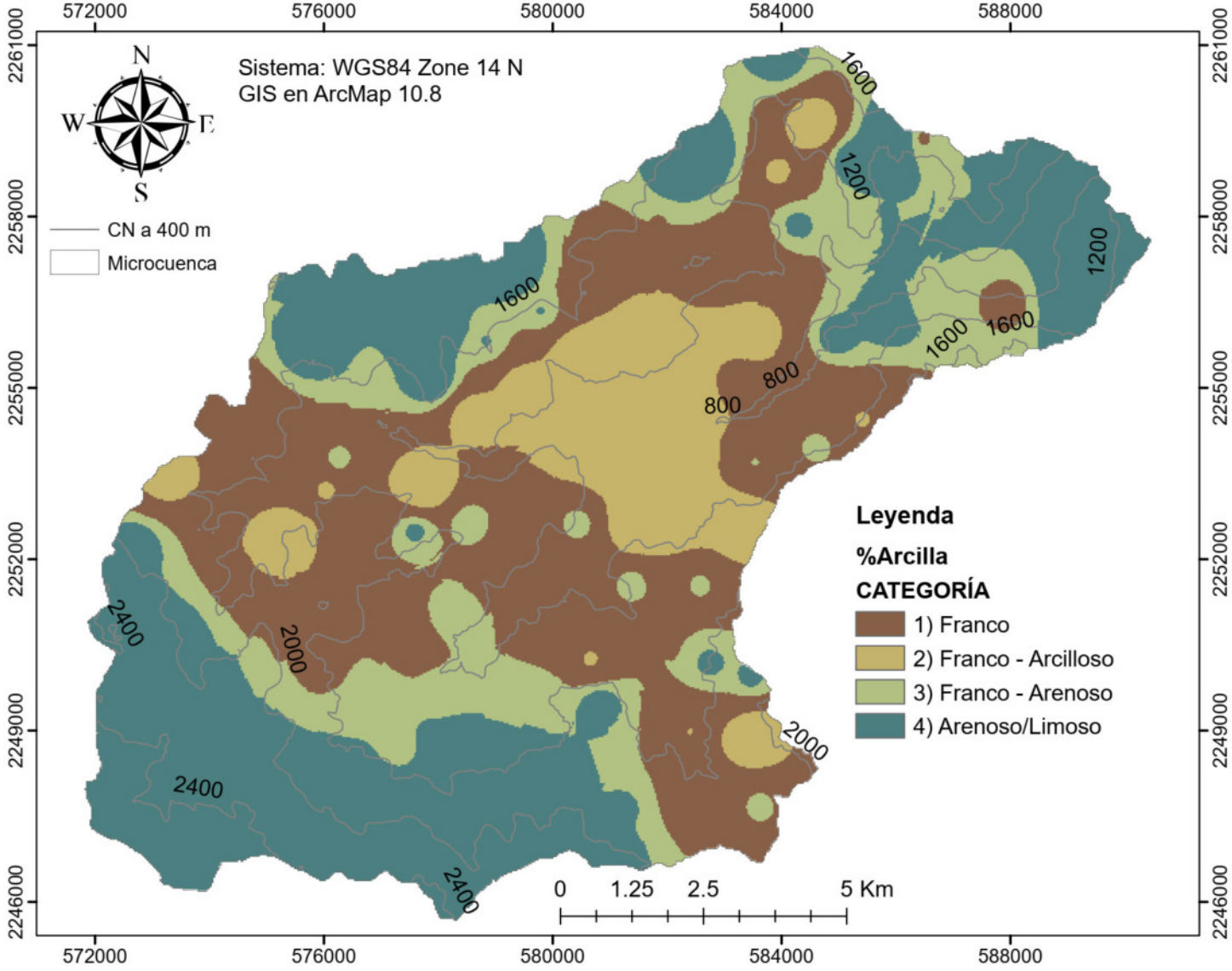


Figura A2.3 Categorías texturales (porcentaje de arcilla). Categorías: 1) Franco (16.01 – 25.00), 2) Franco-Arcilloso (25.10 – 40.49), 3) Franco-Arenoso (12.01 – 16.00), 4) Arenoso/Limoso (< 12.00). Categorización según USDA (2012) y SEMARNAT (2002).

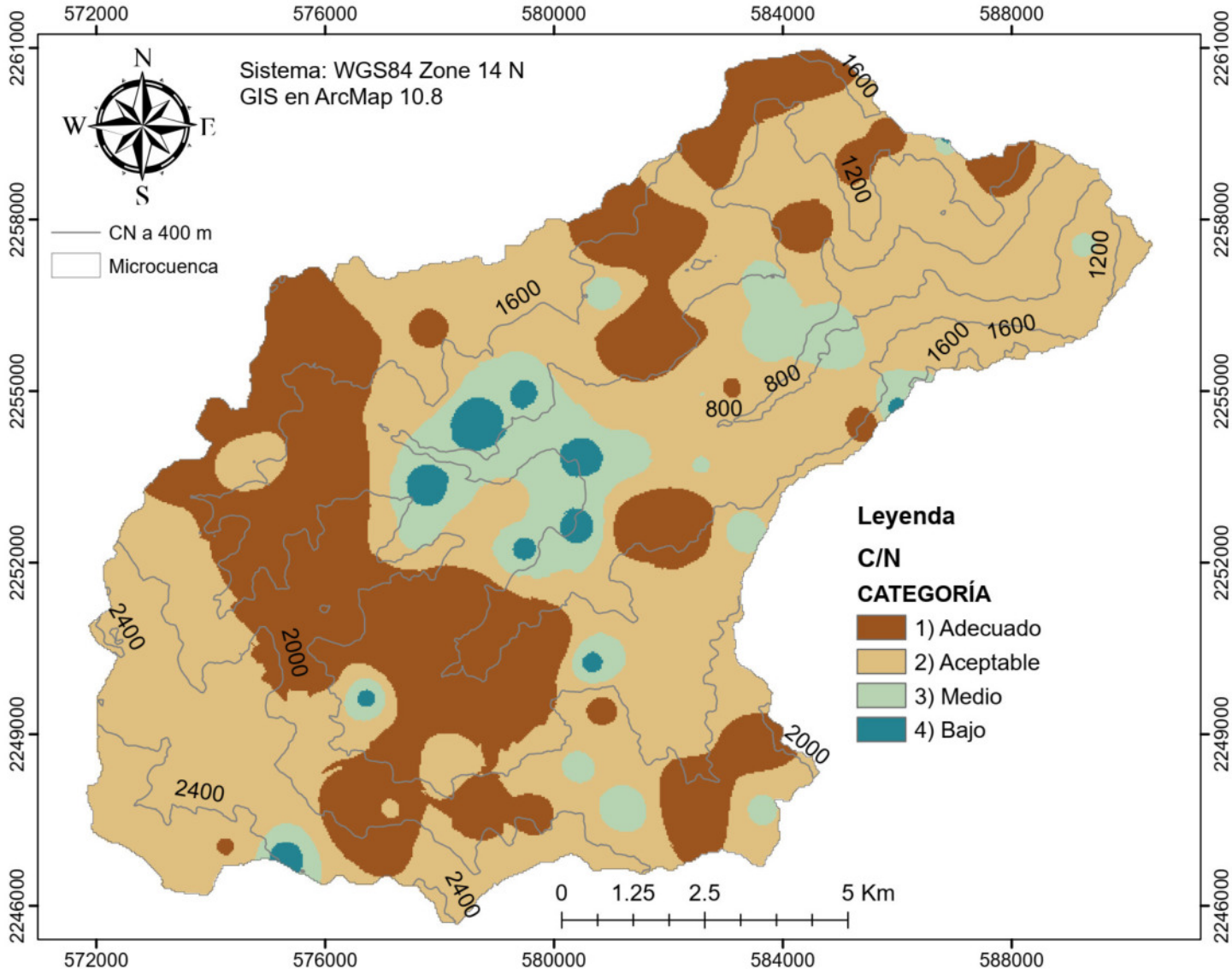


Figura A2.4 Relación de carbono y nitrógeno (C/N, adimensional). Categorías: 1) Adecuado (12.10 - 16.89), 2) Aceptable (11.10 - 12.00), 3) Medio (10.10 – 11.00), 4) Bajo (9.00 – 10.00). Categorización según SEMARNAT (2002), Vela Correa et al. (2012) y Cantú Silva & Luna Robles (2022).

Mapas categorizados para los parámetros de Impacto Medio (IM) en la fertilidad del suelo

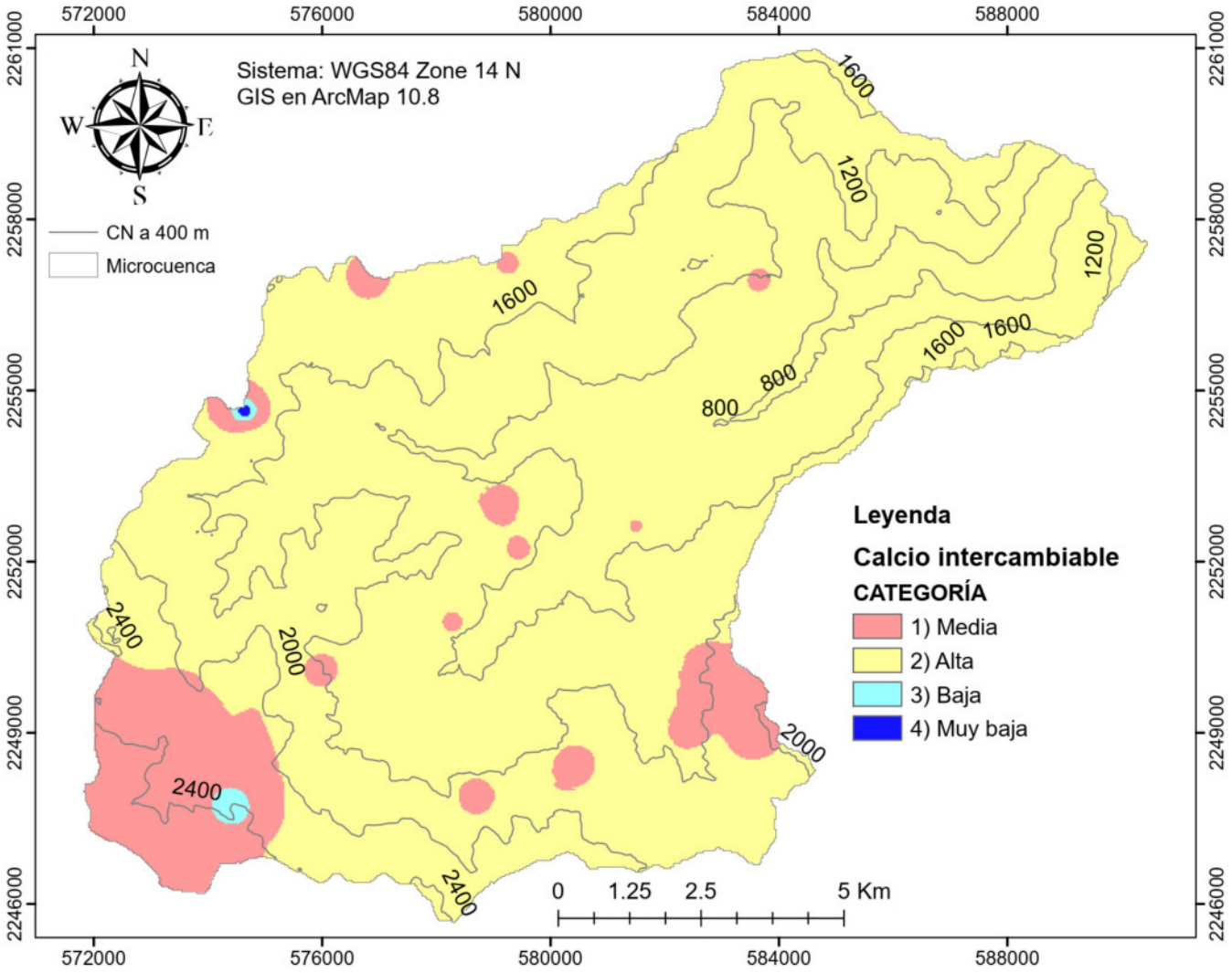


Figura A2.5 Calcio intercambiable (Ca^{2+}, Cmol/kg). Categorías: 1) Media (5.01 – 10.00), 2) Alta (> 10.00), 3) Baja (3.51 - 5.00), 4) Muy baja (< 3.50). Categorización según SEMARNAT (2002).

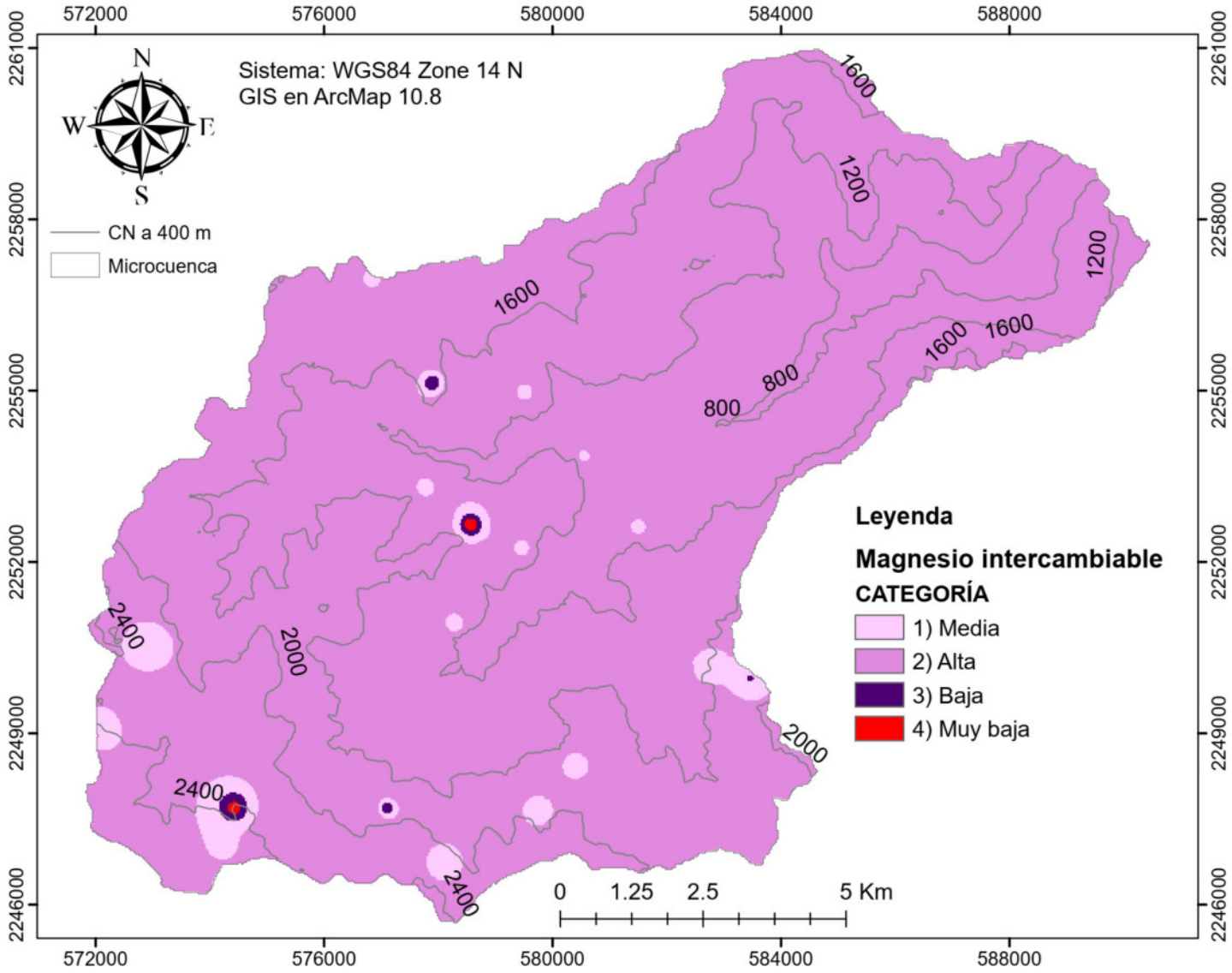


Figura A2.6 Magnesio intercambiable (Mg^{2+}, Cmol/kg). Categorías: 1) Media (1.31 – 3.00), 2) Alta (> 3.00), 3) Baja (0.501 - 1.30), 4) Muy baja (< 0.50). Categorización según SEMARNAT (2002).

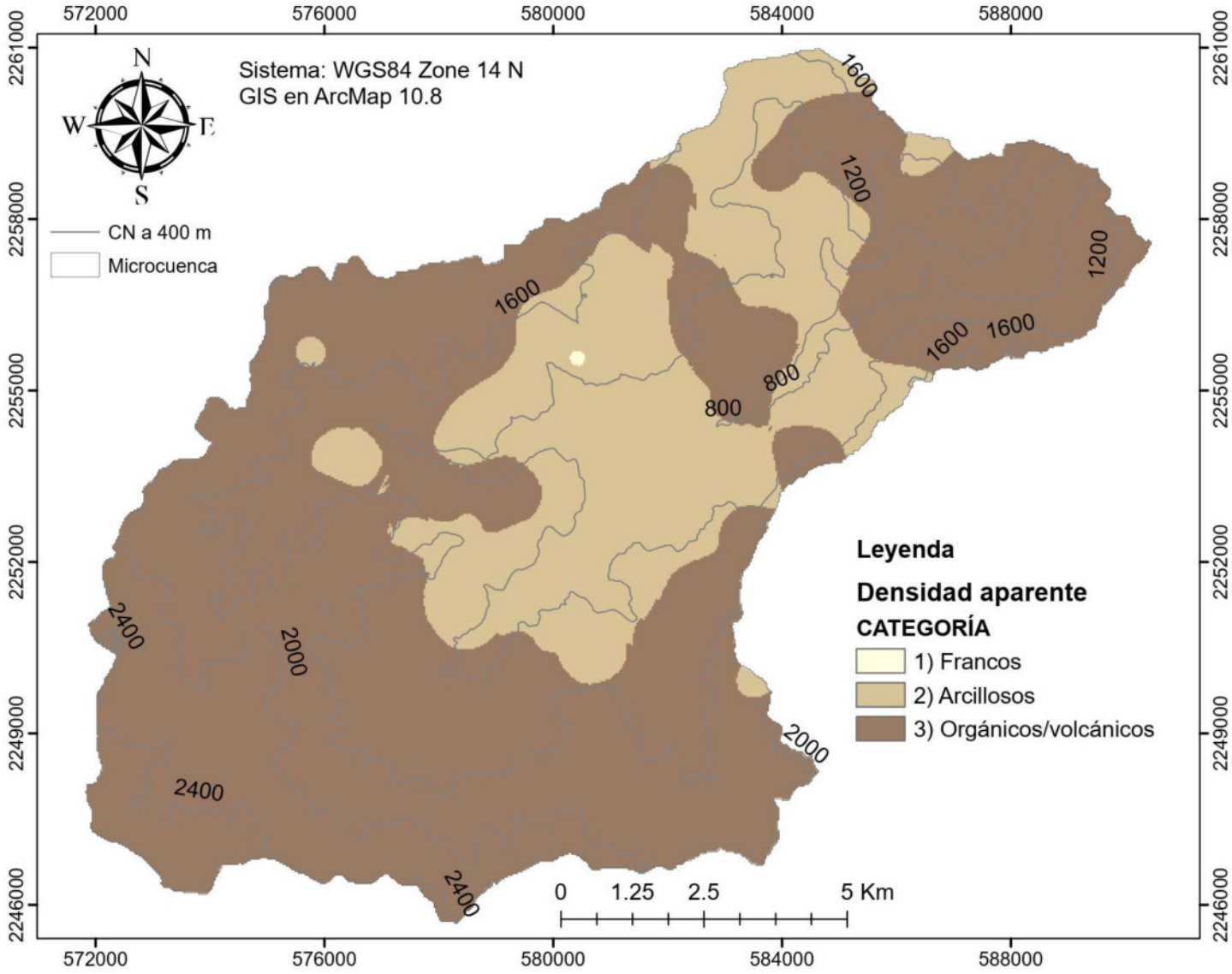


Figura A2.7 Tipos de suelos según densidad aparente (Da, g/cm^3). Categorías: 1) Francos (1.20 – 1.32), 2) Arcillosos (1.00 – 1.19), 3) Orgánicos/volcánicos (< 1.00). Categorización según SEMARNAT (2002).

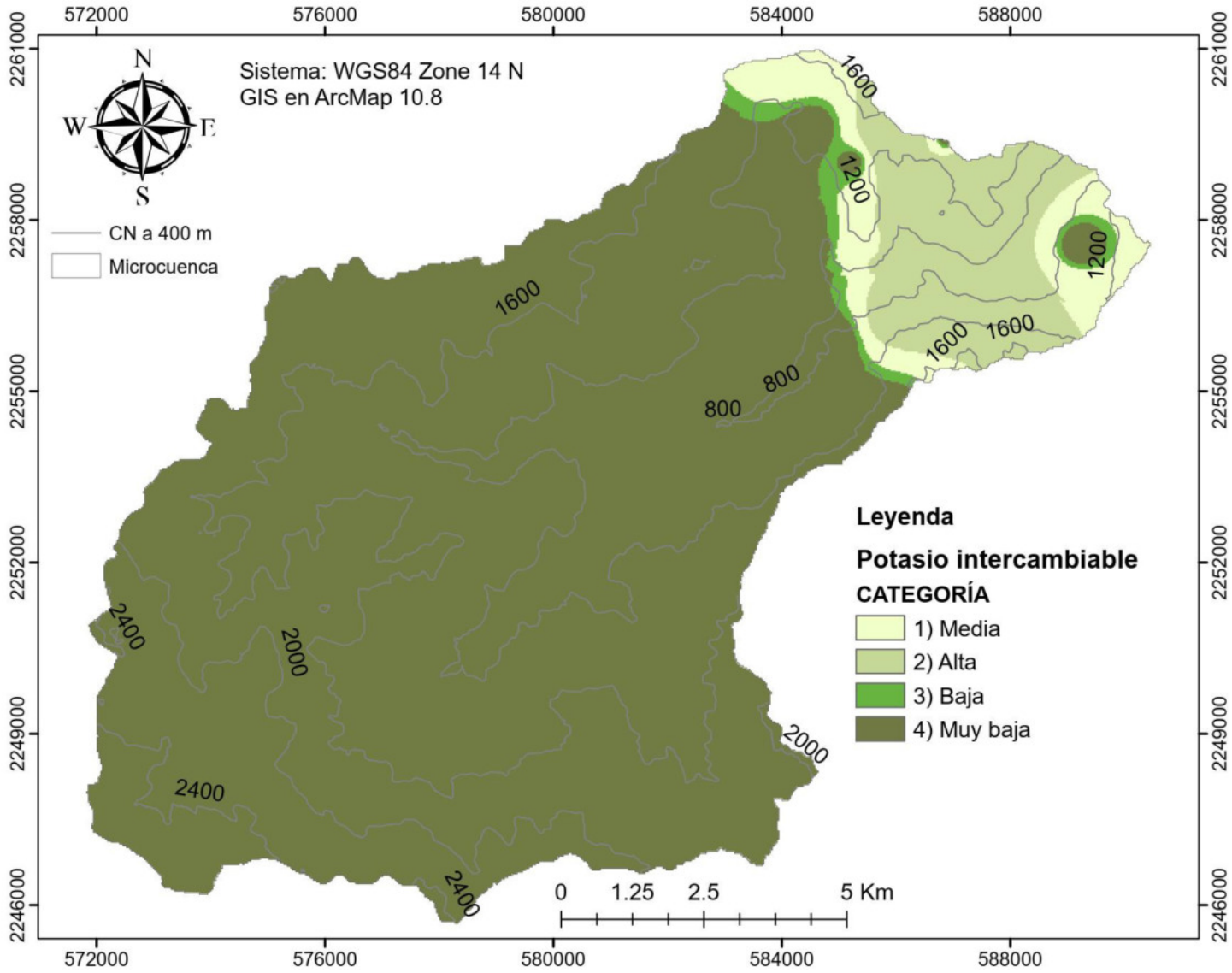


Figura A2.8 Potasio intercambiable (K^{2+}, Cmol/kg). Categorías: 1) Media (0.301 - 0.60), 2) Alta (> 0.60), 3) Baja (0.201 - 0.30), 4) Muy baja (< 0.20). Categorización según SEMARNAT (2002).

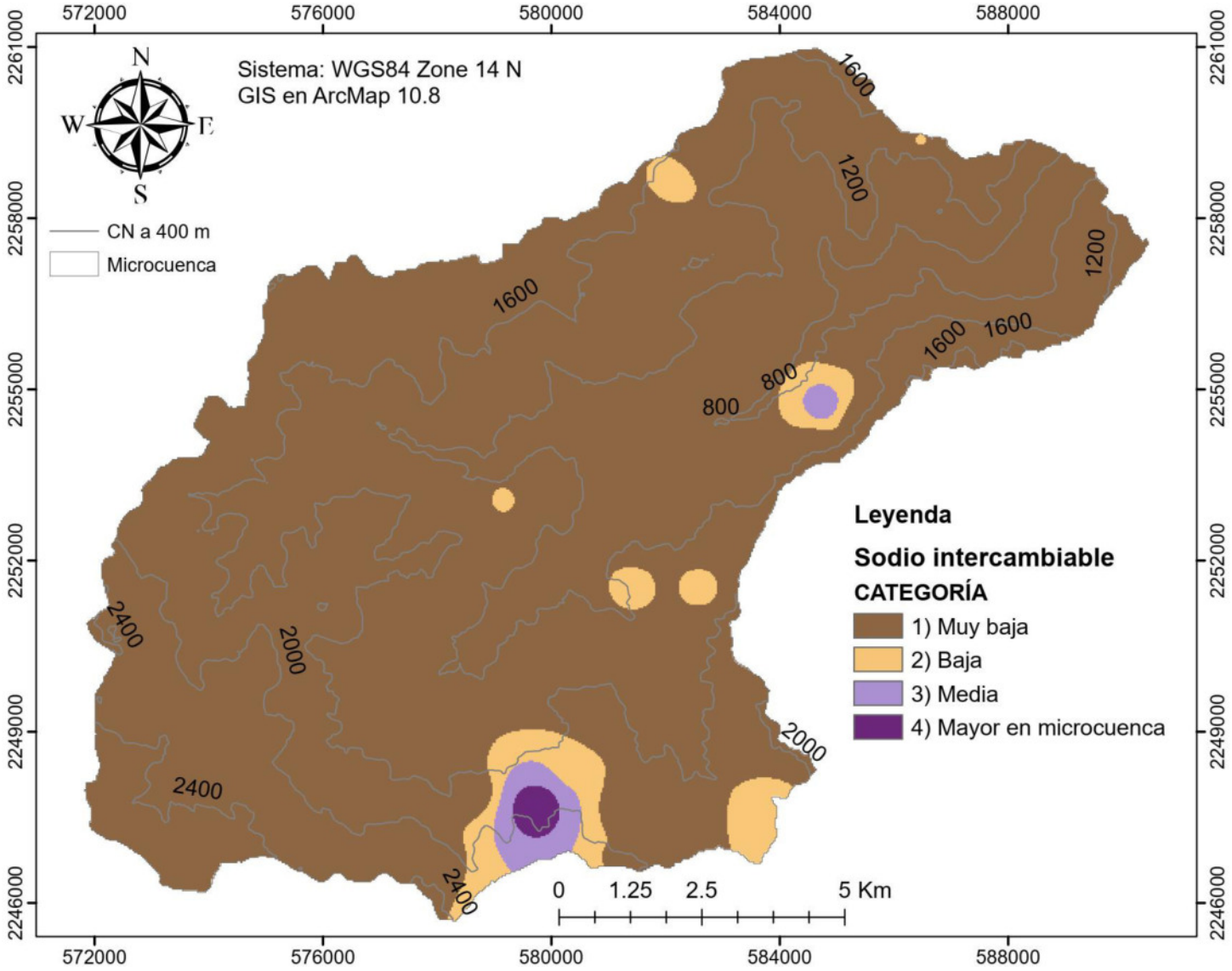


Figura A2.9 Sodio intercambiable (Na^{2+}, Cmol/kg). Categorías: 1) Muy baja (< 1.40), 2) Baja (1.41 - 2.80), 3) Media (2.81 – 6.00), 4) Mayor en microcuenca (6.01 - 10.20). Categorización según SEMARNAT (2002) y Fassbender & Bornemisza (1987).

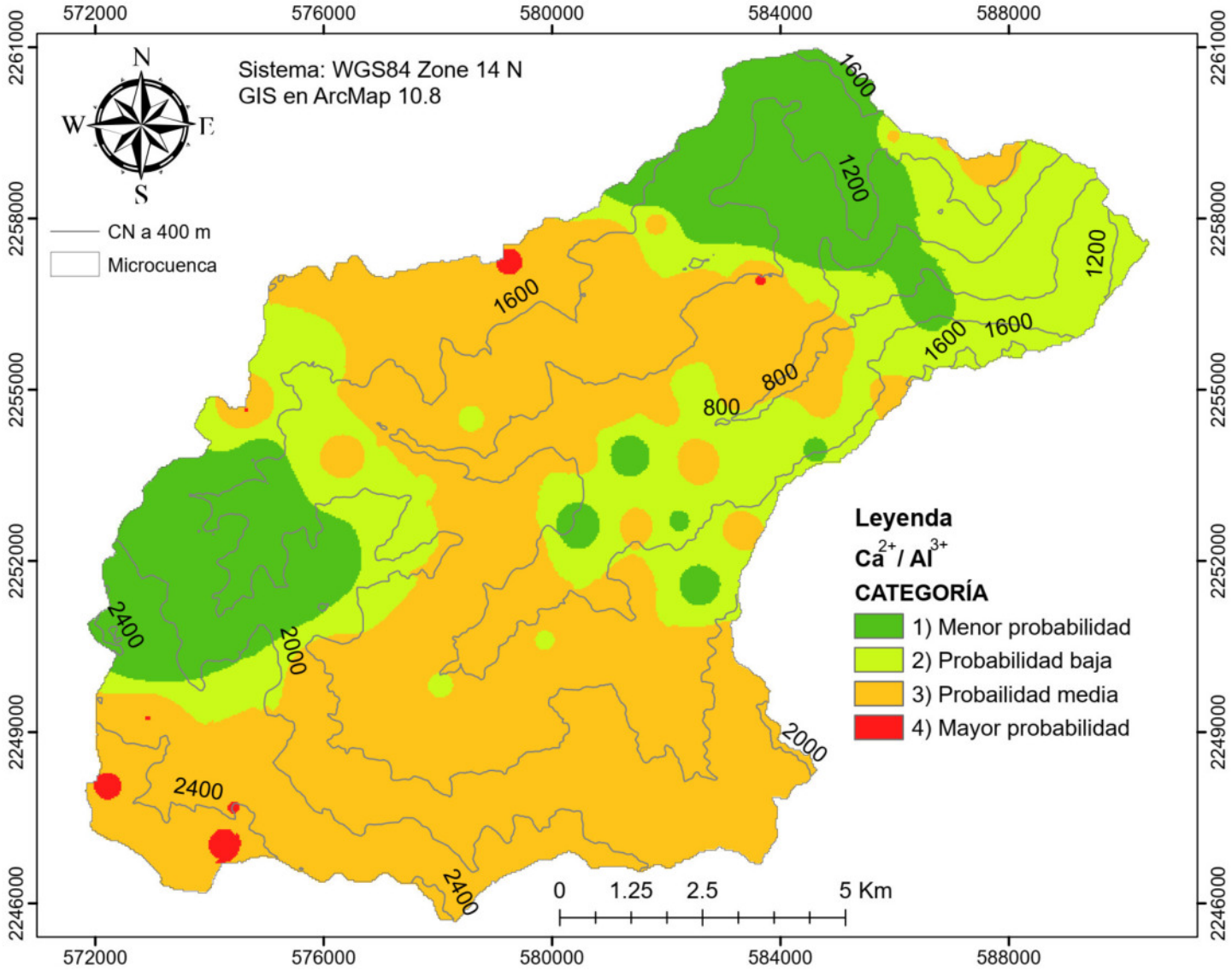


Figura A2.10 Relación de Ca^{2+} / Al^{3+} (adimensional). Categorías: 1) Menor probabilidad (24.10 – 121.00), 2) Probabilidad baja (12.10 – 24.00), 3) Probabilidad media (2.01 - 12.00), 4) Mayor probabilidad (1.00 – 2.00). Categorización según Cronan & Grigal (1995).

Mapas categorizados para los parámetros de Impacto Bajo (IB) en la fertilidad del suelo

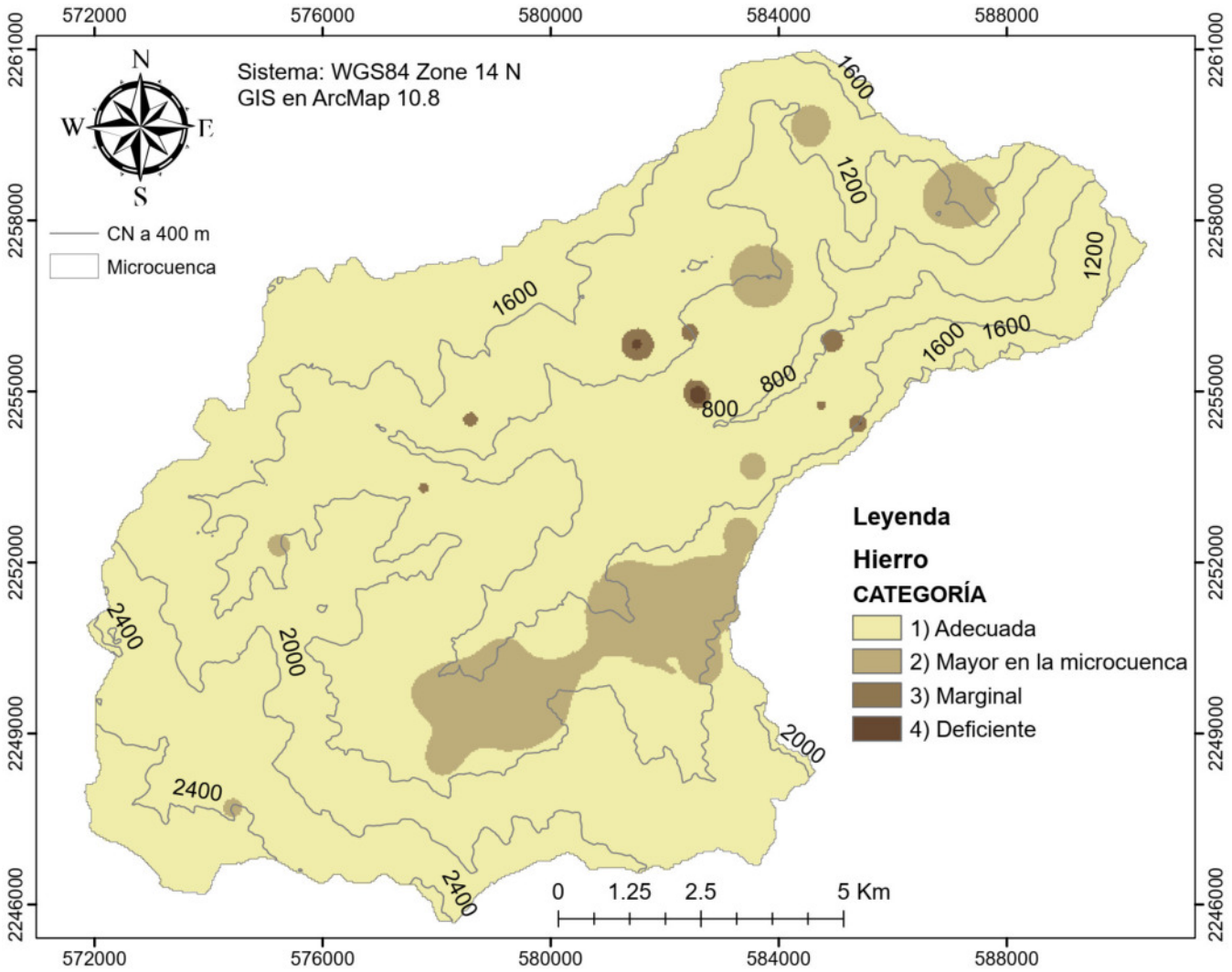


Figura A2.11 Hierro disponible (Fe^{2+}, mg/kg). Categorías: 1) Adecuada (4.51 – 30.00), 2) Mayor en la microcuenca (30.10 - 91.30), 3) Marginal (2.51 - 4.50), 4) Deficiente (< 2.50). Categorización según SEMARNAT (2002).

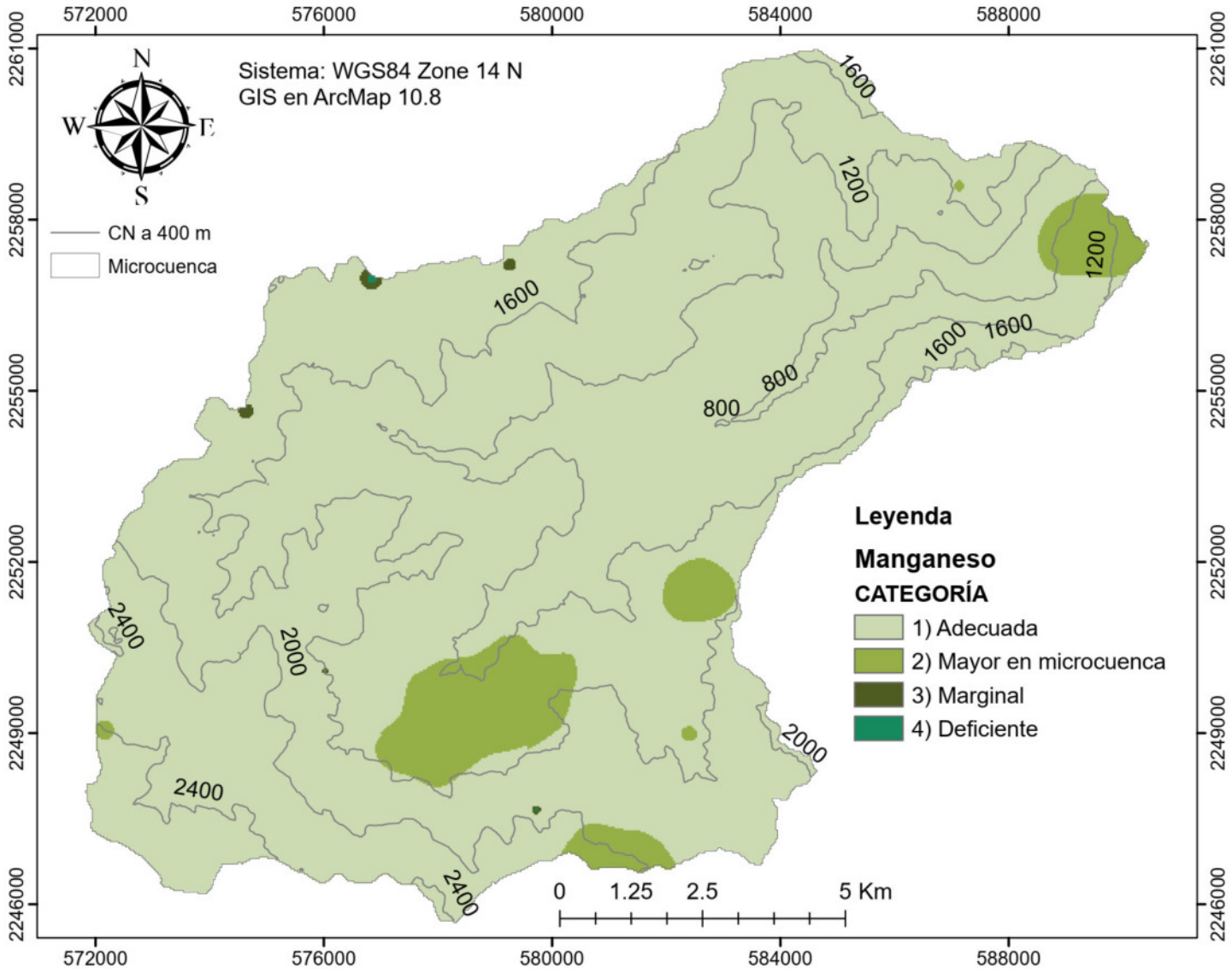


Figura A2.12 Manganeso disponible (Mg^{2+}, mg/kg). Categorías: 1) Adecuada (1.01 – 30.00), 2) Mayor en la microcuenca (30.10 - 91.15), 3) Marginal (0.501 – 1.00), 4) Deficiente (< 0.50). Categorización según SEMARNAT (2002).

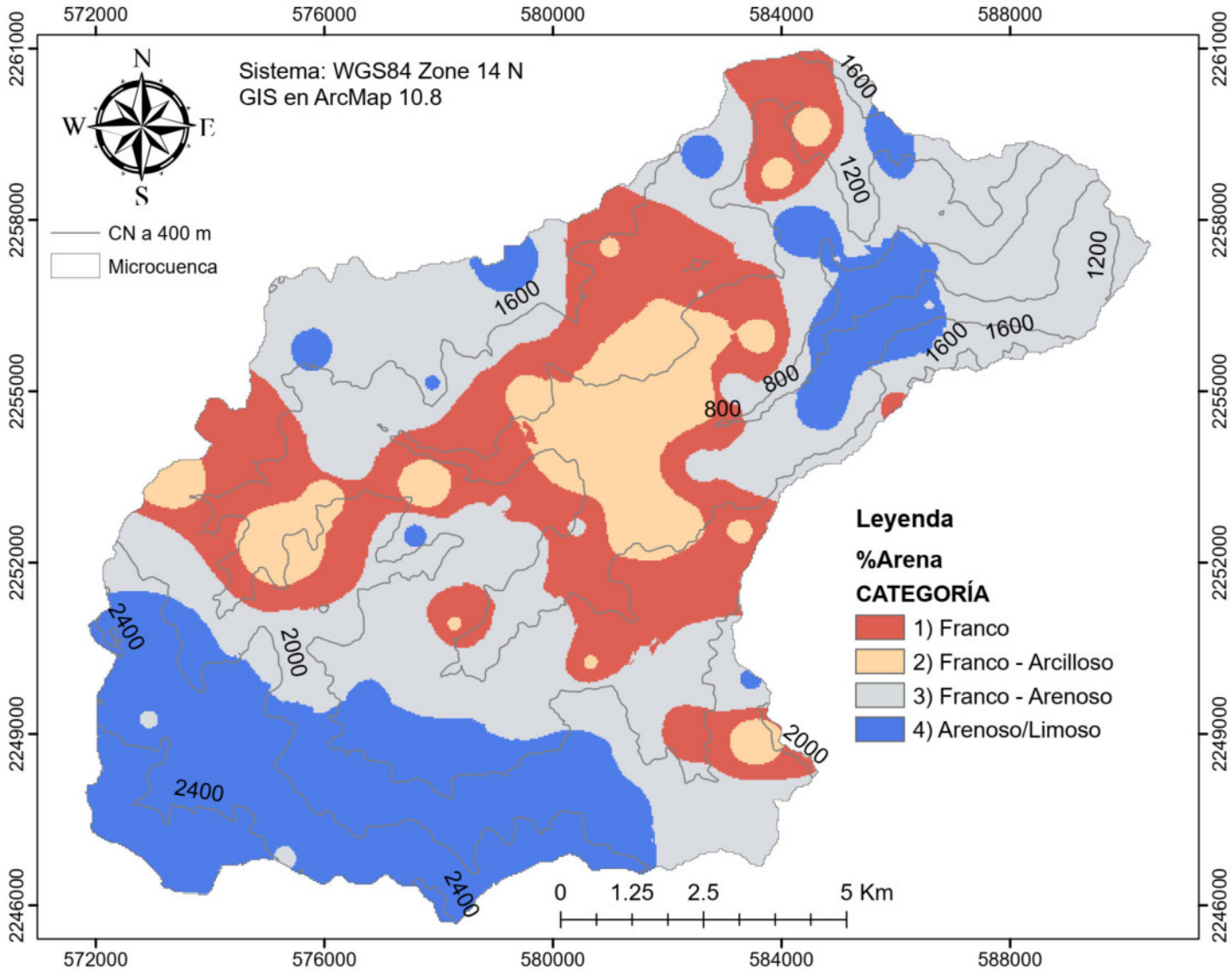


Figura A2.13 Categorías texturales (porcentaje de arena). Categorías: 1) Franco (34.10 – 42.00), 2) Franco-Arcilloso (20.20 – 34.00), 3) Franco-Arenoso (42.10 – 53.00), 4) Arenoso/Limoso (53.10 - 74.90). Categorización según USDA (2012) y SEMARNAT (2002).

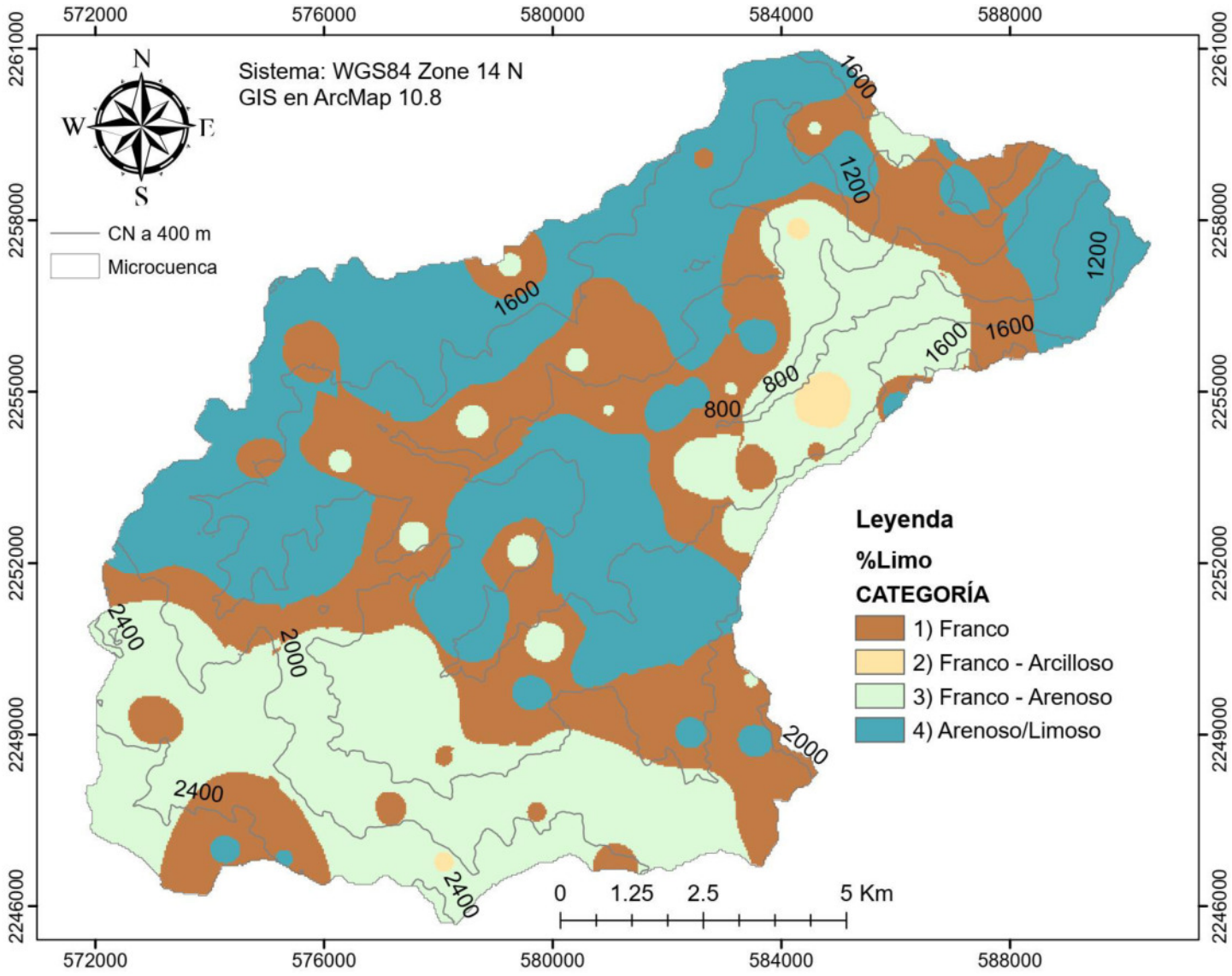


Figura A2.14 Categorías texturales (porcentaje de limo). Categorías: 1) Franco (35.10 – 39.00), 2) Franco-Arcilloso (11.30 – 26.00), 3) Franco-Arenoso (26.10 – 35.00), 4) Arenoso/Limoso (39.10 - 56.70). Categorización según USDA (2012) y SEMARNAT (2002).

Anexo 3. Índice de Calidad del Agua (ICA)

Mapas categorizados para los parámetros del ICA

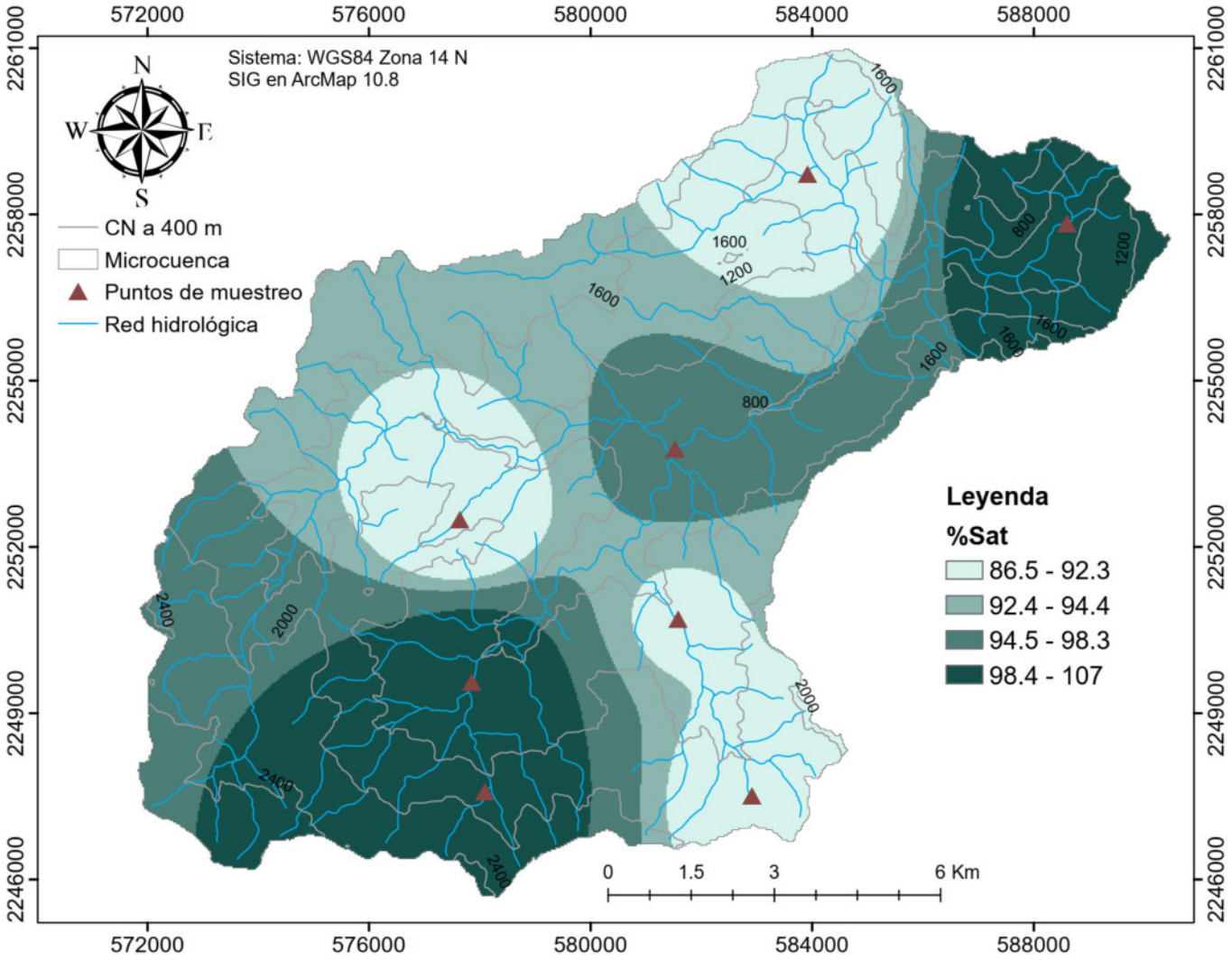


Figura A3.1 Porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto (%Sat). Categorización según CONAGUA (2024): mejor calidad (70 – 110 %).

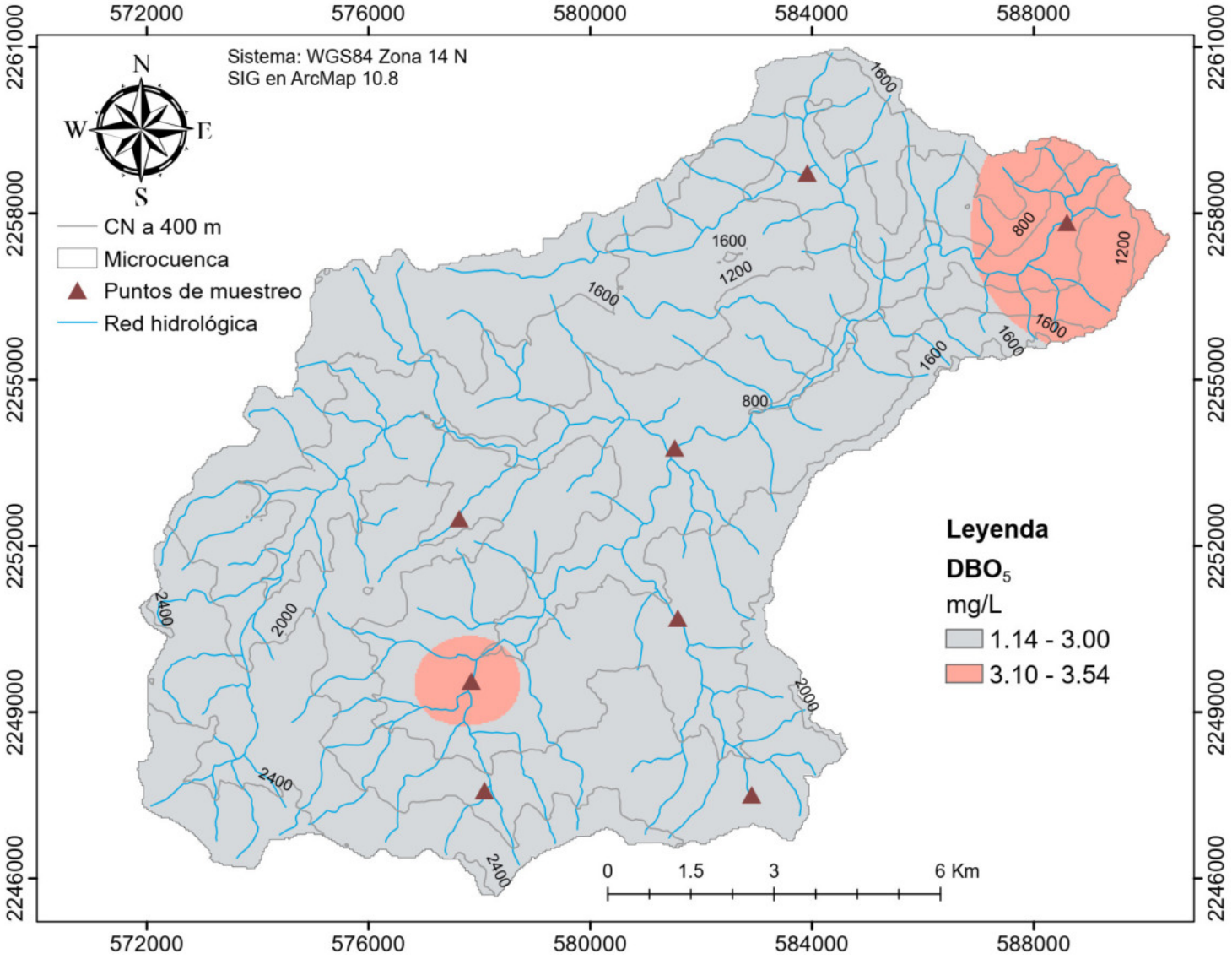


Figura A3.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días (DBO_5), mg/L. Categorización según CONAGUA (2024) y SEMARNAT (2013): mejor calidad (< 3, 3.1 – 6.0).

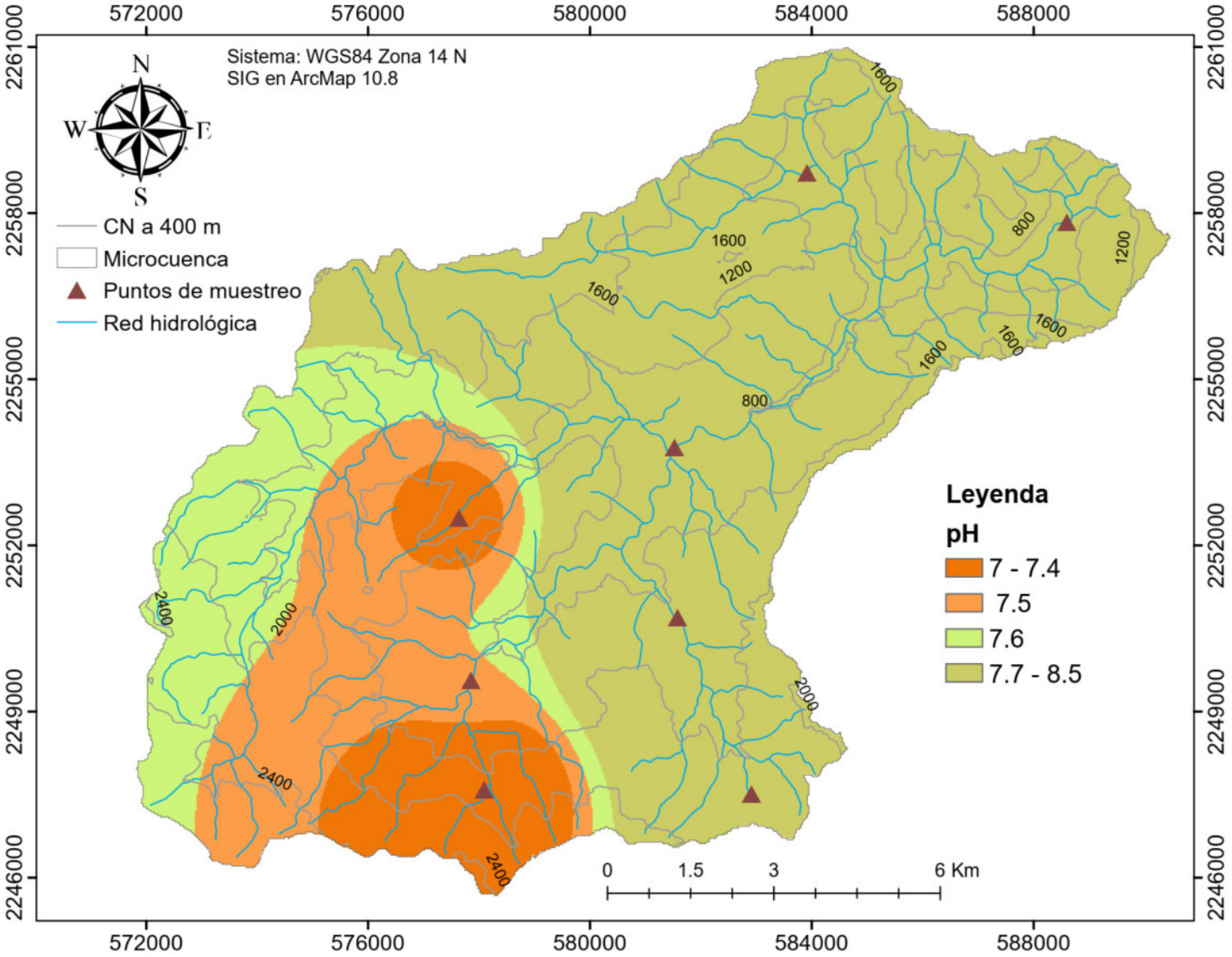


Figura A3.3 Potencial de hidrogeno en agua (pH). Categorización según OMS (2017) y Partida-Sedas (2018): mejor calidad (7.5, 6.5 – 7.4, 7.6 – 8.5).

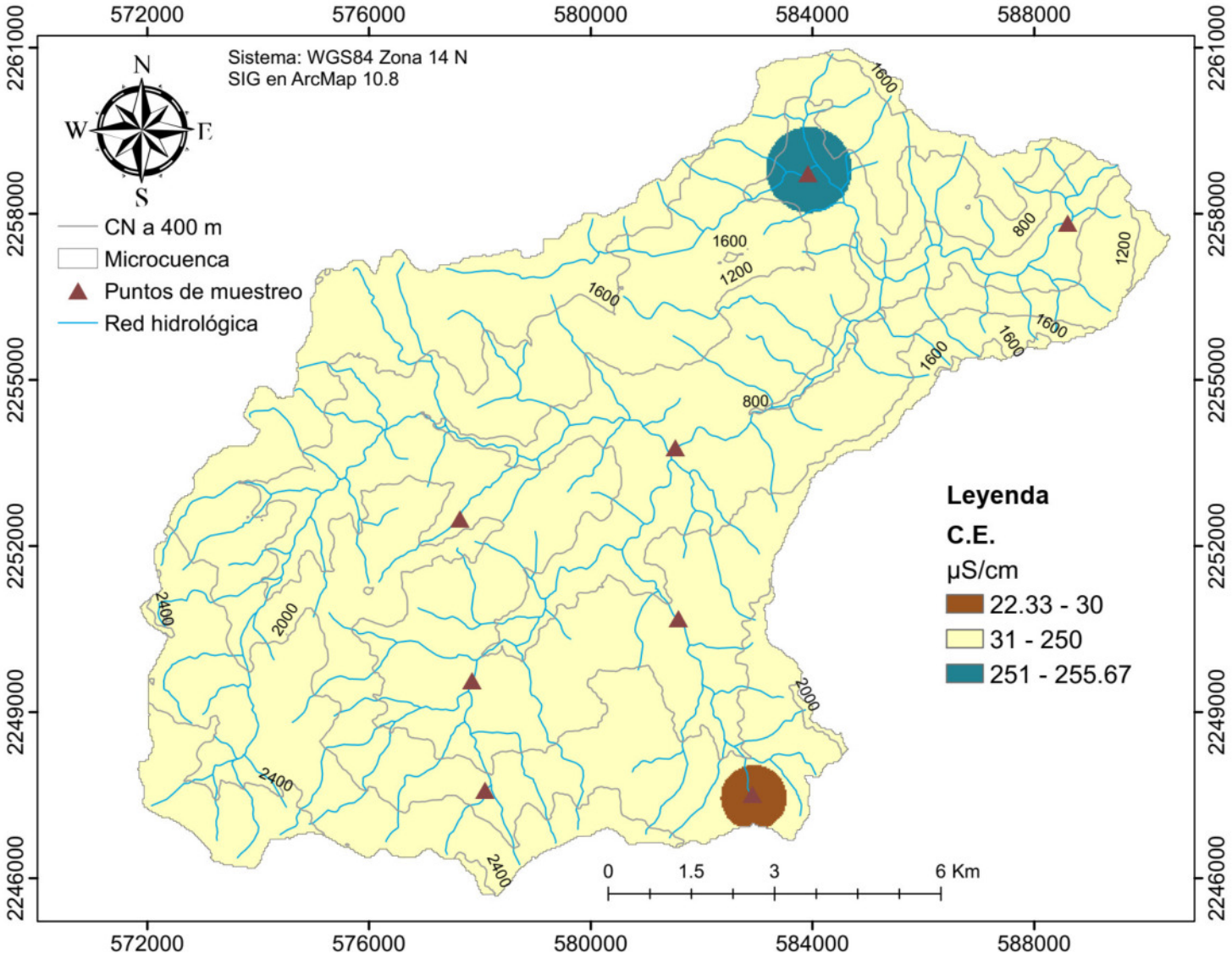


Figura A3.4 Conductividad Eléctrica en agua (C.E.), µS/cm. Categorización según OMS (2017): mejor calidad (10 – 30), aceptable (31 – 250), baja/contaminada (> 250).

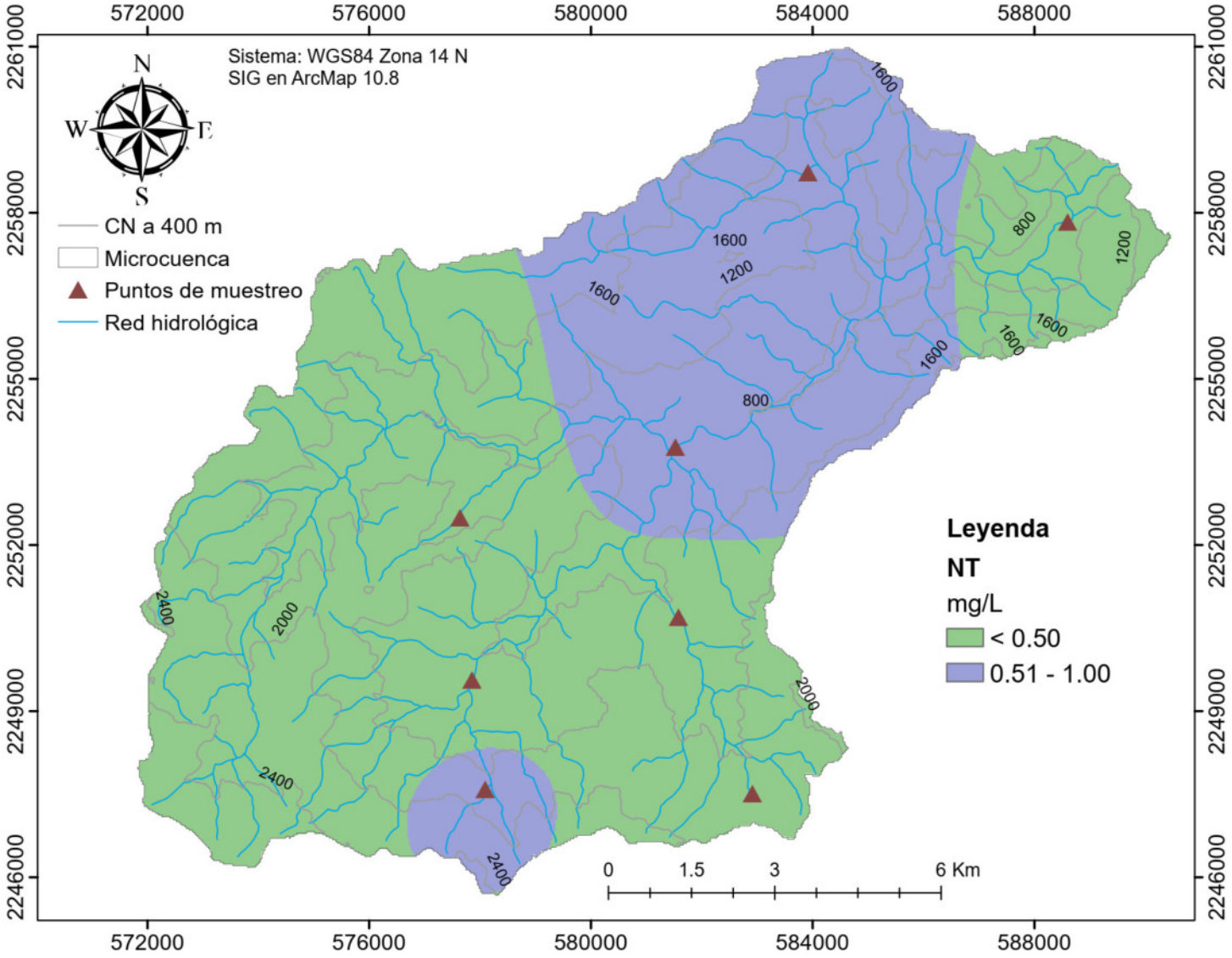


Figura A3.5 Nitrógeno Total en agua (NT), mg/L. Categorización según SEMARNAT (2021): mejor calidad (< 0.5, 0.5 - 11).

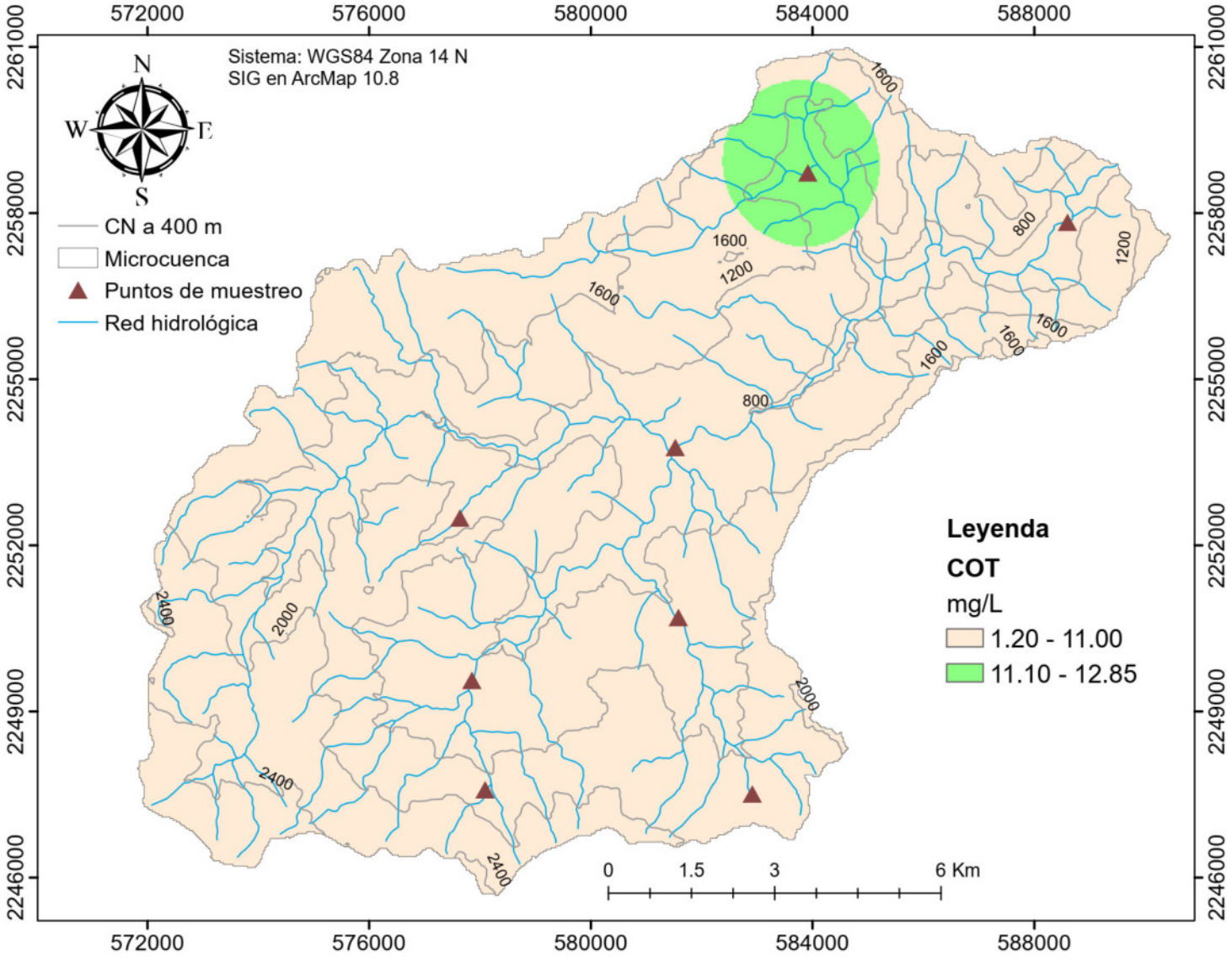


Figura A3.6 Carbono Orgánico Total en agua (COT), mg/L. Categorización según SEMARNAT (2021): mejor calidad (0.9 – 11), aceptable (11.10 – 53).

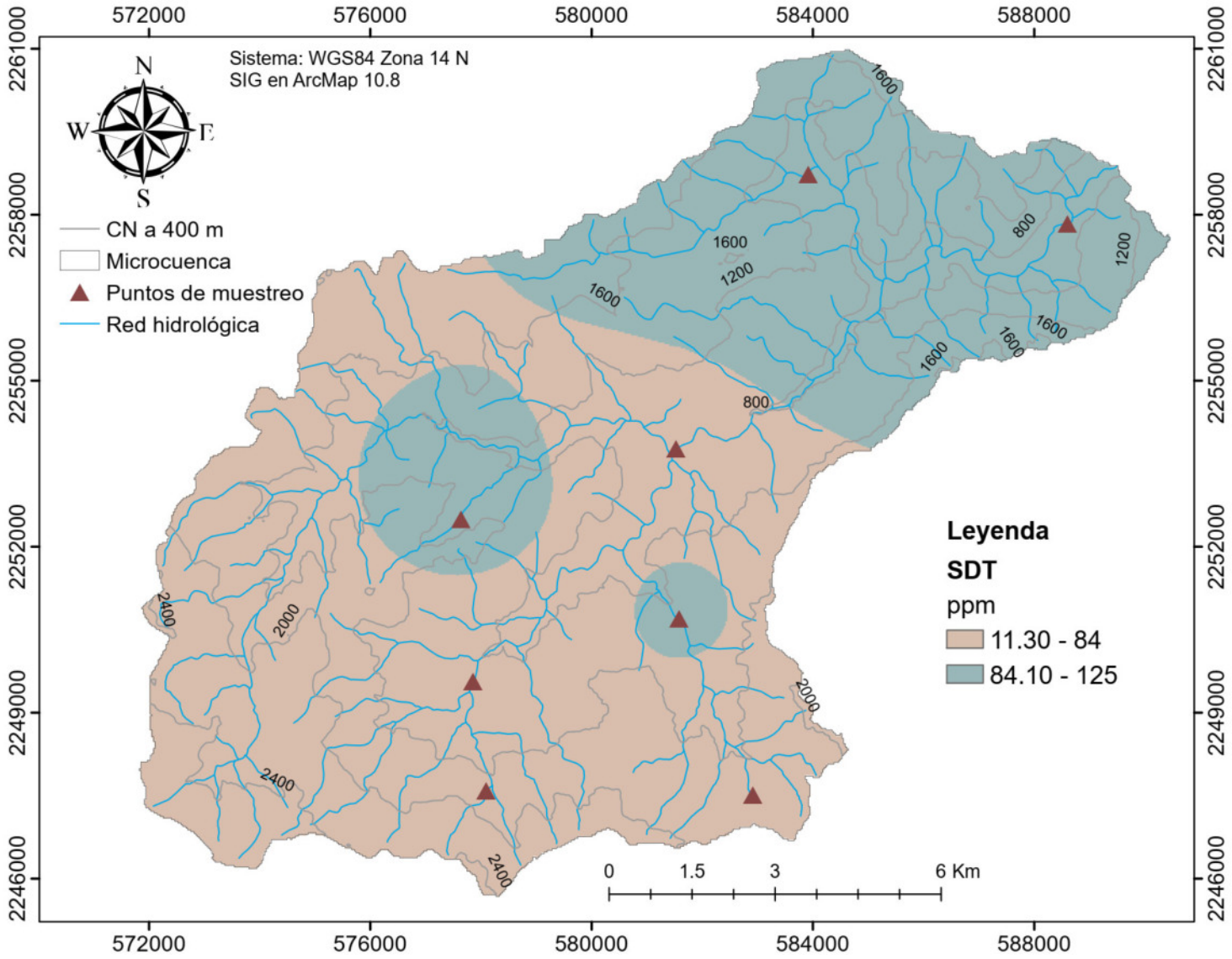


Figura A3.7 Solidos Disueltos Totales en agua (SDT), ppm. Categorización según OMS (2017) y SEMARNAT (2013): mejor calidad (< 84, 84 – 150).

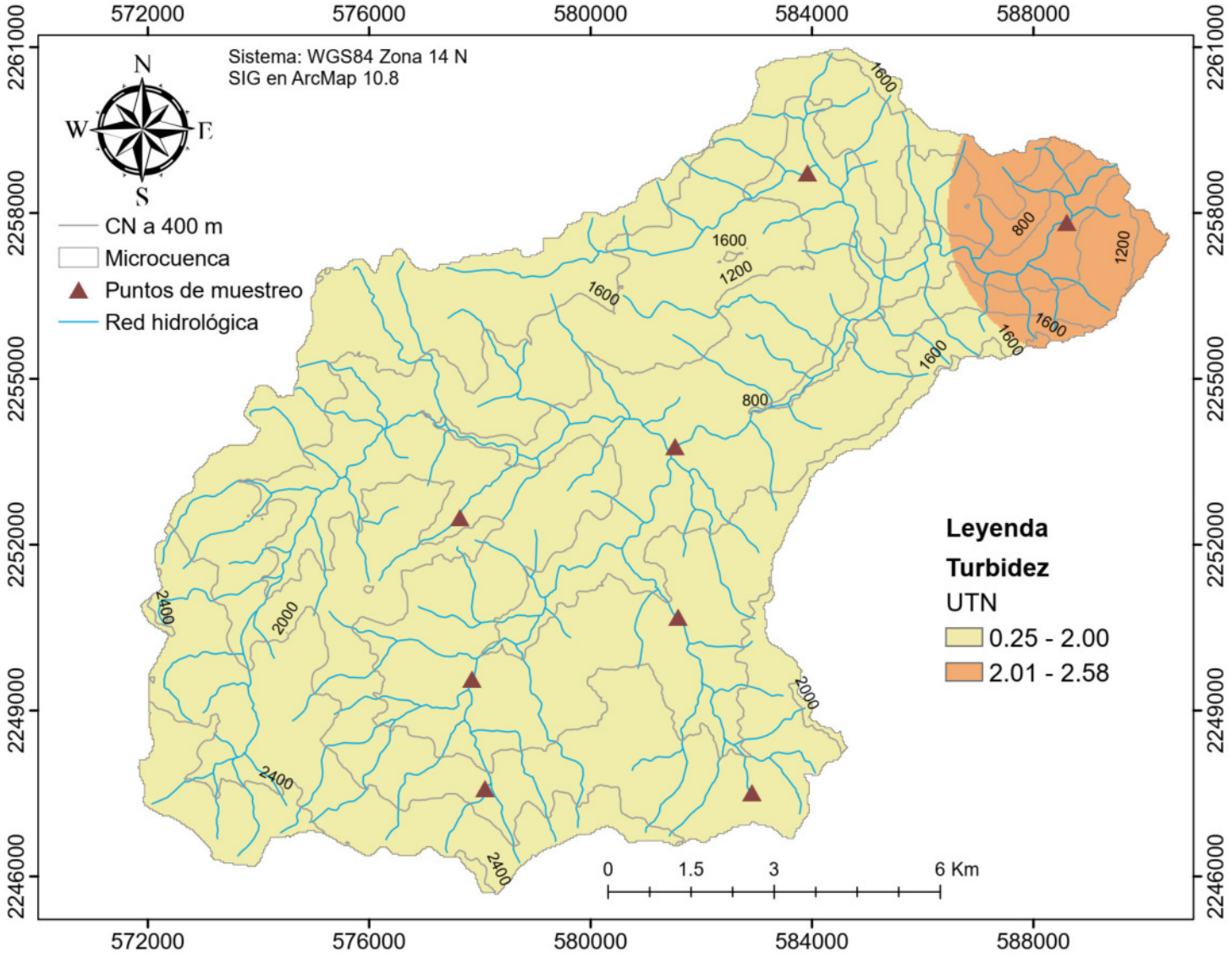


Figura A3.8 Turbidez en agua (Tbdz), UTN. Categorización según SEMARNAT (2021): mejor calidad (< 2, 2 – 4).

13. ANEXO C

Respuestas para encuestas de percepción en región tres (R3)

FOLIO	Región	Fecha	Localidad donde vive-ID	Genero	¿Habla alguna lengua originaria?	¿A qué se dedica cotidianamente?	¿Cree que las tierras de cultivo necesitan ayuda para mejorar?	¿Conoce de alguna actividad o práctica para mejorar la tierra de cultivo?	Si es sí, ¿Cuál?	¿Sabe que productos se pueden aplicar para	Si es sí, ¿Cuál?2	¿Cree que es importante no tirar basura?	¿Qué hace con la basura?	¿Quién le enseño a hacerlo?	¿Cree que es importante cuidar el agua?	¿Qué hace para cuidar el agua/Ahorro?
001	R3	20-ene-2024	Santiago-36179	M	No	Albañil	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Escuela	Si	Ahorra
002	R3	20-ene-2024	Los Manantiales-36310	F	No	Ama de casa	Si	Si	Limpieza/Deshierbe	Si	Fertilizante	Si	Camión recolector de basura/Reciclar	Comunidad	Si	Reúsa
003	R3	20-ene-2024	Los Manantiales-36310	F	No	Ama de casa	Si	Si	Limpieza/Deshierbe	Si	Abono natural	Si	Quema/Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
004	R3	20-ene-2024	Santiago-36179	F	No	Ama de casa	No	Si	Abonar	Si	Químicos	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
005	R3	20-ene-2024	Santiago-36179	M	No	Agricultura	Si	No	-	Si	Fertilizante	Si	Camión recolector de basura/Reciclar	Familia	Si	Ahorra
006	R3	20-ene-2024	Media cuesta-62639	F	No	Servicios/Alimentos	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
007	R3	20-ene-2024	Media cuesta-62639	M	No	Estudiante	No	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
008	R3	20-ene-2024	Río Chiquito-62736	F	Sí/Otomí	Ama de casa	No	No	-	No	-	Si	Quema	Talleres en centro de salud	Si	Ahorra
009	R3	20-ene-2024	Santiago-36179	F	No	Ama de casa	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
010	R3	20-ene-2024	Santiago-36179	M	No	Albañil/Peón	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
011	R3	20-ene-2024	Santiago-36179	F	Sí/Otomí	Ama de casa	Si	No	-	Si	Químicos	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
012	R3	20-ene-2024	Santiago-36179	F	No	Artesana/Bordado de Tenangos	Si	Si	Limpieza/Deshierbe	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
013	R3	20-ene-2024	La Campana-61646	M	No	Comercio/Procesa café	Si	Si	Cambiar de cultivo entre años de siembra	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Asesoría técnica	Si	No contaminar
014	R3	20-ene-2024	Colonia industrial-4220	M	Sí/Otomí	Jornalero/Campo	Si	Si	Fertilizar	Si	Fertilizante	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
015	R3	20-ene-2024	San Bartolo Tutotepec-3805	M	No	Servicios/Alimentos	No	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
016	R3	21-ene-24	San Bartolo Tutotepec-3805	F	Sí/Otomí	Ama de casa	Si	Si	Dejar residuos de cosecha	Si	Abono natural/Fertilizante	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Familia	Si	Ahorra
017	R3	21-ene-24	Colonia industrial-4220	M	Sí/Otomí	Jornalero/Campo	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
018	R3	21-ene-24	San Bartolo Tutotepec-3805	M	No	Gobierno	Si	Si	Dejar residuos de cosecha	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
019	R3	21-ene-24	Colonia industrial-4220	M	No	Comercio	No	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
020	R3	21-ene-24	La Campana-61646	M	No	Agricultura/Café	Si	Si	Dejar residuos de cosecha	Si	Abono natural/Fertilizante	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Familia	Si	Ahorra
021	R3	21-ene-24	Santiago-36179	M	No	Jornalero/Campo	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Quema/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
022	R3	21-ene-24	Santiago-36179	M	No	Albañil	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
023	R3	21-ene-24	Santiago-36179	M	No	Albañil/Peón	No	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
024	R3	21-ene-24	Santiago-36179	F	No	Ama de casa	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Quema/Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
025	R3	21-ene-24	Santiago-36179	F	No	Ama de casa	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
026	R3	21-ene-24	Santiago-36179	M	No	Agricultura	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural/Fertilizante	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Familia	Si	Ahorra
027	R3	21-ene-24	Santiago-36179	F	Sí/Otomí	Ama de casa	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
028	R3	21-ene-24	Santiago-36179	M	Sí/Otomí	Agricultura	Si	Si	Dejar residuos de cosechas y abonar	Si	Abono natural/Fertilizante	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
029	R3	21-ene-24	Santiago-36179	F	Sí/Otomí	Ama de casa	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Quema/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
030	R3	21-ene-24	Santiago-36179	F	No	Ama de casa	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
031	R3	21-ene-24	Los Manantiales-36310	F	No	Ama de casa	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Quema	Familia	Si	Ahorra
032	R3	21-ene-24	Los Manantiales-36310	F	No	Servicios/Alimentos	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
033	R3	21-ene-24	Santiago-36179	M	No	Comercio	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra

FOLIO	Región	Fecha	Localidad donde vive-ID	Genero	¿Habla alguna lengua originaria?	¿A qué se dedica cotidianamente?	¿Cree que las tierras de cultivo necesitan ayuda para mejorar?	¿Conoce de alguna actividad o práctica para mejorar la tierra de cultivo?	Si es sí, ¿Cuál?	¿Sabe que productos se pueden aplicar para	Si es sí, ¿Cuál?2	¿Cree que es importante no tirar basura?	¿Qué hace con la basura?	¿Quién le enseño a hacerlo?	¿Cree que es importante cuidar el agua?	¿Qué hace para cuidar el agua/Ahorro?
034	R3	21-ene-24	Santiago-36179	F	Si/Otomí	Ama de casa/Bordado de Tenangos	Si	Si	Limpieza/Deshierbe	Si	Abono natural/Fertilizante	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
035	R3	21-ene-24	La Campana-61646	F	No	Ama de casa	Si	Si	Dejar residuos de cosecha	Si	Abono natural/Fertilizante	Si	Camión recolector de basura	Gobierno	Si	Ahorra
036	R3	21-ene-24	Colonia industrial-4220	M	Si/Otomí	Jornalero/Campo	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural/Fertilizante	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
037	R3	21-ene-24	San Bartolo Tutotepec-3805	M	No	Servicios/Alimentos	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Gobierno	Si	Ahorra
037	R3	21-ene-24	Colonia industrial-4220	F	No	Ama de casa	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Gobierno	Si	Ahorra
039	R3	21-ene-24	San Bartolo Tutotepec-3805	F	No	Ama de casa	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
040	R3	27-ene-24	El Bopo-94751	M	No	Agricultura	Si	Si	Dejar residuos de cosecha	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
041	R3	27-ene-24	El Bopo-94751	F	No	Ama de casa	Si	Si	Aflojar el suelo	Si	Abono natural/Herbicidas	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
042	R3	27-ene-24	El Bopo-94751	F	No	Ama de casa	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
043	R3	27-ene-24	El Bopo-94751	F	No	Comercio	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
044	R3	27-ene-24	El Bopo-94751	M	No	Agricultura	Si	Si	Dejar residuos de cosecha y aflojar la tierra	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
045	R3	27-ene-24	El Tramo-36051	F	No	Ama de casa	Si	No	-	No	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Gobierno	Si	Ahorra
046	R3	27-ene-24	El Bopo-94751	M	No	Agricultura	Si	Si	Dejar residuos de cosecha	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Gobierno	Si	Ahorra
047	R3	27-ene-24	El Bopo-94751	M	No	Agricultura	Si	Si	Dejar residuos de cosecha	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Gobierno	Si	Ahorra
048	R3	27-ene-24	El Bopo-94751	M	No	Agricultura	Si	Si	Dejar residuos de cosecha y aflojar la tierra	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Comunidad	Si	Ahorra
049	R3	27-ene-24	El Tramo-36051	F	No	Ama de casa	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Gobierno	Si	Ahorra
050	R3	27-ene-24	El Tramo-36051	F	No	Comercio	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
051	R3	27-ene-24	La Joya-64420	F	No	Ama de casa	Si	No	-	No	-	Si	Quema/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
052	R3	27-ene-24	Huasquilla-64419	F	No	Ama de casa	Si	Si	Limpieza/Deshierbe	Si	Abono natural	Si	Quema/Incorpora la materia orgánica al suelo	Gobierno	Si	Ahorra
053	R3	27-ene-24	Santa María Temaxcalapa-4135	F	No	Ama de casa	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura/Reciclar	Escuela	Si	Ahorra
054	R3	27-ene-24	La Joya-64420	F	No	Ganadero/Comercio	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
055	R3	27-ene-24	Santa María Temaxcalapa-4135	M	No	Agricultura	No	No	-	No	-	Si	Quema/Incorpora la materia orgánica al suelo	Familia	Si	Ahorra
056	R3	27-ene-24	Huasquilla-64419	M	No	Servicios/Alimentos	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Quema/Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
057	R3	27-ene-24	San Bartolo Tutotepec-3805	F	Si/Otomí	Ama de casa	Si	No	-	No	-	Si	Quema	Talleres en centro de salud	Si	Reúsa
058	R3	27-ene-24	Santiago-36179	M	No	Gobierno/policía	Si	Si	Barbecho	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
059	R3	27-ene-24	Colonia industrial-4220	M	No	Gobierno/policía	Si	No	-	Si	Abono natural/Fertilizante	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
060	R3	27-ene-24	Valle Verde-4187	M	Si/Otomí	Servicios/Bolero	Si	Si	Barbecho	Si	Fertilizante	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra/No talar árboles
061	R3	27-ene-24	San Bartolo Tutotepec-3805	F	Si/Otomí	Ama de casa	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Quema	Talleres en centro de salud	Si	Ahorra
062	R3	27-ene-24	Buena Vista-64413	M	No	Agricultura/Comercio	Si	Si	Sembrar árboles para infiltración	Si	Fertilizante	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Escuela	Si	Ahorra
063	R3	27-ene-24	Valle Verde-4187	M	Si/Otomí	Servicios/Bolero	Si	Si	Cambiar de cultivo entre años de siembra	Si	Fertilizante/Herbicidas	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Familia	Si	Ahorra
064	R3	27-ene-24	Colonia industrial-4220	M	No	Agricultura	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra/No contaminar
065	R3	27-ene-24	Calintla-36097	F	No	Servicios	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
066	R3	27-ene-24	Valle Verde-4187	F	Si/Otomí	Servicios/Alimentos	Si	Si	Fertilizar	Si	Herbicidas/Plaguicidas	Si	Camión recolector de basura	Gobierno	Si	Ahorra

FOLIO	Región	Fecha	Localidad donde vive-ID	Genero	¿Habla alguna lengua originaria?	¿A qué se dedica cotidianamente?	¿Cree que las tierras de cultivo necesitan ayuda para mejorar?	¿Conoce de alguna actividad o práctica para mejorar la tierra de cultivo?	Si es sí, ¿Cuál?	¿Sabe que productos se pueden aplicar para	Si es sí, ¿Cuál?2	¿Cree que es importante no tirar basura?	¿Qué hace con la basura?	¿Quién le enseño a hacerlo?	¿Cree que es importante cuidar el agua?	¿Qué hace para cuidar el agua/Ahorro?
067	R3	27-ene-24	El Dónimo-64409	M	Si/Otomí	Albañil	Si	Si	Quema	No	-	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Familia	Si	Ahorra
068	R3	27-ene-24	El Dónimo-64409	F	No	Ama de casa	Si	No	-	Si	Fertilizante	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Familia	Si	Ahorra
069	R3	27-ene-24	El Tramo-36051	F	No	Ama de casa	Si	Si	Aflojar el suelo	No	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Gobierno	Si	Ahorra
070	R3	27-ene-24	Buena Vista-64413	M	No	Agricultura/Comercio	Si	No	-	Si	Fertilizante	Si	Camión recolector de basura	Gobierno	Si	Ahorra
071	R3	27-ene-24	Valle Verde-4187	M	Si/Otomí	Servicios/Bolero	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Gobierno	Si	Ahorra
072	R3	27-ene-24	El Tramo-36051	M	No	Agricultura	Si	Si	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Gobierno	Si	Ahorra
073	R3	27-ene-24	El Tramo-36051	M	No	Agricultura	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Gobierno	Si	Ahorra
074	R3	27-ene-24	El Tramo-36051	M	No	Comercio	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
075	R3	27-ene-24	El Tramo-36051	F	No	Ama de casa	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Gobierno	Si	Ahorra
076	R3	27-ene-24	El Tramo-36051	F	No	Ama de casa	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
077	R3	27-ene-24	La Joya-64420	M	No	Comercio	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
078	R3	27-ene-24	La Joya-64420	F	No	Ama de casa	Si	Si	Limpieza/Deshierbe	Si	Abono natural	Si	Quema/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
078	R3	27-ene-24	La Joya-64420	F	No	Ama de casa	Si	No	-	No	-	Si	Quema/Incorpora la materia orgánica al suelo	Familia	Si	Ahorra
080	R3	27-ene-24	La Joya-64420	M	No	Agricultura	Si	Si	Dejar residuos de cosecha	Si	Abono natural	Si	Quema/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
081	R3	27-ene-24	Santa María Temaxcalapa-4135	F	No	Ama de casa	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
082	R3	27-ene-24	Santa María Temaxcalapa-4135	M	No	Agricultura	Si	Si	Dejar residuos de cosecha	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
083	R3	27-ene-24	Santa María Temaxcalapa-4135	F	No	Ama de casa	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
084	R3	27-ene-24	Santa María Temaxcalapa-4135	M	No	Agricultura	No	Si	Abonar	Si	Abono natural/Fertilizante	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
085	R3	27-ene-24	El Dónimo-64409	M	Si/Otomí	Jornalero/Campo	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
086	R3	27-ene-24	El Dónimo-64409	F	No	Ama de casa	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
087	R3	27-ene-24	El Dónimo-64409	M	No	Agricultura	Si	Si	Dejar residuos de cosecha	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje/Gobierno	Si	Ahorra
088	R3	27-ene-24	El Dónimo-64409	M	Si/Otomí	Agricultura	Si	Si	Dejar residuos de cosecha	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
089	R3	27-ene-24	El Dónimo-64409	F	No	Ama de casa	Si	Si	Limpieza/Deshierbe	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Familia	Si	Ahorra
090	R3	28-ene-24	San Bartolo Tutotepec-3805	F	Si/Otomí	Ama de casa	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
091	R3	28-ene-24	San Bartolo Tutotepec-3805	M	No	Jornalero/Campo	No	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Gobierno	Si	Ahorra
092	R3	28-ene-24	San Bartolo Tutotepec-3805	F	Si/Otomí	Ama de casa	Si	Si	Dejar residuos de cosecha	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
093	R3	28-ene-24	San Bartolo Tutotepec-3805	M	No	Comercio	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Gobierno	Si	Ahorra
094	R3	28-ene-24	San Bartolo Tutotepec-3805	F	No	Ama de casa	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Gobierno	Si	Ahorra
AD-03	R3	03-may-24	San Bartolo Tutotepec-3805	F	-	Estudiante	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
AD-06	R3	03-may-24	San Bartolo Tutotepec-3805	M	No	Estudiante	Si	No	-	No	-	Si	Reciclar	Autoaprendizaje	Si	Reúsa
DS-12	R3	03-may-24	San Bartolo Tutotepec-3805	M	No	Estudiante	Si	No	-	-	-	Si	Camión recolector de basura	-	Si	Reúsa
EN-15	R3	03-may-24	San Bartolo Tutotepec-3805	M	No	Estudiante	Si	No	-	Si	Fertilizante	Si	Camión recolector de basura	Escuela	Si	Reúsa

FOLIO	Región	Recolecta	Reúsa	¿Quién le enseño a hacerlo?2	¿De dónde viene el agua que utiliza y bebe?	Uso doméstico	Consumo humano	¿Realiza algo al agua antes de beberla?	Si la respuesta es sí, indique cual:	¿Cree que el agua que llueve es limpia?	¿Por qué?	¿Cree que el agua que escurre se lleva el suelo?	Si es sí, ¿Por qué?:	¿Qué puede hacer para evitarlo?	¿Cree que es importante cuidar del medio ambiente?	¿Por qué?:
001	R3	-	-	Familia	Pozo	Pozo	Pozo	Si	Hervirla	Si/No	Viene de varios lugares sucios	Si	En partes hay deslaves	No se	Si	Vivir bien
002	R3	-	Reúsa	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	Si	Es filtrada en nubes	Si	Lo ve y depende de los lugares donde pasa	No se	Si	Es bueno
003	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	Tiene suciedad de los ríos y charcos	No	Se ve clarita	-	Si	Para cuidarlo
004	R3	-	-	Familia	ManantialPurificada	Manantial	ManantialPurificada	Si	Hervirla-manantial	Si	No sabe si esta sucia	Si	Se ve sucia con suelo	Nada	Si	De ahí vivimos
005	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Clorarla	Si	Viene del cielo	Si	Lo ha visto y depende de lo empinado del suelo	Nada	Si	Para mantenerlo y cuidarlo
006	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Las nubes sacan del río el agua sucia	Si	Se ve en las carreteras	Nada/no se	Si	Para no afectar a la salud y no enfermar
007	R3	-	-	Familia	ManantialPurificada	Manantial	Purificada	No	-	No	Puede ser agua sucia que viene de otros lados	Si	Ha visto que la fuerza de la corriente se lo lleva	Nada	Si	Para que este limpio
008	R3	-	-	Escuela	Pozo	Pozo	Pozo	No	-	Si	Cae del cielo	Si	Se ve obscura	No se	Si	Evitar enfermedades
009	R3	-	-	Autoaprendizaje	ManantialPurificada	Manantial	Purificada	No	-	Si	La ha tomado y no se enfermó	No	-	-	Si	Tener limpio y no acabar con árboles
010	R3	-	-	Familia	ManantialPurificada	Manantial	Purificada	No	-	No	Es agua sucia del río	Si	Ha visto que se lo lleva	Nada, no se puede evitar la fuerza de la lluvia	Si	Nos afecta si se acaba
011	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Por tanta contaminación	No	-	-	Si	Para no contaminar
012	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Dios la envía limpia	Si	Ha visto deslaves	Nada	Si	Para mantenerlo limpio
013	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	Por la contaminación	Si	Ha observado la erosión	Es difícil evitarlo por lo empinado de los terrenos	Si	Porque nos da todo, comida, vida y agua
014	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	Si	Viene del cielo	No	-	-	Si	Para vivir mejor pero es difícil cuidarlo
015	R3	-	-	Familia	ManantialPurificada	Manantial	Purificada	No	-	Si	Se ve limpia pero no para beber	No	-	-	Si	Es el medio por el cual respiramos y vivimos
016	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Cae limpia	Si	La fuerza arrastra el suelo	No cortar árboles	Si	Para los hijos y vivir mejor
017	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	-	No	-	-	Si	Vivir en un lugar limpio
018	R3	-	Reúsa	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Purificada	No	-	No	Contaminada por el smoke	Si	Las lluvias fuertes ocasionan deslaves	Desviar el agua	Si	Para vivir bien y que no haga calor
019	R3	-	Reúsa	Familia	Manantial	Manantial	Purificada	No	-	Si	Cae limpia	No	-	-	Si	Evitar cambio climatico
020	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Cae limpia	Si	Se observa en las laderas	Construir desvíos en las carreteras	Si	Para vivir y nos da todo
021	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	Puede tener contaminación por le humo	Si	Al llover fuerte arrastra la tierra	No porque hay mucha pendiente	Si	Para tener agua y oxigeno
022	R3	-	-	Familia	Pozo	Pozo	Pozo	Si	Hervirla	No	Las nubes recogen contaminación	Si	Se lleva la tierra	Nada	Si	Para vivir
023	R3	-	-	Familia	Pozo	Pozo	Pozo	No	-	Si	Viene del cielo	No	-	-	Si	Tener agua
024	R3	-	-	Familia	Pozo	Pozo	Pozo	Si	Hervirla	Si	No tiene suciedad	No	-	-	Si	Tener oxigeno por los árboles
025	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Viene de las nubes	Si	Se lleva cerros	Znajes para encauzar el agua	Si	Lo necesitamos para vivir
026	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Por la contaminación	Si	Cuando llueve muy fuerte	Nada	Si	Para tener de que vivir
027	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Hay mucha contaminación	Si	Lo ve	No se	Si	Para na contaminarlo
028	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Cae del cielo	Si	Llueve fuerte y se lo lleva	No cortar los árboles	Si	Un mejor futuro
029	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Viene limpia del cielo	No	-	-	Si	Es vida que se mantenga limpio
030	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Por el humo que la contamina y llega sucia	Si	Se ve	Nada	Si	Tener agua
031	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	La toma de rio suscios	No	-	Nada	Si	Cuidar y seguir teniendo árboles y agua
032	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Hay contaminación en nubes	Si	Se ve en los caminos	Nada	Si	Para no enfermar
033	R3	-	-	Autoaprendizaje	ManantialPurificada	Manantial	Purificada	No	-	Si	Ya se limpio en las nubes	No	-	-	Si	No acabar con los árboles que dan oxigeno

FOLIO	Región	Recolecta	Reúsa	¿Quién le enseño a hacerlo?2	¿De dónde viene el agua que utiliza y bebe?	Uso doméstico	Consumo humano	¿Realiza algo al agua antes de beberla?	Si la respuesta es sí, indique cual:	¿Cree que el agua que llueve es limpia?	¿Por qué?	¿Cree que el agua que escurre se lleva el suelo?	Si es sí, ¿Por qué?:	¿Qué puede hacer para evitarlo?	¿Cree que es importante cuidar del medio ambiente?	¿Por qué?:
034	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Cae limpia	Si	Ha visto deslaves	Nada	Si	Tener limpio y cuidar árboles
035	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	Si	Cae del cielo limpia	Si	Se ve	No se	Si	Se necesita para vivir
036	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	Si	Cae del cielo limpia	No	-	-	Si	Tener mejor vidalimpia
037	R3	-	Reúsa	Familia	ManantialPurificada	Manantial	Purificada	No	-	Si/No	Se puede usar para limpiar pero no para beber	No	-	Nada	Si	De ahí vivimos
037	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Ya cae limpia por las nubes	Si	Cuando llueve fuerte se lo lleva	Nada	Si	No nefermar y tener limpio
039	R3	-	Reúsa	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	Trae mucha contaminación	Si	Se ve sucia cuando lleva mucha tierra	Más cunetas	Si	Es necasrio para vivir
040	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	Si	Esta limpia	Si	En temporada de lluvias	Nada	Si	Para cuidar plantas y árboles
041	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Esta limpia	No	-	-	Si	Tener mejor vida
042	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Se puede usar para limpiar	No	-	-	Si	Tener oxigeno y agua
043	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	Las nubes tienen agua sucia de los ríos contaminados	Si	Cuando se desbordan los arroyos	No se	Si	Tener un lugar limpio donde vivir
044	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	hervirla	No	Ya cae con contaminación	Si	La fuerza de la lluvia y por la pendiente	Poner más canales y zanjas	Si	Es vida
045	R3	-	-	Familia	Pozo	Pozo	Pozo	Si	hervirla	No	Por el polvo y la contaminación que traen las nubes	No	-	-	Si	Tener más plantas y árboles
046	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	Si	La ha tomado y no le pasa nada	Si	Ha visto que se lo lleva	No se	Si	Para cuidar las plantas y animales
047	R3	-	-	Autoaprendizaje	ManantialArroyo	Arroyo	Manantial	No	-	Si	No sabe si esta sucia	Si	Ha visto que se lo lleva	Controlar el agua o encauzarla con cunetas	Si	Para tener buena salud y que este limpio
048	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	HervirlaClorarla	No	Por el viento contaminado	Si	Se gajea el suelo al ablandarse	Construir más cunetas	Si	Para tener vida y naturaleza
049	R3	-	-	Familia	Pozo	Pozo	Pozo	Si	Hervirla	No	Por el polvo y la contaminación	No	-	-	Si	Para cuidar más a la vegetación
050	R3	-	-	AutoaprendizajeFamilia	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	Las nubes toman el agua del rio que esta sucia	Si	Desborda el suelo y se lo lleva	Nada	Si	Para las nuevas generaciones y tener un lugar limpio
051	R3	-	-	Autoaprendizaje	ManantialPurificada	Manantial	Purificada	Si	Colar el agua purificada	No	Por la contaminación del smoke	No	-	-	Si	Para que no se enferme la gente
052	R3	-	-	Gobierno	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	Levanta suciedad de arroyos y charcos	Si	Ha visto que el agua escurre y se lleva el suelo	Hacer cercas y muros para que la lluvia no lave la tierra buena	Si	Para seguir usandolo
053	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	Es la que se evapora de ríos sucios	Si	Va rascando la lluvia y se lo lleva	Nada	Si	Para tener buen oxigeno
054	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	Por la contaminación de arriba	No	-	Nada	Si	Para cuidar el agua, plantas y el ambiente
055	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	Si	Viene del sistema natural del aireViene saludable	Si	La corriente fuerte se lleva el suelo	Cuidar el monte, escalones de madera, cuidar que no se vaya el suelo	Si	Para que caiga el agua y evitar la tala de árboles
056	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	Lluvia contaminadaÁcida	No	-	-	Si	Porque nos da el aire que respiramos
057	R3	-	Reúsa	Talleres en centro de salud	Pozo	Pozo	Pozo	No	-	Si	Cae del cielo y es limpio	Si	La lluvia fuerte se lo lleva	No se	Si	Para no contaminarlo
058	R3	-	Reúsa	Familia	ManantialPurificada	Manantial	Purificada	No	-	No	Viene contaminada con microbios	Si	La que no se filtra se lo lleva	Mayor infiltración y retención del agua	Si	Para que no aumente la temperaturaCambio climático
059	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Desinfectar (gotas)	No	Se ve sucia	Si	Se lleva las laderas y deslava	Nada	Si	Evitar calentamiento global
060	R3	-	-	Autoaprendizaje	ManantialPurificada	Manantial	Purificada	No	-	Si	Es la que viene de los manantiales	Si	Ve el suelo en el agua de lluvia que escurre	Dirigir la escorrentía y retenerla para enviar a potreros	Si	De eso vivimos
061	R3	-	-	Familia	ManantialPozo	ManantialPozo	ManantialPozo	Si	Hervirla	Si	Viene del cielo	Si	El suelo se va con el agua	No se	Si	Es muy importante para vivir
062	R3	-	Reúsa	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Viene sucia	Si	En donde no penetra el agua y corre llevandose la tierra	Encaminar la escorrentia a otro ladoDesviar	Si	De ahí vivimos, nos da aire, agua y todo
063	R3	-	-	Familia	ManantialPurificada	Manantial	ManantialPurificada	Si	Hervirla-manantial	No se	No se	Si	La ve sucia con tierra	No se	Si	Evitar sequiashno talar árboles
064	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Lava la atmósfera sucia	Si	Tiene fuerza y se lleva el suelo suelto	Ponerle trancas como palos o rocas	Si	De ahí respiramos
065	R3	-	-	Familia	ManantialPurificada	Manantial	Purificada	No	-	Si	Tiene un proceso que la limpia	Si	El agua arrastra el suelo	No creo	Si	Para no contaminar y de ahí viene el aire que respiramos
066	R3	-	-	Autoaprendizaje	ManantialPurificada	Manantial	Purificada	No	-	Si	Viene de arriba	Si	Se ve lo que acarre ale aguatierra	Tener limpio	Si	Para no contaminar

FOLIO	Región	Recolecta	Reúsa	¿Quién le enseño a hacerlo?2	¿De dónde viene el agua que utiliza y bebe?	Uso doméstico	Consumo humano	¿Realiza algo al agua antes de beberla?	Si la respuesta es sí, indique cual:	¿Cree que el agua que llueve es limpia?	¿Por qué?	¿Cree que el agua que escurre se lleva el suelo?	Si es sí, ¿Por qué?:	¿Qué puede hacer para evitarlo?	¿Cree que es importante cuidar del medio ambiente?	¿Por qué?:
067	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Clorarla	No	Por el polvo del aire	No	Lo evita la vegetación e hierbas	-	Si	Nos da aire limpio
068	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Clorarla	Si	Aunque hay contaminación esta limpia	No	Cuando hay vegetación no se lo lleva	-	Si	Nos da aire que respiramos y vida
069	R3	-	-	Familia	Pozo	Pozo	Pozo	Si	hervirla	Si	No trae suciedad	No	-	-	Si	Tener más árboles y agua
070	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Clorarla	No	Por la contaminación	Si	No infiltra	Zanja para cruzarla	Si	Para vivir necesitas agua y oxigeno
071	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial/Purificada	Manantial	Purificada	No	-	No	No se	Si	Llueve fuerte y se ve que se lleva el suelo	Nada	Si	Cuidar el agua y no sufrir sequia
072	R3	-	-	Familia	Pozo	Pozo	Pozo	Si	Hervirla	No	Por la contaminación de otros lados	No	-	-	Si	Los hijos tenga de que vivir
073	R3	-	-	Familia	Pozo	Pozo	Pozo	Si	Hervirla	Si	Cae del cielo limpia	Si	Cuando llueve fuerte	Nada	Si	Seguir teniendo árboles y agua
074	R3	-	-	Autoaprendizaje	Pozo	Pozo	Purificada	No	-	Si	No tiene suciedad	No	-	-	Si	De el vivimos
075	R3	-	-	Familia	Pozo	Pozo	Pozo	Si	Hervirla	No	Por contaminación	No	Casi no llueve fuerte	-	Si	Para tener agua
076	R3	-	Reúsa	Familia	Pozo	Pozo	Pozo	Si	Hervirla	No	La nube recoge agua sucia	No	-	-	Si	Tener agua y que comer
077	R3	-	-	Familia	Pozo	Pozo	Pozo	Si	Hervirla	No	Por contaminación de rios que lleva la lluvia	No	-	-	Si	Cuidar agua y tener oxigeno limpio
078	R3	-	-	Autoaprendizaje	Pozo	Pozo	Pozo	Si	Hervirla	No	Trae contaminación	Si	Se ve	Plantar árboles	Si	Seguir teniendo agua limpia
078	R3	-	-	Autoaprendizaje	Pozo	Pozo	Pozo	Si	Hervirla	No	Ya hay mucha contaminación	No	No escurre mucho	-	Si	Tener un lugar limpio
080	R3	-	-	Autoaprendizaje	Pozo	Pozo	Pozo	Si	Hervirla	Si	Cae limpia	Si	Hay deslaves en otros lugares	No cortar árboles	Si	Para tener comida, agua y aire bueno
081	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	Tiene suciedad no se toma	Si	La lluvia fuerte si se lo lleva	Canaletas	Si	Necesitamos el agua y el oxigeno
082	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Por le polvo y contaminación	No	Por que hay árboles	-	Si	Tener aire limpio y agua
083	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Se ve	Si	Cuando llueve mucho	No tirar el monte	Si	Tenermejor vida y agua
084	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Todavia esta limpia	No	-	-	Si	De ahí vivimos/tener agua
085	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Ya esta filtrada por la nube	No	-	-	Si	Vivir mejor y tenet oxigeno
086	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	Si	Cae limpia	No	-	-	Si	Es necesario para vivir
087	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	No hay tanta contaminación	No	-	-	Si	Para los hijos
088	R3	-	Reúsa	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Clorarla	No	El agua ya tiene contaminación	Si	La lluvia fuerte se lo lleva	Zanjas/Desviar	Si	Para tener mejor vida
089	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Cae asi limpia	No	-	-	Si	Para qu enos de aire limpio
090	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Cae limpia	No	-	-	Si	Es importante para vivir mejor
091	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Por la contaminación	No	-	-	Si	Para respirar limpio y vivir mejor
092	R3	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Cae del cielo limpia	Si	La lluvia feuret se lo lleva	Nada	Si	Para que los hijos vivan bien
093	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	Por el smoke	No	-	Nada	Si	Para tener oxigeno y agua limpia
094	R3	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Purificada	No	-	Si	Se ve que cae limpia	No	-	Nada	Si	Para tener agua y que no este tan caluroso
AD-03	R3	-	-	-	Manantial/Purificada	Manantial	Purificada	No	-	Si	Es agua que bajo de lugares que no esta contaminada	Si	Por como estan las calles, unas llegan a ser de tierra y otras de concreto	Reportar los espacios en los que haya	Si	Para el oxigeno que llegamos a respirar
AD-06	R3	-	Reúsa	-	Manantial	Manantial	Manantial	No	Hervirla	No	En el caso de las ciudades, el agua que llueve esta expuesta a la contaminación de las ciudades	No	-	-	Si	-
DS-12	R3	-	Reúsa	Familia	Red de agua potable	Red de agua potable	Red de agua potable	No	-	No	-	Si	Por los deslabes	-	Si	Porque es nuestra casa
EN-15	R3	-	Reúsa	Familia/Escuela	Manantial/Purificada	Manantial	Manantial/Purificada	Si	Hervirla-manantial	No	Con lleva un proceso para que llueva	Si	-	-	Si	Proporciona oxigeno, flora y fauna

FOLIO	Región	¿Ha participado en algún programa o curso de cuidado del medio ambiente?	Si la respuesta es sí indique cual, y aplique las preguntas 16 y 17.	¿Quién impartió el curso?	¿Considera que le fue útil la información obtenida en estos programas o	¿Está de acuerdo con que existan reglas para el uso de la tierra y el agua?	¿Está de acuerdo que existan zonas protegidas como las reservas naturales?	Si es sí, ¿Por qué?:4	¿Está de acuerdo que existan zonas turísticas en zonas naturales?	¿Por qué?:5	¿Conoce la Reserva Medio Monte?	¿Sabe cuál árbol es originario de su localidad?	Si la respuesta es sí, ¿Cuál?:	¿Participa de alguna celebración/fiesta que promueva o enseñe el cuidado del medio ambiente?	Si la respuesta es sí, indique cual:6	¿Qué tipo de celebración?
001	R3	No	-	-	-	Si	Si	Usarlos bien	Si	En partes para conocer, cuidando el agua y no tirando basura	Si	Si	Ceiba-Malvaceae	No	-	-
002	R3	Si	Plantar árboles	Gobierno	No	Si	Si	Proteger manantiales y no sufrir sequía	Si	Ayuda a la economía	Si	No	-	No	-	-
003	R3	Si	Plantar árboles	Gobierno	No	Si, sería delito cortar los árboles	Si	Cuidar manantiales	Si	Sería más divertido	Si	No	-	No	-	-
004	R3	No	-	-	-	Si	Si	Para que no falte el agua	No	Ensucian	Si	No	-	No	-	-
005	R3	No	-	-	-	Si, para mantenerlo y cuidarlo	Si	Para mantener el agua	Si	Para pasear pero sin contaminar	Si	No	-	No	-	-
006	R3	No	-	-	-	Si	Si	Para tener agua	Si/No	En exceso lo destruye	Si	Si	Tejo/arbusto	No	-	-
007	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar plantas y animales	Si/No	Puede afectar a plantas y animales	No	Si	Ceiba-Malvaceae	No	-	-
008	R3	Si	Limpieza	Gobierno	Si	Si	Si	Cuidarlo	Si	No se	No	Si	Ocote-Pinaceae	Si	Agua/Suelo	Tradicional
009	R3	No	-	-	-	Si	Si	Para no destruir y no acabar con montes	No	Dejan basura	No	No	-	No	-	-
010	R3	No	-	-	-	Si	Si	Para cuidarlas de lo contrario nos afecta en la salud	Si	Llegan turistas	No	Si	Aile-Betulaceae	No	-	-
011	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar a los animales	No	Porque contaminan y tiran árboles	No	Si	Aile-Betulaceae	No	-	-
012	R3	No	-	-	-	Si	Si	Para no perturbar a los árboles, plantar más y no cortarlos	No	Dejan basura	No	Si	Encino/Palo mulato-Burseraceae	No	-	-
013	R3	No	-	-	-	Si, también fauna, flora, ecosistema	Si	Es bueno cuidarl la naturaleza	Si	Habrá más caminos y cuidaran la zona	No	Si	Cedro-Pinaceae/Ceiba	No	-	-
014	R3	No	-	-	-	Si, con beneficios según las tarifas	No	-	Si	Para divertirse	No	No	-	No	-	-
015	R3	No	-	-	-	Si	No	-	No	-	No	No	-	No	-	-
016	R3	Si	Limpieza	Gobierno	Si	Si	Si	Cuidar agua y no cortar árboles	Si	Ventas y llegan turistas	Si	Si	Aile/Ceiba	Si	Agua/Suelo	Tradicional
017	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar árboles y tener agua limpia	No	Destruyen y tiran basura	No	Si	Aile-Betulaceae	No	-	-
018	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar plantas y animales	Si	Mayor comercio	Si	Si	Aile/ceiba	No	-	-
019	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar que no talen árboles	Si	Aumentan las ventas y hay más trabajo	Si	No	-	No	-	-
020	R3	No	-	-	-	Si	Si	Para no talar árboles y el agua infiltre	No	Contaminan	No	Si	Ceiba/Potatillo	Si	Agua	Tradicional
021	R3	No	-	-	-	Si	Si	Tener oxigeno y agua infiltrada	Si	Conozacan lugares bonitos	Si	Si	Encino-Fagaceae	No	-	-
022	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar árboles	Si	La gente conozacan lugares bonitos	Si	Si	Ceiba-Malvaceae	No	-	-
023	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar el agua	Si	vender comida	Si	No	-	No	-	-
024	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar árboles y agua	No	En sucian	No	Si	Aile-Betulaceae	No	-	-
025	R3	Si	Limpieza y plantar árboles	Gobierno	Si	Si	Si	Cuidar árboles y tener limpio	Si	Cuidar esos lugares	Si	Si	Aile-Betulaceae	No	-	-
026	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar árboles que den oxigeno	No	Contaminan y destruyen	Si	Si	Ceiba-Malvaceae	Si	Agua/Suelo/Plantas	Católica
027	R3	Si	Plantar árboles	Gobierno	Si	Si	Si	Cuidar árboles y no contaminar	Si/No	Compran cosas pero contaminan	No	No	-	No	-	-
028	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar árboles, animales y tener más agua	Si	Si lo cuidan sí	Si	Si	Aile/Ceiba	No	-	-
029	R3	Si	Limpieza	Gobierno	Si	Si	Si	Cuidar árboles y haya más agua	Si	Vender comida	Si	Si	Aile-Betulaceae	No	-	-
030	R3	No	-	-	-	Si	Si	Plantar árboles	No	Destruyen el monte	No	No	-	No	-	-
031	R3	Si	Plantar árboles	Gobierno	No	Si	Si	Cuidar el agua de los manantiales	Si	Compran cosas	Si	No	-	No	-	-
032	R3	Si	Limpieza	Gobierno	Si	Si	Si	Tener agua limpia	No	Destruyen	Si	No	-	No	-	-
033	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar el mongte y animales	No	Contaminan	No	No	-	No	-	-

FOLIO	Región	¿Ha participado en algún programa o curso de cuidado del medio ambiente?	Si la respuesta es sí indique cuál, y aplique las preguntas 16 y 17.	¿Quién impartió el curso?	¿Considera que le fue útil la información obtenida en estos programas o	¿Está de acuerdo con que existan reglas para el uso de la tierra y el agua?	¿Está de acuerdo que existan zonas protegidas como las reservas naturales?	Si es sí, ¿Por qué?:4	¿Está de acuerdo que existan zonas turísticas en zonas naturales?	¿Por qué?:5	¿Conoce la Reserva Medio Monte?	¿Sabe cuál árbol es originario de su localidad?	Si la respuesta es sí, ¿Cuál?:	¿Participa de alguna celebración/fiesta que promueva o enseñe el cuidado del medio ambiente?	Si la respuesta es sí, indique cuál:6	¿Qué tipo de celebración?
034	R3	No	-	-	-	Si	Si	No cortar árboles	No	Destruyen y ensucian	No	Si	Encino-Fagaceae	No	-	-
035	R3	No	-	-	-	Si	Si	Es bueno cuidar los árboles	Si	Ventas de comida	No	Si	Ceiba-Malvaceae	No	-	-
036	R3	No	-	-	-	Si	No	-	Si	Distraerse divertirse	No	No	-	No	-	-
037	R3	No	-	-	-	Si	No	Para no cortar árboles y no ensuciar	No	Contaminan	No	No	-	No	-	-
037	R3	No	-	-	-	Si	Si	Para no cortar árboles y no ensuciar	Si	Vender productos	No	Si	Aile-Betulaceae	No	-	-
039	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar el agua	Si	Comercio de comida y ventas	Si	No	Aile/Encino	Si	Agua/Suelo	Tradicional
040	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar árboles	Si	Conozacan pero que este limpio	No	Si	Aguacate Chinin-Lauraceae	Si	Agua/Suelo	Católica
041	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar el monte	Si	Conozacan pero no ensucien	No	No	-	No	-	-
042	R3	No	-	-	-	Si	Si	Tener agua	No	Tiran basura	No	Si	Aguacate Chinin-Lauraceae	Si	Agua/Suelo	Tradicional
043	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar árboles y animales	Si	Tiran basura	No	No	-	No	-	-
044	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar que no talen árboles y así se infiltra el agua	Si	Así cuidarían más los caminos	No	Si	Zapote y aguacate Chinin	No	-	-
045	R3	No	-	-	-	Si	Si	Así ya no contaminarían	Si	Vender productos que produce la localidad	No	Si	Aguacate Chinin-Lauraceae	No	-	-
046	R3	No	-	-	-	Si	No	Mantener cuidadas las áreas naturales	Si	Vneder cosas y mayores ventas	No	Si	Aguacate Chinin-Lauraceae	Si	Agua/Suelo/Plantas/Animales	Tradicional
047	R3	No	-	-	-	Si	Si	Para tener agua limpia en los arroyos	No	No le ve ventaja	No	Si	Zapote-Rutaceae	Si	Agua/Suelo/Plantas/Animales	Tradicional
048	R3	No	-	-	-	Si	Si	Para que cuiden el agua	Si	Más futuro y compran en los negocios	No	Si	Aguacate Chinin-Lauraceae	Si	Agua/Suelo/Plantas/Animales	Tradicional
049	R3	No	-	-	-	Si	Si	Necesitan cuidados para que no haya tala ni contaminación	Si	Comprarían lo que siembran o preparan	No	Si	Aguacate Chinin-Lauraceae	No	-	-
050	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar árboles y tener oxígeno	Si	Conocer el paisaje	No	No	-	No	-	-
051	R3	No	-	-	-	Si, para el agua porque no hacen caso	Si	Para cuidar el medio ambiente	Si	Venta de comida/economía	Si	Si	Copal o liquidambar-Altingiaceae	No	-	-
052	R3	Si	Huertos de hortalizas/traspatio	Gobierno	Si	Si	Si	Para cuidar la naturaleza y no falte	Si	Para que conozcan los turistas habra mayor trabajo	No	Si	Texmol/Encino	Si	Agua	Tradicional
053	R3	No	-	-	-	Si	Si	Evitar tala de árboles para tener oxigeno	Si	Es bueno siempre que no contaminen	No	No	-	No	-	-
054	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar vegetación	Si	Diversión y conocer	No	Si	Encino-Fagaceae	No	-	-
055	R3	No	-	-	-	Si, pero reglas locales	Si	Recuperar lo que se ha pérdido de naturaleza y para que siga para los que quedan	Si	Solo si cuidan el agua	Si	Si	Tlaculo (Palo escrito)-Fabaceae	No	-	-
056	R3	No	-	-	-	Si	Si	Para no acabar con la flora y fauna/naturaleza	Si	Solo con cuidados para no afectarla	Si	Si	Grado (Sangre de grado)/Jonote-Malvaceae	No	-	-
057	R3	Si	Limpieza	Gobierno	Si	Si	Si	Cuidar árboles	No	Estan muy lejos	Si	Si	Grado (Sangre de grado)-Euphorbiaceae	Si	Agua/Suelo/Plantas/Animales	Católica
058	R3	No	-	-	-	Si	Si	Para respetar el espacio de los seres vivos y no invadir su habitat	Si/No	Puede ayudar a al economía pero puede contaminar	Si	Si	Ceiba-Malvaceae	Si	Agua	Tradicional
059	R3	No	-	-	-	Si	Si	Para destruir menos el ambiente	Si	Mejora economía	No	Si	Aile/Encino	No	-	-
060	R3	No	-	-	-	Si, para enseñar	Si	Para inculcar que cuiden el medio ambiente	Si	Solo si lo cuidan	Si	No	-	No	-	-
061	R3	Si	Limpieza	Centro de salud	Si	Si	Si	Para no descuidar la naturaleza	Si	Llegan turistas a conocer	No	No	-	No	-	-
062	R3	No	-	-	-	Si	Si	Para cuidar a la naturaleza	Si	Para tener donde pasear y distraerse	Si	Si	Encino/Ocote	No	-	-
063	R3	No	-	-	-	Si	Si	Aprender a cuidar a la naturaleza	Si	Ingreso monetario	No	No	-	No	-	-
064	R3	No	-	-	-	Si	Si	Serviría de ejemplo para aprender a cuidar la naturaleza	Si	Deja dinero	No	Si	Jonote blanco-Malvaceae	No	-	-
065	R3	No	-	-	-	Si	No se	No lo ha pensado	Si	Para disfrutar del paisaje	No	No	-	No	-	-
066	R3	Si	Limpieza	Centro de salud	Si	Si	Si	Para cuidar árboles y lo que hay en la naturaleza	Si	Los turistas conozcan lo bonito	No	No	-	No	-	-

FOLIO	Región	¿Ha participado en algún programa o curso de cuidado del medio ambiente?	Si la respuesta es sí indique cual, y aplique las preguntas 16 y 17.	¿Quién impartió el curso?	¿Considera que le fue útil la información obtenida en estos programas o	¿Está de acuerdo con que existan reglas para el uso de la tierra y el agua?	¿Está de acuerdo que existan zonas protegidas como las reservas naturales?	Si es sí, ¿Por qué?:4	¿Está de acuerdo que existan zonas turísticas en zonas naturales?	¿Por qué?:5	¿Conoce la Reserva Medio Monte?	¿Sabe cuál árbol es originario de su localidad?	Si la respuesta es sí, ¿Cuál?:	¿Participa de alguna celebración/fiesta que promueva o enseñe el cuidado del medio ambiente?	Si la respuesta es sí, indique cual:6	¿Qué tipo de celebración?
067	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar árboles que dan vida y no matar animales	Si	Para divertirse	Si	Si	Sabino-Conifera Cupressus	No	-	-
068	R3	No	-	-	-	Si	Si	Da fresucra y vida	Si	Conocer más	Si	Si	Ocote-Pinaceae	No	-	-
069	R3	No	-	-	-	Si	Si	No haya tanta contaminación	Si	Llega gente a comprar y conocer	No	No	-	No	-	-
070	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar el agua y tener el aire limpio	Si	Para divertirse	Si	Si	Ocote/Pino	No	-	-
071	R3	No	-	-	-	Si	Si	Tener agua	No	Destruyen	No	No	-	No	-	-
072	R3	No	-	-	-	Si	Si	No corten árboles	Si	Para conocer	Si	No	-	No	-	-
073	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar el monte y árboles	Si	Vender comida	No	No	-	No	-	-
074	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar árboles para tener oxígeno	Si	Vender comida	No	No	-	No	-	-
075	R3	No	-	-	-	Si	Si	No cortar árboles y que infiltre el agua	Si	Vender cosas	No	Si	Aguacate Chinin-Lauraceae	No	-	-
076	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar árboles y agua	Si	Vender comida	No	No	-	No	-	-
077	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar agua y árboles	Si	Conocen y cuidan	No	No	-	No	-	-
078	R3	No	-	-	-	Si	Si	Para que no tiren árboles	No	Tiran basura	Si	Si	Grado (Sangre de grado)-Euphorbiaceae	No	-	-
078	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar los animales y el monte	Si	Conocen y cuidan	Si	Si	Aguacate Chinin-Lauraceae	No	-	-
080	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar agua y árboles	Si	Si tienen limpio sí	Si	No	-	No	-	-
081	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar árboles	Si	Conozaca y que sigan la regla de no tirar basura	No	Si	Ocote-Pinaceae	No	-	-
082	R3	No	-	-	-	Si	Si	Tener agua y árboles es tener vida	Si	Conocer y pueden comprar comida	No	No	-	No	-	-
083	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar árboles y tener pxígeno	No	Tiran basura	No	No	-	No	-	-
084	R3	No	-	-	-	Si	Si	Tener árboles que no los corten	Si	Vender comida	No	Si	Copal o liquidambar-Altingiaceae	No	-	-
085	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar agua, animales y árboles	Si	Siempre que no ensucie	Si	Si	Sabino/Ocote	No	-	-
086	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar a árboles	Si	Ventas	No	No	-	No	-	-
087	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar a árboles y tener agua	Si	Se pasea la gente	No	No	-	No	-	-
088	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar a árboles y tener agua, animales	Si	Conocen lugares y la gente los limpiaría (gobierno)	Si	Si	Sabino/Ocote	No	-	-
089	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar a árboles y tener aire limpio	No	Contaminan	No	Si	Alle/Sabino	Si	Agua/Suelo	Tradicional
090	R3	Si	Limpieza	Centro de salud	Si	Si	Si	Para tener árboles que den oxígeno	Si	Llega gente y compra en las tiendas	Si	No	-	No	-	-
091	R3	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar árboles	Si	Vender comida	Si	Si	Alle-Betulaceae	No	-	-
092	R3	No	-	-	-	Si	Si	No cortar todos los árboles	Si	Más ventas de productos	Si	No	-	No	-	-
093	R3	No	-	-	-	Si	Si	Para tener agua limpia	Si	Aumenten las ventas de comida	Si	No	-	No	-	-
094	R3	Si	Limpieza	Gobierno	-	Si	Si	Cuidar el agua y animales y árboles	Si	Conocen y compran	Si	Si	Alle-Betulaceae	No	-	-
AD-03	R3	No	-	-	-	Si, para cuidarlos más y evitar contaminación	Si	Así se conserva un poco más el espacio de las reservas naturales	No	Por que lo llegan a afectar	No	No	-	No	-	-
AD-06	R3	Si	Crear consciencia	Grupo juvenil	Si	Si, propiciando el uso correcto en tiempo y forma	Si	Debería de ser requisito abarcar grandes áreas para asegurar su futuro y el nuestro	No	La interacción crea un cambio en las zonas naturales	No	No	-	No	-	-
DS-12	R3	Si	Formación académica	Escuela	No	No, porque no se respeta	Si	Por la misma cuestión	No	Contaminan	Si	No	-	Si	Agua/Suelo/Plantas/ Animales	-
EN-15	R3	Si	Limpieza	-	Si	Si, para ayudar al medio ambiente	Si	Proteger ecosistemas	Si	Ayudar al comercio	Si	No	-	No	-	-

Respuestas para encuestas de percepción en región cinco (R5)

FOLIO	Región	Fecha	Localidad donde vive-ID	Genero	¿Habla alguna lengua originaria?	¿A qué se dedica cotidianamente?	¿Cree que las tierras de cultivo necesitan ayuda para mejorar?	¿Conoce de alguna actividad o práctica para mejorar la tierra de cultivo?	Si es sí, ¿Cuál?	¿Sabe que productos se pueden aplicar para	Si es sí, ¿Cuál?2	¿Cree que es importante no tirar basura?	¿Qué hace con la basura?	¿Quién le enseño a hacerlo?	¿Cree que es importante cuidar el agua?	¿Qué hace para cuidar el agua/Ahorro?
R5-01	R5	10-feb-24	El Dexhuadá-93771	F	No	Ama de casa/Bordado de Tenangos	Si	Si	Limpieza/Deshierbe	Si	Abono natural	Si	Quema/Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
R5-02	R5	10-feb-24	El Dexhuadá-93771	F	No	Ama de casa	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural/Fertilizante	Si	Quema/Entierra	Familia	Si	Ahorra
R5-03	R5	10-feb-24	El Dexhuadá-93771	M	No	Albañil/Peón	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
R5-04	R5	10-feb-24	El Dexhuadá-93771	M	No	Agricultura/Ganadero (vacas)	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural/Fertilizante	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
R5-05	R5	10-feb-24	El Dexhuadá-93771	F	Si/Otomí	Ama de casa	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Quema/Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-06	R5	10-feb-24	El Dexhuadá-93771	F	Si/Otomí	Ama de casa	Si	No	-	No	-	Si	Quema/Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-07	R5	10-feb-24	El Dexhuadá-93771	F	No	Servicios/Alimentos	No	No	-	Si	Abono natural	Si	Quema/Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
R5-08	R5	10-feb-24	El Dexhuadá-93771	F	Si/Otomí	Ama de casa	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-09	R5	10-feb-24	El Dexhuadá-93771	M	No	Agricultura/Ganadero (vacas)	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural/Fertilizante	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-10	R5	10-feb-24	El Dexhuadá-93771	F	No	Artesana/Bordado de Tenangos	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Quema/Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-11	R5	10-feb-24	El Dequeña-36032	F	No	Comercio/Bordadora	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-12	R5	10-feb-24	El Dequeña-36032	F	Si/Otomí	Ama de casa/Bordado de Tenangos	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
R5-13	R5	10-feb-24	El Dequeña-36032	M	No	Ganadero(vacas)	No	No	Abonar	No	-	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
R5-14	R5	10-feb-24	El Dequeña-36032	F	No	Comercio	No	No	Abonar	No	-	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-15	R5	10-feb-24	El Dequeña-36032	F	No	Ama de casa	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-16	R5	10-feb-24	San Francisco Ixmiquilpan-93756	F	No	Ama de casa	Si	No	-	No	-	Si	Quema/Camión recolector de basura	Talleres en centro de salud	Si	Ahorra
R5-17	R5	10-feb-24	San Francisco Ixmiquilpan-93756	F	No	Agricultura/Ama de casa	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Quema/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-18	R5	10-feb-24	San Francisco Ixmiquilpan-93756	F	No	Ama de casa	Si	No	-	No	-	Si	Quema/Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
R5-19	R5	10-feb-24	San Francisco Ixmiquilpan-93756	F	No	Ama de casa	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Reciclar/Incorpora materia orgánica al suelo	Familia	Si	Ahorra
R5-20	R5	10-feb-24	San Francisco Ixmiquilpan-93756	F	Si/otomí	Ama de casa/Bordado de Tenangos	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Familia	Si	Ahorra
R5-21	R5	10-feb-24	San Francisco Ixmiquilpan-93756	M	No	Ganadero(vacas)	Si/No	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-22	R5	10-feb-24	San Francisco Ixmiquilpan-93756	M	Si/Otomí	Agricultura	Si	Si	Dejar residuos de cosechas y abonar	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Gobierno	Si	Ahorra
R5-23	R5	10-feb-24	San Francisco Ixmiquilpan-93756	F	No	Agricultura/Ama de casa	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Quema	Familia/Talleres en centro de salud	Si	Ahorra
R5-24	R5	10-feb-24	San Francisco Ixmiquilpan-93756	F	No	Ama de casa	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-25	R5	10-feb-24	San Francisco Ixmiquilpan-93756	M	Si/Otomí	Agricultura/Ganadero (vacas)	Si	Si	Dejar residuos de cosecha	Si	Abono natural	Si	Quema/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-26	R5	10-feb-24	San Francisco Ixmiquilpan-93756	M	No	Ganadero(vacas)	Si	No	-	No	-	Si	Quema/Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-27	R5	10-feb-24	San Francisco Ixmiquilpan-93756	M	No	Ganadero(vacas)	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-28	R5	10-feb-24	El Madhó-93753	F	No	Ama de casa	Si	Si	Abonar	Si	Fertilizante	Si	Quema/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-29	R5	10-feb-24	El Madhó-93753	F	Si/Otomí	Ama de casa	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural/Fertilizante	Si	Quema/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-30	R5	10-feb-24	El Madhó-93753	M	No	Agricultura	Si	Si	Dejar residuos de cosecha	Si	Abono natural	Si	Quema/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-31	R5	10-feb-24	El Madhó-93753	M	Si/Otomí	Agricultura	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural/Fertilizante	Si	Quema/Incorpora la materia orgánica al suelo	Familia	Si	Ahorra
R5-32	R5	10-feb-24	El Madhó-93753	M	Si/Otomí	Agricultura	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural/Fertilizante	Si	Quema/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra

FOLIO	Región	Fecha	Localidad donde vive-ID	Genero	¿Habla alguna lengua originaria?	¿A qué se dedica cotidianamente?	¿Cree que las tierras de cultivo necesitan ayuda para mejorar?	¿Conoce de alguna actividad o práctica para mejorar la tierra de cultivo?	Si es sí, ¿Cuál?	¿Sabe que productos se pueden aplicar para	Si es sí, ¿Cuál?2	¿Cree que es importante no tirar basura?	¿Qué hace con la basura?	¿Quién le enseño a hacerlo?	¿Cree que es importante cuidar el agua?	¿Qué hace para cuidar el agua/Ahorro?
R5-33	R5	10-feb-24	El Madhó-93753	M	No	Ganadero(vacas)	No	No	-	No	-	Si	Quema	Familia	Si	Ahorra
R5-34	R5	10-feb-24	El Madhó-93753	M	No	Agricultura/Ganadero (vacas)	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural/Fertilizante	Si	Quema	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-35	R5	10-feb-24	El Desdavi-36020	M	No	Agricultura	Si	No	-	No	-	No	Quema	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-36	R5	10-feb-24	El Desdavi-36020	M	Si/Otomí	Agricultura	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-37	R5	10-feb-24	El Desdavi-36020	F	Si/Otomí	Ama de casa	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Familia	Si	Ahorra
R5-38	R5	10-feb-24	El Desdavi-36020	F	No	Ama de casa	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-39	R5	10-feb-24	El Desdavi-36020	M	No	Ganadero(vacas)/Peón	No	No	-	Si	Abono natural	Si	Quema/Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
R5-40	R5	10-feb-24	El Desdavi-36020	M	No	Agricultura	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-41	R5	10-feb-24	El Texme-93792	F	No	Ama de casa	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Quema	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-42	R5	10-feb-24	El Texme-93792	F	No	Comercio	No	No	-	No	-	Si	Quema	Familia	Si	Ahorra
R5-43	R5	10-feb-24	El Texme-93792	F	No	Ama de casa	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Quema	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-44	R5	10-feb-24	El Texme-93792	F	No	Ama de casa	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural/Fertilizante	Si	Quema/Incorpora la materia orgánica al suelo	Familia	Si	Ahorra
R5-45	R5	10-feb-24	El Texme-93792	M	No	Ganadero(vacas)	Si	No	-	No	-	Si	Quema	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-46	R5	10-feb-24	El Texme-93792	M	No	Ganadero(vacas)/Peón	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Quema/Entierra	Familia	Si	Ahorra
R5-47	R5	10-feb-24	Tenango de Doria-3804	M	No	Servicios	No	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-48	R5	10-feb-24	Tenango de Doria-3804	F	No	Ama de casa	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
R5-49	R5	11-feb-24	El Gosco-93959	M	No	Jubilado/Gobierno	No	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Quema/Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-50	R5	11-feb-24	El Gosco-93959	M	No	Agricultura	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Quema	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-51	R5	11-feb-24	El Gosco-93959	M	No	Agricultura	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Quema/Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-52	R5	11-feb-24	El Gosco-93959	M	No	Albañil	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Gobierno	Si	Ahorra
R5-53	R5	11-feb-24	El Gosco-93959	M	No	Albañil	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
R5-54	R5	11-feb-24	El Gosco-93959	M	No	Albañil/Peón	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-55	R5	11-feb-24	El Gosco-93959	M	No	Comercio	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural/Fertilizante/Herbicidas	Si	Camión recolector de basura	Comunidad	Si	Ahorra
R5-56	R5	11-feb-24	El Gosco-93959	M	No	Albañil/Peón	No	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
R5-57	R5	11-feb-24	El Gosco-93959	M	No	Agricultura	Si	Si	Abonar y dejar descansar la tierra	Si	Abono natural/Fertilizante	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-58	R5	11-feb-24	El Gosco-93959	F	No	Comercio/Ama de casa	Si	No	-	No	-	Si	Quema/Reciclar	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-59	R5	11-feb-24	El Gosco-93959	F	Si/Otomí	Ama de casa	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Quema/Incorpora la materia orgánica al suelo	Familia	Si	Ahorra
R5-60	R5	11-feb-24	El Gosco-93959	F	No	Ama de casa	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Quema/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-61	R5	11-feb-24	El Gosco-93959	F	No	Servicios/Alimentos	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
R5-62	R5	11-feb-24	El Gosco-93959	F	No	Ama de casa	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
R5-63	R5	11-feb-24	El Gosco-93959	F	No	Comercio	Si	Si	Dejar descansar la tierra	Si	Abono natural/Fertilizante	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra

FOLIO	Región	Fecha	Localidad donde vive-ID	Genero	¿Habla alguna lengua originaria?	¿A qué se dedica cotidianamente?	¿Cree que las tierras de cultivo necesitan ayuda para mejorar?	¿Conoce de alguna actividad o práctica para mejorar la tierra de cultivo?	Si es sí, ¿Cuál?	¿Sabe que productos se pueden aplicar para	Si es sí, ¿Cuál?2	¿Cree que es importante no tirar basura?	¿Qué hace con la basura?	¿Quién le enseño a hacerlo?	¿Cree que es importante cuidar el agua?	¿Qué hace para cuidar el agua/Ahorro?
R5-64	R5	11-feb-24	El Gosco-93959	F	No	Ama de casa	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-65	R5	11-feb-24	El Gosco-93959	M	Si/Otomí	Comercio/Ama de casa	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Quema/Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
R5-66	R5	11-feb-24	El Gosco-93959	F	No	Ama de casa	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-67	R5	11-feb-24	Tenango de Doria-3804	M	No	Agricultura	No	Si	Abonar	No	-	Si	Quema/Entierra/Reciclar/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	-
R5-68	R5	11-feb-24	Tenango de Doria-3804	F	No	Ama de casa	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
R5-69	R5	11-feb-24	Tenango de Doria-3804	F	No	Servicios	Si	No	-	Si	Abono natural/Fertilizante	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-70	R5	11-feb-24	Tenango de Doria-3804	F	Si/Otomí	Comercio	No	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Familia	Si	Ahorra
R5-71	R5	11-feb-24	Tenango de Doria-3804	F	No	Ama de casa	No	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
R5-72	R5	11-feb-24	Tenango de Doria-3804	F	Si/Otomí	Ama de casa	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-73	R5	11-feb-24	Tenango de Doria-3804	F	Si/Otomí	Ama de casa/Bordado de Tenangos	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-74	R5	11-feb-24	Tenango de Doria-3804	M	No	Agricultura	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Autoaprendizaje	Si	Ahorra
R5-75	R5	11-feb-24	Tenango de Doria-3804	M	No	Servicios	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
R5-76	R5	11-feb-24	Tenango de Doria-3804	M	No	Comercio	No	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
AD-04	R5	03-may-24	Tenango de Doria-3804	F	No	Estudiante	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Autoaprendizaje/Comunidad	Si	Ahorra
AD-05	R5	03-may-24	Tenango de Doria-3804	F	No	Estudiante	Si	No	-	Si	Fertilizante	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Familia	Si	Ahorra
AD-07	R5	03-may-24	Tenango de Doria-3804	F	Si	Estudiante	Si	No	-	No	-	Si	Separa/Camión recolector de basura	Familia	Si	Reúsa
AD-08	R5	03-may-24	Tenango de Doria-3804	M	No	Estudiante	Si	No	-	No	-	Si	-	-	Si	Ahorra
AD-09	R5	03-may-24	Tenango de Doria-3804	M	No	Estudiante	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
AD-11	R5	03-may-24	Tenango de Doria-3804	M	No	Comercio/Estudiante	Si	Si	Abonar	No	-	Si	Camión recolector de basura/Incorpora la materia orgánica al suelo	Familia	Si	Ahorra
AD-16	R5	03-may-24	Tenango de Doria-3804	M	No	Estudiante	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	-
DS-01	R5	03-may-24	Tenango de Doria-3804	F	No	Estudiante	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Reciclar/Camión recolector de basura	Familia	Si	-
DS-02	R5	03-may-24	Tenango de Doria-3804	M	No	Estudiante	Si	Si	Sistemas agroecologicos	No	-	Si	Camión recolector de basura	Escuela	Si	Ahorra
EN-13	R5	03-may-24	Tenango de Doria-3804	F	No	Estudiante	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
EN-14	R5	03-may-24	Tenango de Doria-3804	F	No	Estudiante	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Reúsa
EN-17	R5	03-may-24	Tenango de Doria-3804	F	No	Estudiante	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
EN-18	R5	03-may-24	Tenango de Doria-3804	F	No	Estudiante	Si	No	-	Si	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	-	Si	Ahorra
EN-19	R5	03-may-24	Tenango de Doria-3804	F	No	Estudiante	Si	No	-	No	-	Si	Reciclar/Camión recolector de basura	Escuela/Familia	Si	No contaminar
EN-20	R5	03-may-24	Tenango de Doria-3804	F	No	Estudiante	Si	Si	Abonar	Si	Abono natural	Si	Reciclar/Camión recolector de basura	Familia	Si	Reúsa
EN-21	R5	03-may-24	Tenango de Doria-3804	F	No	Estudiante	Si	No	-	No	-	Si	Reciclar/Camión recolector de basura	Familia	Si	Reúsa
EN-22	R5	03-may-24	Tenango de Doria-3804	M	No	Estudiante	Si	No	-	No	-	Si	Camión recolector de basura	Familia	Si	Ahorra
PU-10	R5	03-may-24	Tenango de Doria-3804	M	No	Servicios/Profesor	Si	No	Abonar	No	Abono natural	Si	Camión recolector de basura	Escuela	Si	Recolecta/Reúsa

FOLIO	Región	Recolecta	Reúsa	¿Quién le enseño a hacerlo?2	¿De dónde viene el agua que utiliza y bebe?	Uso doméstico	Consumo humano	¿Realiza algo al agua antes de beberla?	Si la respuesta es si, indique cual:	¿Cree que el agua que llueve es limpia?	¿Por qué?	¿Cree que el agua que escurre se lleva el suelo?	Si es si, ¿Por qué?:	¿Qué puede hacer para evitarlo?	¿Cree que es importante cuidar del medio ambiente?	¿Por qué?:
R5-01	R5	-	-	Familia	Pozo	Pozo	Pozo	Si	Hervirla	No	Cae con suciedad y donde hay suciedad	Si	Cuando llueve fuerte	Zanjas para desviar	Si	Para seguir teniendo agua
R5-02	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Cae limpia del cielo y se ensucia cuando cae	Si	Ha visto que hasta piedras por la fuerza	Zanjas para encauzar	Si	Para evitar contaminación, estar sano/salud
R5-03	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	Si	Se ve limpia	No	-	-	Si	Cuidar el agua y árboles
R5-04	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	De las nubes viene limpia	Si	Hace hoyos y escarba	Nada	Si	Tener agua y aire limpio
R5-05	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Ya hay mucha contaminación	No	-	Poner zanjas y piedras	Si	Tener aire fresco
R5-06	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Así se ve cuando cae de las nubes	Si	Agarra el agua por donde no hay hierbas	Poner zanjas y piedras	Si	Necesitamos agua para vivir
R5-07	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla/Clorarla	Si	Se ve así limpia	No	-	Poner zanjas y piedras	Si	Tener agua limpia
R5-08	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Cae del cielo limpia	No	-	Poner zanjas y piedras	Si	Haya más agua y aire limpio
R5-09	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Ya hay mucha contaminación en otros lados y se la trae la nube	Si	No tiene plantas y cortan árboles	Plantar árboles	Si	Para vivir
R5-10	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Se ve cuando cae y despues se ensucia más	Si	Se ven en los deslaves y se lleva pedazos grandes	Nada	Si	Tener agua
R5-11	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	No esta contaminado y la del cielo es limpia	Si	He visto deslaves	No se	Si	Estará menos caluroso y habrá agua limpia
R5-12	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Puede venir algo sucia por la contaminación y el humo de otros lados	No	-	-	Si	Tener árboles y agua/ comida/ da vida
R5-13	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Estas zonas no estan contaminadas y cae limpia	Si	A veces cuando llueve fuerte se lleva la tierra	No	Si	El medio ambiente nos da de comer y oxigeno
R5-14	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	De las nubes cae limpia	Si	Se ve como rasca en el suelo y se lleva la tierra la lluvia fuerte	No	Si	No afectar la vida de los hijos
R5-15	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Del cielo viene limpia y el pueblo no esta contaminado como las ciudades	Si	Se lleva el suelo y hace huecos	No	Si	Nos da vida y oxigeno limpio
R5-16	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Cae del cielo	Si	Cuando llueve mucho lo rasca	No porque es el rio	Si	Ultimamente caliente mucho y no contaminar
R5-17	R5	-	-	Autoaprendizaje	Arroyo	Arroyo	Purificada	No	-	Si	No viene contaminada, esta limpia porque ayuda a parcelas	Si	Se va desgastando con corriente fuerte, se lleva la tierra	En cauzar el agua	Si	De ahí vivimos, es el oxigeno
R5-18	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Clorarla/Desinfectar (gotas)	Si	Cae del cielo limpia	Si	Se trae y deslava el suelo	No, es natural	Si	Sin árboles perjudicaria la vida
R5-19	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	A veces	Clorarla	Si	Es la misma que cae de las nuebes limpia	No	-	-	Si	No afectar cambio climático
R5-20	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Llueve y esta limpia	Si	Se deslava	No se	Si	Para no tumbar árboles y este más fresco
R5-21	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial/Purificada	Manantial	Manantial/Purificada	A veces-Manatial	Hervirla-manantial	Si	Por la región es limpia	Si	Lo arrastra el suelo	Difícil pero no imposible	Si	Es la vida es todo
R5-22	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	La toma del mar y viene sucia	Si	Cuando llueve mucho hay deslaves	Dejar tronco al cortar la vegetación/ dejar residuos de plantas para infiltrar y cubrir el suelo	Si	Para evitar tanto calor
R5-23	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	La contaminación del aire	Si	Lo ha visto	No	Si	No habria contaminación
R5-24	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Cae de nubes limpia	Si	Se ve agua sucia con tierra	Nada	Si	Nos da vida
R5-25	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	Si	Así cae limpia	Si	No hay vegetación	Plantar árboles	Si	Tener oxigeno y agua
R5-26	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Por la contaminación de otros lados	Si	La lluvia fuerte se la lleva	Poner más árboles	Si	Tener de que vivir
R5-27	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	Por el agua sucia que levanta	Si	Se ve en los potreros	Nada	Si	Nos da vida y comida
R5-28	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial/Pozo	Manantial/Pozo	Manantial/Pozo	No	-	No	Esta contamiada	Si	Fuerte se lleva el suelo y otra se queda	No se puede por lo empinado	Si	Se va acabando, contaminando, afecta a la salud
R5-29	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	Si	Cae limpia	Si	La lluvia cuando es fuerte se lleva algo de suelo	No	Si	Tener buena salud
R5-30	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	Las nubes traen susciedad de otro lado	Si	Se lleva arrastrando la tierra	No tener suelo sin vegetación	Si	De él obtenemos alimentos, agua y aire
R5-31	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	Si	Las nubes la filtran limpia	No	-	-	Si	No sufrir sequía y calor fuerte
R5-32	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Viene de lejos, las nubes recogen suciedad del agua	Si	Hay deslaves en epoca de lluvias	No cortar árboles	Si	Nos da una mejor vida

FOLIO	Región	Recolecta	Reúsa	¿Quién le enseño a hacerlo?2	¿De dónde viene el agua que utiliza y bebe?	Uso doméstico	Consumo humano	¿Realiza algo al agua antes de beberla?	Si la respuesta es sí, indique cual:	¿Cree que el agua que llueve es limpia?	¿Por qué?	¿Cree que el agua que escurre se lleva el suelo?	Si es sí, ¿Por qué?:	¿Qué puede hacer para evitarlo?	¿Cree que es importante cuidar del medio ambiente?	¿Por qué?:
R5-33	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	En los pueblos de acá no est acontaminada, cae alimpia	Si	Arrastra el suelo	No	Si	Nos da para vivir
R5-34	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	Si	Todavia se ve limpiIno viene de la ciudad	No	-	-	Si	Para tener agua y aire fresco y limpio
R5-35	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	Hay mucha suciedad que levantan las nubes	No	-	-	No	-
R5-36	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	Si	De las nubes cae limpia	No	-	-	Si	Es el que nos da comida
R5-37	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Cae del cielo limpia	No	-	-	Si	No cortar árboles que dan oxigeno
R5-38	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Del mar trae suciedad	Si	Cuando llueve fuerte se deslava a lado del camino	No cortar árboles o dejar la raiz o tronco	Si	Obtener comida y agua limpia
R5-39	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	Si	Cae del cielo así	Si	Se ve en epocas de lluvia	Nada	Si	Tener alimento y agua
R5-40	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Puede venir de lugares lejanos con contaminación	Si	Cuando llueve fuerte	Nada	Si	Nos da todo para vivir
R5-41	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	No se sabe si es limpia	Si	Ha visto que se va el suelo, deslaves	Quisera pero no puedo	Si	Para tener mejor vida/más sana
R5-42	R5	-	-	Familia	Manantial/Purificada	Manantial	Manantial/purificada	A veces-Manatial	Hervirla-manantial	Si	Las nubes la limpia y cae limpia	No	-	-	Si	Cuidar de lo que vivirian los hijos/ tener aire fresco
R5-43	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	Si	No se	Si	Se deslava	Plantar árboles	Si	Tner una vida sana para sus hijos
R5-44	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Puede traer contaminación por el humo de otros lados	Si	Lo veo en las lluvias	No	Si	No corten árboles/infiltre el agua, no haya sequia
R5-45	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	Si	Por esta región no hay mucha contaminación en las nubes	Si	Hace hoyos donde no hay hierbas	Plantar árboles y no cortar todas las plantas	Si	Por el cambio climático/este fresco
R5-46	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	No se puede tomar	Si	Se ve que corre con tierra	Nada, así pasa por la lluvia fuerte	Si	Tener donde vivir
R5-47	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	Hay mucha contaminación	Si	Cuando la lluvia es fuerte	Poner zanjas	Si	Tner y cuidar árboles y un lugar bonito
R5-48	R5	-	Reúsa	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	Si/No	Las primeras lluvias vienen con contaminación y las segundas están limpias	No	-	-	Si	Para no tener escasez de agua
R5-49	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Está contaminada/ la lluvia llega con la contamiancion de fábricas	Si	En rios la tierra suelta	Muros de contensión	Si	Para evitar enfermedades y tener agua limpia
R5-50	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No se	Puede estar sucia por la contaminación y la basura	No se	-	-	Si	Nos sirve a todos y no contaminar
R5-51	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial/Purificada	Manantial	Manantial/Purificada	Si	Hervirla-manantial	Si	Viene de las nubes sin contaminación	No	-	-	Si	Es el medio de vida que tenemos, habra menos vida si no se cuida. Difícil de cuidar por la corrupción
R5-52	R5	-	-	Comunidad	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Clorarla	Si/No	Puede venir del rio contaminada	Si/No	En lluvias a veces	Nada, es normal	Si	Para cuidar árboles y tener agua
R5-53	R5	-	-	Familia	Manantial/Purificada	Manantial	Purificada	No	-	Si	No viene contaminada	Si	Un poco por la tierra floja y suelta	Poner costales de arena para evitar arrastre	Si	Tener todo limpio/se ve mejor limpio
R5-54	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No se	-	No	-	-	Si	No contaminar
R5-55	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Viene más limpia por venir de nubes, se purifica	No	-	-	Si	para tener agua, no se sequen manantiales
R5-56	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	Si	Cae limpia	No se	-	-	Si	Nos da vida y agua
R5-57	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	Si	Se ve cuando cae	Si	No hay árboles o plantas/Deslaves	Reforestar	Si	Para los hijos/da vida
R5-58	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	Por la contaminación	Si	Cuando llueve fuerte	Poner troncos para que no haga huecos	Si	Para no contaminar/salud
R5-59	R5	-	Reúsa	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Viene contaminada	Si	Cuando esta fuerte se desborda el agua	Poner troncos para que no haga huecos	Si	Para mejorar la vida
R5-60	R5	-	-	Familia	Manantial/Purificada	Manantial	Purificada	No	-	Si	Viene de arriba sin contaminación	Si	Se ve el agua con lodo/ arrastra la tierra	No	Si	Los árboles dan sombra y protegen
R5-61	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Hay contaminación de otros lados que trae	No	-	-	Si	Tener aire y nos da alimentos
R5-62	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla/Clorarla	Si	No hay mucha suciedad por donde vive	No	-	-	Si	Nuestros hijos tengan de que vivir y aire limpio
R5-63	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Ya hay mucha suciedad en las nubes	Si	Talan árboles	Poner más árboles	Si	Tner agua y pxigeno para vivir y para sus hijos

FOLIO	Región	Recolecta	Reúsa	¿Quién le enseño a hacerlo?2	¿De dónde viene el agua que utiliza y bebe?	Uso doméstico	Consumo humano	¿Realiza algo al agua antes de beberla?	Si la respuesta es sí, indique cual:	¿Cree que el agua que llueve es limpia?	¿Por qué?	¿Cree que el agua que escurre se lleva el suelo?	Si es sí, ¿Por qué?:	¿Qué puede hacer para evitarlo?	¿Cree que es importante cuidar del medio ambiente?	¿Por qué?:
R5-64	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Está contaminada el agua que recogen las nubes	No	-	-	Si	Así tenemos agua
R5-65	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Todavía no hay mucha contaminación	No	-	-	Si	Tener buena salud
R5-66	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Viene de las nubes limpias	Si	Está muy fuerte el agua cuadno llueve	-	Si	Tener árboles que refresquen
R5-67	R5	-	-	-	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	Si/No	Depende de la temporada, la contaminación atmosférica, contamina la lluvia después de un tiempo	Si	Cuando esta deforestado el suelo	No deforestar	Si	No deforestar/ ayuda a mantos acuíferos, cultivos, filtra el agua/mantener cubierta vegetal
R5-68	R5	-	Reúsa	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	Ya hay mucha contaminación	No	-	-	Si	Menos sequía
R5-69	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	Cae con contaminación que recogen las nubes	No	-	-	Si	Tener agua limpia
R5-70	R5	-	Reúsa	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	Se ve y viene del cielo donde esta limpio	Si	No hay vegetación y llueve fuerte	Canales o zanjas	Si	De el vivimos y comemos
R5-71	R5	-	Reúsa	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	Por el humo de ciudades grandes	No	-	-	Si	Tener agua limpia y más agua
R5-72	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	Si	Cae del cielo limpia	No	-	-	Si	Cuidar árboles y este fresco
R5-73	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	Si	En el cielo esta limpia por las nubes	No	-	-	Si	Vivir mejor y limpio
R5-74	R5	-	-	Autoaprendizaje	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	Si	No se ve tanta contaminación	Si	No hay árboles o plantas	Poner árboles y canales	Si	Tener árboles y aire limpio
R5-75	R5	-	Reúsa	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	El smoke de otros lados	Si	Cortan árboles	No talar	Si	Tener agua limpia
R5-76	R5	-	-	Familia	Manantial/Purificada	Manantial	Purificada	No	-	Si	En esa zona no hay contaminación de la atmósfera	No	-	-	Si	No haya sequía
AD-04	R5	-	Reúsa	Autoaprendizaje/Comunidad	Manantial/Purificada	Manantial	Purificada	No	-	No	El ambiente ya esta contaminado	No	La tierra hace captación y un sistema de filtrado	No talar árboles cerca de los manantiales	Si	Es el aire que respiramos y ayuda a nuestra salud
AD-05	R5	-	Reúsa	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Hervirla	No	Se ve sucia por la contaminación	Si	No hay árboles que retengan el agua o el lodo	Poner piedras para que se quede la tierra cuando llueve	Si	Es necesario para nuestra supervivencia
AD-07	R5	-	Reúsa	Familia	-	-	-	No	-	Si	-	-	-	-	Si	-
AD-08	R5	-	-	-	Pozo	Pozo	Pozo	No	-	No	Está contaminada	No	-	-	Si	Es parte necesaria para sobrevivir
AD-09	R5	-	-	Familia	Pozo	Pozo	Manantial	No	-	No	Por todos los contaminantes que sube	-	-	-	Si	-
AD-11	R5	Recolecta	Reúsa	Familia	Red de agua potable/Purificada	Red de agua potable	Purificada	No	-	No	Debido a la contaminación en el aire, el agua lleva particulas	No	-	-	Si	Obtenemos los recursos para sobrevivir a diario
AD-16	R5	-	-	-	Red de agua potable	Red de agua potable	Red de agua potable	No	-	No	-	No	-	-	Si	-
DS-01	R5	-	-	-	Red de agua potable/Purificada	Red de agua potable	Purificada	No	-	No	Por la contaminación actual, situación muy contaminada en todos los sentidos	Si	El flujo que tiene el agua de lluvia tiende a desgastar el suelo, cuando llueve intensamente	Nada	Si	-
DS-02	R5	-	-	Familia	Red de agua potable/Purificada	Red de agua potable	Purificada	No	-	No	Por la contaminación que ha estado	Si	Puede que haya un camino o lo cree	Tener sistemas de captación	Si	Para tener recursos primarios
EN-13	R5	-	Reúsa	Escuela	Red de agua potable/Manantial	Red de agua potable	Manantial	No	-	No	Hoy en dia existe mucha contaminación hasta en el aire	Si	Toda se deja caer	Almacenar el agua	Si	Todos dependemos de él
EN-14	R5	-	Reúsa	Familia/Escuela	Red de agua potable/Manantial	Red de agua potable	Manantial	No	-	No	Hoy en dia existe demasiada contaminación	-	-	-	Si	Es vital para los seres humanos
EN-17	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	-	No	-	-	Si	Para evitar que se presente algún problema en el ambiente
EN-18	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	-	-	-	-	Si	Por el calentamiento global
EN-19	R5	-	-	Familia	Manantial	Manantial	Manantial	No	-	No	Por el calentamiento global y la contaminación, ya es agua sucia	Si	-	Hcer caminos	Si	Por que en ella hay muchos animalitos y los árboles drindan el oxigeno
EN-20	R5	-	Reúsa	Familia	Pozo/Purificada	Pozo	Purificada	No	-	No	Esta evaporada desde la tierra	Si	Porque ahí simepre llega	-	Si	Por el calentamieto global
EN-21	R5	-	Reúsa	Familia	Pozo/Purificada	Pozo	Pozo/Purificada	Si	Hervirla-pozo	No	Puede tener microorganismos patógenos	Si	Lo observe	Recolectar el agua	Si	Porque es el entorno donde vivimos
EN-22	R5	-	-	Familia	Red de agua potable/Purificada	Red de agua potable	Purificada	No	-	No	Se recolecta contaminada en el aire y provoca una lluvia más ácida	Si	Tiene una influencia en todo	Hacer un uso adecuado de las cosas	Si	De eso depende muchas de nuestras actividades diarias
PU-10	R5	Recolecta	Reúsa	Escuela	Manantial	Manantial	Manantial	Si	Clorarla	Si	Por la zona	Si	Por el suelo arcilloso	Técnicas de terrazas	Si	Es el habitat

FOLIO	Región	¿Ha participado en algún programa o curso de cuidado del medio ambiente?	Si la respuesta es sí indique cual, y aplique las preguntas 16 y 17.	¿Quién impartió el curso?	¿Considera que le fue útil la información obtenida en estos programas o [illegible]?	¿Está de acuerdo con que existan reglas para el uso de la tierra y el agua?	¿Está de acuerdo que existan zonas protegidas como las reservas naturales?	Si es sí, ¿Por qué?:4	¿Está de acuerdo que existan zonas turísticas en zonas naturales?	¿Por qué?:5	¿Conoce la Reserva Medio Monte?	¿Sabe cuál árbol es originario de su localidad?	Si la respuesta es sí, ¿Cuál?:	¿Participa de alguna celebración/fiesta que promueva o enseñe el cuidado del medio ambiente?	Si la respuesta es sí, indique cual:6	¿Qué tipo de celebración?
R5-01	R5	No	-	-	-	Si	Si	Seguiria habiendo agua	Si	Conocen	No	Si	Palo de agua	No	-	-
R5-02	R5	Si	Limpieza	Gobierno	Si	Si	Si	Proteger y no tumbar árboles, es pero no hacer nada/respeto a la vida	Si/No	Habra cuidado y limpieza/Pueden destruir y contaminar	No	Si	Grado (Sangre de grado), palo de [illegible]/encino	No	-	-
R5-03	R5	No	-	-	-	Si	Si	No corten más árboles	Si	Compran cosas	No	Si	Ocote/Grado (Sangre de grado)	No	-	-
R5-04	R5	No	-	-	-	Si	Si	Siga el aire limpio	Si	Hay lugares bonitos	No	Si	Ocote/encino	No	-	-
R5-05	R5	Si	Limpieza	Gobierno	Si	Si	Si	Cuidar animales y árboles	Si/No	Si no ensucian sí, no porque destruyen y cortan árboles	No	Si	Aile/Encino	No	-	-
R5-06	R5	No	-	-	-	Si	Si	Talan muchos árboles	No	Tiran basura	No	Si	Grado (Sangre de grado)-Euphorbiaceae	No	-	-
R5-07	R5	Si	Limpieza	Escuela	Si	Si	Si	No corten árboles para leña	Si	Se puede vender comida o dulces	Si	No	-	No	-	-
R5-08	R5	No	-	-	-	Si	Si	Así cuidaran el agua y árboles	No	Contaminan tirando basura	No	Si	Ocote-Pinaceae	Si	Suelo	Católica
R5-09	R5	No	-	-	-	Si	Si	Evitar corten árboles	Si	Vender productos/traen dinero a la localidad	No	Si	Aile/Copal/Encino	Si	Suelo/plantas	Católica
R5-10	R5	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar árboles para tener oxigeno limpio	Si	Puede vender bordados	No	Si	Grado (Sangre de grado)/Ocote/Encino	Si	Suelo/plantas	Católica
R5-11	R5	Si	Limpieza	Gobierno	Si	Si	Si	Cuidar plantas y animales	Si	Vender bordados con quien llega a los pueblos o en Tenango de Doria	No	Si	Quemite o Colorin-Erythrina coralloides (NOM-059)	No	-	-
R5-12	R5	No	-	-	-	Si	Si	No talar árboles	Si	Hay más ingresos y ventas	No	Si	Encino-Fagaceae	No	-	-
R5-13	R5	No	-	-	-	Si	Si	Tener un medio ambiente bien cuidado	Si	Habrá más ventas	No	Si	Aile-Betulaceae	Si	Agua	Tradicional
R5-14	R5	No	-	-	-	Si	Si	Proteger los árboles y agua/ cuidar el medio ambiente que nos da vida	Si	Ingresos/gente se distrae y divierte	No	Si	Copal o liquidambar-Altingiaceae	No	-	-
R5-15	R5	Si	Limpieza	Gobierno	Si	Si	Si	Para ver si así cuidan el medio ambiente/ tener árboles y oxigeno limpio	Si/No	Si no ensucian sí	No	Si	Álamo-*Platanus occidentalis* L.	No	-	-
R5-16	R5	Si	Limpieza	Gobierno	Si	Si/No, algunas no se pueden regular	Si	Para no tirar todos los árboles	No	Ensucian	No	No	-	No	-	-
R5-17	R5	No	-	-	-	Si	Si	Los que no tienen esa cultura aprenden a cuidar el agua y suelo. Dependemos de eso	Si	Sin perjudicar, atrae economía mejor	No	Si	Álamo-*Platanus occidentalis* L.	No	-	-
R5-18	R5	No	-	-	-	Si	Si	Para no dañar mucho el medio ambiente	Si	Esta bonito y si no perjudican	No	No	-	No	-	-
R5-19	R5	Si	Cuidar el agua	Escuela	Si	Si	Si	Conservar oxigeno	Si	Tener ingresos económicos	Si	Si	Encino/Copal	No	-	-
R5-20	R5	Si	Limpieza	Gobierno	Si	Si	Si	No se	Si	No se	No	Si	Quemite/Encino	No	-	-
R5-21	R5	Si	Limpieza	Gobierno	Si	Si	Si	Protegemos medio ambiente, flora, agua	Si	Una forma de recrearse, convivir y activar económia	No	Si	Aile/Encino	Si	Agua/Plantas	Tradicional/Católica
R5-22	R5	No	-	-	-	Si	Si	Los árboles dan oxigeno, no tumbar árboles para potrero. Afecta a minorias que no tienen	No	Tumban árboles	No	Si	Ocote-Pinaceae	Si	Suelo	Tradicional
R5-23	R5	Si	Limpieza y cuidar el agua	Gobierno	Si	Si	Si	Tener limpio y cuidarlo, aire puro	Si	Llega gente a visitar y podria vender algo	No	Si	Copal/Ocote	No	-	-
R5-24	R5	No	-	-	-	Si	Si	Tener árboles y oxigeno	No	Destruyen	No	No	-	No	-	-
R5-25	R5	No	-	-	-	Si	Si	Tener bonito y cuidar árboles y animales	Si	Así el gobierno las cuida y pagan	No	Si	Copal o liquidambar-Altingiaceae	No	-	-
R5-26	R5	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar árboles y animales	No	Tiran basura	No	Si	Encino/Copal	No	-	-
R5-27	R5	No	-	-	-	Si	Si	No cortar árboles	No	Destruyen y ensucian agua con basura	No	No	-	No	-	-
R5-28	R5	No	-	-	-	Si	Si	Para evitar que se acaben árboles y animales, siga habiendo agua	Si	Es bonito, ayuda a mejorar económia	No	Si	Aile/Álamo/Ocote	Si	Agua/suelo	Tradicional
R5-29	R5	Si	Limpieza	Gobierno	Si	Si	Si	Tener agua y evitar que se corten todos los árboles	Si	Hay ventas en tiendas	No	Si	Aile-Betulaceae	Si	Agua	Tradicional
R5-30	R5	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar los árboles	No	Destruyen para construir cosas	No	Si	Ocote-Pinaceae	No	-	-
R5-31	R5	No	-	-	-	Si	Si	Saber lo que es cuidar árboles y agua/ se educa y castiga a la gente que tala	Si	El turismo trae ingresos/vender productos	No	Si	Aile/Álamo	No	-	-
R5-32	R5	No	-	-	-	Si	Si	Cudar árboles	Si	Es bueno conocer otros lugares	No	Si	Aile-Betulaceae	No	-	-

FOLIO	Región	¿Ha participado en algún programa o curso de cuidado del medio ambiente?	Si la respuesta es sí indique cual, y aplique las preguntas 16 y 17.	¿Quién impartió el curso?	¿Considera que le fue útil la información obtenida en estos programas o	¿Está de acuerdo con que existan reglas para el uso de la tierra y el agua?	¿Está de acuerdo que existan zonas protegidas como las reservas naturales?	Si es sí, ¿Por qué?:4	¿Está de acuerdo que existan zonas turísticas en zonas naturales?	¿Por qué?:5	¿Conoce la Reserva Medio Monte?	¿Sabe cuál árbol es originario de su localidad?	Si la respuesta es sí, ¿Cuál?:	¿Participa de alguna celebración/fiesta que promueva o enseñe el cuidado del medio ambiente?	Si la respuesta es sí, indique cual:6	¿Qué tipo de celebración?
R5-33	R5	No	-	-	-	Si	Si	Tener agua limpia y árboles que no corten	Si	Más ventas en tiendas y comida	No	Si	Ocote-Pinaceae	No	-	-
R5-34	R5	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar el aire que dan los árboles/ no tirarlos	Si	Ayuda a que se vendan productos	Si	Si	Álamo-Platanus occidentalis L.	No	-	-
R5-35	R5	No	-	-	-	Si	No	-	Si	No sabe	No	No	-	No	-	-
R5-36	R5	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar plantas y animales	Si	Habrá lugares para divertirse	No	Si	Aile-Betulaceae	No	-	-
R5-37	R5	No	-	-	-	Si	Si	Sancionen por talar o destruir	Si	Ingresos/ventas	No	Si	Aile/Ocote	No	-	-
R5-38	R5	No	-	-	-	Si	Si	Tener agua limpia/no contaminan	No	Tiran basura	No	No	-	No	-	-
R5-39	R5	No	-	-	-	Si	Si	Tener agua limpia/no contaminen	Si	Vender comida, hay ingresos	No	No	-	No	-	-
R5-40	R5	No	-	-	-	Si	Si/No	Depende, si las cuidan y castigan a quién tale	Si	Vender lo que produce	No	Si	Aile/Ocote	No	-	-
R5-41	R5	Si	Limpieza	Escuela	Si	Si	Si	Una vida mejor, mejor oxigeno	Si	Habria más protección y cuidado	Si	No	-	No	-	-
R5-42	R5	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar que no talen	Si	Vendo más/ingresos	No	No	-	No	-	-
R5-43	R5	No	-	-	-	Si	Si	No corten árboles/ este fresco y bonito	Si	Ofrecer productos/ingresos	No	Si	Copal o liquidambar-Altingiaceae	No	-	-
R5-44	R5	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar el medio ambiente, tener oxigeno limpio de los árboles	No	Luego tiran mucha basura	No	Si	Aile/Copal/Ocote	No	-	-
R5-45	R5	No	-	-	-	Si	Si	Así cuidan árboles y plantas	Si	Ayudaría a mas ingresos	No	Si	Aile-Betulaceae	No	-	-
R5-46	R5	No	-	-	-	Si	No	-	No	-	No	No	-	No	-	-
R5-47	R5	No	-	-	-	Si	Si/No	Donde este bonito/no destruyan	Si	Más comercio	No	No	-	No	-	-
R5-48	R5	No	-	-	-	Si	Si	Plantación para saber lo que cuesta cuidarlo	Si	Visiten/habrá más cuidado y revisión de lo que hay	No	No	-	No	-	-
R5-49	R5	No	-	-	-	Si	Si	Que las cuiden pero no las destruyan por convertir a otro uso	Si	Viene turistas/ dejan ingresos para mejorar zonas locales	No	Si	Aile/Copal	No	-	-
R5-50	R5	No	-	-	-	Si	Si	Sirve el ambiente de los árboles/oxigeno	Si	Cuidarian el ambiente	No	Si	Aile-Betulaceae	No	-	-
R5-51	R5	No	-	-	-	Si	Si	Para tener sobrevivenvia	Si/No	Habrá negocio, estpa bonito pero tiran basura y destruyen	No	Si	Aile/Copal/Encino	Si	Agua/Suelo	Católica
R5-52	R5	No	-	-	-	Si, del agua	No	Necesita leña	Si	No le perjudica ni le trae ventajas	No	Si	Aile-Betulaceae	No	-	-
R5-53	R5	No	-	-	-	Si	Si	Para no tumbar árboles, evitar tala	Si	Vendría gente y ayudaría a negocios	No	Si	Aile-Betulaceae	No	-	-
R5-54	R5	No	-	-	-	Si	Si	Cuidarlas y tener limpio y no cortar muchos árboles	Si	Hay ventas en tiendas	No	Si	Aile-Betulaceae	Si	Suelo/Plantas	Católica
R5-55	R5	No	-	-	-	Si	Si/No	Si para algunos árboles, habrá más sombra y menos calor. No donde se usa la leña	Si	Clientes/Economía	No	Si	Encino-Fagaceae	No	-	-
R5-56	R5	No	-	-	-	Si	Si	No se	Si	Hay ventas y trabajo	No	Si	Copal o liquidambar-Altingiaceae	No	-	-
R5-57	R5	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar árboles y el agua	No	Destruyen	No	Si	Encino-Fagaceae	Si	Agua/suelo	Católica
R5-58	R5	No	-	-	-	No, el flujo es natural	Si	Para no contaminar, no quemar ni talar y que los árboles protejan de que no se vaya la tierra	No	Contaminan/talas árboles	No	Si	Aile-Betulaceae	No	-	-
R5-59	R5	No	-	-	-	Si	Si	Cuidarlo para seguir teniendo árboles	Si	Mejor vista y turismo habria ingresos	No	Si	Aile/Encino	Si	Agua/suelo	Católica
R5-60	R5	No	-	-	-	Si	Si	No tirar árboles/cuidarlos y tener mejor vista	Si	Económia/ingresos por el comercio	No	Si	Aile/Copal	No	-	-
R5-61	R5	No	-	-	-	Si	No	No dejan sacar leña	Si	Ingresos por vender comida	No	No	-	No	-	-
R5-62	R5	Si	Limpieza y plantar árboles	Gobierno	Si	Si	Si	No corten árboles y plantes más	Si	Puden comprar en las tiendas	No	No	-	No	-	-
R5-63	R5	No	-	-	-	Si	Si	Así no talan más árboles y estará más limpio	Si	Vender productos	No	No	-	No	-	-

FOLIO	Región	¿Ha participado en algún programa o curso de cuidado del medio ambiente?	Si la respuesta es sí indique cual, y aplique las preguntas 16 y 17.	¿Quién impartió el curso?	¿Considera que le fue útil la información obtenida en estos programas o	¿Está de acuerdo con que existan reglas para el uso de la tierra y el agua?	¿Está de acuerdo que existan zonas protegidas como las reservas naturales?	Si es sí, ¿Por qué?:4	¿Está de acuerdo que existan zonas turísticas en zonas naturales?	¿Por qué?:5	¿Conoce la Reserva Medio Monte?	¿Sabe cuál árbol es originario de su localidad?	Si la respuesta es sí, ¿Cuál?:	¿Participa de alguna celebración/fiesta que promueva o enseñe el cuidado del medio ambiente?	Si la respuesta es sí, indique cual:6	¿Qué tipo de celebración?
R5-64	R5	Si	Limpieza	Centro de salud	Si	Si	Si	Hay más agua	Si	No tiren basura/ mejora economía, más ingresos	No	Si	Aile-Betulaceae	Si	Agua	Católica
R5-65	R5	Si	Limpieza	Gobierno	Si	Si	Si	Tener y cuidar lugares con árboles y más agua limpia	No	Tiran basura y destruyen	No	No	-	No	-	-
R5-66	R5	No	-	-	-	Si	Si	No corten árboles	Si	No corten árboles	Si	Si	Aile/Copal/Encino	Si	Agua/suelo	Católica
R5-67	R5	No	-	-	-	Si, aquí no se requiere todavía los campos estan cubuertos de vegetación	Si	En áreas donde sea posible/conservar vegetación y árboles	Si	Habría lugares recreativos y oxigenación	No	Si	Aile/Palo de agua/Petatillo	No	-	-
R5-68	R5	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar árboles y habrá agua limpia	Si	El gobierno cuidará para los visitantes/más limpio y mejores caminos	No	No	-	No	-	-
R5-69	R5	No	-	-	-	Si	Si	Saber lo que cuesta cuidar el agua y árboles/lo cuidarían más	Si	Habrá visitantes que compran/más ingresos	No	No	-	No	-	-
R5-70	R5	No	-	-	-	Si	Si	Tener áreas bonitas y con árboles	No	Tiran basura	No	Si	Aile-Betulaceae	Si	Agua/Suelo/Plantas	Católica
R5-71	R5	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar animales y vegetación	Si	La gente conozca lugares bonitos	No	Si	Aile-Betulaceae	No	-	-
R5-72	R5	No	-	-	-	Si	Si	Tener más árboles y que no talen para tener más oxigeno limpio	Si	Ayuda a que llegue gente y vender cosas	Si	Si	Ocote-Pinaceae	No	-	-
R5-73	R5	Si	Limpieza	Gobierno	Si	Si	Si	No corten árboles y no este seco	Si	Vender bordados	Si	Si	Aile/Ocote	No	-	-
R5-74	R5	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar el ambiente y tener más árboles	Si	Llega gente a conocer	No	Si	Aile-Betulaceae	Si	Agua/suelo	Católica
R5-75	R5	No	-	-	-	Si	Si	Así cuidarán plantas y animales, no talarán árboles	Si	Vender comida y productos	Si	Si	palo de agua	No	-	-
R5-76	R5	No	-	-	-	Si	Si	Cuidar árboles	Si	Ayuda a ingresos/ventas	Si	Si	Aile-Betulaceae	No	-	-
AD-04	R5	No	-	-	-	Si, aplicando multas	Si	Generar conscienciamucha gente no es consciente de del peligro que provocan al talar árboles	No	Contaminan la zona natural	No	No	-	Si	Agua	Tradicional
AD-05	R5	No	-	-	-	Si, para obligar la participación	Si	Hay personas que no respetan los espacios	No	Porque destruye la naturaleza	Si	No	-	No	-	-
AD-07	R5	No	-	-	-	Si, para aprovecharlos de mejor manera	Si	-	No	Por la sobreexplotación de los recursos naturales	No	No	-	No	-	-
AD-08	R5	No	-	-	-	Si	Si	Porque se escasea en todos los lugares	No	Es invación a la naturaleza	No	No	-	No	-	-
AD-09	R5	No	-	-	-	Si, para proteger el suelo	Si	Para seguir conservando y sepan de su existencia	Si	Para conocer que lugares hay	No	No	-	No	-	-
AD-11	R5	No	-	-	-	Si, reglas para cuidado del agua y suelo y no cortar árboles	Si	De ahí se obtiene el agua que usamos, brinda oxigeno vital para los seres vivos	No	Contaminan	No	Si	Aile/Quemite	No	-	-
AD-16	R5	No	-	-	-	Si, para su mejor cuidado	Si	Para su preservación	No	Porque las sobrexplotan	No	No	-	No	-	-
DS-01	R5	No	-	-	-	Si, pero aplicables y con sanciones	Si	Para que se conserve la biodiversidad	No	-	No	No	-	No	-	-
DS-02	R5	Si	Manejo y cuidado del medio ambiente	Escuela	Si	Si, para tener control y concepto del medio que nos redea	Si	Para no perder las raices del medio ambiente	Si	Para tener un acercamiento al medio	No	No	-	No	-	-
EN-13	R5	Si	Pláticas en instituciones educativas	Escuela	Si	Si, para evitar la escasez de agua	Si	Para que exista un buen ambiente	Si	Dan una mejor vista a la naturaleza	No	No	-	Si	Agua	Tradicional
EN-14	R5	No	-	-	-	Si, para tener mejor aprovechamiento	Si	Así existe un mejor ambiente	Si	Ya que podemos cuidarlas mejor	No	No	-	No	-	-
EN-17	R5	No	-	-	-	Si, que se conserve	Si	Para que no sean más dañados	Si	Para poder apreciar el paisaje y la naturaleza	No	No	-	No	-	-
EN-18	R5	No	-	-	-	Si, no desperdiciar	Si	Para no terminar con las reservas que nos quedan	No	Contaminan	No	No	-	Si	Agua	Tradicional
EN-19	R5	No	-	-	-	Si, para generar consciencia	Si	Ayuda a su preservación	No	Dañan más el ecosistema y tiran basura donde sea	No	No	-	No	-	-
EN-20	R5	Si	Reciclaje	Escuela	Si	Si, para un mejor mundo	Si	Porque tenemos algo seguro y limpio	No	El humano no sabe cuidar	No	No	-	Si	Plantas	Tradicional
EN-21	R5	No	-	-	-	Si, para poder cuidarlos	Si	Para poder salvar a la tierra	No	Para conocer un poco más sobre la tierra	No	No	-	Si	Agua	Católica
EN-22	R5	No	-	-	-	Si, hacer uso adecuado de los recursos naturales	Si	Tomen consciencia de las actividades que pueden afectar a la naturaleza	Si	Es uan forma de apreciar la naturaleza, pero debe ser con responsabilidad	No	No	-	No	-	-
PU-10	R5	Si	Formación académica	Escuela	Si	Si, reglamentos de uso de suelo y planes de ordenamiento territorial	Si	Se requieren para amortizar	Si	Turismo alternativo	Si	No	-	Si	Agua/Suelo/Animales	Tradicional