

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN

RECARGA HÍDRICA NATURAL EN LA SUBCUENCA DEL RÍO TZALÁ DE LOS MUNICIPIOS DE
SAN MIGUEL IXTAHUACÁN, SIPACAPA Y COMITANCILLO DEL DEPARTAMENTO DE SAN
MARCOS, GUATEMALA

GILBERTO ANÍBAL CASTRO MURALLES

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA

RECARGA HÍDRICA NATURAL EN LA SUBCUENCA DEL RÍO TZALÁ DE LOS MUNICIPIOS DE
SAN MIGUEL IXTAHUACÁN, SIPACAPA Y COMITANCILLO DEL DEPARTAMENTO DE SAN
MARCOS, GUATEMALA

Trabajo de Graduación
PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE
LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

GILBERTO ANÍBAL CASTRO MURALLES

En el acto de investidura como
INGENIERO AGRÓNOMO
EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

LIC. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Dr. Lauriano Figueroa Quiñonez
VOCAL PRIMERO	Dr. Ariel Abderraman Ortiz López
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Marino Barrientos García
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Oscar Rene Leiva Ruano
VOCAL CUARTO	Br. Ana Isabel Fión Ruiz
VOCAL QUINTO	Br. Luis Roberto Orellana López
SECRETARIO	Ing. Agr. Carlos Roberto Echeverria Escobedo

GUATEMALA, SEPTIEMBRE 2012

Guatemala, septiembre de 2012.

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de Someter a vuestra consideración, el trabajo de Graduación realizado en:

RECARGA HÍDRICA NATURAL EN LA SUBCUENCA DEL RÍO TZALÁ DE LOS MUNICIPIOS DE
SAN MIGUEL IXTAHUACÁN, SIPACAPA Y COMITANCILLO DEL DEPARTAMENTO DE SAN
MARCOS, GUATEMALA

Como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que la presente investigación llene los requisitos necesarios para su aprobación, me suscribo,

Atentamente

f. _____
Gilberto Aníbal Castro Muralles.

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: Porque junto a ti, el bien y la misericordia me seguirán todos los días de mi vida y en tu casa moraré por siempre, tú, que provees la energía vital para vivir.

MIS PADRES: José Gilberto Castro Linares y Sandra Refugio Muralles García, por su esfuerzo, dedicación y apoyo en la consecución de esta meta (gracias, madre, por estar siempre a mi lado, la quiero).

MIS HERMANAS: Claudia, Sandra, por su apoyo, comprensión y cariño; y a vos Faby, por ser un ejemplo constante de lucha por vivir, te quiero.

MI FAMILIA: Mis tías, primos, primas por ser parte de mi vida y en especial a mi tío Ariel Muralles, por ser una gran persona, un apoyo para mi familia y por creer en mí.

MI NOVIA: Por su cariño, comprensión y en todo momento apoyo incondicional, te quiero, Lilian.

MIS AMIGOS: Efraín Calderón Sagastume, Loren Viviana López Serrano, Josué Israel López Rodas, entre tantos más, por los buenos momentos vividos en esta gloriosa casa de estudios.

AGRADECIMIENTOS

A:

MIS ASESORES:

Ing. Agr. MSc. Isaac Rodolfo Herrera Ibáñez, por instruirme y apoyarme durante la ejecución y elaboración del presente trabajo.

Ing. Agr. MSc. Pedro Peláez Reyes, por sus conocimientos transmitidos y apoyo brindado en la ejecución del Ejercicio Profesional Supervisado y el presente trabajo.

FUNDACIÓN SIERRA MADRE

Por brindarme la oportunidad de formar parte de su equipo y a todo su personal, por colaborar amablemente con la realización del Ejercicio Profesional Supervisado.

ÍNDICE

Capítulo 1. DIAGNOSTICO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO TZALÁ DE LOS MUNICIPIOS DE SAN MIGUEL IXTAHUACÁN, SIPACAPA Y COMITANCILLO DEL DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS, GUATEMALA.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.2 MARCO REFERENCIAL	4
1.2.1 ASPECTOS GENERALES DE LA SUB-CUENCA	4
1.2.1.1 UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.....	4
1.2.1.2 LIMITES	6
1.2.1.3 RELIEVE.....	6
1.2.1.4 SUELOS.....	8
1.2.1.5 VEGETACIÓN Y COBERTURA VEGETAL (USO ACTUAL DE LA TIERRA).....	8
1.2.1.6 CLIMA	11
1.2.1.7 HIDROGRAFÍA	11
1.2.1.8 ZONAS DE VIDA	11
1.3 OBJETIVOS	14
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
1.4 METODOLOGÍA.....	15
1.4.1 FASE DE GABINETE INICIAL	15
1.4.2 FASE DE CAMPO	15
1.4.3 FASE FINAL DE GABINETE.....	16
1.5 RESULTADOS	17
1.5.1 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA SUB-CUENCA DEL RÍO TZALÁ.....	17
1.5.2 ASPECTOS LINEALES.....	17
1.5.3 ASPECTOS DE SUPERFICIE	18
1.5.4 ASPECTOS DE RELIEVE.....	18
1.5.5 CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA.....	19
1.5.5.1 RECURSO HIDRICO	19
1.5.5.1.1 Agua superficial	19
1.5.5.1.2 Calidad del Agua	19
1.5.5.1.3 Calidad del agua para consumo humano	20

1.5.5.1.4	Calidad del agua para riego.....	24
1.5.6	RECURSO SUELO	26
1.5.6.1	Suelos	26
1.5.6.2	Uso actual del suelo.....	28
1.5.6.3	Capacidad de uso	28
1.5.6.4	Intensidad de uso.....	31
1.5.6.5	Uso potencial	33
1.5.7	RECURSO BOSQUE	35
1.6	CARACTERIZACIÓN SOCIO-ECONÓMICA	36
1.6.1	ASPECTOS DEMOGRÁFICOS.....	36
1.6.1.1	Población total.....	36
1.6.1.2	Educación	37
1.6.1.3	Idiomas.....	37
1.6.1.4	Organización social.....	37
1.6.1.5	Salud	37
1.6.2	ACTIVIDADES PRODUCTIVAS.....	38
1.6.2.1	Maíz (Zea mays)	38
1.6.2.2	Papa (Solanum tuberosum L.)	39
1.6.2.3	Hortalizas	39
1.6.2.4	Frutales	39
1.6.2.5	Producción pecuaria	40
1.6.2.6	Otras actividades económicas	40
1.6.3	INFRAESTRUCTURA Y OTROS SERVICIOS BÁSICOS.....	40
1.6.3.1	Viviendas.....	41
1.6.3.2	Letrinas	41
1.6.3.3	Manejo de basura	41
1.7	PROBLEMAS DETECTADOS.....	42
1.7.1	MATRIZ DE PRIORIZACION DE PROBLEMAS	44
1.8	CONCLUSIONES.....	45
1.9	RECOMENDACIONES	47
1.10	BIBLIOGRAFÍA	49

Capítulo 2. RECARGA HÍDRICA NATURAL EN LA SUBCUENCA DEL RÍO TZALÁ DE LOS MUNICIPIOS DE SAN MIGUEL IXTAHUACÁN, SIPACAPA Y COMITANCILLO DEL DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS, GUATEMALA.....	50
2.1 RESUMEN	51
2.2 INTRODUCCIÓN.....	53
2.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	55
2.4 MARCO TEÓRICO.....	56
2.4.1 CONCEPTO DE CUENCAS Y MICROCUENCAS HIDROGRÁFICAS	56
2.4.2 LA CUENCA COMO UNIDAD DE PLANIFICACIÓN.....	57
2.4.3 MANEJO DE RECURSOS NATURALES EN LA CUENCA	58
2.4.4 AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	58
2.4.5 ACUÍFEROS	58
2.4.6 ZONAS DE RECARGA	59
2.4.7 CONDICIONES QUE DETERMINAN LA RECARGA HÍDRICA	60
2.4.8 CICLO HIDROLÓGICO	61
2.4.9 CLIMA	63
2.4.9.1 EVAPOTRANSPIRACIÓN	63
2.4.9.2 PRECIPITACIÓN PLUVIAL.....	64
2.4.9.3 SUELO	64
2.4.10 CLASES DE AGUA EN EL SUELO.....	64
2.4.11 TEXTURA.....	65
2.4.12 ESTRUCTURA DEL SUELO	65
2.4.13 DENSIDAD APARENTE.....	65
2.4.14 CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SUELO	66
2.4.15 INFILTRACIÓN	67
2.4.16 CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN O TASA DE INFILTRACIÓN (f).....	67
2.4.17 VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (I).....	67
2.4.18 INFILTRACIÓN BÁSICA (f_c)	67
2.4.19 AFORO.....	67
2.4.20 AFORO DE CORRIENTES	68
2.4.21 AFOROS DIFERENCIALES.....	68
2.4.22 MANEJO, GESTIÓN DE CUENCAS	68
2.5 MARCO REFERENCIAL	70

2.5.1	ASPECTOS GENERALES DE LA SUBCUENCA	70
2.5.1.1	UBICACIÓN Y LOCALIZACION GEOGRAFICA.....	70
2.5.1.2	LIMITES	70
2.5.1.3	RELIEVE.....	72
2.5.1.4	SUELOS.....	75
2.5.1.5	USO ACTUAL DE LA TIERRA.....	77
2.5.1.6	CLIMA	79
2.5.1.7	ZONAS DE VIDA	79
2.5.1.8	HIDROGRAFÍA	81
2.5.1.9	CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA	83
2.5.1.10	INTENSIDAD DE USO.....	85
2.5.1.11	USO POTENCIAL	87
2.6	OBJETIVOS	89
2.6.1	GENERAL	89
2.6.1.1	ESPECIFICOS.....	89
2.7	METODOLOGÍA.....	90
2.7.1	FASE DE GABINETE INICIAL	90
2.7.1.1	RECOPIACION DE INFORMACIÓN BÁSICA.....	90
2.7.1.2	INFORMACIÓN CLIMÁTICA.....	91
2.7.1.3	DELIMITACION DE UNIDADES DE MAPEO (AREAS DE RECARGA HIDRICA).....	93
2.7.2	FASE DE CAMPO	95
2.7.2.1	PRUEBAS DE INFILTRACIÓN	95
2.7.2.2	DETERMINACIÓN DE CONSTANTES DE HUMEDAD Y DENSIDAD APARENTE...	95
2.7.3	FASE FINAL DE GABINETE (PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN).....	96
2.7.3.1	PRECIPITACIÓN, TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA.....	96
2.7.3.2	DETERMINACIÓN DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL	96
2.7.3.3	CALCULO DE LA RECARGA HÍDRICA	97
2.7.3.3.1	Relación entre la infiltración y la intensidad de lluvia (Kfc)	98
2.7.3.3.2	Factor de pendiente del terreno (Kp).....	98
2.7.3.3.3	Factor de cobertura vegetal (Kv)	99
2.7.3.3.4	Retención (Ret)	99
2.7.3.3.5	Infiltración pluvial mensual (Pef).....	99

2.7.3.3.6	Escorrentía superficial (Esc).....	100
2.7.3.4	Balance hídrico de suelos	100
2.7.3.5	Calculo de la recarga potencial del acuífero (Rp)	100
2.7.4	CLASIFICACIÓN DE ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA NATURAL POTENCIAL.....	100
2.7.5	DETERMINACIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS DE RECARGA	101
2.8	RESULTADOS	103
2.8.1	DATOS DE CLIMA	103
2.8.1.1	DATOS DE CLIMA DE LA ESTACIÓN SAN JOSÉ LA FRONTERA.....	103
2.8.1.2	DATOS DE CLIMA DE LA ESTACIÓN MINA MARLÍN	104
2.8.2	GEOLOGÍA	105
2.8.3	USO ACTUAL DEL SUELO	105
2.8.4	INFILTRACIÓN Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO.....	107
2.8.5	ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA.....	108
2.8.6	ÁREAS CRÍTICAS DE RECARGA HÍDRICA	111
2.8.7	ZONIFICACIÓN Y LINEAMIENTOS DE MANEJO	111
2.8.7.1	ZONA DE APROVECHAMIENTO	112
2.8.7.2	ZONA DE CONSERVACIÓN	112
2.8.7.3	ZONA DE PRESERVACIÓN O PROTECCIÓN	113
2.8.7.4	ZONA DE PROTECCIÓN (RECARGA HÍDRICA).....	113
2.9	CONCLUSIONES.....	117
2.10	RECOMENDACIONES	119
2.11	BIBLIOGRAFÍA	120
2.12	ANEXOS	123
A.	DATOS DE CLIMA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO TZALÁ.....	123
B.	PRUEBAS DE INFILTRACIÓN Y DATOS DE LABORATORIO DE SUELOS.....	132
C.	CALCULO DE BALANCE HÍDRICO.....	139
Capítulo 3.	SERVICIOS REALIZADOS EN COMUNIDADES DE LOS MUNICIPIOS DE SAN MIGUEL IXTAHUACÁN Y SIPACAPA, DEL DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS.	146
3.1	PRESENTACIÓN	147
3.2	SERVICIO 1: PROGRAMA DE EDUCACIÓN AMBIENTAL “EL AMBIENTE Y YO”	148
3.2.1	OBJETIVO GENERAL.....	148
3.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	148
3.2.3	METAS.....	148

3.2.4	METODOLOGÍA.....	149
3.2.5	RESULTADOS	150
3.2.6	EVALUACIÓN	155
3.3	SERVICIO 2: VIVEROS COMUNALES.....	156
3.3.1	OBJETIVO GENERAL.....	156
3.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	156
3.3.3	METODOLOGÍA.....	157
3.3.4	RESULTADOS	159
3.3.5	EVALUACIÓN	162
3.4	BIBLIOGRAFÍA	163

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la sub-cuenca del río Tzalá.....	5
Figura 2. Mapa de pendientes, según el criterio del INAB.	7
Figura 3. Taxonomía de suelos según el sistema (USDA).	9
Figura 4. Uso de la tierra en la sub-cuenca del río Tzalá.....	10
Figura 5. Mapa de hidrografía de la sub-cuenca del río Tzalá.....	12
Figura 6. Mapa de Zonas de Vida según Holdridge.....	13
Figura 7. Grafico Log Nu (número de corrientes) vrs u (orden de corrientes).....	17
Figura 8. Curva Hipsométrica, de la sub-cuenca del río Tzalá.	18
Figura 9. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de aguas.....	25
Figura 10. Mapa de serie de suelos, según Simmons et. al.	27
Figura 11. Mapa de capacidad de uso del suelo, en la sub-cuenca del río Tzalá.....	30
Figura 12. Mapa de intensidad del uso de la tierra en la sub-cuenca del río Tzalá.	32
Figura 13. Mapa de uso potencial de la tierra en la sub-cuenca del río Tzalá.	34
Figura 14. Mapa de ubicación de la subcuenca del río Tzalá.	71
Figura 15. Mapa de pendientes.	73
Figura 16. Mapa de curvas de nivel.	74
Figura 17. Mapa de taxonomía de suelos en la subcuenca del río Tzalá.	76
Figura 18. Mapa de uso de la tierra en la subcuenca del río Tzalá.	78
Figura 19. Mapa de zonas de vida según Holdridge, en la subcuenca del río Tzalá.	80
Figura 20. Mapa de la subcuenca del río Tzalá.	82
Figura 21. Mapa de capacidad de uso del suelo, en la subcuenca del río Tzalá.	84
Figura 22. Mapa de intensidad del uso de la tierra en la subcuenca del río Tzalá.	86
Figura 23. Mapa de uso potencial de la tierra en la subcuenca del río Tzalá.	88
Figura 24. Ubicación de estaciones meteorológicas.....	92
Figura 25. Unidades de mapeo, en la subcuenca del río Tzalá.	94
Figura 26. Mapa de uso actual del suelo.	106
Figura 27. Mapa de unidades de recarga hídrica.	109
Figura 28. Mapa de áreas de recarga hídrica.	110
Figura 29. Mapa de zonificación.	114
Figura 30. Charla del programa el ambiente y yo impartida a alumnos de la escuela de educación primaria de aldea Maquivil.....	150

Figura 31. Charla del programa el ambiente y yo impartida a alumnos de la escuela de educación primaria de aldea Los Horcones.....	150
Figura 32. Charla del programa el ambiente y yo impartida a jóvenes de la telesecundaria de aldea Baljetre, San Miguel Ixtahuacán.....	151
Figura 33. Charla del programa el ambiente y yo impartida a jóvenes de la telesecundaria de aldea Shansegual, San Miguel Ixtahuacán.....	151
Figura 34. Reforestación realizada con niños de la escuela de educación primaria de aldea Chilive, San Miguel Ixtahuacán.....	152
Figura 35. Reforestación realizada con niños de la escuela de educación primaria de aldea Llano Grande, Sipacapa.	152
Figura 36. Entrega de arbolitos realizada a niños de la escuela de educación primaria de aldea Xeabaj, Sipacapa.	152
Figura 37. Entrega de arbolitos realizada a niños de la escuela de educación primaria de aldea Maquivil, San Miguel Ixtahuacán.....	152
Figura 38. Entrega de árboles y reforestación realizada con jóvenes del Instituto Tecnológico de San Miguel Ixtahuacán.	152
Figura 39. Entrega de árboles y reforestación realizada con jóvenes del instituto por telesecundaria de aldea Xanxegual, San Miguel Ixtahuacán.....	152
Figura 40. Entrega de baterías de clasificación de residuos sólidos en escuela de educación primaria de aldea Xeabaj, Sipacapa.	154
Figura 41. Instalación de baterías de clasificación de residuos sólidos en escuela de educación primaria de la aldea Maquivil, San Miguel Ixtahuacán.....	154
Figura 42. Instalación de baterías de clasificación de residuos sólidos en escuela de educación primaria de aldea Siete Platos, San Miguel Ixtahuacán,	154
Figura 43. Baterías de clasificación de residuos sólidos instaladas en aldea Baljetre.....	155
Figura 44. Baterías de clasificación de residuos sólidos instaladas en aldea Baljetre.....	155
Figura 45. Preparación del terreno para la implementación del vivero comunitario en aldea Nueva Victoria, Sipacapa.....	159
Figura 46. Instalación de malla perimetral en terreno preparado para la implementación del vivero comunitario en Nva. Victoria, Sipacapa.....	159
Figura 47. Preparación de sustrato y llenado de bolsas con grupo comunitario de Nueva Victoria, Sipacapa.....	160
Figura 48. Preparación de sustrato y llenado de bolsas en aldea El Carrizal, Sipacapa.	160

Figura 49. Preparación de bolsas y siembra con jóvenes de la telesecundaria de aldea La Cal, Malacatancito.	160
Figura 50. Preparación de bolsas y siembra con grupo de la aldea Llano Grande, Sipacapa.	160
Figura 51. Prácticas culturales llevadas a cabo en el vivero del grupo de aldea Pie de la Cuesta, Sipacapa.	160
Figura 52. Prácticas culturales realizadas con el grupo de aldea Llano Grande, Sipacapa.	160
Figura 53. Preparación de abono orgánico tipo lombricompost por integrantes del grupo de aldea Llano Grande, Sipacapa.	161
Figura 54. Preparación de abono orgánico tipo lombricompost por integrantes del grupo de aldea Nueva Victoria, Sipacapa.	161
Figura 55. Representantes de grupos de las aldeas Llano Grande, Pie de la Cuesta y La Cal, asisten a gira de campo en vivero del departamento de ambiente de Mina Marlín, para ser capacitados en la preparación de sustrato y llenado de bolsas.	161
Figura 56. Representantes de grupos de Llano Grande y Pie de la Cuesta, asisten a gira de campo en vivero del departamento de ambiente de Mina Marlín, para ser capacitados en la elaboración de injertos en árboles frutales.	161
Figura 57. Árboles de aliso en vivero de aldea Llano Grande, Sipacapa, listos para la venta.	161
Figura 58. Comercialización de árboles del vivero de aldea Llano Grande, Sipacapa, a Fundación Sierra Madre para ser utilizados en el programa de educación ambiental de la misma.	161

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Porcentajes de pendiente, en la sub-cuenca del río Tzalá.	6
Cuadro 2. Porcentaje de cobertura vegetal en la sub-cuenca del río Tzalá.	8
Cuadro 3. Parámetros de pH y conductividad eléctrica, medidos en laboratorio.	20
Cuadro 4. Resultados de las pruebas físicas, realizadas a las muestras de agua.	21
Cuadro 5. Límites máximos aceptables y permisibles, según COGUANOR.	21
Cuadro 6. Análisis químicos de las muestras de agua para iones mayores.	22
Cuadro 7. Elementos menores o secundarios y trazas.	22
Cuadro 8. Límites máximos aceptables y límites máximos permisibles.	22
Cuadro 9. Análisis bacteriológicos realizados a las diferentes muestras de agua.	23
Cuadro 10. Conductividad Eléctrica (C. E.) y Relación de Adsorción de Sodio (RAS).	24

Cuadro 11. Áreas de uso actual del suelo, en la sub-cuenca del río Tzalá.	28
Cuadro 12. Categorías de capacidad de uso del suelo en la sub-cuenca del río Tzalá.	29
Cuadro 13. Categorías de intensidad de uso del suelo, en la sub-cuenca del río Tzalá.	31
Cuadro 14. Categorías de uso potencial del suelo en la sub-cuenca del río Tzalá.	33
Cuadro 15. Distribución de la población por comunidad y sexo (Proyección 2010).	36
Cuadro 16. Causas de morbilidad infantil, en San Miguel Ixtahuacán, año 2,009.	38
Cuadro 17. Árbol de problemas para el recurso bosque en la sub-cuenca del río Tzalá.	42
Cuadro 18. Árbol de problemas para el recurso suelo en la sub-cuenca del río Tzalá.	42
Cuadro 19. Árbol de problemas para el recurso hídrico en la sub-cuenca del río Tzalá.	43
Cuadro 20. Árbol de problemas para los residuos sólidos, en la sub-cuenca del río Tzalá.	43
Cuadro 21. Matriz de priorización de problemas detectados en la sub-cuenca.	44
Cuadro 22. Porcentaje de pendientes en la subcuenca del río Tzalá.	72
Cuadro 23. Cobertura vegetal en la subcuenca del río Tzalá.	79
Cuadro 24. Categorías de capacidad de uso del suelo en la subcuenca del río Tzalá.	83
Cuadro 25. Categorías de intensidad de uso del suelo, en la subcuenca del río Tzalá.	85
Cuadro 26. Categorías de uso potencial del suelo en la subcuenca del río Tzalá.	87
Cuadro 27. Ubicación de las estaciones meteorológicas, en la subcuenca del río Tzalá.	91
Cuadro 28. Unidades de mapeo en la subcuenca del río Tzalá.	93
Cuadro 29. Valores de coeficientes (K_p) según el rango de pendiente.	98
Cuadro 30. Coeficiente (K_v) según el tipo de cobertura vegetal.	99
Cuadro 31. Categorización de áreas de recarga hídrica en base al volumen de recarga.	101
Cuadro 32. Criterios de geología para la determinación de áreas críticas.	101
Cuadro 33. Criterios de infiltración básica para la determinación de áreas críticas.	101
Cuadro 34. Criterios de recarga anual para la determinación de áreas críticas.	102
Cuadro 35. Criterios de pendiente para la determinación de áreas críticas.	102
Cuadro 36. Criterios de susceptibilidad de áreas a ser consideradas áreas críticas.	102
Cuadro 37. Datos de clima de la estación San José la Frontera.	104
Cuadro 38. Datos de clima de la estación Mina Marlín.	104
Cuadro 39. Áreas de uso actual del suelo, en la subcuenca del río Tzalá.	105
Cuadro 40. Características de las diferentes unidades de mapeo y velocidad de infiltración.	107
Cuadro 41. Características físicas de suelos en la sub-cuenca.	107
Cuadro 42. Calculo del volumen de recarga hídrica.	108
Cuadro 43. Criterios de susceptibilidad de áreas a ser consideradas áreas críticas.	111

Capítulo 1. DIAGNOSTICO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO TZALÁ DE LOS MUNICIPIOS DE SAN MIGUEL IXTAHUACÁN, SIPACAPA Y COMITANCILLO DEL DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS, GUATEMALA

1.1 INTRODUCCIÓN

En Guatemala, cada vez es más tangible que nos encontramos en una crisis en relación a los recursos naturales. Hay escases de agua para el consumo humano, riego y para otros usos. La degradación de los suelos por su uso inadecuado, la pérdida de los bosques debido a cambios en el uso de la tierra, el mal manejo de los mismos, así como la presión sobre el recurso hídrico (demanda), son factores importantes que influyen en la disponibilidad del mismo.

Según World Visión (2,004), la cuenca hidrográfica, es un sistema en donde se encuentran los recursos naturales (las personas dependen de su ambiente para satisfacer sus necesidades de salud, incluyendo sus necesidades de alimento, agua y refugio), la infraestructura creada por las personas, en las cuales desarrollan sus actividades económicas y sociales, siendo estas, esenciales para el bienestar de las mismas; por lo tanto, es de vital importancia conocer la condición de la cuenca hidrográfica y brindarle el papel como unidad de planificación.

La sub-cuenca del río Tzalá, está en jurisdicción de los Municipios de San Miguel Ixtahuacán (35.50%), Sipacapa (46.97%) y Comitancillo (17.49%) del departamento de San Marcos. Hidrográficamente, se localiza en la cuenca del río Cuilco, ubicado en la vertiente del Golfo de México, además, el estudio de impacto ambiental y social del proyecto minero Marlín indica que la misma se encuentra en el área de influencia directa del proyecto¹.

El área de la sub-cuenca, es de 65km², ubicándose total o parcialmente dentro de la misma 7 comunidades (Agel, Cabajchum, Chininguitz, Exial, Maquivil, Sacchilon y Sibinal) de San Miguel Ixtahuacán; 8 comunidades (Cancil, Chual, Escupijá, Guancache, La independencia Chilil, , Salem, Setivá y Xeabaj) de Sipacapa y 2 comunidades (Las Hortalizas y San José la Frontera) de Comitancillo.

El presente diagnóstico, contribuye a la identificación de las condiciones biofísicas y socioeconómicas que prevalecen en la sub-cuenca del río Tzalá. La caracterización biofísica, es importante al momento de ejecutar proyectos en cuencas, ya que, establece peculiaridades elementales para planes de manejo de las mismas. Entre las características más importantes,

¹5.7km² de los 20km² que incluye la licencia de explotación del proyecto se encuentran sobre la sub-cuenca del río Tzalá.

determinadas en el presente estudio se encuentran las características morfométricas de la cuenca hidrográfica ya que según Herrera (1995), reflejan las características físicas y su drenaje, siendo de gran utilidad para tomar decisiones de suma importancia en el manejo sostenible de los recursos naturales; así como, aspectos concernientes a los suelos, sistemas de producción, agua, flora y clima. La caracterización socioeconómica, permitió identificar elementos esenciales dentro de la población que inciden en la sub-cuenca y que pueden ayudar a ejecutar proyectos más enfocados al desarrollo de estos recursos.

1.2 MARCO REFERENCIAL

1.2.1 ASPECTOS GENERALES DE LA SUB-CUENCA

1.2.1.1 UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

La sub-cuenca en estudio tiene una superficie total de 65.32km², se encuentra ubicada entre los Municipios de San Miguel Ixtahuacán (35.50%), Sipacapa (46.97%) y Comitancillo (17.49%) del departamento de San Marcos; está ubicada entre las coordenadas del sistema Guatemala Transverse Mercator² 361,000 y 377,000 este y entre 1,679,000 y 1,685,300 norte (ver figura 1). La sub-cuenca forma parte de la cuenca del río Cuilco, que a su vez, forma parte de la vertiente del Golfo de México. El punto de aforo de la sub-cuenca se encuentra ubicado en el caserío Salem del municipio de Sipacapa en las coordenadas 375,655 este y 1,684,128 norte (GTM).

La sub-cuenca del río Tzalá, es de orden 5 y perímetro de 44.18 kilómetros. El río Tzalá, presenta un caudal máximo de 6.68 m³/s, un caudal medio de 1.31 m³/s y un caudal de estiaje de 0.3 m³/s³.

² Guatemala Transverse Mercator (GTM).

³ Estudio de Impacto Ambiental del proyecto minero Marlín.

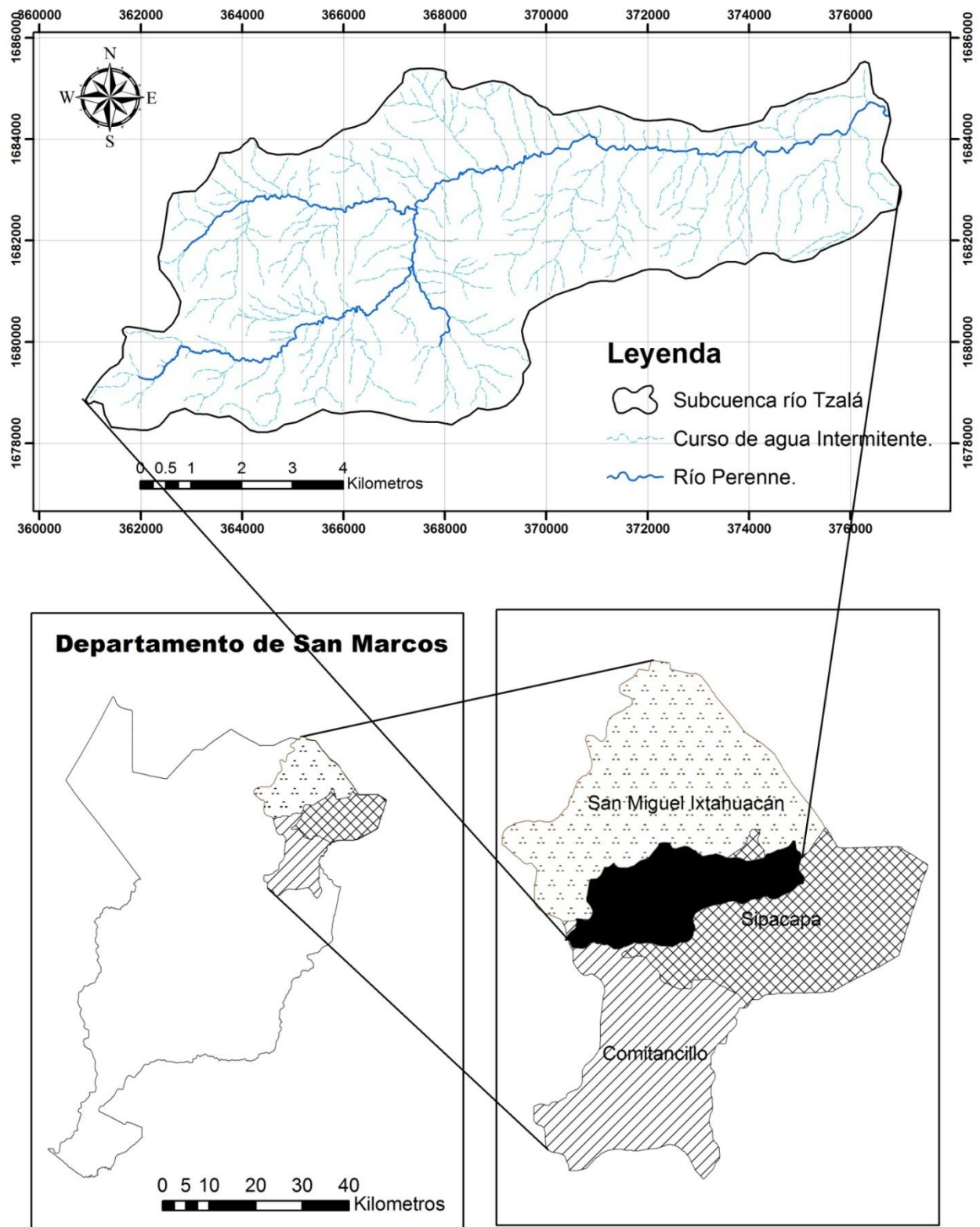


Figura 1. Mapa de ubicación de la sub-cuenca del río Tzalá.

1.2.1.2 LIMITES

La sub-cuenca limita al norte con la cabecera municipal de San Miguel Ixtahuacán; al este con la cabecera municipal de Sipacapa; al sur con la cabecera municipal de Sipacapa y al oeste con la cabecera municipal de Comitancillo.

1.2.1.3 RELIEVE

El área de estudio, se encuentra localizada en la región fisiográfica de las Tierras Altas Volcánicas, lo que comprende principalmente lo que se conoce como altiplano, cuyo material se debe a la actividad volcánica del Terciario Superior (Plioceno), encontrando principalmente rocas volcánicas, lavas, brechas, conglomerados, cenizas volcánicas, coladas de lava, lapilli, andesitas, basaltos, materias piroplásticas y sedimentos aluviales. Se observan principalmente paisajes de montañas, colinas y conos volcánicos. Desde el punto de vista geológico, comprende especialmente el Terciario Volcánico, en donde, se incluyen rocas volcánicas sin dividir y algunos depósitos volcánicos del cuaternario (INAB, 2003b).

En su mayoría la sub-cuenca, es de relieve escarpado (figura 2) con pendientes de más del 55% (ver Cuadro1), encontrándose montañas degradadas. La cota más alta es de 2,920msnm en el lado oeste en donde encontramos el municipio de Comitancillo. La cota más baja es de 1,700msnm hacia el lado este, en donde, encontramos la cabecera municipal de Sipacapa.

Cuadro 1. Porcentajes de pendiente, en la sub-cuenca del río Tzalá.

% PENDIENTE	ÁREA (Km2)	%
0-12%	5.53	8.47
12-26%	13.76	21.07
26-36%	12.74	19.51
36-55%	22.05	33.77
>55%	11.22	17.19
TOTAL	65.30	100.00

Figura 2. Mapa de pendientes, según el criterio del INAB.

1.2.1.4 SUELOS

En el área de estudio, se localizan suelos producto de la meteorización de las cenizas volcánicas; el proceso erosivo, es el principal factor de modelado del terreno y los espesores del suelo. En la sub-cuenca, se encuentran dos órdenes taxonómicos de suelos (ver figura 3): andisoles y entisoles. Los andisoles, son suelos derivados de ceniza volcánica y se caracterizan por la presencia de arcillas alófanas (arcillas amorfas) que se combinan fácilmente con materia orgánica y tiene alta capacidad de fijar fosforo. Los entisoles, son suelos en formación, son tan jóvenes que aún no se han formado horizontes de diagnóstico por la topografía quebrada (erosión mayor al grado de meteorización).

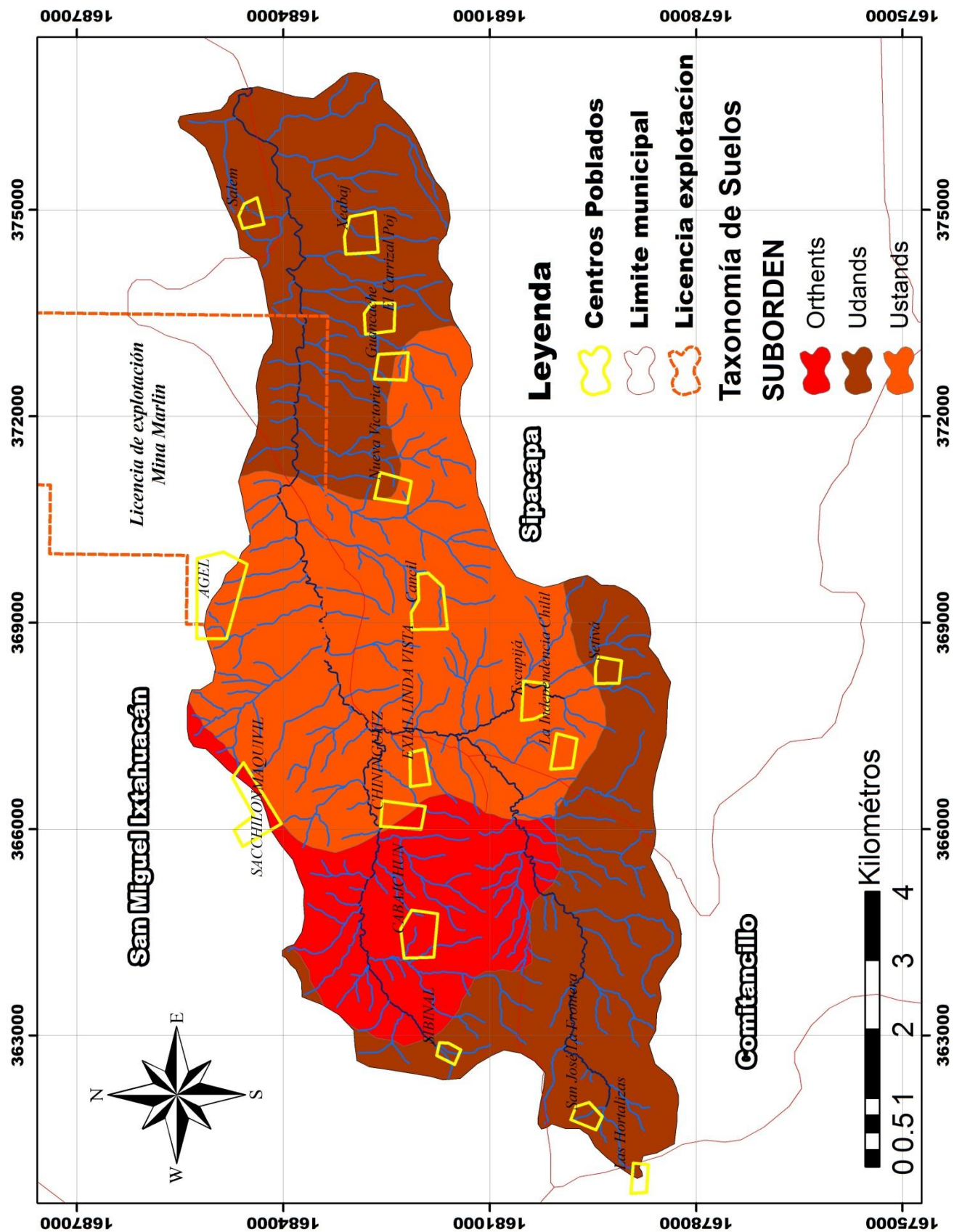
En la sub-cuenca, el 84.76% del área pertenece a los andisoles y el 15.24% a los entisoles. En general, en el área se encuentran suelos erosionados y muy erosionados. Con profundidades entre los 0-30cm y los 30-60cm.

1.2.1.5 VEGETACIÓN Y COBERTURA VEGETAL (USO ACTUAL DE LA TIERRA)

En el área en estudio, se encuentran dos tipos de coberturas; siendo estas, cultivos anuales y bosques (matorrales tomados como parte del bosque) (ver cuadro 2, figura 4). Entre los cultivos anuales, encontramos, principalmente maíz y frijol asociados con algunas hortalizas tales como el güicoy, ayote y chilacayote. En los bosques, podemos encontrar varias especies de pino (*Pinus montezumae*, *p. oocarpa*, *p. pseudostrobus*, etc.), ciprés (*Cupresus lusitanica*), madron (*Arbutus xalapensis*), encino (*Quercus* sp.), aliso (*Alnus* sp.); así como, algunos frutales como durazno, manzana, aguacate, ciruela y café en extensiones de poca importancia.

Cuadro 2. Porcentaje de cobertura vegetal en la sub-cuenca del río Tzalá.

Uso de la Tierra	Área (Km2)	%
Arbustos - matorrales	17.70	27.10
Bosque conífero	12.53	19.19
Bosque mixto	11.12	17.02
Granos básicos	23.92	36.63
	65.32	100.00



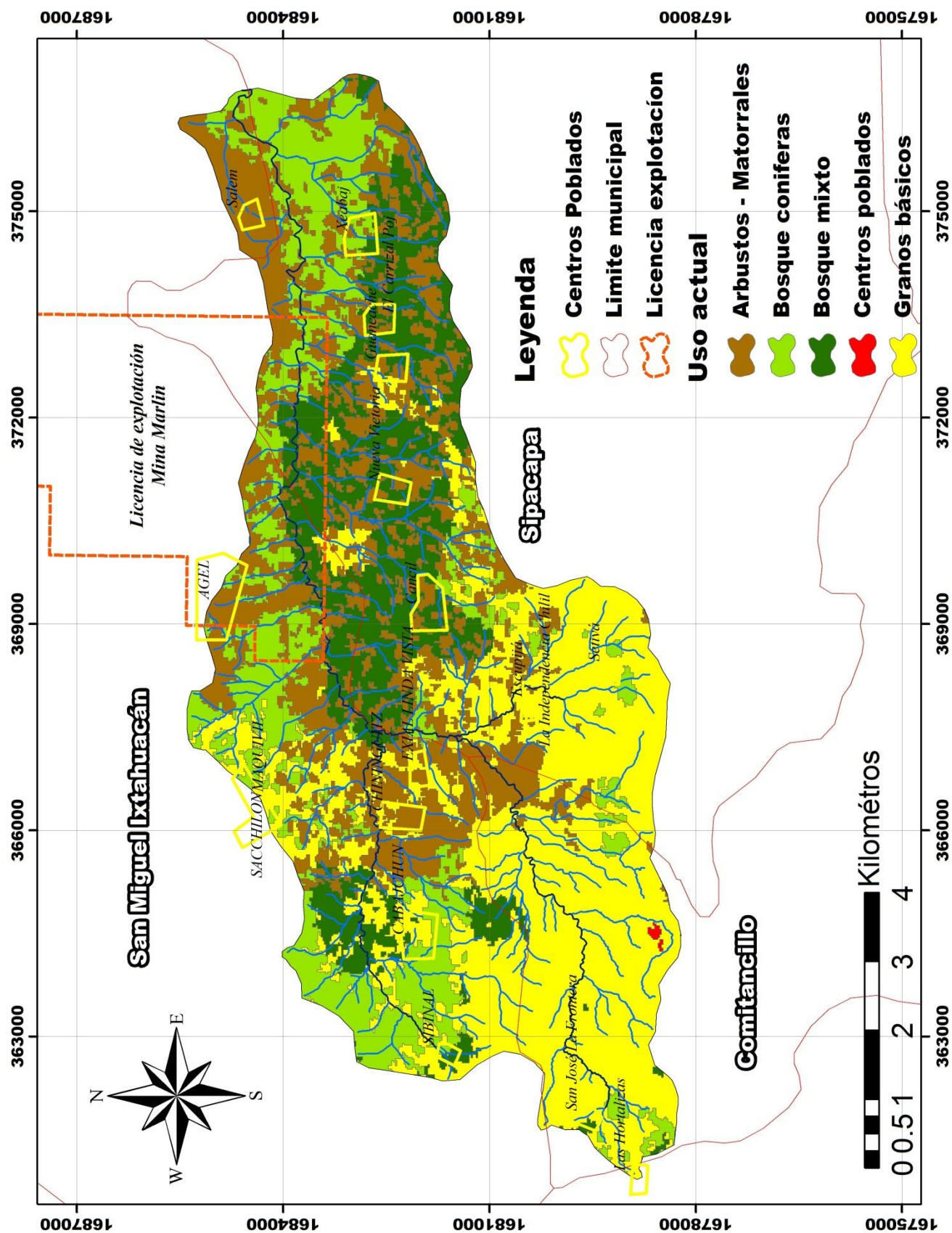


Figura 4. Uso de la tierra en la sub-cuenca del río Tzala.

1.2.1.6 CLIMA

El sistema de clasificación del clima de Thornthwaite, nos indica que en la sub-cuenca existen dos tipos de clima. Hacia el este y parte baja de la sub-cuenca se tiene un clima húmedo y templado (BB'2); hacia el oeste y parte alta de la sub-cuenca se tiene un clima húmedo y semi-frío (BB'3).

Según, el sistema de clasificación de Köppen, en la sub-cuenca hay solamente un tipo de clima; que es, templado meso-térmico, húmedo con invierno benigno. La precipitación promedio anual es de 1000mm. El valor promedio de la temperatura varía entre los 13.5°C y los 20°C.

1.2.1.7 HIDROGRAFÍA

El río, corre de oeste a este, además, es poco caudaloso siendo los caudales máximos y mínimos de 6.68m³/s y 0.3m³/s respectivamente. El río Tzalá, está formado por dos tributarios principales que son: el río Cabajchum y el río Salitre. La longitud del cauce principal es de 23.22km. En el punto en donde el río Tzalá, se une con el río del Pueblo, está ubicado el punto de aforo de la sub-cuenca (ver figura 5). El drenaje resultante de esa unión sigue llevando por nombre de río Tzalá, que va a drenar al río Cuilco.

1.2.1.8 ZONAS DE VIDA

En la sub-cuenca, se encuentran dos zonas de vida, según, el sistema de clasificación de Holdridge: Bosque húmedo montano bajo subtropical (bh-MB); en donde, es típico encontrar especies como pino (*Pinus montezumae*, *p. oocarpa*, *p. pseudostrobus*, etc.), ciprés, madron (*Arbutus xalapensis*), encino (*Quercus* sp.), aliso (*Alnus* sp.); así como, algunos frutales como durazno, manzana, aguacate, ciruela; Bosque muy húmedo montano subtropical (bmh-MB), en donde, la vegetación natural predominante que se puede considerar como indicador son los encinos, alisos, ciprés, pinos, robles, así como trigo, maíz, papas, habas y deciduos (Figura 6).

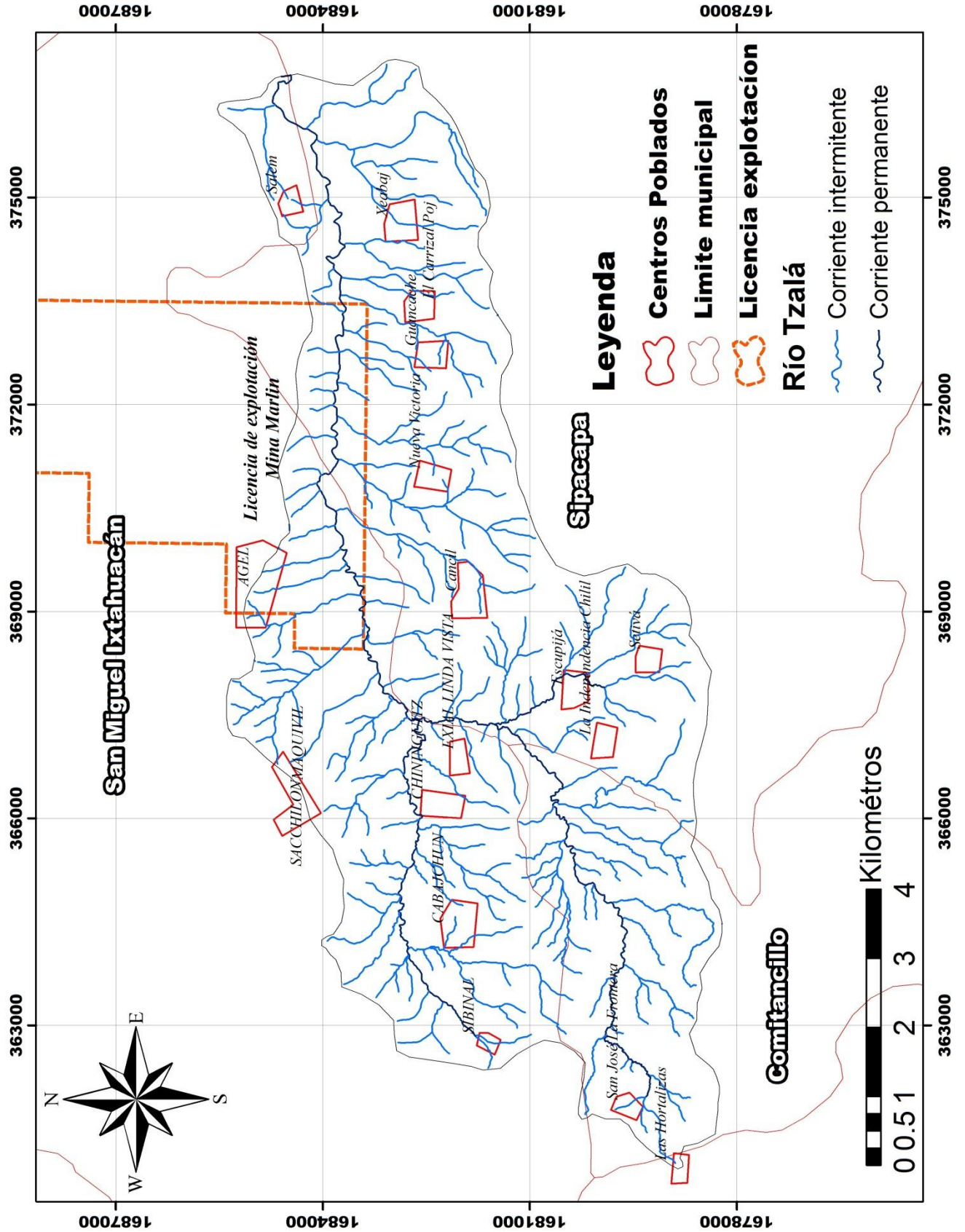


Figura 5. Mapa de hidrografía de la sub-cuenca del río Tzala.

Figura 6. Mapa de Zonas de Vida según Holdridge.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar un diagnóstico de reconocimiento de las condiciones de los recursos naturales renovables y aspectos socioeconómicos de la sub-cuenca del río Tzalá, en los Municipios de San Miguel Ixtahuacán, Sipacapa y Comitancillo del departamento de San Marcos, para determinar la problemática de los mismos.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las características morfométricas de la sub-cuenca del río Tzalá.
- Realizar una caracterización de los aspectos biofísicos de la sub-cuenca del río Tzalá.
- Establecer una caracterización socioeconómica de la población que se encuentra en la sub-cuenca del río Tzalá.
- Identificar los problemas ambientales y socioeconómicos de la sub-cuenca.

1.4 METODOLOGÍA

Para recopilar información que sirve como base para la elaboración del presente diagnóstico, se resumen en forma muy general las fases siguientes:

1.4.1 FASE DE GABINETE INICIAL

En dicha fase, se recopiló la información existente sobre los recursos naturales del área, diagnósticos elaborados por la institución cooperante y otras entidades que operan en el área; así como, cualquier material que fuese de interés. Además, se realizaron las siguientes actividades:

- a) Se adquirieron 3 hojas cartográficas a escala 1:50,000 elaborados por el Instituto de Geografía Nacional (IGN), siendo estas: Concepción Tutuapa y Santa Barbará, así como la hoja geológica de Santa Barbará.
- b) Por medio del software para Sistemas de Información Geográfica (SIG), Arcgis 9.3, se elaboró el mapa topográfico o base para la sub-cuenca del río Tzalá.
- c) Se consultaron los mapas temáticos de: taxonomía de suelos (USDA), uso actual del suelo, geológico, fisiográfico, cuencas hidrográficas, zonas de vida de Holdrige, climas según Thornthwaite y Köppen. Además, a partir de Modelo Digital del Terreno (DEM), se elaboró el mapa de pendientes y curvas de nivel de la sub-cuenca del río Tzalá.
- d) Se ordenó la información recopilada del área de interés y se sistematizó los datos más importantes para el diagnóstico.

1.4.2 FASE DE CAMPO

A través de recorridos dentro del área de estudio, se obtuvo más información de los recursos naturales y de la situación socioeconómica. Se realizaron visitas a comunidades dentro del área de interés, en donde, se recopiló información por medio de observación ordinaria y se realizaron entrevistas a informantes claves (líderes comunitarios, alcaldes auxiliares, miembros de COCODES), entre otros. En esta fase, se procedió a la verificación de la información recopilada y elaborada en gabinete.

1.4.3 FASE FINAL DE GABINETE

En esta fase, se analizó e interpreto la información recopilada y generada, para conocer el estado actual de los recursos naturales, la problemática y la potencialidad de los mismos.

Se realizó una priorización de los problemas en base a los indicadores: suelo, bosque, agua. Por último se elaboró el documento final, donde se emitieron conclusiones y recomendaciones.

1.5 RESULTADOS

1.5.1 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA SUB-CUENCA DEL RÍO TZALÁ

Las características morfométricas de la cuenca, reflejan las características físicas y de drenaje de la sub-cuenca, siendo estos (factores y coeficientes), de gran utilidad para establecer comparaciones entre cuencas y para la toma de decisiones de suma importancia en el manejo sostenible de los recursos naturales (Herrera, 1995). Dentro de dichas características, se determinaron los aspectos lineales, de superficie y de relieve de la sub-cuenca.

1.5.2 ASPECTOS LINEALES

La sub-cuenca del río Tzalá, forma parte de la cuenca del río Cuilco, que drena hacia la Vertiente del Golfo de México. El área aproximada de la sub-cuenca es de 65.32km^2 , de los cuales el 35.50% está en jurisdicción del Municipio de San Miguel Ixtahuacán, el 46.97% a Sipacapa y el 17.49% a Comitancillo. Además, cabe recalcar que el 8.74% (5.71km^2) de la misma está dentro de los límites del área de licencia de explotación de Mina Marlín.

El perímetro de la sub-cuenca, es de 44.18km y cuenta con un cauce principal de 23.22km, presentando muchas corrientes intermitentes, efímeras y varias permanentes. La sub-cuenca cuenta con 206 corrientes de orden 1, 50 de orden 2, 11 de orden 3, 3 de orden 4 y 1 de orden 5. Las corrientes de orden 1, cuentan con una longitud media (L_u) de 0.63km; las de orden 2, con L_u de 0.84km; las de orden 3, con L_u de 1.26km; las de orden 4, con L_u de 3.35km y la de orden 5, con L_u de 13.84km.

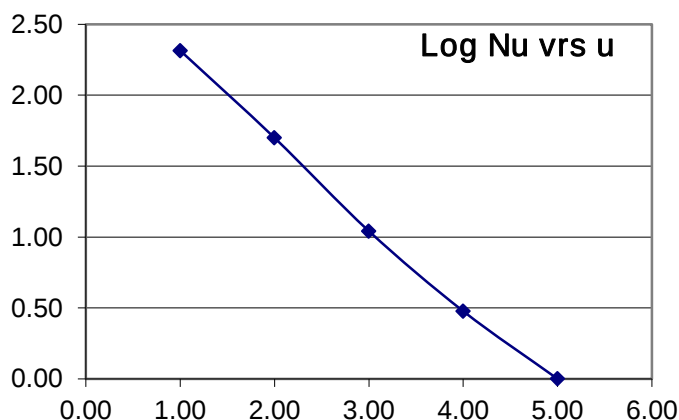


Figura 7. Gráfico Log Nu (número de corrientes) vs u (orden de corrientes).

Ya que las longitudes medias de las corrientes de orden 1, 2, 3 y 4 son longitudes cortas, podemos concluir que en la sub-cuenca del río Tzalá encontramos pendientes muy escarpadas.

1.5.3 ASPECTOS DE SUPERFICIE

Para la sub-cuenca del río Tzalá, se determinó una relación de forma (R_f) igual a 0.12, lo que indica que la forma de la hoya es alargada y el riesgo de inundaciones o crecidas es bajo ya que cuenta con buen drenaje. Se determinó que la densidad de drenaje (D) es de $3.19\text{km}/\text{km}^2$, lo que indica que los materiales del suelo son muy permeables y que el agua llega al cauce lentamente.

1.5.4 ASPECTOS DE RELIEVE

Utilizando el método Alvord, se determinó que la pendiente media de la cuenca, es de 38.51%; por lo que se entiende que el relieve de la cuenca, es pronunciado. La pendiente media del cauce principal, es de 5.17%; indicando que la velocidad de flujo, es baja a media explicando que el caudal total, recibe una alta contribución de las aguas subterráneas. La elevación media de la cuenca se determinó por el método de la curva hipsométrica (ver figura 7), ascendiendo la misma a 2,600msnm.

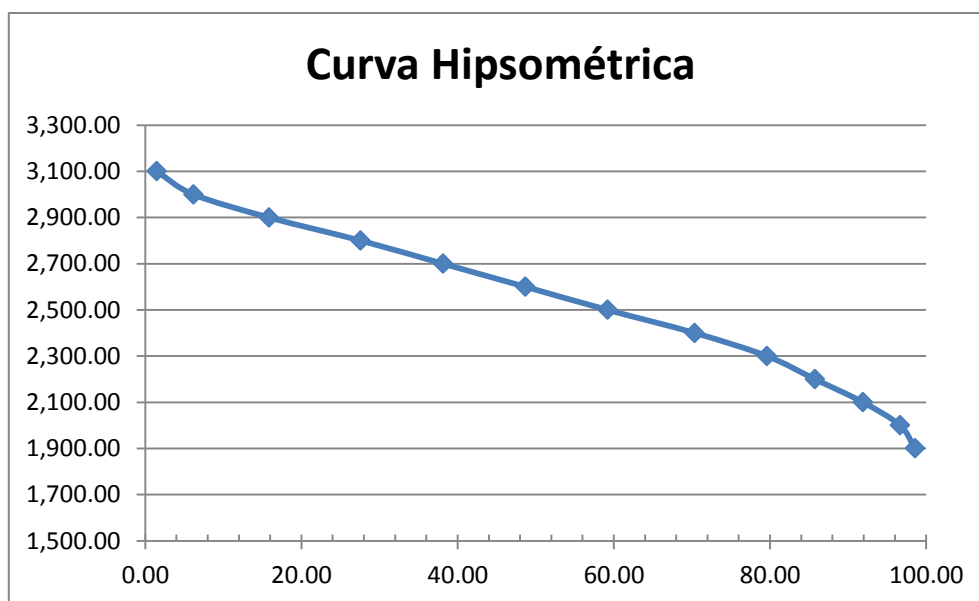


Figura 8. Curva Hipsométrica, de la sub-cuenca del río Tzalá.

Dicha elevación media (2600msnm), es alta lo que hace suponer una cuenca con algún grado de madurez, con procesos de erosión medio ya que es una cuenca joven a madura o en

equilibrio (periodo cuaternario). El coeficiente de relieve, es de 5.16×10^{-6} indicando una baja producción de sedimentos.

1.5.5 CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA

1.5.5.1 RECURSO HIDRICO

1.5.5.1.1 Agua superficial

En la sub-cuenca del río Tzalá, existen 18 comunidades que se abastecen en su mayoría de manantiales ubicados en la misma. La topografía predominante en la sub-cuenca, permite la formación de numerosos manantiales, que en su mayoría han ido quedando desprotegidos por el avance de la frontera agrícola y/o por la deforestación, por lo que, se deben implementar planes para la protección de dichas fuentes de agua y sostener la demanda de dicho recurso por parte de los habitantes del área. Las aguas del río Tzalá, no son utilizadas para fines productivos o de consumo directo, ya que las pendientes escarpadas en el cauce del río imposibilitan dicho uso. Áreas de pequeñas extensiones de la gran mayoría de agricultores de la zona, son regadas desde nacimientos en las laderas de dicha sub-cuenca, los mismos manifiestan que algunos manantiales se han secado o han reducido su caudal.

El río Tzalá, según datos obtenidos en el año 2003 y publicados en la evaluación de impacto ambiental del proyecto Marlín es efluente, recibiendo un aporte de aguas subterráneas de aproximadamente $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$. El caudal del río, varía significativamente durante la época seca y lluviosa, desde menos de 0.5 hasta $7 \text{ m}^3/\text{s}$, con un caudal medio de $1.31 \text{ m}^3/\text{s}$.

1.5.5.1.2 Calidad del Agua

Se realizaron, 8 muestreos de agua en diferentes puntos ubicados dentro de la sub-cuenca del río Tzalá (figura 9), estos fueron tomados de diferentes fuentes de agua, como lo son: ríos, pozos, manantiales, chorros, a los que se les realizaron diferentes análisis físico-químicos y biológicos. Los resultados de los análisis de laboratorio, fueron cotejados con las normas establecidas por el Comité de Guatemala para la Normalización (COGUANOR), que define los límites máximos aceptables y permisibles de las características y sustancias químicas.

Cuadro 3. Parámetros de pH y conductividad eléctrica, medidos en laboratorio.

Lugar de muestreo	Coordenadas GTM		Elevación	pH	C. E.(μS/cm)
	Latitud N	Latitud E			
Tzalá	375691	1684142	1743	7.2	80
Xeabaj	374868	1682756	2013	5.7	40
Xeabaj II	374458	1682486	2082	7.3	40
Carrizal	373273	1682423	2120	6.2	50
Nva. Victoria	370893	1682432	2282	6.2	80
Cancil	369043	1681930	2446	6	90
Chininguits II	366172	1682050	Nd	6.2	40
Chininguitz I	366170	1682399	Nd	7.9	140

El pH, de las muestras analizadas oscila entre los 5.5 y los 8; siendo el pH, generalmente, neutro. La muestra tomada en Xeabaj, muestra ligera acides, encontrándose dentro de los rangos típicos de valores de pH, ya que en aguas naturales oscila entre 5.5 y 8.5 y en aguas subterráneas habitualmente entre 6.5 y 8.5 (Sánchez, 2006).

La conductividad eléctrica, en general, es muy baja; oscilando entre los 40 y los 140 μ S/cm, lo que indica que la cantidad de sales disueltas en las muestras analizadas, es muy baja y se encuentra comprendida entre los valores típicos más bajos del agua subterránea que varían de 50 a 50,000 μ S/cm (Herrera, 2009).

1.5.5.1.3 Calidad del agua para consumo humano

Las normas de calidad de agua para consumo humano, en Guatemala, son establecidas por el Comité de Guatemala para la Normalización (COGUANOR), en 1984. Los parámetros que se tomaron en cuenta y son analizados en el presente estudio son: olor, sabor, pH y sólidos totales disueltos (SDT). Los resultados de las 8 muestras se muestran en el cuadro 5.

Cuadro 4. Resultados de las pruebas físicas, realizadas a las muestras de agua.

Id	Lugar	Fuente	Olor	Sabor	pH	STD (ppm)
1	Tzala	río	No rechazable	No rechazable	7.2	0
2	Xeabaj	Pozo	No rechazable	No rechazable	5.7	200
3	Xeabaj II	Nacimiento	No rechazable	No rechazable	7.3	200
4	Carrizal	Chorro	No rechazable	No rechazable	6.2	200
5	Nva Victoria	Chorro	No rechazable	No rechazable	6.2	200
6	Cancel	Pozo	No rechazable	No rechazable	6	200
7	Chininguits II	Pozo	No rechazable	No rechazable	6.2	200
8	Chininguitz I	Chorro	No rechazable	No rechazable	7.9	200

Los límites máximos aceptables y los límites máximos permisibles, según, la norma para agua potable de COGUANOR NGO 29 001:99, se muestran en el cuadro 5.

Cuadro 5. Límites máximos aceptables y permisibles, según COGUANOR.

Característica	Limite Maximo Aceptable (LMA)	Limite Maximo Permisible (LMP)
Coloracion	Clara	Clara
Olor	No rechazable	No rechazable
Sabor	No rechazable	No rechazable
pH	7.0-7.5	6.5-8.5
Solidos totales disueltos (SDT)	500ppm	1000ppm

El agua, de todas las muestras presenta una coloración ligeramente amarillenta, por lo que las mismas, no cumplen la norma COGUANOR, para características físicas; por lo tanto, no son adecuadas para el consumo humano, aunque no presentan un olor, ni sabor desagradable. Según, los resultados obtenidos en laboratorio, existe problema de pH en las muestras 2, 4, 5, 6 y 7, ya que están fuera del rango permisible por la norma COGUANOR. En cuanto, a los sólidos totales disueltos (SDT), se puede observar que las muestras analizadas se encuentran por debajo del límite máximo aceptable (LMA), por lo que, se concluye que no existe problema en dichas aguas con respecto a dicho parámetro.

Los resultados de iones mayores (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{-} , HCO_3^-), se presentan en el cuadro siguiente:

Cuadro 6. Análisis químicos de las muestras de agua para iones mayores.

Id	Lugar	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	Carbonatos	Bicarbonatos	Cloruros	Sulfatos	Nitratos
		(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
1	Tzala	1.55	1.5	2.46	5.53	0	54.9	9.71	0.1	0.69
2	Xeabaj	0.68	1.13	3.86	6.64	0	61	15.96	0.07	1.33
3	Xeabaj II	0.36	0.44	1.9	4.92	0	61	11.1	0.08	0.71
4	Carrizal	0.4	0.32	1.29	3.83	0	67.1	9.71	0.01	0.54
5	Nva Victoria	0.7	0.9	1.67	5.02	0	109.8	6.25	0.01	2.91
6	Cancil	1.49	1.39	2.08	3.9	0	79.3	11.1	0.01	1.88
7	Chininguits II	3.31	2.33	2.82	6.08	0	122	18.04	0.01	5.02
8	Chininguitz I	5.54	0.2	4.16	8.92	30	36.6	9.71	0.01	0.54

Para iones minoritarios, los resultados se muestran en el cuadro siguiente:

Cuadro 7. Elementos menores o secundarios y trazas.

Id	Lugar	Fosforo	Cobre	Hierro	Manganeso	Zinc (ppm)	Boro (ppm)
		(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)		
1	Tzala	0.08	0.09	1.18	0.13	0.01	0.01
2	Xeabaj	0.25	0.09	0.35	0.02	0.01	0.01
3	Xeabaj II	0.35	0.09	0.28	0.01	0.01	0.01
4	Carrizal	0.01	0.16	0.4	0.02	0.01	0.01
5	Nva Victoria	0.01	0.08	0.01	0.01	0.01	0.01
6	Cancil	0.01	0.12	0.22	0.01	0.01	0.01
7	Chininguits II	0.01	0.01	0.27	0.03	0.01	0.01
8	Chininguitz I	0.01	0.12	0.17	0.01	0.01	0.01

Los Límites máximos aceptables y permisibles, según la norma COGUANOR se muestran en el cuadro siguiente:

Cuadro 8. Límites máximos aceptables y límites máximos permisibles.

Sustancia química	Limite Maximo Aceptable (LMA), (ppm)	Limite Maximo Permissible (LMP), (ppm)
Boro (B)		0.30
Calcio (Ca)	75.00	150.00
Cinc (Zn)	3.00	70.00
Cloruro (Cl)	100.00	250.00
Cobre (Cu)	0.05	1.50
Dureza total (Ca)	100.00	500.00
Hierro total (Fe)	0.10	1.00
Magnesio (Mg)	50.00	100.00
Manganeso (Mn)	0.05	0.50
Nitrato (NO3)		45.00
Sulfato (SO4)	100.00	250.00
CE		< de 1500µS/cm

Cotejando los resultados obtenidos en laboratorio y los límites máximos y permisibles de la norma COGUANOR, se observa en cuanto a aniones, que presentan concentraciones por debajo de los límites máximos permisibles: cloruro (6.25 a 18.04 ppm < 250 ppm); sulfato (0.01 a 0.08 ppm < 250 ppm); nitrato (0.54 a 5.02 ppm < 45 ppm). El carbonato de calcio, en el 100% de las muestras se encuentra debajo de los límites máximos permisibles.

Las concentraciones de Ca, Mg, Cu, Mn, Zn, B, se encuentran dentro de los rangos aceptables en todas las muestras, mientras que, el catión Fe, se encuentra fuera del rango únicamente en la muestra 1.

Los resultados de los análisis bacteriológicos, realizados a las muestras se presentan en el cuadro 9:

Cuadro 9. Análisis bacteriológicos realizados a las diferentes muestras de agua.

Id	Lugar	Fuente	E. coli (NMP)	Coliformes (NMP)
1	Tzala	río	920.8	2419.6
2	Xeabaj	Pozo	770.1	2419.6
3	Xeabaj II	Nacimiento	248.1	2419.6
4	Carrizal	Chorro	18.5	28.5
5	Nva Victoria	Chorro	131.4	344.8
6	Cancil	Pozo	648.8	1986.3
7	Chininguits II	Pozo	517.2	2419.6
8	Chininguitz I	Chorro	9.8	177.5

El nivel máximo permisible (NMP), según, la norma COGUANOR, es < 1, tanto para coliformes, como para *E. coli*. El cuadro 9, muestra que el 100% de las muestras contienen un NMP (número más probable), superior al permisible; por lo tanto, las muestras no cumplen con la norma COGUANOR y para aprovechar este recurso, se debe tratar y desinfectar sanitariamente ya que ocasionaría enfermedades a la población, si la misma fuese consumida directamente.

1.5.5.1.4 Calidad del agua para riego

Dos parámetros importantes para clasificar la calidad del agua de riego son la conductividad eléctrica (CE) y la relación de adsorción de sodio (RAS); por lo tanto, el cuadro 10, muestra los resultados obtenidos en laboratorio de las muestras de agua tomadas.

Cuadro 10. Conductividad Eléctrica (C. E.) y Relación de Adsorción de Sodio (RAS).

Id	Comunidad	Fuente	C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	RAS
1	Salem (aforo)	Río	80	0.76
2	Xeabaj	Pozo	40	1.15
3	Xeabaj	Nacimiento	40	1.3
4	El Carrizal	Chorro	50	1.09
5	Nueva Victoria	Chorro	80	0.94
6	Cancil	Pozo	90	0.55
7	Chininguitz	Pozo	40	0.63
8	Chininguitz	Chorro	140	1.01

Al cotejar, tales resultados con el diagrama para la clasificación de las aguas de riego, que utiliza la metodología de clasificación de agua de riego del Laboratorio de Salinidad del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, se observa que todas las aguas están clasificadas como aguas de baja salinidad (C1), y pueden usarse para riego de la mayor parte de los cultivos, en casi cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad de que se desarrolle salinidad, ya que la conductividad eléctrica es menor de $250\mu\text{S}/\text{cm}$.

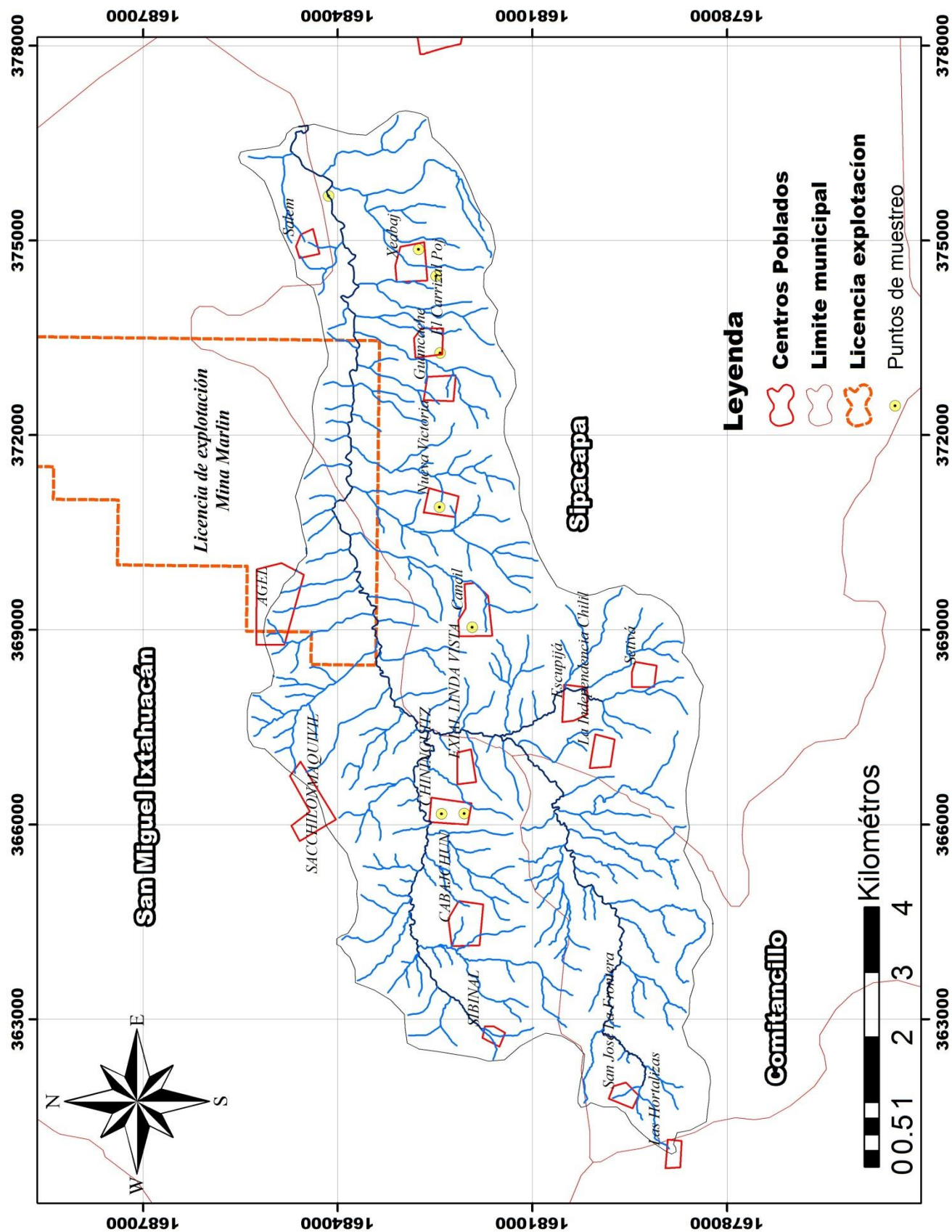


Figura 9. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de aguas.

Además, las aguas se clasifican como bajas en sodio (S1) y pueden usarse para el riego de la mayoría de suelos, con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. Por lo tanto, las aguas muestreadas se encuentran clasificadas como C1-S1 (Sandoval, 2,007).

1.5.6 RECURSO SUELO

1.5.6.1 Suelos

En la sub-cuenca del río Tzalá, encontramos suelos producto de la meteorización de las cenizas volcánicas; en donde, el proceso erosivo, es el principal factor de modelado del terreno y los espesores del suelo. En la sub-cuenca, se encuentran dos órdenes taxonómicos de suelos (ver figura 4): andisoles y entisoles. Los andisoles (subórdenes udands (según, Simmons, series Camanchá, Totonicapán y Patzité) y ustands (serie Sinaché, según, Simmons), son suelos derivados de ceniza volcánica y se caracterizan por la presencia de arcillas alófanas (arcillas amorfas) que se combina fácilmente con materia orgánica y tiene alta capacidad de fijar fosforo. Los entisoles (suborden: orthens (serie Samalá, según Simmons), son suelos en formación, tan jóvenes que aún no se han formado horizontes de diagnóstico por la topografía quebrada (erosión mayor al grado de meteorización).

En la sub-cuenca, el 84.76% del área pertenece a los andisoles y el 15.24% a los entisoles. En general, en el área se encuentran suelos erosionados y muy erosionados, con profundidades entre los 0-30cm y los 30-60cm.

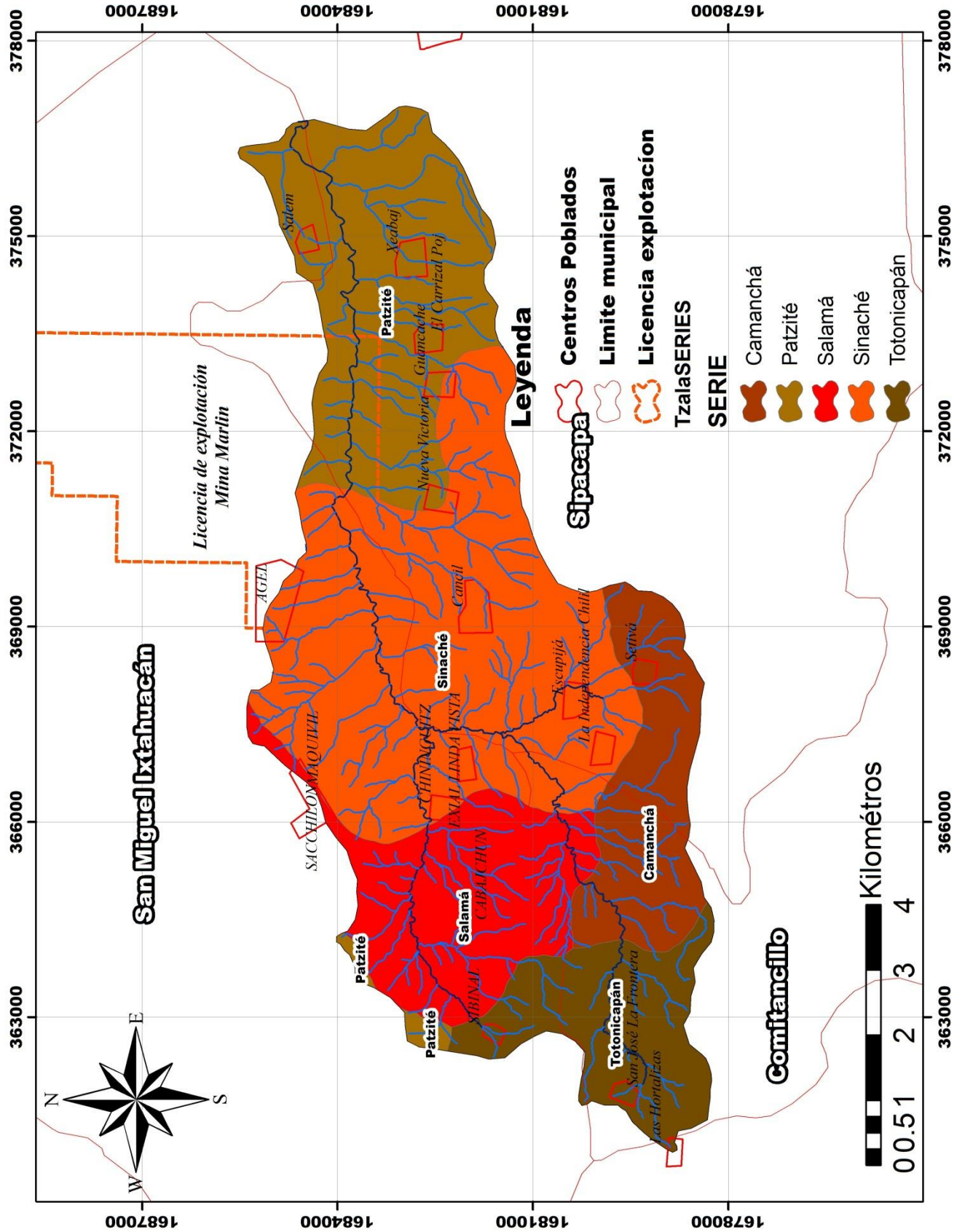


Figura 10. Mapa de serie de suelos, según Simmons et. al.

1.5.6.2 Uso actual del suelo

El uso actual del suelo (cuadro 11), está compuesto por los siguientes usos: bosque, ya sea disperso asociado con pastos naturales, tales como: grama (*Paspalum notatum*), kikuyu (*Pennisetum clandestinum*), pasto miel (*Melinis minutiflora*); entre otros, que fueron áreas cubiertas inicialmente por bosque, pero debido al crecimiento poblacional del lugar, se ha hecho un aprovechamiento selectivo de árboles para la construcción de viviendas y para leña, dejando áreas descubiertas para sembrar cultivos de subsistencia y donde, se da la regeneración natural de pastos y también bosque denso, en donde, las principales especies son: pinos (*Pinus pseudostrobus* y *Pinus montezumae*), encinos (*Quercus* sp.), madron (*Arbustus xalapensis*), aliso (*Alnus* sp.), ciprés (*Cupressus lusitánica*) y *Prunus capulí*. Los arbustos-matorrales son áreas en donde se pueden apreciar arbustos y árboles pequeños de diferentes edades dados por regeneración natural secundaria y cultivos anuales (ver figura 5), de los cuales predominan los granos básicos (principalmente el maíz y frijol asociados con algunas hortalizas como güicoy, ayote y chilacayote), con un 23.92km² (36.63% del total del área de la sub-cuenca), seguido por arbustos-matorrales con 17.70km² (27.10% del área total) y bosques de coníferas y mixtos con un 19.19 y 17.02% del área total de la sub-cuenca.

Cuadro 11. Áreas de uso actual del suelo, en la sub-cuenca del río Tzalá.

Uso del suelo	Área (km2)	% área
Arbustos-matorrales	17.70	27.10
Bosque de coníferas	12.53	19.19
Bosque mixto	11.12	17.02
Cultivos anuales (maíz, frijol)	23.92	36.63
TOTAL	65.32	100.00

1.5.6.3 Capacidad de uso

La metodología del USDA, ubica tres categorías de capacidad de uso de la tierra, en la sub-cuenca, siendo estas III, VI y VII.

Cuadro 12. Categorías de capacidad de uso del suelo en la sub-cuenca del río Tzalá.

Capacidad	Área (KM2)	% Área
III	6.37	9.76
VI	5.46	8.36
VII	53.47	81.89
TOTAL	65.29	100.00

La clase III, representa suelos con limitaciones fuertes, que reducen la selección de plantas, requieren prácticas de conservación de suelos (según la metodología del INAB para determinación de capacidad de uso de la tierra, equivale tierras de tipo Aa, o sea agroforestería con cultivos anuales, con limitación de pendiente y/o profundidad efectiva, donde se permite la siembra de cultivos agrícolas asociados con árboles y obras de conservación de suelos). La clase VI, se caracteriza por ser suelos de poca profundidad, con pendientes fuertes y erosión hídrica severa, son suelos ligeramente ácidos, poco fértiles y con bajos contenidos de materia orgánica, aunque no presentan limitaciones tan severas, por lo que se pueden dedicar a la agricultura y pastoreo, pero con prácticas de conservación de suelos (según el INAB, pertenecen a la categoría de Sistemas silvopastoriles (Ss), que son áreas con limitación de pendiente y/o profundidad, tiene limitaciones permanentes o transitorias de pedregosidad y/o drenaje. Permiten el desarrollo de pastos naturales o implantados en asociación con especies arbóreas). La clase VII, se caracteriza por que tienen limitaciones muy fuertes que los hacen inadecuados para la agricultura y restringen su uso en gran parte a bosques (según el INAB, equivale a la categoría de Tierras forestales para producir (F), que son áreas con suelos muy poco profundos, con pendientes escarpadas, erosión hídrica muy severa y con roca aflorante, aptas para realizar un manejo forestal sostenible, tanto del bosque nativo como el de plantaciones con fines de aprovechamiento), (INAB, 2003b), ver cuadro 12, figura 12.

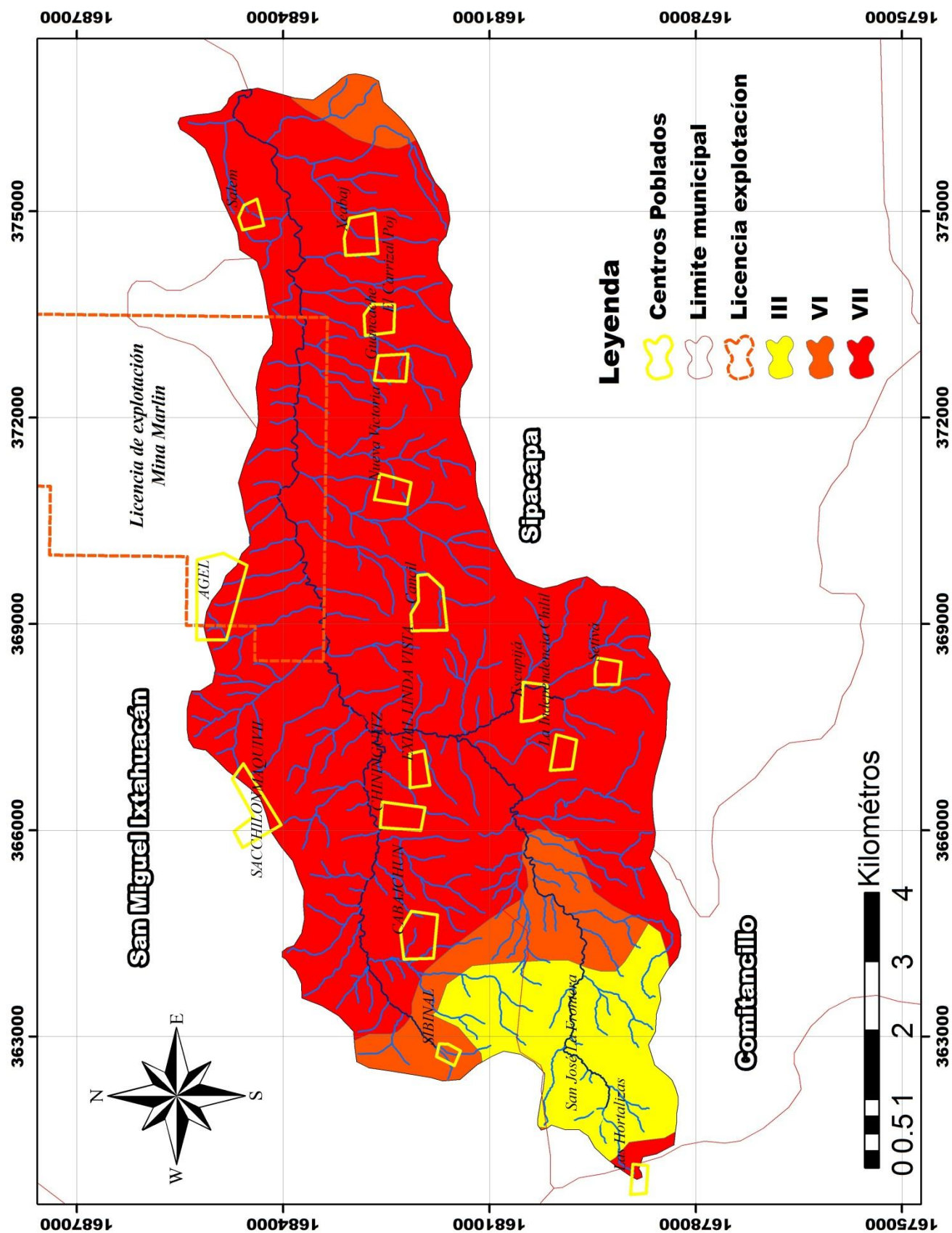


Figura 11. Mapa de capacidad de uso del suelo, en la sub-cuenca del río Tzalá.

1.5.6.4 Intensidad de uso

En la sub-cuenca del río Tzalá, el 74.34% del área se encuentra sobre-utilizada (el suelo, es utilizado a una intensidad mayor a la que soporta en términos físicos), el 7.66% subutilizada (el suelo, es utilizado a una intensidad menor que la que es capaz de soportar en términos físicos) y el 18.00% del área de la misma cuenta con un uso correcto (lo que indica que no hay discrepancia entre la capacidad de uso de la tierra y el uso que actualmente se le está dando), según, se muestra en el cuadro 13.

Cuadro 13. Categorías de intensidad de uso del suelo, en la sub-cuenca del río Tzalá.

Categoría	Área (km2)	Área %
Sobre utilizado	48.54	74.34
Sub utilizado	5.00	7.66
Uso correcto	11.75	18.00
TOTAL	65.29	100.00

Figura 12. Mapa de intensidad del uso de la tierra en la sub-cuenca del río Tzalá.

1.5.6.5 Uso potencial

Según, la capacidad de uso de la tierra (inciso 5.2.2.3), se determina que en la sub-cuenca del río Tzalá, existen dos zonas de producción según el uso potencial de la tierra en la misma, que son:

- a) zonas aptas para la agricultura con prácticas de conservación y
- b) zonas aptas para la producción agroforestal, con un 9.76% y 90.24% del área total de la sub-cuenca respectivamente ver: (cuadro 14) y (ver figura 14).

Cuadro 14. Categorías de uso potencial del suelo en la sub-cuenca del río Tzalá.

Categoría	Área (km2)	Área (%)
Zonas aptas para la agricultura con practicas de conservacion (USDA III y IV)	6.37	9.76
Zonas aptas para la produccion Agroforestal (USDA VI y VII)	58.92	90.24
TOTAL	65.29	100.00

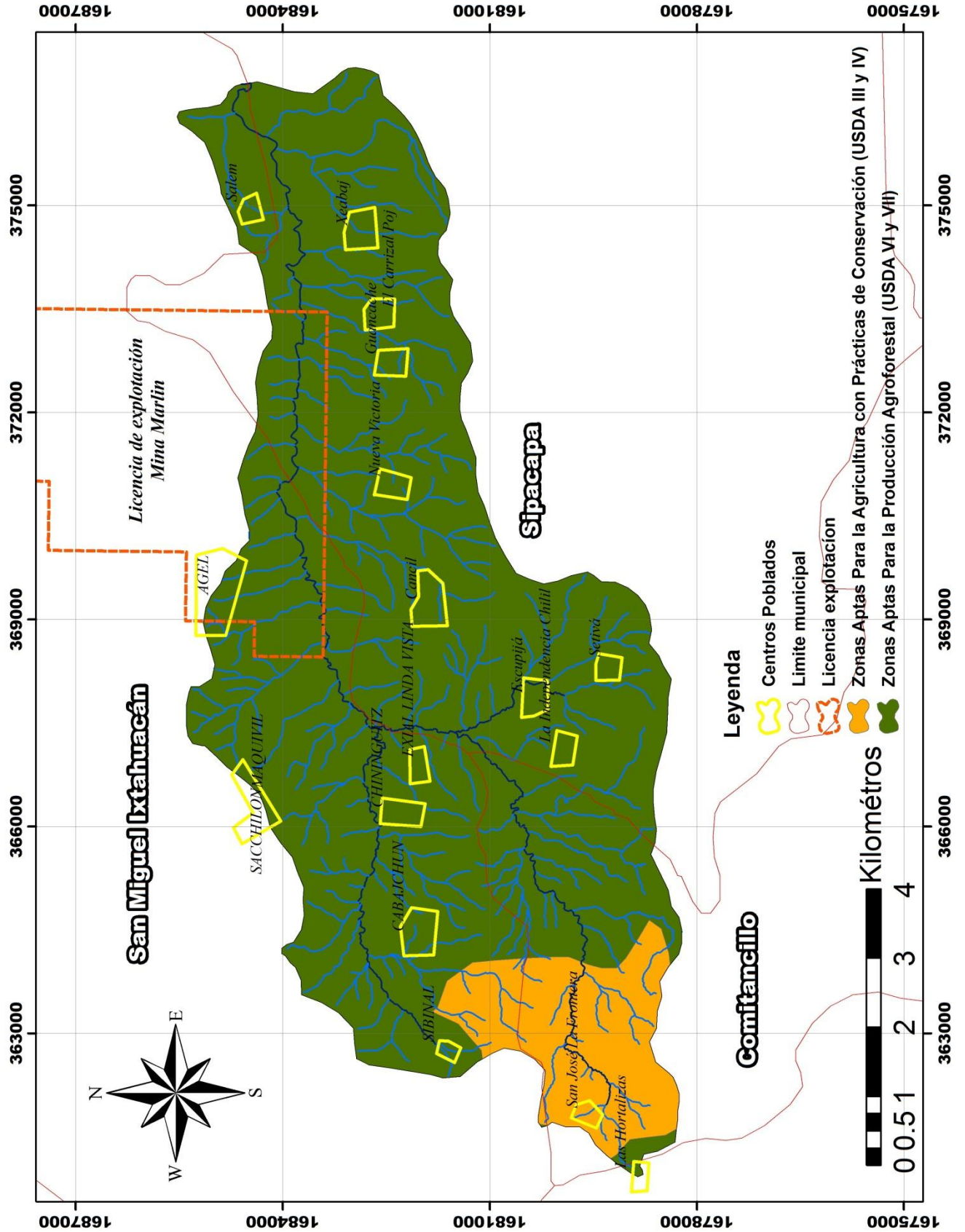


Figura 13. Mapa de uso potencial de la tierra en la sub-cuenca del río Tzala.

1.5.7 RECURSO BOSQUE

Las principales especies que se encuentran en los bosques dentro de la sub-cuenca del río Tzalá, son: pino (*Pinus pseudostrobus*, *Pinus montezumae*), encino (*Quercus* sp.), aliso (*Alnus* sp.), cipres (*Cupressus lusitánica*).

Leiva (2004), indica que la mayoría de los bosques se encuentran deteriorados y sobre explotados; en donde, la estructura de los bosques con base a diámetros, dice que, se trata de bosques de clases diamétricas menores con baja capacidad comercial. Los arboles de coníferas presentan fuste recto y buen estado fitosanitario. Además, indica que el volumen promedio de madera en los bosques de San Miguel Ixtahuacán es de 151.24m³ y en Sipacapa es de 127.55m³, respectivamente. El mismo autor indica que las principales especies (*P. pseudostrobus* y *P. montezumae*), presentan un incremento de 3.4 y 2.8 m³/ha/año de madera. Tanto los valores de volumen como los incrementos, se consideran bajos al compararlos con el rendimiento de los bosques de estas especies en otros sitios.

Cabe mencionar, que el régimen de tenencia de los bosques en el municipio de San Miguel Ixtahuacán, el 100% se encuentra en régimen de propiedad privada. En Sipacapa, el 95% de las tierras con bosques son de propiedad privada. En cuanto a registro de propiedad el 0 al 10% de los propietarios afirma poseerlo.

Estos bosques no tienen ningún tipo de manejo, los propietarios extraen la madera y la leña necesarias para su consumo, bajo el régimen del consumo familiar. La mayoría de los aprovechamientos y extracciones forestales con fines comerciales, tienen carácter ilegal (Leiva, 2004).

No se cuenta con programas de talas controladas y los habitantes del área manifiestan que en sus tierras pueden hacer lo que deseen con los recursos del bosque. Actualmente, tanto San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, cuentan con oficinas forestales municipales; pero a veces, carecen de fondos para la implementación de programas de reforestación, por lo que los técnicos se dan a la tarea de buscar el aporte de otras instituciones en el área. Cabe mencionar, que el departamento de ambiente de mina Marlín, cuenta con un vivero, en donde, se producen aproximadamente 150,000 árboles de pino (*P. montezumae*), anualmente, que son donados a

habitantes interesados en reforestar sus terrenos y estos cuenten con las condiciones necesarias para el establecimiento de la plantación.

1.6 CARACTERIZACIÓN SOCIO-ECONÓMICA

1.6.1 ASPECTOS DEMOGRÁFICOS

1.6.1.1 Población total

En la sub-cuenca del río Tzalá, habitan aproximadamente 8,712 personas, en 18 comunidades presentes en el área, según, datos del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2002) y complementado con datos obtenidos de diagnósticos rurales participativos, realizados por Fundación Sierra Madre, en el año 2,009. En el cuadro 15, se puede observar la distribución de la población por comunidad y por sexo.

Cuadro 15. Distribución de la población por comunidad y sexo (Proyección 2010).

id	Comunidad	TOTAL		TOTAL
		HOMBRES	MUJERES	
1	Agel	357	428	785
2	Cabajchum	340	331	671
3	Cancil	268	279	547
4	Chininguitz	380	325	705
5	Chual	263	251	514
6	Escupija	354	376	730
7	Exial Linda Vista	273	254	527
8	Guancache	177	172	349
9	Maquivil	990	935	1925
10	Sacchilon	149	158	307
11	Salem	103	125	228
12	San Jose la Frontera	355	361	716
13	Sibinal	152	124	276
14	Xeabaj	261	171	432
TOTAL		4422	4290	8712

La comunidad con mayor número de habitantes es Maquivil, con un total de 1,925, además, en la sub-cuenca se tiene una densidad poblacional de 133 habitantes por kilómetro cuadrado.

1.6.1.2 Educación

Todas las comunidades dentro del área de la sub-cuenca, cuentan con escuelas para educación primaria y algunas para educación media. Se reporta un 34% de la población estudiando el nivel primario; siendo la Aldea Maquivil, en donde, se reporta el mayor número de estudiantes.

1.6.1.3 Idiomas

En la sub-cuenca del río Tzalá, se hablan los idiomas: mam (en el municipio de San Miguel Ixtahuacán), sipakapense (en el municipio de Sipacapa) y el español. De acuerdo a los datos obtenidos del INE (2,002), la composición étnica de la sub-cuenca se distribuye de la siguiente forma: 97.83% es indígena y el 2.16% restante es no indígena.

1.6.1.4 Organización social

En todos los poblados de la sub-cuenca, existe un alcalde auxiliar, quien es designado por la comunidad y tiene la aprobación de la corporación municipal; por lo tanto, ejerce la autoridad local. En cada una de las comunidades, existe un consejo comunitario de desarrollo (COCODE); quienes son, el vínculo entre la comunidad y organizaciones de desarrollo (como Fundación Sierra Madre) y/o entidades de gestión pública y privada como es el caso de la empresa minera Montana Exploradora de Guatemala y su departamento de Desarrollo Sostenible de Mina Marlín.

1.6.1.5 Salud

Entre las enfermedades, que más se mencionan por parte de pobladores de sub-cuenca son: gripe, fiebre, vómitos, diarrea. Información obtenida en los diferentes centros de salud las enfermedades que mayor incidencia tienen en la población son: resfrió común, diarrea, enfermedades de la piel, amigdalitis, neumonía, anemia, gastritis y parasitismo intestinal, entre otras. En el cuadro 16, se muestran las estadísticas de la morbilidad infantil del municipio de San Miguel Ixtahuacán, para el año 2,009.

Cuadro 16. Causas de morbilidad infantil, en San Miguel Ixtahuacán, año 2,009.

No.	Diez Primeras Causas de Morbilidad Infantil	Número de Casos	%*
1	Resfrio Común	1700	32.74
2	Diarreas	1109	21.36
3	Neumonía	781	15.04
4	Enfermedades de la piel	640	12.32
5	Amigdalitis	292	5.62
6	Conjuntivitis	172	3.31
7	Dolores abdominales	159	3.06
8	Otitis 1/2	127	2.45
9	Desnutrición	39	0.75
10	Parasitismo Intestinal	32	0.62
	RESTO DE CAUSAS	142	2.73
	TOTAL DE CAUSAS	5193	100

Fuente: Centro de salud del municipio de San Miguel Ixtahuacán.

En la mayor parte de las comunidades del área de la sub-cuenca, se menciona la presencia de comadronas, centros de convergencia y promotores de salud.

1.6.2 ACTIVIDADES PRODUCTIVAS

La mayor parte de las comunidades dentro del área de la sub-cuenca del río Tzalá, han vivido marginadas, sin oportunidades de desarrollo, lo que se manifiesta en las condiciones de extrema pobreza de los habitantes, quienes, basan su economía en la producción de maíz y frijol. Esta agricultura, es precaria, típicamente de subsistencia. Otros cultivos que se producen en menor cantidad son papa, haba, café; además, árboles frutales como durazno, aguacate, manzana y algunos cítricos que se cultivan dentro de los límites del territorio familiar.

1.6.2.1 Maíz (*Zea mays*)

El cultivo de maíz, es el principal, en la sub-cuenca. La producción media reportada por cuerda (441m²) es de 1.5 a 3 quintales (34 a 68 quintales por hectárea). Para este cultivo, es generalizada la aplicación de insumos químicos (fertilizantes y pesticidas). El insumo orgánico más utilizado es la gallinaza. Existe siembra de dicho cultivo, en la época de verano, realizándose en los meses de febrero a marzo; y siembra en época de invierno que se realiza en los meses de mayo a junio. En invierno, el maíz, se siembra en asocio con frijol, producto del cual se obtienen aproximadamente 25 a 50 libras por cuerda, además, con hortalizas tales como el güicoy, el ayote y el chilacayote. Tanto el maíz y el frijol son destinados al consumo familiar.

1.6.2.2 Papa (*Solanum tuberosum* L.)

Este producto, es empleado como complemento alimenticio humano y constituye un componente importante del ingreso familiar. El rendimiento promedio que se reporta es de 20 quintales por cuerda (453.51 quintales por hectárea). Para el cultivo de papa, se utilizan semillas criollas y se utilizan insumos químicos para su producción. La cosecha de este producto, es realizada entre los meses de abril y mayo.

1.6.2.3 Hortalizas

Las hortalizas en la sub-cuenca, se producen a pequeña escala, ya que en la mayoría de las veces no se cuenta con sistemas de riego, situación, que limita la producción de estos productos. Entre las hortalizas reportadas se encuentran: tomate, arveja, haba, zanahoria; así como, algunas crucíferas tales como el brócoli, repollo, coliflor, rábano y nabo. Los niveles de tecnología aplicados son bajos.

1.6.2.4 Frutales

Las plantaciones frutales como se mencionó, anteriormente, se manejan como arboles dispersos dentro del territorio familiar y no como plantaciones establecidas formalmente. Las explotaciones de este tipo se caracterizan por ser pequeñas explotaciones tomadas como actividades secundarias, además, son arboles de edades medias comprendidas entre los 10 y 15 años; la cosecha obtenida de los mismos en un 90%, es destinada al mercado local. Estos frutales, son explotados a nivel de territorio familiar (huerto familiar), sin ningún tipo de manejo agronómico, tales como: raleos, podas, deshijes, desmalezados, fertilizaciones, etc.; lo que da lugar a frutos de mala calidad y con alta incidencia de plagas y enfermedades. A lo anterior, se suma la falta de sistemas de riego. Para durazno, se reportan rendimientos aproximados de 1000 a 1200 frutos por árbol; así como, de melocotón de entre 1000 a 1500 frutos por árbol, mismos, que son cosechados durante los meses de julio y agosto. Para el cultivo de manzana, se estima un rendimiento de 300 a 600 frutos por árbol, que son cosechados durante los meses de agosto a septiembre. El cultivo de aguacate, tiene un rendimiento promedio de 800 frutos por árbol, que son cosechados entre septiembre y octubre.

1.6.2.5 Producción pecuaria

La producción pecuaria, dentro del área de la sub-cuenca del río Tzalá, es a nivel de traspatio. La mayor parte de habitantes, cuenta con producción de aves; misma, que se ve limitada por la incidencia de enfermedades. Además, se reportan en menores cantidades especies de bovinos, ovinos, caprinos, equinos, etc. El principal uso que se les da a estos animales, es para consumo familiar y para la venta en pie.

1.6.2.6 Otras actividades económicas

Las más mencionadas, en las distintas comunidades dentro del área de la sub-cuenca son: albañilería, carpintería, sastrería, fontanería, elaboración de artesanías, electricistas, panadería y comercio.

Se menciona, en algunas comunidades la migración hacia la costa sur en los meses de octubre a febrero, que coincide con la cosecha de café en esta zona.

Además, se reporta en algunas comunidades como es el caso de: Agel, Cancil, Xeabaj y Maquivil, que cierto número de personas son contratadas para laborar dentro de Mina Marlín.

1.6.3 INFRAESTRUCTURA Y OTROS SERVICIOS BÁSICOS

Todas las comunidades dentro de la sub-cuenca, cuentan con instalaciones escolares que poseen de 3 a 9 aulas, cocina escolar y dirección. Además, se cuenta con alcaldías auxiliares y salones comunales. El 100% de las comunidades, cuenta con la presencia de una o más iglesias.

Los servicios de energía eléctrica y agua potable, abastecen en la mayor parte de las comunidades, en diferentes porcentajes de hogares; excepto en Xeabaj, en donde, no se reporta el servicio de energía eléctrica. El servicio de agua potable, es muy inestable ya que puede dejar de funcionar hasta por 5 días. Todas las comunidades, cuentan con señal de telefonía celular y transporte en sus diferentes formas (taxis, camionetas, carros de palangana, etc.).

Los caminos dentro de la cuenca, son de terracería, mismos, que en época seca son transitables, pero en época de invierno, algunos tramos son obstruidos por derrumbes. A los diferentes caminos, las municipalidades se encargan de brindarles el mantenimiento adecuado.

Maquivil, es la única aldea que cuenta con día de plaza y es realizada cada sábado.

1.6.3.1 Viviendas

La vivienda, que predomina en la sub-cuenca, es de pared de adobe, piso de tierra, por lo regular techo de lámina y la mayoría de veces con un ambiente.

1.6.3.2 Letrinas

La mayor parte de los hogares en la sub-cuenca, utiliza letrinas a base de pozos ciegos, mismos, que en época de invierno se llenan de agua, al entrar en contacto con la capa freática.

1.6.3.3 Manejo de basura

Actualmente, en comunidades del área los desechos, son vertidos en basureros clandestinos a cielo abierto, en barrancos, ríos, caminos, terrenos baldíos, o en terrenos adyacentes al hogar, entre otros; estos desechos son incinerados *in situ*. Los desechos orgánicos, son vertidos en los terrenos familiares para ser aprovechados como abono.

1.7 PROBLEMAS DETECTADOS

A través de la presente caracterización se detectaron diversos problemas que afectan a los habitantes de la sub-cuenca y a la vez los recursos naturales agua, suelo, bosque de la zona, los mismos se identifican en los cuadros 17, 18, 19, y 20.

Cuadro 17. Árbol de problemas para el recurso bosque en la sub-cuenca del río Tzalá.

CAUSAS	PROBLEMA PRINCIPAL	EFFECTOS
Deforestación.	Perdida de cobertura forestal.	Disminución de recursos maderables y no maderables ya sean comerciales y no comerciales, así como de leña.
Incendios forestales.		Perdida de biodiversidad.
Plagas y enfermedades.		Aumento de escorrentía superficial.
Madereo ilegal.		Reducción de fuentes de agua.
Leña como fuente de energía.		Aumento de sedimentos.
Crecimiento poblacional.		Vulnerabilidad a desastres naturales.
Tenencia y uso de la tierra.		Perdida de servicios ambientales.
Falta de educación ambiental.		Desastres naturales y contaminación.

Cuadro 18. Árbol de problemas para el recurso suelo en la sub-cuenca del río Tzalá.

CAUSAS	PROBLEMA PRINCIPAL	EFFECTOS
Cambio del uso de la tierra.	Degradación del suelo.	Reducción de la fertilidad el suelo.
Sub-sobre utilización de la tierra.		Materia orgánica disminuye.
Tenencia y uso de la tierra.		Suelos ácidos, alcalinos. Deficiencia y/o toxicidad de nutrimentos.
Deforestación.		Erosión.
Pastoreo.		Contaminación de mantos freáticos y aguas superficiales con fertilizantes y pesticidas.
Topografía.		Compactación, reducción de la calidad de la estructura.
Densidad poblacional.		Desertificación.
Pobreza.		Desastres naturales.
Falta de educación ambiental.		Desastres naturales y contaminación.

Cuadro 19. Árbol de problemas para el recurso hídrico en la sub-cuenca del río Tzalá.

CAUSAS	PROBLEMA PRINCIPAL	EFFECTOS
Deforestación.	Manejo inadecuado de fuentes de agua.	Descenso de niveles freáticos.
Sobre-explotación de acuíferos.		Contaminación biológica de fuentes hídricas.
Contaminación del recurso hídrico.		Cuerpos de agua superficial deteriorados.
Impermeabilización de terrenos.		Reducción de la calidad física del agua.
Cambio climático.		Reducción de la infiltración.
Crecimiento poblacional.		Alteración del ciclo hidrológico.
Falta de educación ambiental.		Desastres naturales y contaminación.

Cuadro 20. Árbol de problemas para los residuos sólidos, en la sub-cuenca del río Tzalá.

CAUSAS	PROBLEMA PRINCIPAL	EFFECTOS
Crecimiento poblacional.	Mal manejo de desechos y residuos sólidos.	Aumento de basureros a cielo abierto.
Aumento de generación per cápita.		Contaminación del recurso hídrico.
Escasos programas educativos.		Contaminación atmosférica.
Sistemas de tratamiento y/o disposición final inadecuados/inexistentes.		Contaminación del suelo.
Uso de envases sin retorno (no degradables).		Impacto sobre la salud pública.
		Perdida de turismo.
		Devaluación de propiedades.

Los problemas evidenciados en la sub-cuenca del río Tzalá son:

- Pérdida de cobertura forestal,
- Degradación del suelo,
- Manejo inadecuado de fuentes de agua,
- Ausencia de tratamiento y disposición final de residuos sólidos y líquidos,

1.7.1 MATRIZ DE PRIORIZACION DE PROBLEMAS

Los problemas encontrados fueron sometidos a evaluación por medio de una matriz de priorización de problemas, tomando en cuenta tres aspectos muy importantes que son:

- a) pérdidas económicas,
- b) daños ambientales y
- c) personas afectadas. Cada aspecto podía alcanzar una puntuación entre 1 y 10.

Cuadro 21. Matriz de priorización de problemas detectados en la sub-cuenca.

Problemas	Perdidas económicas (0 a 10)	Daños al ambiente (0 a 10)	Personas afectadas (0 a 10)	Sumatoria	Prioridad
Manejo inadecuado de fuentes de agua	9	8	10	27	A
Pérdida de cobertura forestal	9	10	5	24	B
Degradación del suelo	10	4	9	23	C
Ausencia de tratamiento y disposición final de residuos	2	9	5	16	D

El orden de priorización de los problemas detectados es el siguiente:

1. Manejo inadecuado de fuentes de agua.
2. Pérdida de cobertura forestal.
3. Degradación del suelo.
4. Ausencia de tratamiento y disposición final adecuados de residuos líquidos y sólidos.

1.8 CONCLUSIONES

- La sub-cuenca del río Tzalá, tiene un área de 65.3km^2 , el perímetro es de 44.18km y el cauce principal tiene 23.22km de largo, contando con muchas corrientes intermitentes, efímeras y varias permanentes. Es una cuenca de orden 5, con 206 corrientes de orden 1, 50 de orden 2, 11 de orden 3, 3 de orden 4 y 1 de orden 5. Las longitudes medias de las corrientes de orden 1, 2, 3, y 4, son cortas, lo que indica que en la sub-cuenca del río Tzalá encontramos pendientes muy escarpadas (ver figura 3). La relación de forma ($R_f = 0.12$), nos indica que la cuenca tiene una forma alargada, por lo que existe poco riesgo de inundaciones ya que los materiales del suelo son muy permeables como lo demuestra la densidad de drenaje ($3.19\text{km}/\text{km}^2$). La cuenca del río Tzalá, es efluente, ya que la pendiente media del cauce principal es de 5.17% , lo que indica que la velocidad del flujo es bajo y explica que el caudal total recibe una alta contribución de las aguas subterráneas.
- La gran mayoría de agricultores de la zona riegan sus pequeñas extensiones de cultivos, con agua proveniente desde nacimientos originados en las laderas de dicha sub-cuenca, y los mismos manifiestan que algunos manantiales se han secado o han reducido su caudal, ya que estos han ido quedando en su mayoría desprotegidos por el avance de la frontera agrícola y la deforestación.
- Los análisis realizados a las muestras de agua, indican que la misma, no es adecuada para consumo humano, ya que esta, presentó coloración ligeramente amarillenta en todas las muestras. El pH, en las muestras tomadas en los puntos 2, 4, 5, 6 y 7, se encuentra fuera de los límites máximos permisibles, por lo que no son adecuadas para el consumo humano, además, la muestra 1 se encuentra fuera de los límites máximos permisibles con respecto al contenido de hierro. El 100% de las muestras contienen un NMP (número más probable), superior al permisible, en cuanto a *E. coli* y a coliformes (confirmando el contacto de capa freática con los pozos ciegos de las letrinas), por lo tanto las muestras no cumplen con la norma COGUANOR, y para aprovechar este recurso, se debe tratar y desinfectar sanitariamente ya que ocasionaría enfermedades a la población si la misma fuese consumida directamente. El 100% de las muestras se clasifica como C1-S1, según la clasificación del agua de riego del laboratorio de salinidad del USDA, por lo que pueden ser

utilizadas para el riego de la mayor parte de cultivos, en casi cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad de desarrollar salinidad o niveles peligrosos de sodio intercambiable.

- La mayoría del territorio presenta relieves fuertemente inclinados (el 50.96% del área cuenta con pendientes mayores del 36%), de alta y muy alta susceptibilidad a la erosión. Sin embargo, las condiciones de pobreza y extrema pobreza han obligado a los pobladores a realizar una agricultura de subsistencia (basada en maíz y frijol), en tierras marginales, lo que genera un conflicto en el uso de la tierra (74.34% del área se encuentra sobre-utilizada), en donde, el uso actual no coincide con la capacidad potencial de los suelos (90.24% del área son zonas aptas para la producción agroforestal). Los habitantes del área indican que cada vez más, las zonas boscosas se destinan a cultivos agrícolas, lo que genera efectos sobre la cobertura boscosa, la biodiversidad, la erosión de suelos, la pérdida de fuentes de agua y el riesgo a desastres naturales.
- Los bosques del área de la sub-cuenca, son bosques naturales secundarios (en su mayoría privados), actualmente se cuenta con un 36.21% de cobertura boscosa (bosques latifoliados y de coníferas); las principales especies que se encuentran son: pino (*Pinus pseudostrobus*, *P. montezumae*), encino (*Quercus* sp.), madron (*Arbutus xalapensis*), aliso (*Alnus* sp.) y cipres (*Cupressus lusitánica*), de los cuales, se realiza un aprovechamiento selectivo de los árboles con el fin de obtener, la leña, madera y otros productos; así como, llevar a cabo un cambio de uso de la tierra para actividades no forestales. La explotación de este recurso, se puede catalogar como no sostenible, la cobertura boscosa se reduce constantemente y los mismos habitantes muestran preocupación por la situación de este y el interés por reforestar sus tierras, encontrándose, incluso en muchas comunidades, viveros a pequeña escala con especies forestales, manifestando a la vez, el interés por que se les brinden los conocimientos para mejorar la producción de los mismos.
- En el área de la sub-cuenca, hay aproximadamente 8,712 habitantes de los cuales el 98% son indígenas y el 34% de la población estudia actualmente el nivel primario. En cada comunidad se cuenta con un alcalde auxiliar y un consejo comunitario de desarrollo (COCODE), quienes son los encargados de la gestión de proyectos ante las municipalidades y organizaciones gubernamentales y no gubernamentales. La mayor parte de las comunidades cuentan con los servicios de agua potable, energía eléctrica y telefonía celular.

1.9 RECOMENDACIONES

- La degradación de los recursos naturales renovables en la sub-cuenca del río Tzalá, es evidente. Para mitigar dichos procesos, es necesario implementar medidas de gestión ambiental en la sub-cuenca y que involucren a las diferentes municipalidades a las que pertenece, entidades gubernamentales y no gubernamentales, así como, a la empresa privada (como es el caso de Montana Exploradora de Guatemala S. A.) y a comunidades locales. Estas medidas deben poseer un enfoque participativo con el fin de generar una visión de la gestión ambiental, en donde, los retos del desarrollo sostenible sean asumidos de manera colectiva por todos los ciudadanos y deben tener una perspectiva eco-sistémica para proteger y garantizar los servicios ambientales que la sub-cuenca suministra y su manejo sostenible. Por lo anterior, se recomienda la implementación de un **“plan de manejo integrado de la cuenca”** (las cuencas hidrográficas han sido reconocidas internacionalmente como las unidades territoriales de planificación más adecuadas para la gestión de los recursos hídricos) y/o un **“plan de ordenamiento territorial”** con enfoque cuenca, en donde, se defina que el centro de la planificación y manejo es el ambiente, pero se debe mantener el rol estratégico del recurso hídrico, con el fin de aplicar una alternativa que logre resultados de impacto a favor del desarrollo sostenible y del bienestar de los habitantes de la sub-cuenca.
- El agua, es uno de los servicios ambientales fundamentales, por lo que, el contar con fuentes de agua permanentes tanto por su cantidad como por su calidad, es requisito imprescindible para la supervivencia de la sociedad y el desarrollo económico. Además, se ha demostrado que tanto su cantidad como su calidad dependen en gran medida del manejo que se brindé a las áreas que captan, conducen, almacenan, proveen y renuevan este servicio (recurso hídrico); por lo tanto, es importante implementar un estudio para **“determinar áreas de recarga hídrica”**, e identificar las áreas críticas que se consideren susceptibles de disminuir su potencial de recarga, al ser sometidas a un manejo contrario a su capacidad, para garantizar el suministro del vital líquido a los habitantes de la sub-cuenca.
- Se debe fomentar una adecuada protección al suelo, para garantizar una alta calidad de agua y estabilización del flujo superficial, sub-superficial y además, evitar la erosión. Por tal

motivo, se deben definir zonas de protección alrededor de los cuerpos de agua. Estas zonas de protección forestal, deberán ser implementadas de acuerdo a la distancia horizontal mínima para definir las mismas según las Consideraciones Técnicas y Propuesta de Normas de Manejo Forestal para la Conservación de Suelo y Agua del INAB (2003b).

- Se deben formular y ejecutar proyectos que permitan a los habitantes de la sub-cuenca, **“reducir o eliminar la contaminación de los mantos freáticos”** a través de los pozos ciegos de sus letrinas, ya que este es un problema en toda la sub-cuenca; ya que los análisis de calidad de agua realizados mostraron que el 100% de las muestras contaban con niveles mayores a los permisibles de *E. coli* y coliformes, según, la norma COGUANOR. Por lo tanto, es urgente implementar proyectos de letrinas de hoyo seco simple, letrinas de hoyo seco ventilado o letrinas ecológicas, por mencionar algunas opciones que ayudarán a reducir la contaminación. Es importante considerar proyectos que permitan reducir la contaminación en la sub-cuenca por aguas negras y/o grises domiciliarias, como es el caso de proyectos de implementación de: humedales de bio-filtración, filtros-jardineras, o sistemas de descontaminación/producción.
- Según, el mapa de uso potencial de la tierra en la sub-cuenca el 90.24% del área, tiene potencial para producción agroforestal; por lo tanto, se deben formular estrategias para la implementación de sistemas agroforestales, plantaciones forestales de pequeña escala y realizar un manejo de bosques naturales.

1.10 BIBLIOGRAFÍA

- 1) ASIES (Asociación de Investigación y Estudios Sociales, GT). 2004. Estudio de la economía de cinco municipios del altiplano del departamento de San Marcos. Guatemala. 31 p.
- 2) FSM (Fundación Sierra Madre, GT). 2010. Diagnostico rural participativo de 59 comunidades del municipio de San Miguel Ixtahuacán, San Marcos. Guatemala. 560 p.
- 3) Hernández Gómez, F. 2009a. Manejo familiar y escolar de desechos sólidos y uso y aprovechamiento del agua, bosque y suelo. San Marcos, Guatemala, Fundación Sierra Madre. 125 p.
- 4) _____. 2009b. Propuesta de proyectos productivos integrales. Guatemala, Fundación Sierra Madre. 49 p.
- 5) INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2003a. Clasificación de tierras por capacidad de uso. Guatemala. 96 p.
- 6) _____. 2003b. Consideraciones técnicas y propuesta de normas de manejo forestal para la conservación de suelo y agua. Guatemala. 33 p.
- 7) INTECAP (Instituto Técnico de Capacitación y Productividad, GT). 2010. Diagnóstico sobre manejo de residuos sólidos de San Miguel Ixtahuacán, San Marcos. Guatemala. 48 p.
- 8) Leiva Pérez, JM. 2004. Diagnostico forestal de los municipios de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, departamento de San Marcos. San Marcos, Guatemala, Fundación Sierra Madre. 57 p.
- 9) MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2000. Manual para la caracterización y diagnóstico de cuencas hidrográficas. Guatemala. 51 p.
- 10) Pérez, A. 2004. Lineamientos para la aplicación del enfoque eco-sistémico a la gestión integral del recurso hídrico. México, PNUMA. 111 p. (Serie Manuales de Educación y Capacitación Ambiental).
- 11) Sandoval Illescas, JE. 2007. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC, Editorial Universitaria. 365 p.
- 12) Simmons, CS; Tárano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José De Pineda Ibarra. 1000 p.
- 13) UICN, GT. 2009. Guía para la elaboración de planes de manejo de micro-cuencas. San Marcos, Guatemala. 68 p.
- 14) WV (World Vision, SV). 2004. Manual de manejo de cuencas. San Salvador, El Salvado. 154 p.

**Capítulo 2. RECARGA HÍDRICA NATURAL EN LA SUBCUENCA DEL
RÍO TZALÁ DE LOS MUNICIPIOS DE SAN MIGUEL IXTAHUACÁN,
SIPACAPA Y COMITANCILLO DEL DEPARTAMENTO DE
SAN MARCOS, GUATEMALA**

2.1 RESUMEN

En el presente estudio se determinaron áreas de recarga hídrica en la sub-cuenca del río Tzalá, ubicado en jurisdicción de los Municipios de San Miguel Ixtahuacán, Sipacapa y Comitancillo, del departamento de San Marcos.

Para la realización del mismo se estableció una estación meteorológica tipo “C”, en la parte alta de la sub-cuenca, específicamente, en la Aldea San José la Frontera; además, se obtuvieron datos de la estación meteorológica ubicada en instalaciones de Mina Marlín, para la parte baja de la sub-cuenca, tomándose para el caso datos de precipitación pluvial, temperatura y humedad relativa, hasta alcanzar los datos de un año.

Por medio de software de sistemas de información geográfica (GIS), se llevó a cabo la transposición de los mapas de geología, taxonomía de suelo y uso actual de la tierra, proceso que dió como resultado 6 áreas de mapeo, en las que se llevaron a cabo igual número de pruebas de infiltración por el método de Porchet e igual número de muestreos de suelo, a las que se les determino en laboratorio: constantes de humedad (CC%, PMP%), densidad aparente y textura.

Se tabularon, los datos de las estaciones meteorológicas, obteniéndose una precipitación anual de 1,764.2mm, una temperatura y humedad relativa media anual de 15.7°C y 73.5% para la estación San José la Frontera y para la estación Mina Marlín, se obtuvieron 1,676.4mm anuales de precipitación, una temperatura y humedad relativa media anual de 16.8°C y 71.3%. Con los datos anteriores, se calculó la Evapotranspiración Potencial (ETP) por el método de Hargreaves, obteniendo un total de 1,432.4mm y 1,511.3mm anuales para la estación San José la Frontera y Mina Marlín respectivamente.

Con los datos obtenidos en las pruebas de infiltración realizadas, se determinó la infiltración básica en cada una de las unidades de mapeo determinando que la misma oscila entre 0.53cm/hr a 1.73cm/hr.

Se realizó un balance hídrico de suelos determinando las entradas y salidas utilizando la metodología desarrollada por Schosinsky y Losilla, para cada unidad de mapeo y se utilizó la metodología de polígonos de Thiessen, para asignar valores de las estaciones meteorológicas a cada unidad de mapeo según la influencia de las mismas.

Para las unidades de mapeo 1 (Orthens-Bosque), 2 (Orthens-Anuales), 3 (Udans-Bosque), 4 (Udans-Anuales), 5 (Ustands-Bosque) y 6 (Ustands-Anuales), se determinó una recarga hídrica potencial de $284,201.67\text{m}^3/\text{km}^2$; $531,964.69\text{m}^3/\text{km}^2$; $212,160.43\text{m}^3/\text{km}^2$; $426,191.95\text{m}^3/\text{km}^2$; $314,785.71\text{m}^3/\text{km}^2$ y $185,215.18\text{m}^3/\text{km}^2$, por año respectivamente y la recarga anual en la subcuenca se determinó en $20,128,044.90\text{m}^3/\text{año}$.

Siguiendo la clasificación propuesta por Herrera, para la categorización de áreas de recarga hídrica, se determinó que las áreas de recarga hídrica 1, 3, y 6 son de clasificación ALTA ya que recargan volúmenes entre los $150,000\text{m}^3/\text{km}^2/\text{año}$ y los $300,000\text{m}^3/\text{km}^2/\text{año}$; mientras, que las unidades 2, 4 y 5 son de clasificación MUY ALTA, ya que recargan volúmenes mayores de los $300,000\text{m}^3/\text{km}^2/\text{año}$.

Estas zonas fueron sometidas a evaluación, según, los criterios para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural por medio de la metodología presentada por el Instituto Nacional de Bosques (INAB, 2003) y se concluyó que las 6 zonas son susceptibles de disminuir su potencial de recarga hídrica, al ser sometidas a un manejo contrario a su capacidad, por lo que, las 6 zonas son declaradas áreas críticas.

2.2 INTRODUCCIÓN

La subcuenca del río Tzalá, tiene un área de 65.3km², y se ubica en jurisdicción de los Municipios de San Miguel Ixtahuacán (35.50%), Sipacapa (46.97%) y Comitancillo (17.49%) del departamento de San Marcos. Dentro de sus límites existen 17 comunidades que albergan a más de 8,500 habitantes, de los cuales el 98% de la población es indígena. La mayoría del territorio presenta relieves fuertemente inclinados (50.96% del área cuenta con pendientes mayores del 36%), de alta y muy alta susceptibilidad a la erosión. Sin embargo, las condiciones de pobreza y extrema pobreza han obligado a los pobladores a realizar una agricultura de subsistencia (basada en maíz y frijol) en tierras marginales, lo que genera un conflicto en el uso de la tierra; además, de generar efectos sobre la cobertura boscosa, la biodiversidad, la erosión de suelos, la pérdida de fuentes de agua y el riesgo a desastres naturales.

La mayoría de los agricultores de la zona, riegan sus pequeñas extensiones de cultivos con agua proveniente desde nacimientos originados en las laderas de dicha sub-cuenca, quienes manifiestan que algunos manantiales se han secado o han reducido su caudal muchas veces relacionándolo a la pérdida de cobertura boscosa en las laderas ya que estos han ido quedando en su mayoría desprotegidos por el avance de la frontera agrícola y la deforestación. Según análisis de laboratorio efectuados a varias muestras del vital líquido tomadas a lo largo de la sub-cuenca se determinó que las aguas no son aptas para consumo humano ya que no cumplen con las normas COGUANOR (NGO 29 001:99), tanto para características físicas, químicas y biológicas. Lo más preocupante es en el aspecto microbiológico ya que el 100% de las muestras dio como resultado un número más probable (NMP) de colonias de coliformes y *E. coli* muy superior a los niveles máximos permisibles, demostrando que el manto freático tiene contacto con los pozos ciegos que la población construye para sus letrinas.

La situación del recurso bosque también es preocupante ya que como una zona eminentemente rural, se realiza un aprovechamiento selectivo del recurso con el fin de obtener leña, madera y otros productos, siendo muchas veces la cosecha de leña y madera según habitantes del área, superior a la capacidad de regeneración natural, por lo que es evidente una

pérdida de la cobertura forestal. Además de que los mismos habitantes mencionan problemas en el recurso tales como plagas, incendios, tala ilegal, entre otros.

La degradación de los recursos naturales renovables en la subcuenca del río Tzalá es evidente; por lo tanto, es necesario implementar medidas de gestión ambiental que reduzcan dicho proceso, además, el agua es uno de los servicios ambientales fundamentales, el contar con fuentes de agua permanentes tanto por su cantidad, como por su calidad, es indispensable y además, es requisito imprescindible para la supervivencia de la sociedad y el desarrollo económico, por consiguiente, se deben implementar medidas que garanticen dicho servicio y reconocer a la cuenca hidrográfica como la unidad territorial de planificación, para la gestión integrada de los recursos hídricos y el ambiente en general.

Considerando lo anterior, el presente estudio tiene como propósito la identificación de zonas de recarga hídrica natural en la subcuenca del río Tzalá, teniendo en cuenta que tanto la calidad, como la cantidad de dicho recurso, dependen en gran parte del manejo que se da en estas áreas, que son las encargadas de captar, conducir, almacenar, proveer y renovar el mismo.

Desde el punto de vista territorial y geográfico, se hace necesario establecer prioridades en los ecosistemas que por sus características biofísicas, sociales, económicas y culturales; así como de servicios ambientales que generan a la población, requieren especial atención, por lo que, la identificación de áreas de recarga hídrica será una herramienta importante para determinar áreas prioritarias de gestión en la sub-cuenca del río Tzalá.

La metodología utilizada para llevar a cabo el presente estudio será, la propuesta por el Instituto Nacional de Bosques en el 2003, para la determinación de áreas de recarga hídrica natural.

2.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La presión sobre los recursos naturales en la subcuenca del río Tzalá es tangible, el efecto antropogénico sobre los mismos es preocupante, ya que en varias zonas de la subcuenca es frecuente escuchar que los nacimientos se han secado o han reducido sus caudales, además, cabe mencionar que el 100% de las fuentes de agua están contaminadas con coliformes y E. coli, así como, a simple vista es perceptible la pérdida de cobertura forestal, de suelos por efecto de la erosión hídrica, así como, la pérdida de infiltración del agua hacia los acuíferos.

Las eco-regiones estratégicas, se definen como los territorios o conjunto de ecosistemas que garantizan el suministro de servicios ambientales básicos y el mantenimiento de procesos ecológicos esenciales para el desempeño de las actividades de la población, que por sus particularidades son altamente vulnerables, como lo explica Pérez (2004), por lo tanto, la identificación de áreas de recarga hídrica en la sub-cuenca del río Tzalá será de gran importancia para garantizar uno de los servicios ambientales básicos a los pobladores de la misma, como lo es el recurso hídrico.

Teniendo en cuenta que el agua, se constituye en uno de los servicios ambientales fundamentales que proveen las áreas de recarga hídrica (comprendidas como eco-regiones), su adopción es muy útil para la gestión integral del recurso hídrico.

2.4 MARCO TEÓRICO

2.4.1 CONCEPTO DE CUENCAS Y MICROCUENCAS HIDROGRÁFICAS

Una cuenca, es una unidad natural definida por la existencia de una divisoria de aguas en un territorio dado. Las cuencas hidrográficas, son unidades morfográficas superficiales. Sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones también, conocido como “parte aguas”. La cuenca, constituye una unidad espacial eco-geográfica relevante para analizar los procesos ambientales, generados como consecuencia de las decisiones en materia de uso de los recursos agua, suelo y vegetación. Por lo tanto, constituye un marco apropiado para la planificación de medidas destinadas a corregir impactos ambientales, producto del uso y manejo de los recursos naturales (Vega, 2008).

El concepto de cuenca no es solo un ámbito geográfico; sino que, acoge a una población humana que aprovecha los recursos que hay en ella, lo que, genera conflictos en un escenario que es social, económico, y que requiere mecanismos de concertación. Por lo tanto, la cuenca, debe ser considerada como una unidad de planificación en la que, sus habitantes son los actores protagónicos y sus organizaciones comunitarias la base del desarrollo local.

La cuenca, es un todo funcionalmente indivisible e interdependiente conformada por las interrelaciones dinámicas en el tiempo y en el espacio de diferentes subsistemas; entre los cuales destacan el social, productivo, físico, biológico, económico, tecnológico, institucional, legal, entre otros (Jiménez 2005, citado por Vega 2008).

En las cuencas, existen unidades intermedias denominadas subcuencas. Estas subunidades, a un nivel de planificación global de la cuenca, vienen a ser unidades donde se definen las estrategias que orientaran los programas para el uso y protección de los recursos naturales (Zury 2004, citado por Vega 2008).

Así mismo, se define a la microcuenca comunitaria como el área natural receptora de montaña donde fluyen las primeras aguas hacia colectores comunes de orden mayor, circunscrita al territorio limitado por la divisoria de aguas, en la que, se dinamiza la actividad cotidiana de las comunidades campesinas, que mantienen permanente interacción e interdependencia económica,

socio-cultural y ambiental. Las micro-cuencas, constituyen el espacio práctico, en donde, se ejecutan los proyectos y acciones con las que se cristalizan las políticas, estrategias y programas diseñados en los niveles de cuenca y sub-cuenca respectivamente.

2.4.2 LA CUENCA COMO UNIDAD DE PLANIFICACIÓN

La cuenca, es una unidad natural cuyo funcionamiento está relacionado en gran medida con el sistema hídrico, que permite valorar el grado de intervención y desarrollo de acciones positivas y negativas sobre el sistema. Sin embargo, no solamente por medio del recurso hídrico se puede valorar la intervención sobre la cuenca; en general, existe una interacción entre el sistema natural suelo, agua, bosque (vegetación) y el sistema socioeconómico en ese espacio y aunque, este último no tiene un límite físico, si depende de la oferta, calidad y disposición de los recursos, además, puede limitar el desarrollo como, por ejemplo, la disponibilidad de agua o su calidad para consumo humano, la degradación del suelo, por mencionar algunos.

Los espacios de la cuenca y sus recursos, expresan una potencialidad y vocación; algunas cuencas por la calidad de sus suelos, por tipo de cobertura o por la disponibilidad de agua, pueden prestar mejores servicios y productos; estos elementos, son claves para la planificación y manejo. Es así, que la cuenca hidrográfica se constituye como una de las unidades espaciales más definidas y clasificadas del territorio en forma natural, para lo cual se necesita gestión para poder ordenarlo y desarrollarlo.

Jiménez (2006), indica que el sistema cuenca está conformado por componentes que interaccionan funcionalmente en el tiempo, el espacio y que interactúan también con otros sistemas del entorno, de manera que, su análisis requiere entender las relaciones sistémicas, pero también estudiar el comportamiento de sus partes. El enfoque sistémico e integral de cuencas hidrográficas considera a esta unidad hidrológica como el escenario biofísico y socioeconómico natural y lógico para la caracterización, diagnóstico, planificación, implementación, ejecución, seguimiento, monitoreo y evaluación del uso y manejo de los recursos naturales y el ambiente.

2.4.3 MANEJO DE RECURSOS NATURALES EN LA CUENCA

El manejo de recursos naturales en la cuenca implica la aplicación de principios y métodos para el uso racional, integrado y participativo de los recursos naturales; fundamentalmente del agua, del suelo y de la vegetación, a fin, de lograr una producción óptima y sostenida, con el mínimo deterioro ambiental, para beneficio de los pobladores y usuarios de la cuenca.

El resultado “impacto” esperado, es el de establecer un balance adecuado entre la oferta ambiental que ofrece este territorio y la demanda para los diferentes usos; ya sea, de protección, conservación y su aprovechamiento, compatible con las actividades económico-productivas, que desarrollan los diferentes actores.

Uno de los principales recursos naturales es el agua, tanto la superficial como la subterránea. Particularmente, el agua subterránea, es importante pues supone la mayor reserva de agua potable y como indica Herrera (2,002), es la principal fuente de abastecimiento público para Guatemala.

2.4.4 AGUAS SUBTERRÁNEAS

El agua subterránea, es la que ocupa todo los vacíos dentro del estrato geológico, comprende toda el agua que se encuentra por debajo del nivel freático. El agua, procedente de las precipitaciones atmosféricas penetra en el terreno por gravedad, favorecida por la existencia de grietas o fisuras en las rocas y por la misma porosidad de los materiales que forman el subsuelo, constituyendo así el agua subterránea también llamada “freática”, la cual al almacenarse toma el nombre de acuífero (Vega, 2008).

2.4.5 ACUÍFEROS

Se denomina acuífero, a aquel estrato o formación geológica que permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para subvenir sus necesidades (Herrera 2,002).

2.4.6 ZONAS DE RECARGA

La recarga, es el proceso de incorporación de agua a un acuífero producido a partir de diversas fuentes; de la precipitación, de las aguas superficiales y por transferencias de otro(s) acuífero(s). Los métodos para estimarla son de variada naturaleza, entre los que se destacan los balances hidrológicos, el seguimiento de trazadores ambientales o artificiales (químicos e isotópicos), las mediciones directas en piezómetros, la cuantificación del flujo subterráneo y las fórmulas empíricas, entre los más comunes. Los resultados son inseguros debido a la incertidumbre de los componentes considerados en las ecuaciones, la naturaleza empírica o semi-empírica de las fórmulas utilizadas, la simplificación de las variables; de los procesos y errores en las mediciones de calibración.

Los fenómenos más importantes, concernientes a los acuíferos desde el punto de vista de la hidrología, son la recarga y descarga de ellos. Normalmente, los acuíferos se van recargando de forma natural con la precipitación que se infiltra en el suelo y en las rocas. En el ciclo geológico normal del agua suele entrar al acuífero en las llamadas zonas de recarga, atraviesa muy lentamente el manto freático y acaba saliendo en las zonas de descarga, formando manantiales y fuentes que devuelven el agua a la superficie.

Recarga natural, es el volumen de agua que entra en un embalse subterráneo durante un periodo de tiempo, a causa de la infiltración de las precipitaciones o de un curso de agua (INAB, 2003b). La recarga natural se refiere a la cantidad de agua absorbida de la infiltración de la lluvia (precipitación eficaz) y también de la infiltración de agua de los ríos influentes y lagos que llega a un acuífero (Herrera, 2002).

Del agua infiltrada en el terreno, una parte vuelve por capilaridad a la superficie donde se evapora, o bien, es extraída por las raíces de las plantas y utilizada en su proceso de transpiración. Del resto del agua infiltrada, una parte queda destinada a completar la “capacidad de retención” del suelo en la zona no saturada e incluso su capacidad capilar ubicada inmediatamente sobre el nivel de saturación, mientras el saldo continúa su descenso por acción de la gravedad, pasando a constituir lo que se designa como la recarga hídrica de acuíferos (Espinoza, 2004).

Las aguas infiltradas, pueden emerger a la superficie del suelo como manantiales, aportando el gasto base de escurrimientos perennes o al encontrarse almacenadas en acuíferos costeros, descargan sus excedentes diariamente al mar (Herrera, 2002).

Las áreas de mayor recarga, son las que más interesa conservar tanto en sus características físicas de permeabilidad, que afectan la magnitud de la recarga, como en actividades que produzcan contaminación, que fácilmente se puedan infiltrar al acuífero afectando la calidad de sus aguas (Vega, 2,008).

2.4.7 CONDICIONES QUE DETERMINAN LA RECARGA HÍDRICA

Las condiciones que determinan la recarga hídrica, pueden ser, aquellas relacionadas con la precipitación como verdadera fuente de abastecimiento y aquellas relacionadas con la facilidad de la entrada del agua en el terreno, las cuales, determinan la proporción de agua de lluvia que alcanza los mantos acuíferos.

La precipitación, varía mucho de un sitio a otro y de unas épocas a otras, tanto en cantidad, como en distribución. En general, la proporción de precipitación que puede transformarse en aguas subterráneas aumenta con la precipitación, pero sólo hasta un cierto límite. Si las precipitaciones tienen lugar en forma de lluvias ligeras y dispersas pueden todas ellas ser absorbidas por el terreno. Las lluvias que tienen lugar después de que la falta de humedad del suelo ha sido satisfecha, son precisamente las que tienen utilidad en la recarga del almacén de aguas subterráneas. Una cantidad dada de precipitación durante la época de crecimiento vegetal producirá la máxima recarga, si tiene lugar en un período de lluvia persistente de intensidad tal, que se infiltre con la misma rapidez que va cayendo. Si, por el contrario, cae distribuida en lluvias intermitentes a lo largo de un período de tiempo considerable puede ser más, beneficiosa para las cosechas, pero de esta agua muy poca o ninguna cantidad puede atravesar el terreno vegetal para llegar a la zona de saturación. Por otra parte, si la precipitación tiene lugar en forma de aguacero de gran intensidad y corta duración, solamente una pequeña parte puede infiltrarse en el suelo y todavía otra menor puede alcanzar las zonas de saturación, ya que la mayor parte del agua correrá en forma de escorrentía directa hacia corrientes superficiales (Espinoza, 2004).

Muchos factores influyen en la tasa de infiltración, incluyendo la condición de la superficie del suelo y su cubierta vegetal; las propiedades del suelo tales como la porosidad, la conductividad hidráulica y el contenido de humedad presente en el suelo (Sánchez, 2004).

La cobertura vegetal, condiciona muchas veces la recarga hídrica, las zonas de bosque y los prados producen mejor recarga que las arables, incluso para el mismo tipo de terreno. En las primeras, el agua está más limpia y no taponan los intersticios de penetración. Por otra parte, las raíces muertas constituyen canales que tienden también a favorecer la recarga (Espinoza, 2004).

En zonas con grandes pendientes, la escorrentía es máxima y por tanto, la infiltración es mínima. Las grandes llanuras de materiales sedimentarios permeables constituyen a este respecto las zonas de infiltración más eficaces. La extensión de la cuenca receptora tiene también influencia decisiva en la cantidad de agua infiltrada en ella. La recarga aumentará si la cuenca directa de precipitación está aumentada con las aportaciones de corriente superficiales que recogen e infiltran las aguas recogidas en las montañas, en las cuales la intensidad de precipitación suele ser mayor (Espinoza, 2004).

El volumen de agua que alcanza la zona saturada a veces, se denomina lluvia eficaz, infiltración eficaz, recarga natural o recarga profunda (Herrera, 2002).

Los factores que afectan la recarga hídrica se agrupan de la siguiente manera:

2.4.8 CICLO HIDROLÓGICO

En la Tierra, el agua existe en un espacio llamado Hidrosfera, que se extiende hasta quince kilómetros arriba de la atmósfera y hasta un kilómetro por debajo de la litosfera, en el cual, el agua circula a través de varias vías, tales como: ríos, lagos, acuíferos, mares, océanos, lo que constituye el Ciclo Hidrológico (Chow, 1994).

Se llama ciclo hidrológico, al movimiento general del agua ascendente por evaporación y descendente primero por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea (Sánchez, 2004). El agua precipitada puede ser interceptada por la vegetación, techos de casas y convertirse en escurrimiento o flujo superficial sobre el suelo; infiltrarse en él,

correr a través del suelo como flujo sub-superficial y descargar en los ríos y lagos como escorrentía superficial (Herrera, 1995); o puede, ser devuelta nuevamente a la atmósfera por evaporación (Espinoza, 2004).

La parte que llega al suelo, se mueve a través de la superficie de éste, en un proceso designado como infiltración (Espinoza, 2004), que puede percollarse profundamente para recargar los acuíferos que contienen el agua subterránea, emergiendo en manantiales o en ríos para formar escorrentía superficial (Herrera, 2002). Si la intensidad de las precipitaciones sobrepasa la capacidad de infiltración del terreno, se produce un movimiento de agua por su superficie, conocido con el nombre de escurrimiento superficial, cuyo caudal en cada instante es igual a la diferencia entre la intensidad de la precipitación y la capacidad de infiltración del suelo. (Espinoza, 2004)

Los factores responsables del movimiento del agua en la atmosfera son (INAB, 2003a):

- Energía térmica solar, que produce una circulación del aire en la atmosfera debido al recalentamiento desigual de la superficie terrestre, originando varios fenómenos meteorológicos.
- Fuerza de gravedad, responsable de los fenómenos de precipitación, infiltración, convección, etc.
- Atracción solar y lunar, origina las mareas y las corrientes marinas, etc.
- Presión atmosférica, a causa de los vientos. En meteorología se llama viento al desplazamiento horizontal de aire y corriente al desplazamiento vertical.
- Fuerzas intermoleculares, que originan fenómenos capilares y de viscosidad afectando la velocidad de flujo.
- Actividades humanas, como lo son los riegos, drenajes, embalses, etc.

Los procesos de transferencia del ciclo hidrológico en una cuenca se dan por (Herrera, 2002):

- Precipitación pluvial,
- Infiltración en el suelo,
- Percolación a través de las rocas,

- Esgurrimiento del agua sobre el suelo,
- Esgorrentía del agua, en los causes de los ríos y quebradas,
- Flujo sub-superficial por el movimiento del agua en la zona no saturada,
- Flujo base por el movimiento del agua subterránea en la zona saturada, que abastece a los acuíferos y a ríos cuando sale a la superficie.

La hidrología de una región está determinada por sus patrones de clima, la topografía, la geología y la vegetación (Chow, 1994). También, a medida que la civilización progresa, las actividades humanas invaden gradualmente el medio ambiente natural del agua, alterando el equilibrio dinámico del ciclo hidrológico e iniciando nuevos procesos y eventos (Herrera, 2004).

2.4.9 CLIMA

Entre los factores del clima que influyen en la recarga hídrica natural, están:

2.4.9.1 EVAPOTRANSPIRACIÓN

Es la suma de los fenómenos de la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas. Son tres, los factores, que intervienen en la evapotranspiración:

- 1) el clima, en este aspecto influyen en la evapotranspiración, la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del viento, el número de horas de iluminación efectiva, la radiación solar, etc.,
- 2) el suelo, sobre todo por lo que respecta a la cantidad de agua almacenada, ya que a medida que aumenta la sequía y se aproxima al punto de marchitez, es aprisionada el agua con mayor intensidad, siendo cada vez menor el volumen cedido a las plantas y a la atmosfera, disminuyendo la evapotranspiración por ambas causas a la vez, y
- 3) la planta; que influye no solo la especie por el mayor o menor número de estomas por unidad de superficie, sino el periodo de vegetación en el que se encuentre (INAB, 2003a).

Se llama evapotranspiración real, a la cantidad de agua efectivamente disipada en la atmosfera a partir de la superficie (con cubierta vegetal o no), durante un periodo de tiempo, que equivale a milímetros de agua evaporada por una superficie unitaria que es el metro cuadrado de suelo, contabilizando también de la vegetación (Herrera, 1995).

Evapotranspiración potencial, es el término que se define como el volumen de agua evapotranspirada cuando la superficie del terreno está cubierta de vegetación, en crecimiento normal y que posee en todo momento la humedad necesaria para obtener una cosecha optima (Herrera, 1995).

Los valores típicos de evapotranspiración potencial varían entre 1 a 3mm/d para los climas templados, de 5 a 8mm/d en los trópicos húmedos y de 10 a 12mm/d en regiones áridas (INAB, 2003a).

2.4.9.2 PRECIPITACIÓN PLUVIAL

La precipitación, incluye la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre, tales como granizo y nevisca (Chow, 1994). La precipitación constituye la entrada primordial del sistema hidrológico y es el factor principal que controla la hidrología de una región. El conocimiento de los comportamientos y patrones de la lluvia en el tiempo y en el espacio es esencial para entender procesos como la variación de la humedad del suelo, recarga de acuíferos y caudales en los ríos (Herrera, 1995).

2.4.9.3 SUELO

La zona del suelo no se encuentra saturada, excepto durante algunas lluvias o por irrigación temporal. Se extiende desde la superficie hasta la zona principal de raíces de las plantas. Su espesor varía con el tipo de suelo y vegetación. El suelo debe entenderse como la masa mineral no consolidada donde se desarrollan las raíces de las plantas y existen espacios porosos con aire y/o agua. El agua del suelo suple la humedad a las raíces de las plantas y está cambiando continuamente su concentración, estando en relación con los espacios porosos (Herrera, 2002).

2.4.10 CLASES DE AGUA EN EL SUELO

Entre un suelo saturado y un suelo seco se pueden clasificar diferentes clases de agua y su relación con su disponibilidad y desarrollo de las plantas, estas clases son (Sandoval, 2007):

- a) Gravitacional: Cuando todos los poros del suelo están llenos de agua se dice que el suelo está saturado, las fuerzas de adhesión entre el agua y el suelo son menores que las fuerzas de gravedad, lo que ocasiona que el agua se mueva o drene hacia abajo.

- b) Capilar: después de que el agua gravitacional drena, los poros grandes son ocupados por aire y el agua contenida en los poros pequeños sigue moviéndose por capilaridad lentamente, este movimiento se observa cuando el agua esta retenida entre 1/3 de atmosfera y 15 atmosferas.
- c) Higroscópica: la evaporación en la superficie y la absorción de humedad por las plantas, reducen la cantidad de agua en el suelo hasta que cesa el movimiento capilar. El agua que queda adherida herméticamente en forma de capas muy delgadas alrededor de las partículas del suelo, la fuerza de adhesión es tan grande que esta película de agua no puede moverse en el suelo ni ser aprovechada por la planta. Esta clase de agua esta retenida a más de 15 atmosferas de tensión.

2.4.11 TEXTURA

Es la proporción relativa de arena, limo y arcilla del mismo. Esta propiedad determina en gran parte la capacidad de retención de agua, el movimiento del agua en el suelo y la cantidad de agua disponible a las plantas (Sandoval, 2007).

2.4.12 ESTRUCTURA DEL SUELO

Se refiere a la agregación de partículas de suelo (arena, limo y arcilla) en grupos de partículas primarias, las cuales están separadas de los agregados adyacentes por superficies de ruptura. Dicha propiedad afecta la velocidad de infiltración del agua, el movimiento del agua dentro del suelo, así como la profundidad de penetración de la raíces (Sandoval, 2007).

2.4.13 DENSIDAD APARENTE

La densidad aparente de un suelo es el peso de suelo seco por unidad de volumen de suelo, incluyendo los poros, se expresa en gramos por cm^3 . La densidad aparente de los suelos no cultivados varía entre 1.0 a $1.6\text{gr}/\text{cm}^3$, aunque los suelos compactados pueden tener densidades mayores. Los suelos arcillosos tienen mayor cantidad de poros que los arenosos, lo cual hace que su densidad aparente sea menor. Los valores medio de dap^4 para los suelos

⁴Abreviatura de densidad aparente (dap).

arcillosos son de 1.0 a 1.3gr/cm³, los francos de 1.3 a 1.5gr/cm³, los arenosos de 1.55 a 1.8gr/cm³ (Sandoval, 2007).

2.4.14 CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SUELO

El componente líquido en el suelo es generalmente el agua, que al atravesar la superficie del terreno se distribuye dentro de él, quedando sometida a varias fuerzas, de cuya intensidad depende el menor o menor grado de fijación al material sólido (INAB, 2003a). El contenido de humedad del suelo puede ser:

- a) Capacidad de campo (CC): la humedad del suelo, varía temporalmente con cambios en la precipitación pluvial y con la evaporación. Durante periodos de alta precipitación puede ocurrir recarga hídrica de acuíferos. Cuando el contenido de humedad de una capa alcanza el punto en que la fuerza de gravedad actuando sobre el agua iguala la tensión superficial, el flujo por gravedad termina. A este contenido de humedad del suelo se le llama capacidad de campo (4). La tensión a la cual el agua está retenida en un suelo libre de sales cuando se está a capacidad de campo varía entre 1/10 de atmósfera para suelos arenosos y 1/3 de atmósfera para suelos arcillosos (Sandoval, 2007).
- b) Punto de marchitez permanente (PMP): si la humedad disminuye a niveles muy bajos, la humedad se liga fuertemente a las partículas del suelo de modo que no está disponible para las raíces de las plantas. El contenido de humedad del suelo al cual esto ocurre se le llama punto de marchitez permanente (4). La tensión a la cual el agua está retenida por el suelo varía de 7 a 32 atmósferas, dependiendo de la velocidad de utilización del agua por la planta (transpiración), del tipo de cultivo, textura de suelo y contenido de sales en el suelo (Sandoval, 2007).
- c) Humedad aprovechable o disponible a las plantas: es la diferencia entre el contenido de humedad del suelo a capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (Sandoval, 2007).

2.4.15 INFILTRACIÓN

Se define como el movimiento del agua, a través de la superficie del suelo y hacia dentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares (Herrera, 2002).

2.4.16 CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN O TASA DE INFILTRACIÓN (f)

Es la capacidad máxima con que un suelo, en una condición dada, puede absorber agua. Se denota como f y se expresa normalmente en mm/hr. A la capacidad de infiltración solo se llega durante una lluvia, si el exceso de precipitación es mayor o igual a cero (Herrera, 2002).

2.4.17 VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (I)

Es la entrada vertical del agua a través de los poros por unidad de tiempo (Sandoval, 2007). Dicho de otra manera es la velocidad media con que el agua atraviesa el suelo, o el caudal dividido por el área de la sección neta de escurrimiento (Herrera, 2002).

La velocidad de infiltración depende de la estructura y textura del suelo, el contenido de humedad del suelo, la compactación, la estratificación, la temperatura del agua y el suelo, y el estado físico-químico del suelo (Sandoval, 2007).

2.4.18 INFILTRACIÓN BÁSICA (f_c)

Se llama infiltración básica (I_b), a la velocidad de infiltración que permanece más o menos constante, es decir, cuando la variación de la lámina infiltrada con respecto al tiempo, es muy pequeña (Sandoval, 2007).

2.4.19 AFORO

Se entiende por escurrimiento, al flujo superficial (sobre el suelo), sub-superficial (dentro del suelo) y al flujo subterráneo (en los estratos de roca) provenientes de la precipitación pluvial, los cuales generalmente son captados por los causes de los ríos. El caudal o gasto es el volumen de agua que pasa por una sección específica del cauce de un río, en un tiempo determinado y al conjunto de operaciones que conducen a la valorización del gasto, se le denomina aforo (Herrera, 1995).

2.4.20 AFORO DE CORRIENTES

Es el conjunto de operaciones realizadas en el río, para calcular el caudal circulante en un momento determinado, anotando al mismo tiempo la altura en escala linnimétrica (INAB, 2003a).

2.4.21 AFOROS DIFERENCIALES

Se realizaran aforos diferenciales en algunos tramos del río (corriente principal), para que a partir de los caudales, se determine si aporta agua al acuífero o este último se la proporciona, es decir definir si el río es influente o efluente (INAB, 2003a).

2.4.22 MANEJO, GESTIÓN DE CUENCAS

El concepto de manejo de cuencas, enfatiza la parte técnica del uso de suelos, agua, bosque y vida silvestre, centrándose en la ejecución del conjunto de acciones que posibilitan el acceso y uso de los recursos naturales, en particular, del agua; tendientes a beneficiar a los habitantes de la cuenca y de las poblaciones ubicadas aguas abajo.

Torres (2,002), mencionado por Vega (2,008), plantea que el manejo de los recursos naturales de la cuenca y todo lo que en ella ocurre, dependen de las decisiones y acciones que realiza, el ser humano y por lo tanto, el manejo debe hacerse en función de los intereses de las poblaciones humanas, de cuyas decisiones dependen las acciones de manejar, conservar y proteger los recursos naturales. El manejo de cuencas, se debe hacer con gestión en el sentido de manejar, aprovechar y conservar los recursos naturales en las cuencas en función de las necesidades humanas buscando un equilibrio entre la equidad, sostenibilidad y el desarrollo.

Vega (2,008), señala que si se desean lograr impactos en el manejo de cuencas, se deben generar procesos de mediano y largo plazo, considerando diferentes tipos de estrategias para la implementación de los planes y programas de manejo, que van desde aquellas dirigidas a la gestión de recursos, hasta las que permiten la integración y participación de las autoridades locales y agricultores a nivel de finca.

El manejo integrado de cuencas, es un proceso de decisiones sobre los usos y las modificaciones a los recursos naturales dentro de una cuenca. Este proceso, provee oportunidad

de hacer un balance entre los diferentes usos que se le pueden dar a los recursos naturales y los impactos que estos tienen en el largo plazo para la sustentabilidad de los recursos. Implica la formulación y desarrollo de actividades que involucren a los recursos naturales y humanos de la cuenca. De ahí que en este proceso se requiera la aplicación de las ciencias sociales y naturales. Así mismo, conlleva la participación de la población en los procesos de planificación, concertación y toma de decisiones. Por lo tanto, el concepto integral implica el desarrollo de capacidades locales que faciliten la participación. El fin de los planes de manejo integral, es el conducir al desarrollo de la cuenca a partir de un uso sustentable de los recursos naturales.

La gestión de cuencas, es un proceso de administración de los recursos de la zona y la capacidad gerencial para continuar con una visión de futuro, considerando las demandas y necesidades sociales y culturales de la población que, a propósito, tiene que participar activamente. La gestión, implica la toma de decisiones por actores con visión de futuro a nivel individual y colectivo.

El manejo de cuencas, está dirigido a aprovechar y conservar los recursos naturales de las cuencas por medio de planes de manejo o actividades enfatizadas en aspectos biofísicos. La gestión es vista con el propósito de implementar acciones (planes y programas) principalmente dirigidos a lograr recursos financieros, tanto en niveles centrales como locales, pero de manera sectorial. Así mismo, se menciona la cogestión, definida como la gestión conjunta, compartida y colaborativa; en donde, diferentes actores locales como productores, grupos organizados, gobiernos locales, empresa privada, ONG, instituciones nacionales, organismos donantes y cooperantes integran esfuerzos, recursos, experiencias y conocimientos, para desarrollar procesos dirigidos a lograr impactos favorables y sostenibilidad en el manejo de los recursos naturales y el ambiente en las cuencas hidrográficas (Vega, 2008).

2.5 MARCO REFERENCIAL

2.5.1 ASPECTOS GENERALES DE LA SUBCUENCA

2.5.1.1 UBICACIÓN Y LOCALIZACION GEOGRAFICA

La sub-cuenca en estudio, tiene una superficie total de 65.3km², se encuentra ubicada entre los Municipios de San Miguel Ixtahuacán (35.50%), Sipacapa (46.97%) y Comitancillo (17.49%) del Departamento de San Marcos, entre las coordenadas del sistema Guatemala Transverse Mercator⁵ 361,000 y 377,000 este y entre 1,679,000 y 1,685,300 norte (ver figura 1). La subcuenca, forma parte de la cuenca del río Cuilco, que a su vez forma parte de la vertiente del Golfo de México. El punto de aforo de la sub-cuenca se encuentra ubicado en el caserío Salem del Municipio de Sipacapa en las coordenadas 375,655 este y 1,684,128 norte (GTM) (ver figura 1).

La sub-cuenca del río Tzalá es de orden 5, con un perímetro de 44.18 kilómetros. El río Tzalá presenta un caudal máximo de 6.68 m³/s, un caudal medio de 1.31 m³/s y un caudal de estiaje de 0.3 m³/s⁶.

En el área de la subcuenca se ubican, total o parcialmente 7 comunidades (Agel, Cabajchum, Chininguitz, Exial, Maquivil, Sacchilon y Sibinal) de San Miguel Ixtahuacán; 8 comunidades (Cancil, Chual, Escupijá, Guancache, La independencia Chilil, Salem, Setivá y Xeabaj) de Sipacapa y 2 comunidades (Las Hortalizas y San José la Frontera) de Comitancillo.

2.5.1.2 LIMITES

La subcuenca limita al norte con la cabecera municipal de San Miguel Ixtahuacán, cabe mencionar que en la parte norte de la cuenca se encuentra ubicado el proyecto minero Marlín; al este con la cabecera municipal de Sipacapa; al sur con la cabecera municipal de Sipacapa y al oeste con la cabecera municipal de Comitancillo.

⁵ Guatemala Transverse Mercator (GTM).

⁶ Estudio de Impacto Ambiental del proyecto minero Marlín.

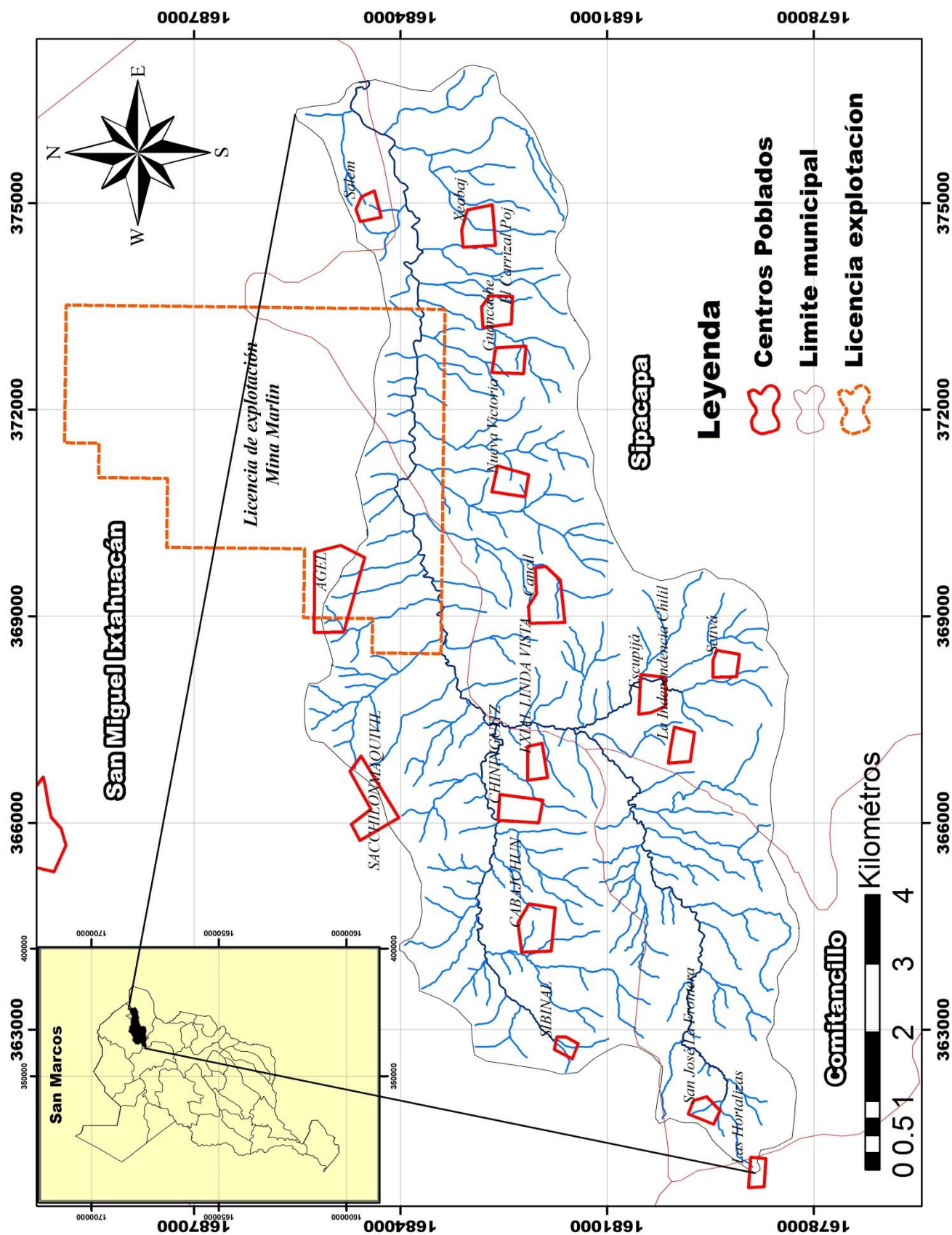


Figura 14. Mapa de ubicación de la subcuenca del río Tzalá.

2.5.1.3 RELIEVE

El área de estudio, se encuentra localizada en la región fisiográfica de las Tierras Altas Volcánicas, lo que comprende principalmente lo que se conoce como altiplano, cuyo material se debe a la actividad volcánica del Terciario Superior (Plioceno), encontrando principalmente rocas volcánicas, lavas, brechas, conglomerados, cenizas volcánicas, coladas de lava, lapilli, andesitas, basaltos, materias piroplásticas y sedimentos aluviales. Se observan principalmente paisajes de montañas, colinas y conos volcánicos. Desde el punto de vista geológico comprende especialmente el Terciario Volcánico, en donde se incluyen rocas volcánicas sin dividir y algunos depósitos volcánicos del cuaternario (INAB, 2003b).

En su mayoría la sub-cuenca es de relieve escarpado (figura 2) con pendientes de más del 55% (ver Cuadro 1), encontrándose montañas degradadas. La cota más alta es de 2,920msnm en el lado oeste en donde encontramos el municipio de Comitancillo. La cota más baja es de 1,700msnm hacia el lado este en donde encontramos la cabecera municipal de Sipacapa (figura 3).

Cuadro 22. Porcentaje de pendientes en la subcuenca del río Tzalá.

% PENDIENTE	ÁREA (Km2)	%
0-12%	5.53	8.47
12-26%	13.76	21.07
26-36%	12.74	19.51
36-55%	22.05	33.77
>55%	11.22	17.19
TOTAL	65.30	100.00

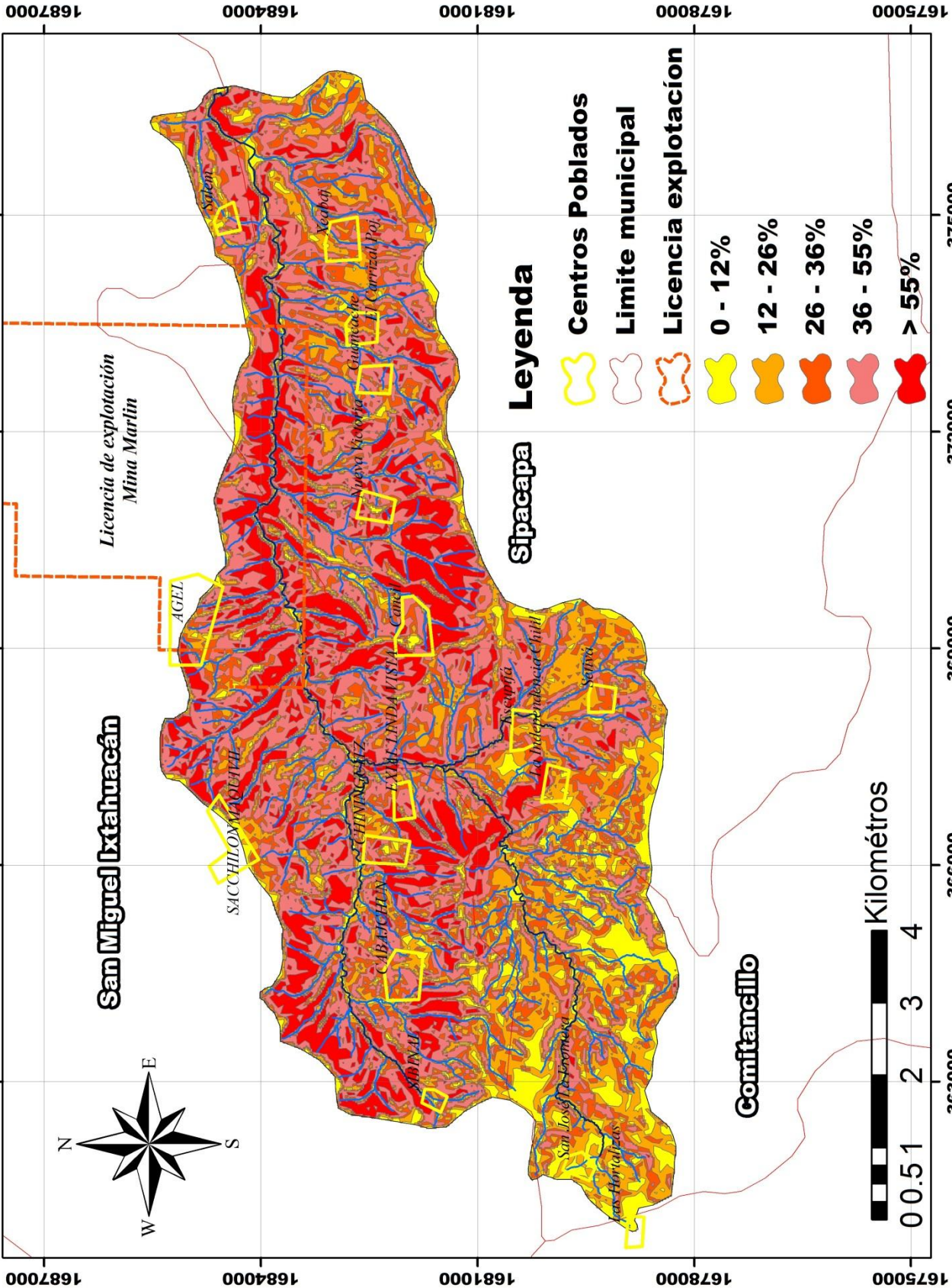


Figura 15. Mapa de pendientes.

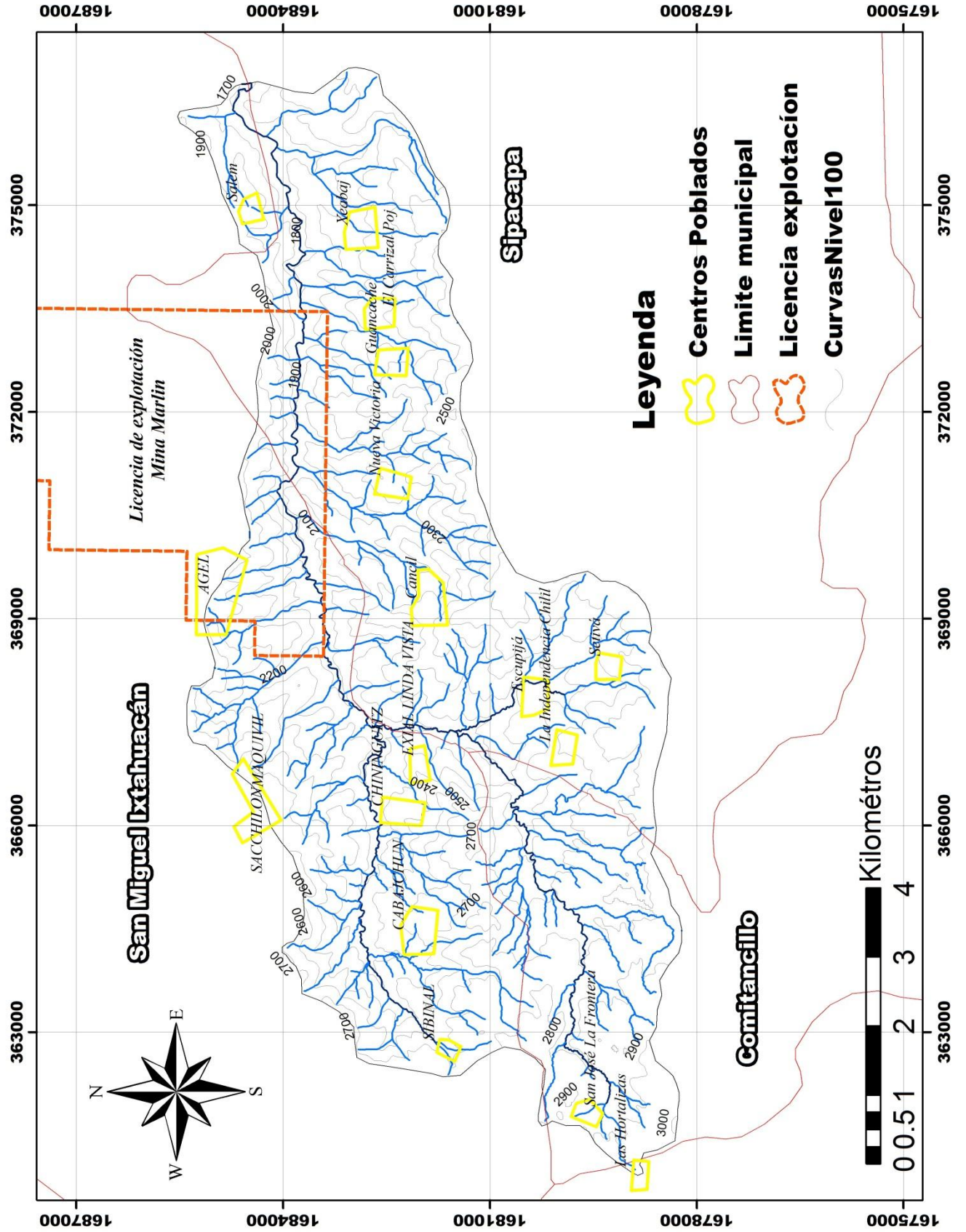


Figura 16. Mapa de curvas de nivel.

2.5.1.4 SUELOS

En la subcuenca del río Tzalá encontramos suelos producto de la meteorización de las cenizas volcánicas, el proceso erosivo es el principal factor de modelado del terreno y los espesores del suelo. En la subcuenca se encuentran dos órdenes taxonómicos de suelos (ver figura 4): andisoles y entisoles. Los andisoles (subórdenes udands (según Simmons series Camanchá, Totonicapán y Patzité) y ustands (serie Sinaché, según Simmons), son suelos derivados de ceniza volcánica y se caracterizan por la presencia de arcillas alófanas (arcillas amorfas) que se combina fácilmente con materia orgánica y tiene alta capacidad de fijar fosforo. Los entisoles (suborden: orthens (serie Samalá, según Simmons), son suelos en formación, son tan jóvenes que aún no se han formado horizontes de diagnóstico por la topografía quebrada (erosión mayor al grado de meteorización).

En la subcuenca el 84.76% del área pertenece a los andisoles (representados por los subórdenes udans y ustands) y el 15.24% a los entisoles (representados por el suborden orthens) (figura 4). En general, en el área se encuentran suelos erosionados y muy erosionados. Con profundidades entre los 0-30cm y los 30-60cm.

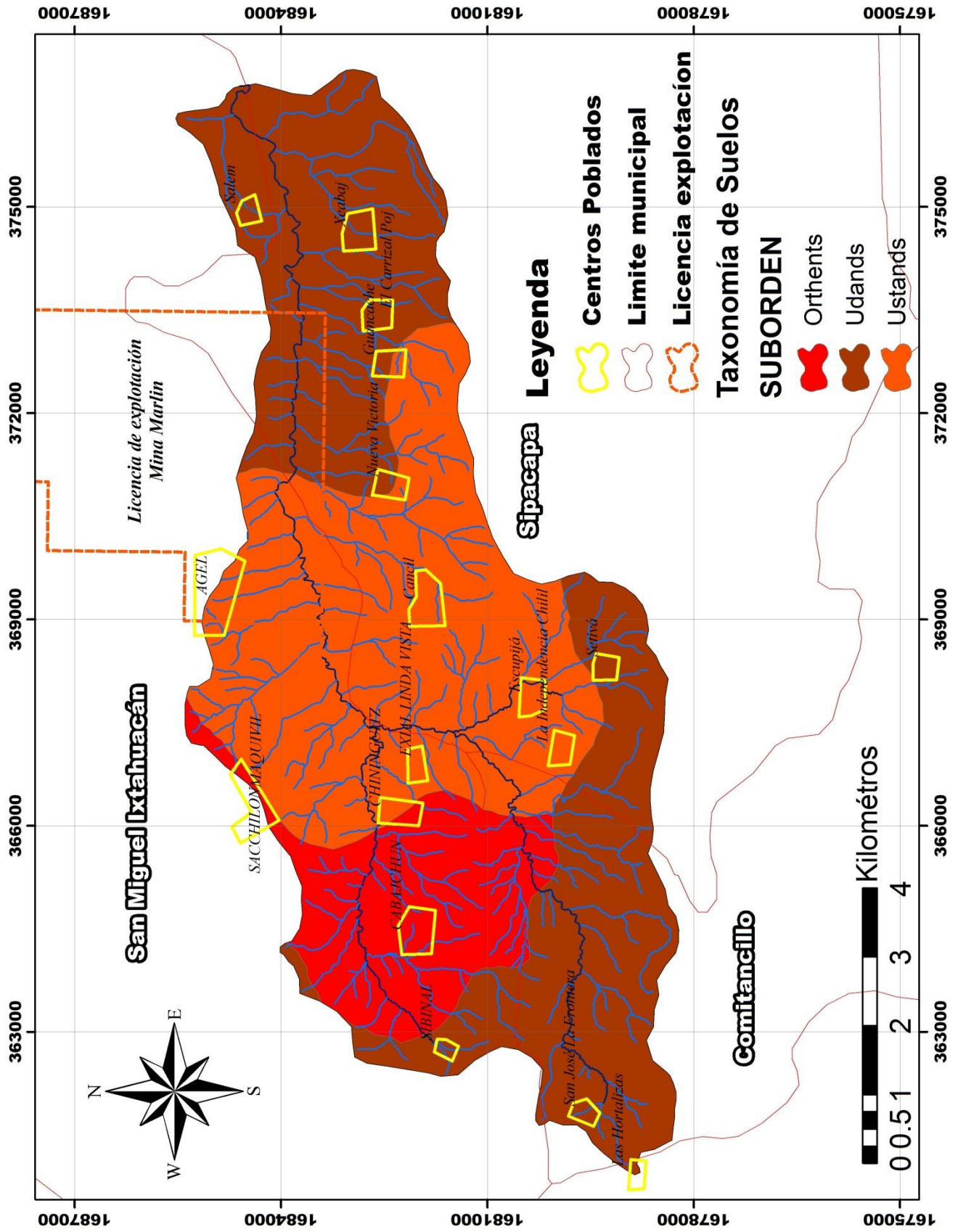


Figura 17. Mapa de taxonomía de suelos en la subcuenca del río Tzala.

2.5.1.5 USO ACTUAL DE LA TIERRA

El uso actual del suelo (cuadro 2), está compuesto por los siguientes usos: bosque ya sea disperso asociado con pastos naturales tales como grama (*Paspalum notatum*), kikuyu (*Pennisetum clandestinum*), pasto miel (*Melinis minutiflora*), entre otros; que fueron áreas cubiertas inicialmente por bosque, pero debido al crecimiento poblacional del lugar, se ha hecho un aprovechamiento selectivo de árboles para la construcción de viviendas y para leña, dejando áreas descubiertas para sembrar cultivos de subsistencia y donde se da la regeneración natural de pastos, y también bosque denso, en donde las principales especies son: pinos (*Pinus pseudostrobus* y *Pinus montezumae*), encinos (*Quercus* sp.), madron (*Arbustus xalapensis*), aliso (*Alnus* sp.), ciprés (*Cupressus lusitánica*) y *Prunus capulí*. Los arbustos-matorrales son áreas en donde se pueden apreciar arbustos y árboles pequeños de diferentes edades dados por regeneración natural secundaria y cultivos anuales (ver figura 5), de los cuales predominan los granos básicos (principalmente el maíz y frijol asociados con algunas hortalizas como güicoy, ayote y /o chilacayote), con un 23.92km² (36.63% del total del área de la subcuenca), seguido por arbustos-matorrales con 17.70km² (27.10% del área total) y bosques de coníferas y mixtos con un 19.19 y 17.02% del área total de la subcuenca.

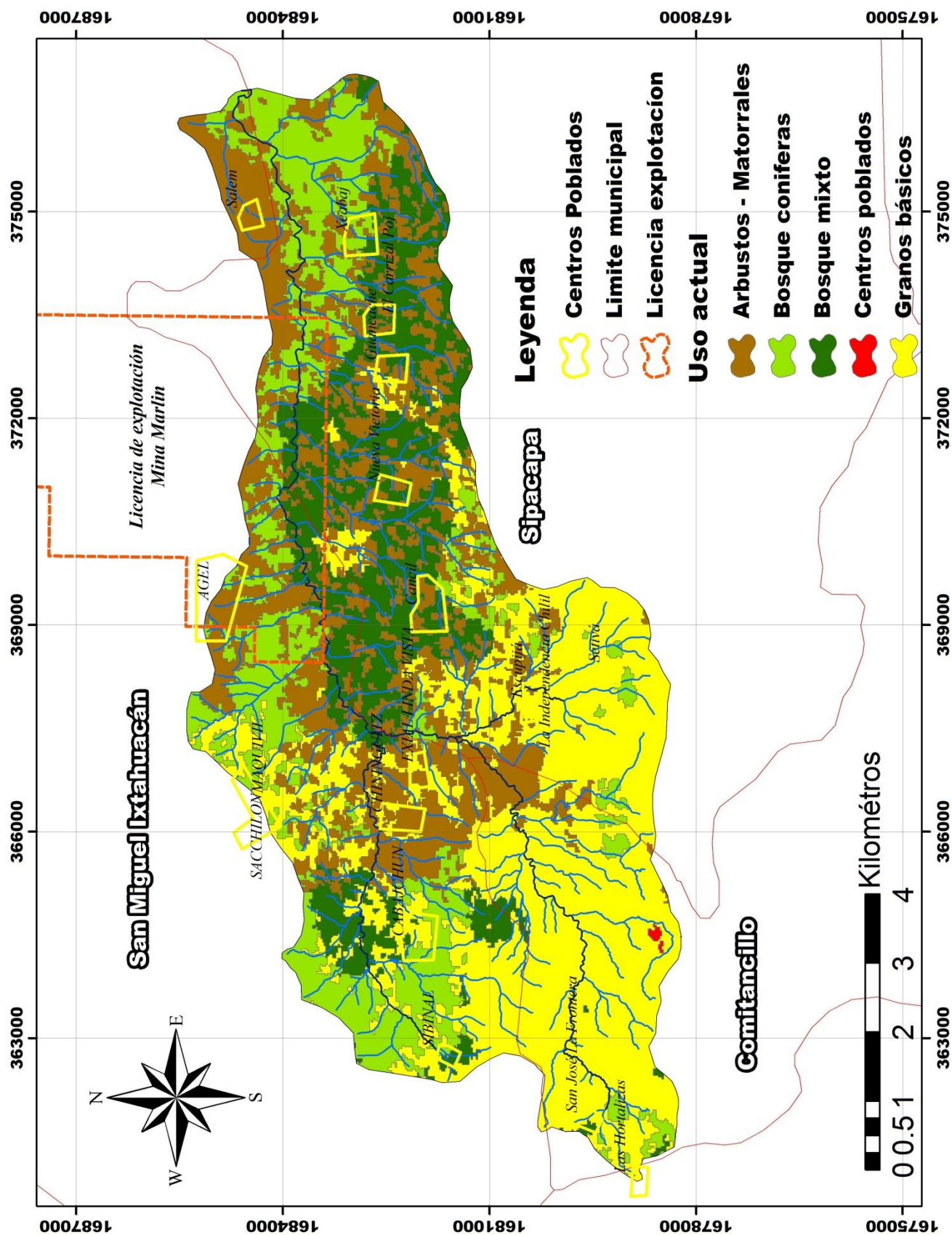


Figura 18. Mapa de uso de la tierra en la subcuenca del río Tzala.

Cuadro 23. Cobertura vegetal en la subcuenca del río Tzalá.

Uso de la tierra	Área (km2)	Área (%)
Arbustos - matorrales	17.70	27.10
Bosque coníferas	12.53	19.19
Bosque mixto	11.12	17.02
Granos basicos	23.92	36.36
TOTAL	65.30	100.00

2.5.1.6 CLIMA

El sistema de clasificación del clima de Thornthwaite nos indica que en la subcuenca existen dos tipos de clima. Hacia el este y parte baja de la subcuenca se tiene un clima húmedo y templado (BB'2); hacia el oeste y parte alta de la subcuenca se tiene un clima húmedo y semifrío (BB'3).

Según el sistema de clasificación de Köppen en la subcuenca hay solamente un tipo de clima que es templado mesotérmico, húmedo con invierno benigno. La precipitación promedio anual es de 1000mm. El valor promedio de la temperatura varía entre los 13.5°C y los 20°C.

2.5.1.7 ZONAS DE VIDA

En la subcuenca encontramos dos zonas de vida según el sistema de clasificación de Holdridge: Bosque húmedo montano bajo subtropical (bh-MB), en donde es típico encontrar especies como pino (*Pinus montezumae*, *p. oocarpa*, *p. pseudostrobus*, etc.), ciprés, madron (*Arbutus xalapensis*), encino (*Quercus* sp.), aliso (*Alnus* sp.), así como algunos frutales como durazno, manzana, aguacate, ciruela; Bosque muy húmedo montano subtropical (bmh-MB), en donde la vegetación natural predominante que se puede considerar como indicador son los encinos, alisos, ciprés, pinos, robles, así como trigo, maíz, papas, habas y deciduos (figura 6).

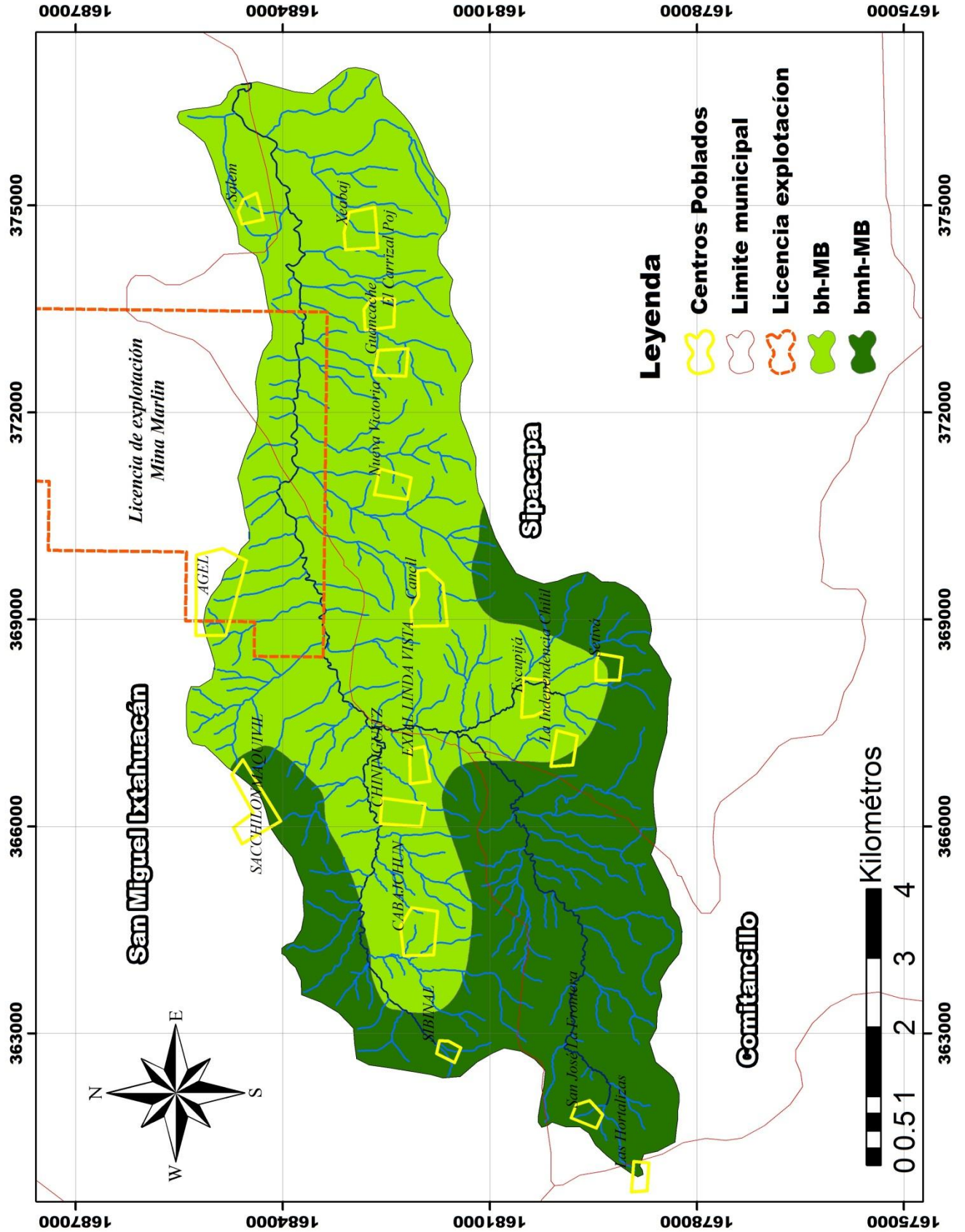


Figura 19. Mapa de zonas de vida según Holdridge, en la subcuenca del río Tzala.

2.5.1.8 HIDROGRAFÍA

El río corre de oeste a este, además es poco caudaloso siendo los caudales máximos y mínimos de $6.68\text{m}^3/\text{s}$ y $0.3\text{m}^3/\text{s}$ respectivamente. El río Tzalá está formado por dos tributarios principales que son el río Cabajchum y el río Salitre. La longitud del cauce principal es de 23.22km. En el punto en donde el río Tzalá se une con el río del Pueblo está ubicado el punto de aforo de la subcuenca (Figura 7). El drenaje resultante de esa unión sigue llevando por nombre de río Tzalá, que va a drenar al río Cuilco

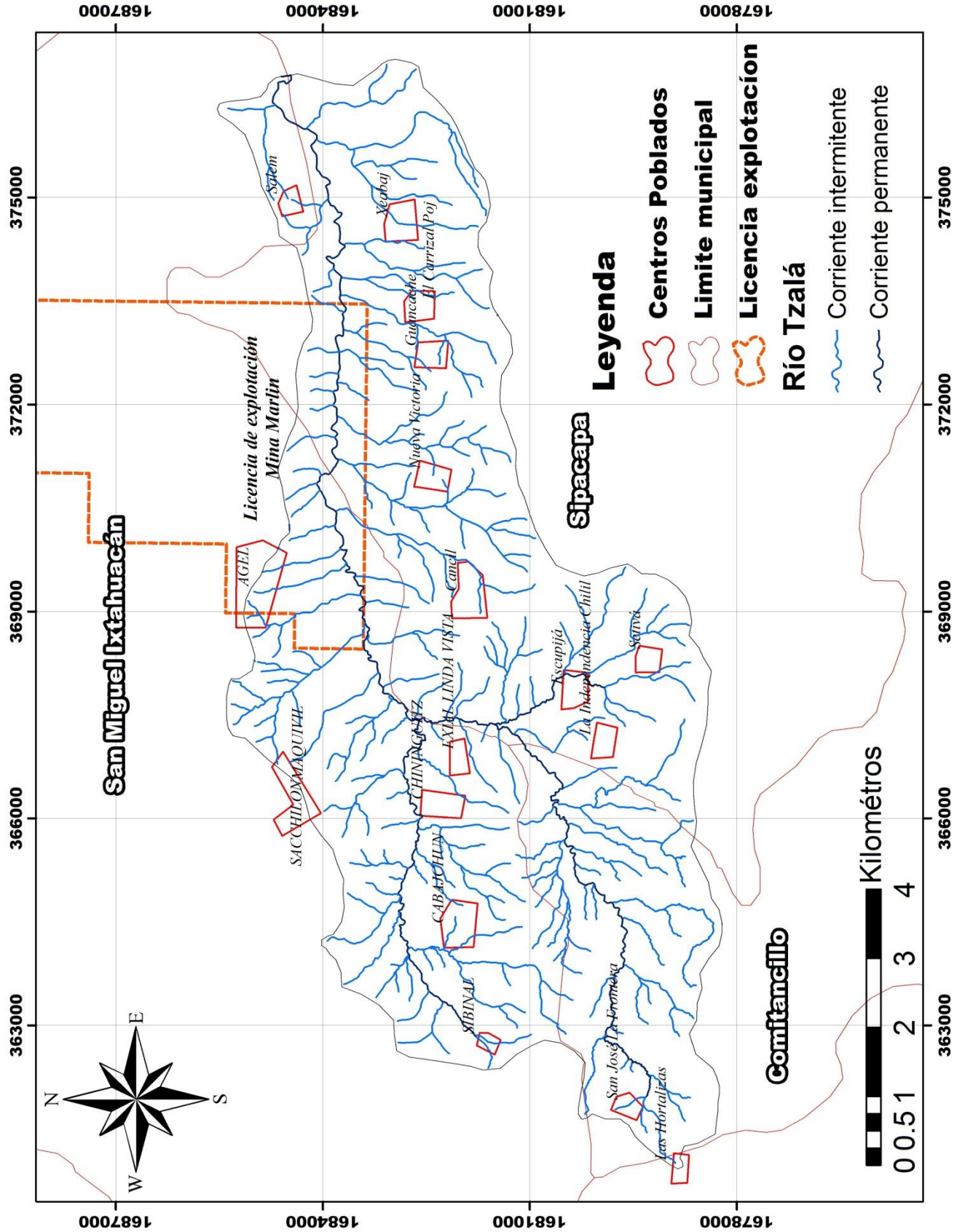


Figura 20. Mapa de la subcuenca del río Tzalá.

2.5.1.9 CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA

La metodología del USDA, ubica tres categorías de capacidad de uso de la tierra en la subcuenca, siendo estas III, VI y VII.

Cuadro 24. Categorías de capacidad de uso del suelo en la subcuenca del río Tzalá.

Capacidad	Área (KM2)	% Área
III	6.37	9.76
VI	5.46	8.36
VII	53.47	81.89
TOTAL	65.29	100.00

Siendo la clase III, suelos con limitaciones fuertes, que reducen la selección de plantas, requieren prácticas de conservación de suelos (según la metodología del INAB para determinación de capacidad de uso de la tierra, equivale tierras de tipo Aa, o sea agroforestería con cultivos anuales, con limitación de pendiente y/o profundidad efectiva, donde se permite la siembra de cultivos agrícolas asociados con árboles y/o obras de conservación de suelos). La clase VI, se caracteriza por ser suelos de poca profundidad, con pendientes fuertes y erosión hídrica severa, son suelos ligeramente ácidos, poco fértiles y con bajos contenidos de materia orgánica, aunque no presentan limitaciones tan severas, por lo que se pueden dedicar a la agricultura y pastoreo, pero con prácticas de conservación de suelos (según el INAB, pertenecen a la categoría de Sistemas silvopastoriles (Ss), que son áreas con limitación de pendiente y/o profundidad, tiene limitaciones permanentes o transitorias de pedregosidad y/o drenaje. Permiten el desarrollo de pastos naturales o implantados en asociación con especies arbóreas). La clase VII, se caracteriza por que tienen limitaciones muy fuertes que los hacen inadecuados para la agricultura y restringen su uso en gran parte a bosques (según el INAB, equivale a la categoría de Tierras forestales para producir (F), que son áreas con suelos muy poco profundos, con pendientes escarpadas, erosión hídrica muy severa y con roca aflorante, aptas para realizar un manejo forestal sostenible, tanto del bosque nativo como el de plantaciones con fines de aprovechamiento), (INAB, 2003b), ver cuadro 3, figura 8.

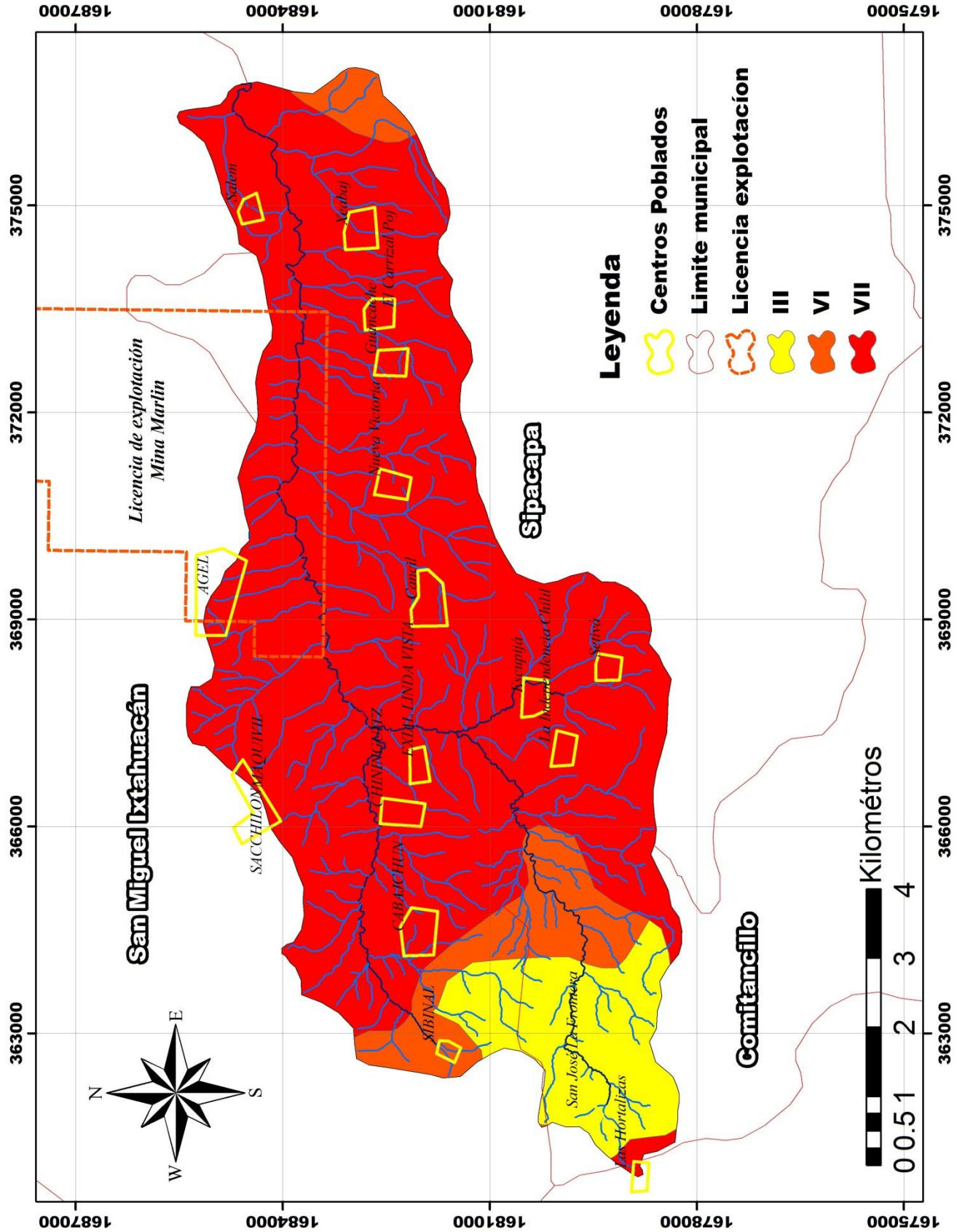


Figura 21. Mapa de capacidad de uso del suelo, en la subcuenca del río Tzalá.

2.5.1.10 INTENSIDAD DE USO

En la subcuenca del río Tzalá, se encuentra que el 74.34% del área se encuentra sobreutilizada (el suelo es utilizada a una intensidad mayor a la que soporta en términos físicos), el 7.66% subutilizada (el suelo es utilizado a una intensidad menor que la que es capaz de soportar en términos físicos), y el 18.00% del área de la misma cuenta con un uso correcto (lo que indica que no hay discrepancia entre la capacidad de uso de la tierra y el uso que actualmente se le está dando), según se muestra en el cuadro 4, figura 9.

Cuadro 25. Categorías de intensidad de uso del suelo, en la subcuenca del río Tzalá.

Categoría	Área (km2)	Área %
Sobre utilizado	48.54	74.34
Sub utilizado	5.00	7.66
Uso correcto	11.75	18.00
TOTAL	65.29	100.00

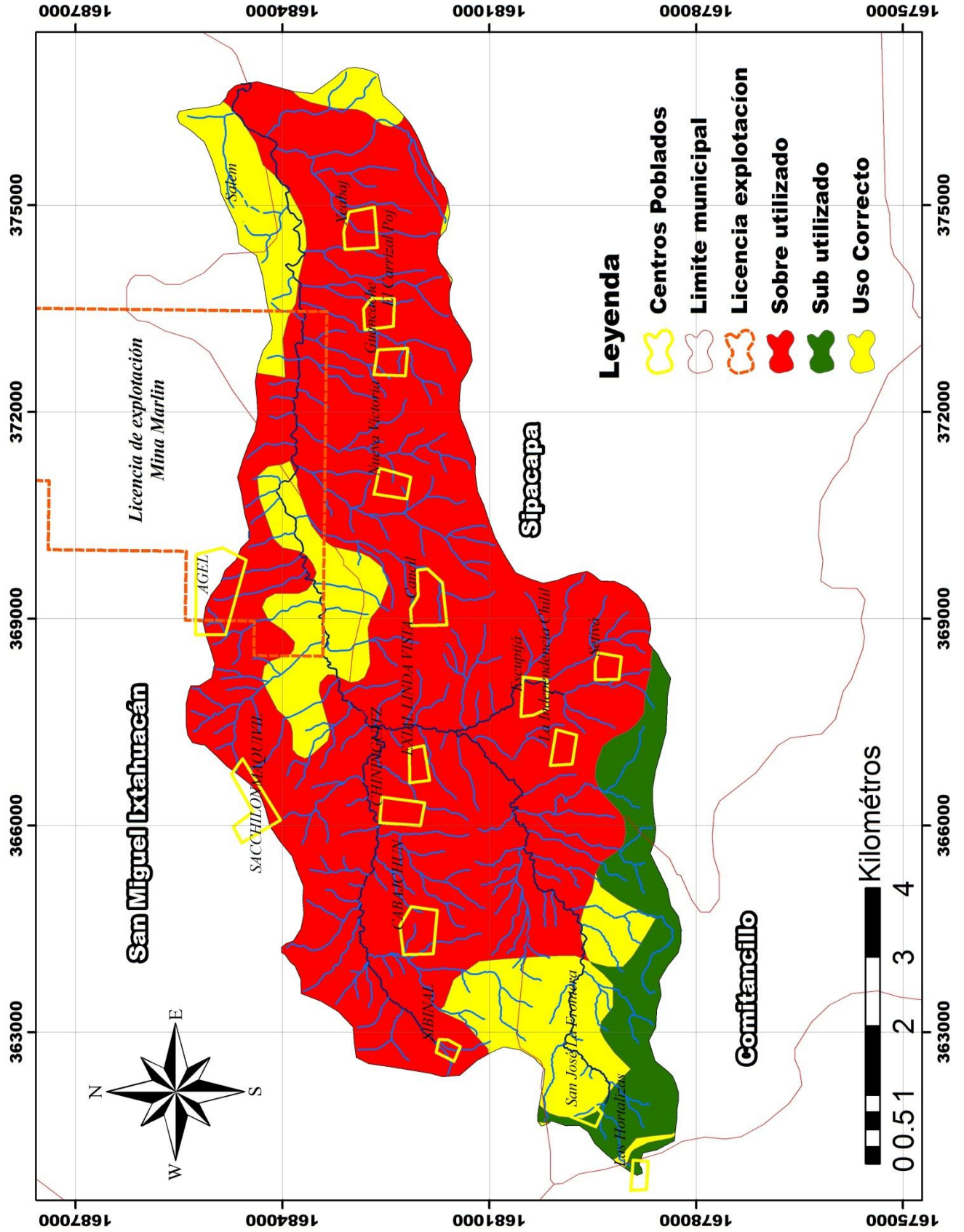


Figura 22. Mapa de intensidad del uso de la tierra en la subcuenca del río Tzalá.

2.5.1.11 **USO POTENCIAL**

Según la capacidad de uso de la tierra (inciso 5.2.2.3), se determina que en la subcuenca del río Tzalá, existen dos zonas de producción según el uso potencial de la tierra en la misma, que son (ver figura 14): a) zonas aptas para la agricultura con prácticas de conservación y b) zonas aptas para la producción agroforestal, con un 9.76% y 90.24% del área total de la subcuenca respectivamente (cuadro 14).

Cuadro 26. Categorías de uso potencial del suelo en la subcuenca del río Tzalá.

Categoría	Área (km2)	Área (%)
Zonas aptas para la agricultura con practicas de conservacion (USDA III y IV)	6.37	9.76
Zonas aptas para la produccion Agroforestal (USDA VI y VII)	58.92	90.24
TOTAL	65.29	100.00

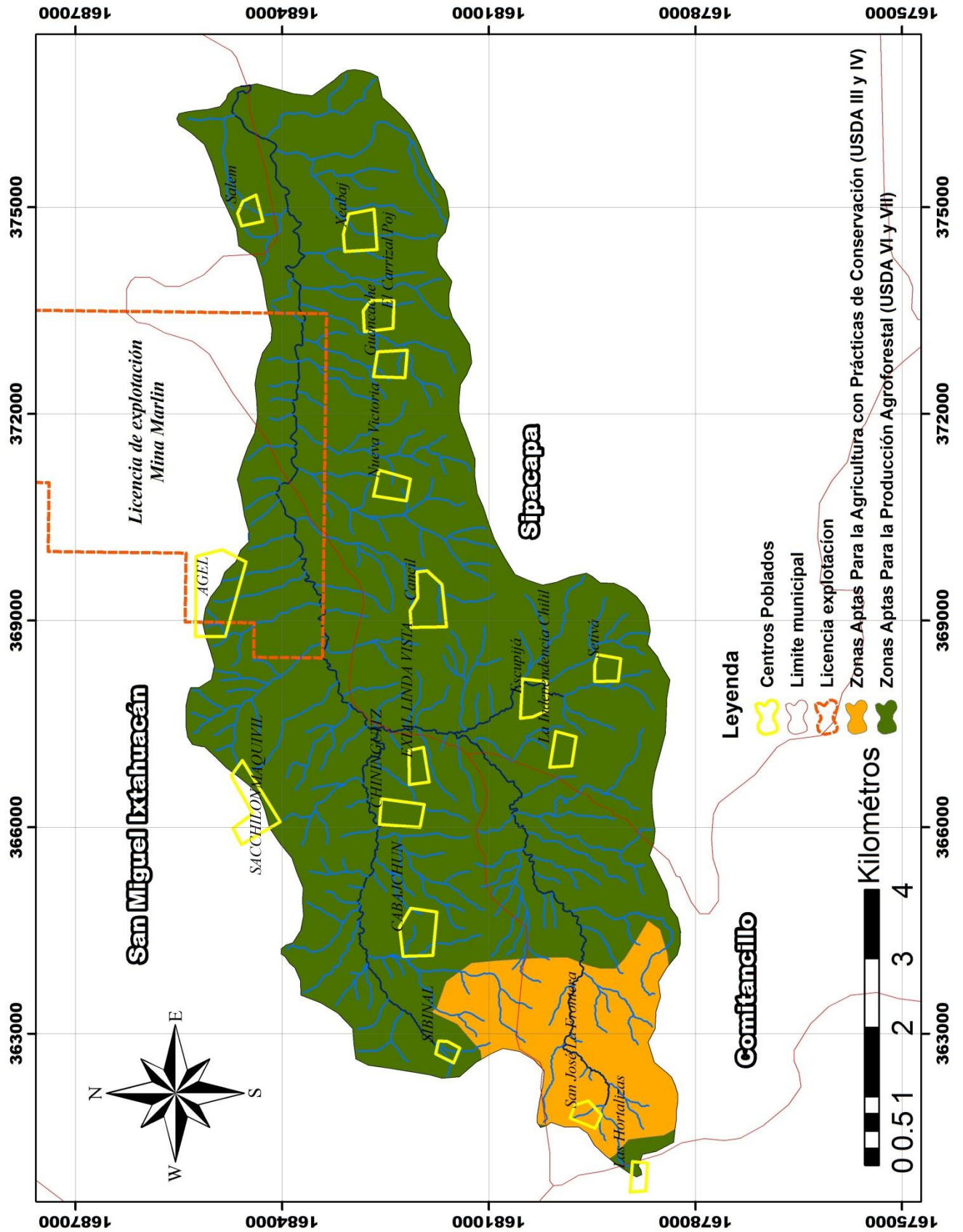


Figura 23. Mapa de uso potencial de la tierra en la subcuenca del río Tzala.

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 GENERAL

- Determinar las zonas de recarga hídrica natural, en la sub-cuenca del río Tzalá, de los Municipios de San Miguel Ixtahuacán, Sipacapa y Comitancillo del Departamento de San Marcos.

2.6.1.1 ESPECIFICOS

- Caracterizar y evaluar los factores meteorológicos, para estimar la recarga hídrica por medio del balance hídrico.
- Conocer el balance hídrico de suelos, de las diferentes áreas de recarga hídrica identificadas.
- Determinar áreas de recarga hídrica en la subcuenca del río Tzalá.
- Identificar áreas críticas con mayor susceptibilidad a disminuir la recarga hídrica, en la subcuenca del río Tzalá.
- Proponer lineamientos de manejo para la protección del recurso hídrico, suelo y bosque de la subcuenca del río Tzalá.

2.7 METODOLOGÍA

2.7.1 FASE DE GABINETE INICIAL

2.7.1.1 RECOPIACION DE INFORMACIÓN BÁSICA

Se recopiló información básica sobre aspectos biofísicos de la subcuenca, tales como: vegetación, suelo, recursos hídricos, geología, así como estudios realizados en el área, entre otros. Esta información fue recopilada en bibliotecas, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales así como en otras instituciones que operan en el área.

Se adquirieron 2 hojas topográficas y 1 hoja geológica a escala 1:50,000, en el Instituto Geográfico Nacional (IGN), las mismas fueron:

- Concepción Tutuapa , 1861 IV,
- Santa Barbara, 1861 I,
- Santa Barbara, 1861 I (geología).

Además se adquirieron 12 ortofotos a escala 1:40,000 en el Instituto Geográfico Nacional (IGN), del año 2006, que son:

- 1861-IV 15, 1861-IV 20,
- 1861-IV 25,1861-I 11,
- 1861-I 16,1861-I 21,
- 1861-I 12,1861-I 16,
- 1861-I 22.

Las mismas fueron utilizadas para la realización de mapas y análisis de información. Con la información obtenida, se delimitó la subcuenca y se elaboraron mapas de ubicación, centros poblados, hidrografía, geología, clasificación taxonómica de suelos, uso actual y unidades de mapeo utilizando el software ArcGIS versión 9.3.

2.7.1.2 INFORMACIÓN CLIMÁTICA

Se instaló una estación meteorológica tipo “C”, en donde, se registraron datos diarios de precipitación pluvial, humedad relativa, temperaturas máximas y mínimas, que fueron tabuladas hasta completar un año de registros. Al mismo tiempo, se obtuvieron los datos de la estación meteorológica instalada en mina Marlín. Dichas estaciones, fueron ubicadas geográficamente con la ayuda de un aparato de geoposicionamiento global (gps) (Cuadro 6, Figura 11).

Cuadro 27. Ubicación de las estaciones meteorológicas, en la subcuenca del río Tzalá.

id	Comunidad	Coordenadas GTM		Z
		X	Y	
1	San Jose la Frontera	361754	1679369	2886
2	Mina Marlin	373083	1685052	1976

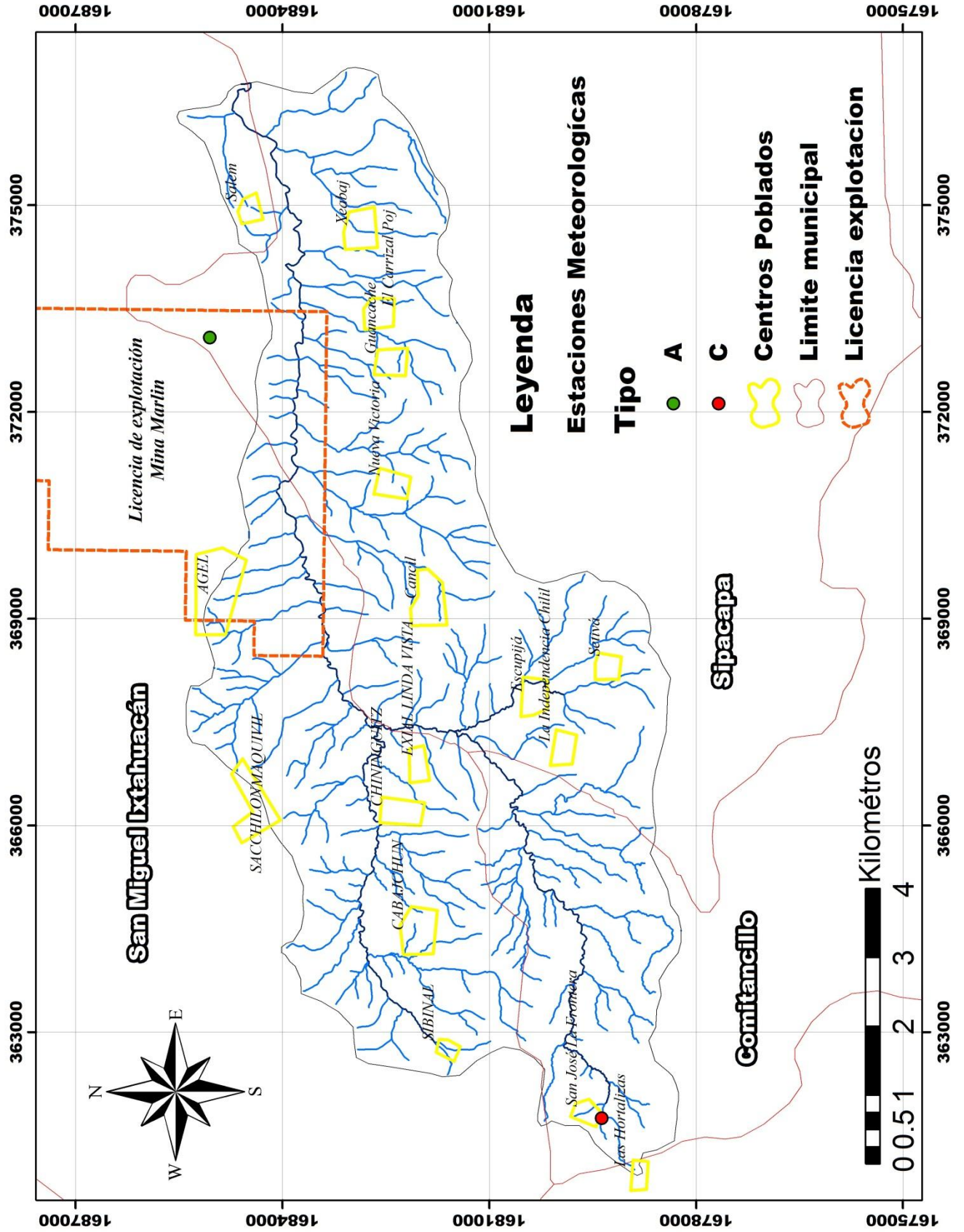


Figura 24. Ubicación de estaciones meteorológicas.

2.7.1.3 DELIMITACION DE UNIDADES DE MAPEO (AREAS DE RECARGA HIDRICA)

Se realizó la superposición de mapas temáticos de taxonomía de suelos, geología y uso actual de la tierra, mediante el software ArcGIS versión 9.3. En este proceso se obtuvo un total de 6 unidades de mapeo (figura 12), las que se numeran en el cuadro 7:

Cuadro 28. Unidades de mapeo en la subcuenca del río Tzalá.

Geología	Suborden	Uso actual	Área (km2)	Área (%)
(Tv) Rocas ígneas y metamórficas. Mio-plioceno, incluye tobas, coladas de lava, material labarico y sedimentos volcanicos.	Orthents	Bosque	5.90	9.04
		Anuales	4.05	6.21
	Udands	Bosque	16.50	25.27
		Anuales	13.06	20.01
	Ustands	Bosque	18.96	29.04
		Anuales	6.81	10.43
TOTAL			65.28	100.00

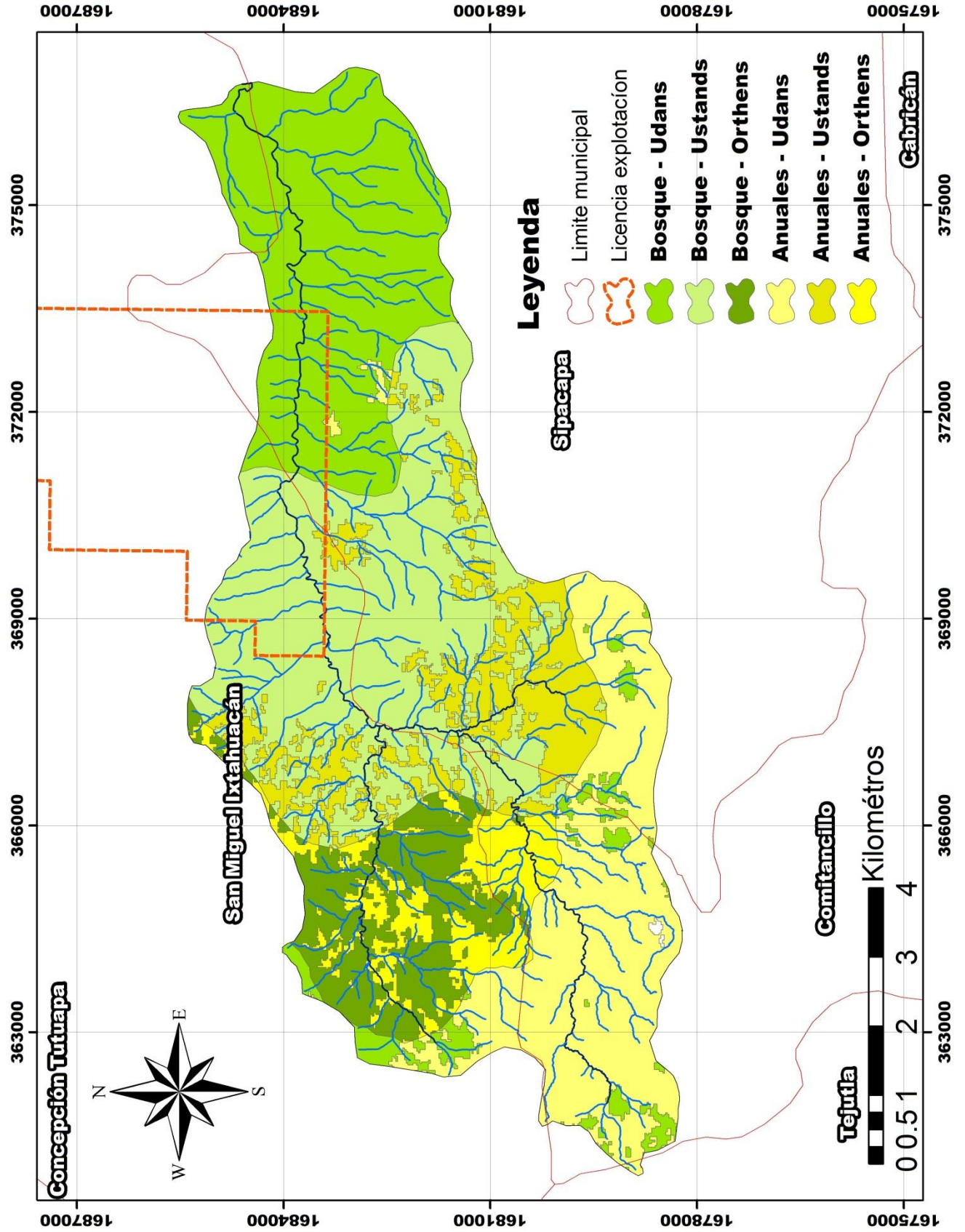


Figura 25. Unidades de mapeo, en la subcuenca del río Tzala.

2.7.2 FASE DE CAMPO

Esta fase consistió en la generación de información necesaria para la construcción del balance hídrico de suelos.

2.7.2.1 PRUEBAS DE INFILTRACIÓN

Se realizaron pruebas de infiltración en cada una de las unidades de mapeo delimitadas. El método utilizado para la determinación del parámetro fué el de Porchet, que según Herrera (2002), consiste en excavar en el suelo un agujero cilíndrico de radio “R”, el mismo se llena con agua hasta una altura “h” e inmediatamente se empieza a tomar un intervalo de tiempo suficientemente pequeño (dt) para que pueda medirse el descenso del nivel de agua, hasta la saturación del suelo y de esta manera, pueda suponerse constante la capacidad de infiltración (f).

Herrera (2002), indica que para determinar f, basta medir pares de valores (h₁, t₁) (h₂, t₂), de forma que t₂ y t₁ no difieran demasiado y los valores que se obtengan de ellos se introducen a la expresión:

$$f = \frac{R}{2(t_2 - t_1)} * \ln\left(\frac{2h_1 + R}{2h_2 + R}\right)$$

2.7.2.2 DETERMINACIÓN DE CONSTANTES DE HUMEDAD Y DENSIDAD APARENTE

Se realizó un muestreo de suelos en cada unidad de mapeo delimitada, con el fin de determinar las constantes de humedad (PMP%, CC%), y la densidad aparente (Dap), en el laboratorio. Con estos parámetros, se determinó la lámina de humedad aprovechable (LHA), ingresándolos a la ecuación:

$$LHA(cm) = (CC\% - PMP\%) / Dap(gr/cc) * Pr(cm)$$

En donde Pr, es el grosos del estrato de suelo considerado, hasta cubrir toda la zona radicular.

2.7.3 FASE FINAL DE GABINETE (PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN)

2.7.3.1 PRECIPITACIÓN, TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

Se tabularon los registros de precipitación diaria, temperatura y humedad relativa (ver anexos), para cada estación. La precipitación media mensual por unidad de muestreo, se determinó por el método de isoyetas, efectuando un análisis de la precipitación para cada mes del año.

2.7.3.2 DETERMINACIÓN DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Para determinar la evapotranspiración potencial, se tabularon los registros de temperatura media y humedad relativa, para cada estación de forma diaria y mensual y se utilizó el método indirecto de Hargreaves, que es uno de los métodos más prácticos y confiables. Este investigador diseño una formula específica para la región Centroamericana (Herrera, 2002).

Para determinar la evapotranspiración por el método de Hargreaves, se utiliza la siguiente fórmula:

$$ETP = 0.0075 * TMF * RSM \text{ (mm/mes)}$$

Dónde:

ETP = evapotranspiración potencial,

TMF = temperatura media mensual, grados Farenheit (°F),

RSM = Radiación solar incidente mensual.

Para determinar la RSM, se utiliza la siguiente fórmula:

$$RSM = 0.075 * RMM * S^{1/2}$$

Dónde:

RMM = radiación mensual extraterrestre, (mm/mes), ($RMM = RS * No.dias\ del\ mes$), siendo RS, radiación solar que es valor de tabla,

S = brillo solar mensual en % (1 a 100).

Siendo:

$$S = K_s * (100 - HR)^{1/2}$$

Dónde:

Ks = constante igual a 12.5,

HR = humedad relativa en % (1 a 100).

2.7.3.3 CALCULO DE LA RECARGA HÍDRICA

La estimación de la recarga hídrica, se basa en la ecuación general del balance hídrico, la cual tiene la siguiente expresión:

$$Entradas - Salidas = Cambio\ de\ almacenamiento$$

Las entradas (precipitación pluvial, aportes), y las salidas (evapotranspiración real, escorrentía, retención), se cuantificaron utilizando el método desarrollado por Shosinsky y Losilla en Costa Rica (Herrera, 2009).

El método considera la velocidad de infiltración del suelo como el factor principal que condiciona la cantidad de precipitación pluvial que puede infiltrarse. Esta depende básicamente de las características físicas del suelo como lo son textura, estructura, compactación y contenido de humedad, las que se consideran independientes de la localidad en la que se encuentre dicho suelo (INAB, 2003b).

2.7.3.3.1 Relación entre la infiltración y la intensidad de lluvia (Kfc)

La ecuación que relaciona la capacidad de infiltración del agua en el suelo con la intensidad de lluvia es la siguiente:

$$K_{fc} = 0.267 * \ln(fc) - 0.000154 * (fc) - 0.723$$

Donde Kfc es la fracción que infiltra por efecto de la textura del suelo; ln es el logaritmo natural y fc la infiltración básica del suelo (mm/día). Según indica Herrera (2009), esta ecuación tiene un rango de funcionamiento que es de $16 \leq fc \leq 1,568$. Para valores de fc, menores de 16 se utiliza la ecuación siguiente:

$$K_{fc} = 0.0148 * (fc/16)$$

Para valores de fc > de 1,568, los valores de Kfc serán inicialmente mayores que 1; luego, Kfc comienza a ser < 1, a partir de Kfc > 1,910, lo que no es posible. Por lo tanto, para valores de fc > 1,568, Kfc = 1.

2.7.3.3.2 Factor de pendiente del terreno (Kp)

Los valores propuestos para el cálculo de este factor (fracción que infiltra por efecto de la pendiente), se observan en el cuadro siguiente, en donde se presentan varias categorías.

Cuadro 29. Valores de coeficientes (Kp) según el rango de pendiente.e

Categoría	Rango de pendiente	Coeficiente (Kp)
Muy plana	0.02-0.06	0.3
Plana	0.3-0.4	0.2
Algo plana	1.0-2.0	0.15
Promedio	2.0-7.0	0.1
Fuerte	>7.0	0.06

2.7.3.3.3 Factor de cobertura vegetal (Kv)

Los valores propuestos para el cálculo de este factor (fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal), se presentan en el cuadro siguiente, estos valores dependen de los tipos de cobertura vegetal más comunes en la región centroamericana.

Cuadro 30. Coeficiente (Kv) según el tipo de cobertura vegetal.

Tipo de cobertura vegetal	Coeficiente (Kv)
Zacate o pasto (< 50%)	0.09
Terrenos cultivados	0.10
Con pastizales	0.18
Bosques	0.20
Zacate o pasto (>75%)	0.21

La suma de cada uno de los factores indica el valor de coeficiente de infiltración para el respectivo suelo, e indica la capacidad del mismo a permitir la infiltración dentro de él. Adicionalmente se considera la cantidad de agua de lluvia que retiene la vegetación a través de sus hojas y que se evapora sin llegar al suelo y por consiguiente no se infiltra.

2.7.3.3.4 Retención (Ret)

La precipitación media mensual se multiplica por un factor, el cual depende de la cobertura vegetal, siendo de 0.2 para bosques, 0.12 para cultivos en general y de 0.01 a 0.05 para caminos y áreas construidas. El factor de retención Ki se debe asignar de acuerdo al mapa de uso actual del suelo.

2.7.3.3.5 Infiltración pluvial mensual (Pef)

Para el cálculo de la precipitación que infiltra mensualmente, se utilizó la ecuación siguiente:

$$Pi = (Ci) * (P - Ret)$$

Donde Pi es la precipitación que infiltra mensualmente (mm); Ret el coeficiente de retención vegetal por el follaje; Ci el coeficiente de infiltración ($K_{fc} + K_p + K_v$) y P la precipitación mensual (mm) por dato meteorológico.

2.7.3.3.6 Escorrentía superficial (Esc)

La escorrentía mensual se calculó por la ecuación siguiente:

$$Esc = P - Ret - Pi$$

2.7.3.4 Balance hídrico de suelos

El balance hídrico de suelos toma en cuenta los siguientes factores: clima, geomorfología (geología, topografía y suelo) y la cobertura vegetal; lo que permite comprobar si el cálculo de recarga al acuífero que se ha efectuado está correcto, dado que integra todos los valores en los cuales se divide la precipitación que cae sobre un área determinada. El balance hídrico de suelos se define en la siguiente ecuación:

$$Pp = ETR + Esc + Ret + Rp$$

En donde Pp es la precipitación pluvial; ETR la evapotranspiración real; Esc la escorrentía superficial; Ret la retención (vegetal y de techos) y Rp la recarga potencial del acuífero.

2.7.3.5 Calculo de la recarga potencial del acuífero (Rp)

La recarga potencial del acuífero (Rp), se determina con la ecuación siguiente:

$$Rp = Hsi - Hsf - ETR$$

Donde Pi es la precipitación que infiltra, Hs es la humedad del suelo, i = inicial, f = final y ETR, evapotranspiración real.

2.7.4 CLASIFICACIÓN DE ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA NATURAL POTENCIAL

Luego de estimar la recarga hídrica potencial, en base al balance hídrico de suelos mensual, se procedió a comparar la lámina de recarga potencial encontrada por unidad de área, aplicando la metodología desarrollada por Herrera. Dicha clasificación se presenta en el cuadro siguiente:

Cuadro 31. Categorización de áreas de recarga hídrica en base al volumen de recarga.

Recarga hídrica	Volumen (m³/km²/año)
Muy alta	> 300,000
Alta	150,000 a 300,000
Media	50,000 a 150,000
Baja	< 50,000

2.7.5 DETERMINACIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS DE RECARGA

Después de haber determinado las áreas de recarga hídrica natural en cada unidad de mapeo, se identificaron aquellas áreas que por sus aportes en láminas de recarga potencial, constituyen áreas principales de recarga hídrica natural y que por sus características específicas, se consideran susceptibles a disminuir su potencial de recarga al ser sometidas a un manejo contrario a su capacidad.

Por lo tanto se utilizó la metodología de establecimiento de áreas críticas de recarga a acuíferos. Esta metodología se basa en los siguientes criterios:

Cuadro 32. Criterios de geología para la determinación de áreas críticas.

Geología	Código
Rocas ígneas o metamórficas no fracturadas	0
Rocas ígneas o metamórficas fracturadas	1
Arenas finas, basaltos permanentes, karst	2
Arenas gruesas y gravas	3

Cuadro 33. Criterios de infiltración básica para la determinación de áreas críticas.

Tasa de infiltración básica (cm/hr)	Código
<0.15	0
0.15 – 1.5	1
>1.5 – 15	2
> 15	3

Cuadro 34. Criterios de recarga anual para la determinación de áreas críticas.

Recarga anual (mm/año)	Código
0 – 50	0
50 – 100	1
100 – 150	2
150 - 200	3
> 200	4

Cuadro 35. Criterios de pendiente para la determinación de áreas críticas.

Pendiente (%)	Código
0 – 12	0
12 – 26	1
26 – 36	2
36 – 55	3
> 55	4

A cada unidad de mapeo se le asignó un valor de cada uno de los criterios anteriores, según las características específicas de cada una de las mismas. La sumatoria de todos los criterios permitió categorizar las áreas de recarga hídrica como lo indica el cuadro siguiente:

Cuadro 36. Criterios de susceptibilidad de áreas a ser consideradas áreas críticas.

Categoría	Código
Baja	0
Moderada	1
Alta	2
Muy alta	3

2.8 RESULTADOS

2.8.1 DATOS DE CLIMA

Las estaciones meteorológicas instaladas para la generación de datos de clima (precipitación pluvial, temperatura y humedad relativa), son las estaciones San José la Frontera y Mina Marlín. La estación San José la Frontera es tipo “C” y fue instalada para propósitos del presente estudio, las coordenadas GTM, en las que se ubicó la misma son: 361,754 norte y 1,679,369 este, a una altura de 2,886 metros sobre el nivel del mar. La estación Mina Marlín es tipo “A” y se encuentra instalada en las coordenadas GTM siguientes: 373,083 norte y 1,679,369 este, ubicada a 1,976 metros sobre el nivel del mar.

2.8.1.1 DATOS DE CLIMA DE LA ESTACIÓN SAN JOSÉ LA FRONTERA

La estación climática San José la Frontera representa el clima de la parte alta de la subcuenca del río Tzalá para el período comprendido entre el mes de octubre 2,009 y septiembre 2010, con registros de precipitación pluvial, temperatura y humedad relativa (ver anexos).

La precipitación anual reportada por esta estación es de 1,764mm. Los meses más lluviosos son: mayo (335mm), agosto (355mm) y septiembre (296mm). Mientras que los meses más secos son: diciembre (62mm), enero (6mm), febrero (3mm) y marzo (13mm).

La temperatura promedio para la zona es de 15.7°C. El mes más frío según los datos analizados es enero (12.7°C) y el más caluroso es julio (17.5°C). Los valores de humedad relativa media mensuales para la zona de acuerdo al periodo octubre 2009 – septiembre 2010 es de 73.5%. El mes con humedad relativa más alta es septiembre (87.6%).

La evapotranspiración potencial (ETP) se calculó con los parámetros de temperatura y humedad relativa, estimando valores de ETP entre 91.8 a 143.8 mm/mes. El valor total anual es de 1,432.4 mm, como se indica en el cuadro siguiente:

Cuadro 37. Datos de clima de la estación San José la Frontera.

Año	2009			2010									
Mes	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
PP (mm)	147.4	103.1	61.7	5.6	2.9	12.6	113.5	334.5	184.8	146.7	355.1	296.3	1764.2
Tem (°C)	14.2	13.7	13.7	12.7	14.2	16.9	17.2	17.0	16.7	17.5	17.4	16.9	15.7
HR (%)	87.0	78.8	72.5	68.3	67.4	56.1	65.5	69.7	74.7	75.4	79.3	87.6	73.5
ETP (mm/mes)	94.8	91.8	95.4	98.7	103.4	146.9	143.8	145.2	133.0	139.7	132.7	107.0	1432.4

2.8.1.2 DATOS DE CLIMA DE LA ESTACIÓN MINA MARLÍN

La estación climática Mina Marlín representa el clima de la parte baja de la subcuenca del río Tzalá para el período comprendido entre el mes de octubre 2,009 y septiembre 2010, con registros de precipitación pluvial, temperatura y humedad relativa (ver anexos).

La precipitación anual reportada por esta estación es de 1,676mm. Los meses más lluviosos son: mayo (318mm), agosto (345mm) y septiembre (321mm). Mientras que los meses más secos son: enero (3mm), febrero (0mm) y marzo (4mm).

La temperatura promedio para la zona es de 16.8°C. El mes más frío según los datos analizados es enero (15.4°C) y el más caluroso es julio (19.0°C). Los valores de humedad relativa media mensuales para la zona de acuerdo al periodo octubre 2009 – septiembre 2010 es de 71.3%. El mes con humedad relativa más alta es septiembre (84.6%).

La evapotranspiración potencial (ETP) se calculó con los parámetros de temperatura y humedad relativa, estimando valores de ETP entre 91.8 a 143.8 mm/mes. El valor total anual es de 1,511 mm, como se indica en el cuadro siguiente:

Cuadro 38. Datos de clima de la estación Mina Marlín.

Mina Marlín													
Año	2009			2010									
Mes	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
PP (mm)	113.3	93.8	66.8	3.3	0.0	4.3	61.3	318.9	195.1	152.7	345.6	321.3	1676.4
Tmed (°C)	18.4	15.8	15.7	15.4	17.5	19.0	18.5	17.7	15.6	15.9	16.2	15.8	16.8
HR (%)	75.8	75.3	72.5	63.1	65.9	59.8	64.1	65.9	73.3	73.9	81.1	84.6	71.3
ETP (mm/mes)	125.5	102.0	101.3	111.4	115.3	152.5	150.5	152.4	130.5	135.2	125.2	109.5	1511.3

2.8.2 GEOLOGÍA

El área de estudio, se encuentra dentro de las montañas volcánicas altas de occidente, su origen se debe a la actividad volcánica del Terciario Superior (Plioceno), con elevaciones de hasta 3000 msnm.

Los materiales geológicos constituyentes, son rocas volcánicas terciarias y cuaternarias principalmente lavas, brechas, conglomerados, cenizas volcánicas, coladas de lava, lapilli, andesitas, basaltos, materias piroplásticas y sedimentos aluviales.

En la subcuenca predomina en un 100%, las rocas volcánicas sin dividir que incluye tobas, coladas de lava, material lahárico y sedimentos volcánicos.

2.8.3 USO ACTUAL DEL SUELO

El uso actual del suelo (cuadro siguiente) en la subcuenca está compuesto por los siguientes usos: bosque en donde las principales especies son: pinos (*Pinus pseudostrobus* y *Pinus montezumae*), encinos (*Quercus* sp.), madron (*Arbustus xalapensis*), aliso (*Alnus* sp.), ciprés (*Cupressus lusitánica*); cultivos anuales de los cuales predominan los granos básicos (principalmente el maíz y frijol asociados con algunas hortalizas como güicoy, ayote y/o chilacayote). De estos predomina el bosque natural con 41.35km² (63.32% del total del área) y le siguen los cultivos anuales con 23.95km² (36.68%), ver figura 12.

Cuadro 39. Áreas de uso actual del suelo, en la subcuenca del río Tzalá.

Uso actual	Área (Km2)	Área (%)
Bosque natural	41.35	63.32
Cultivos anuales	23.95	36.68
TOTAL	65.3	100

Cabe mencionar que dentro del uso bosque se tomó en cuenta a los arbustos y matorrales.

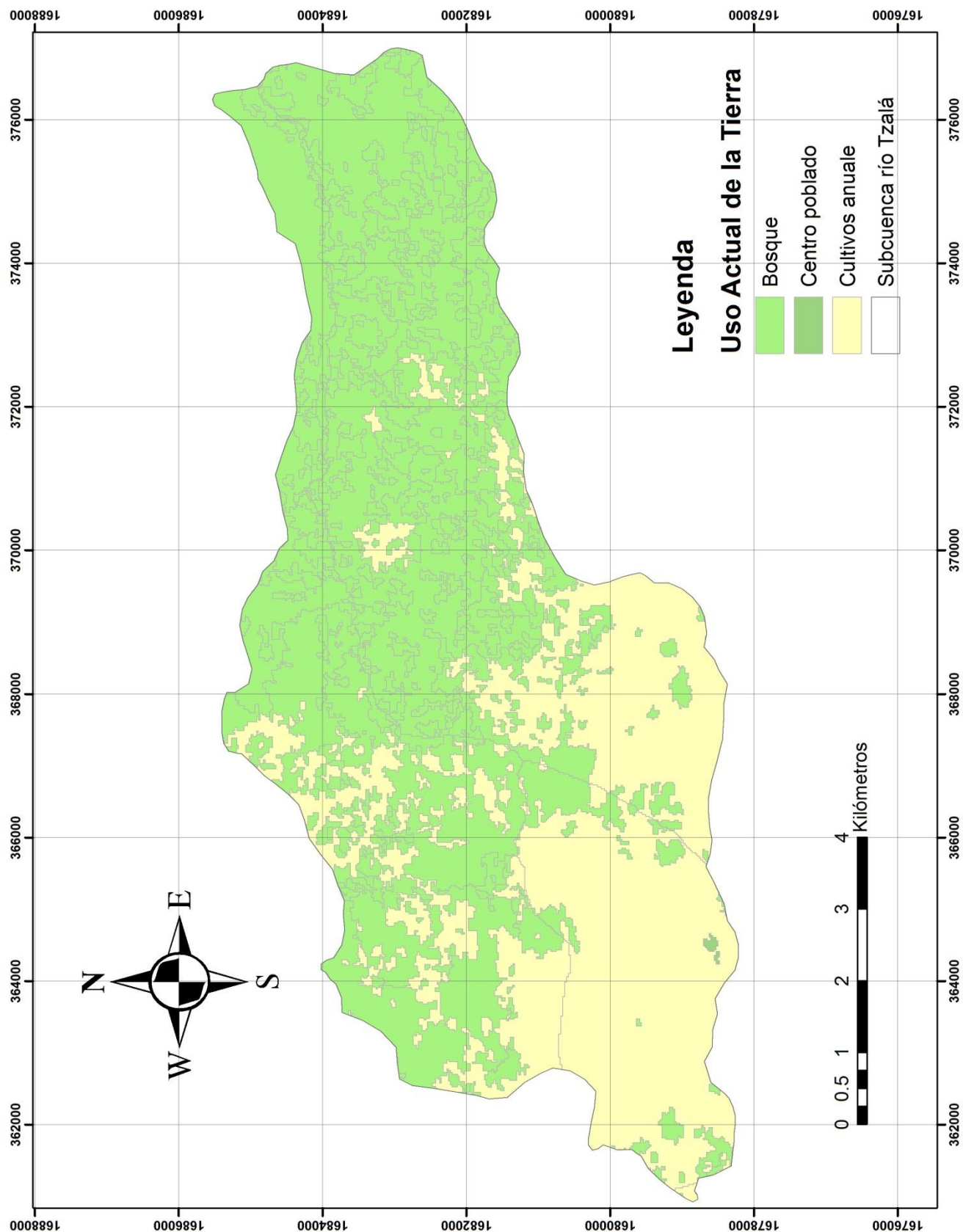


Figura 26. Mapa de uso actual del suelo.

2.8.4 INFILTRACIÓN Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO

Se logró determinar que la subcuenca tiene un alto grado de infiltración, ya que la velocidad de infiltración del agua en los suelos presentes en la subcuenca varía de 126.14 a 415.99 mm/día para los suelos franco arcillo arenosos como se observa en el cuadro siguiente.

Cuadro 40. Características de las diferentes unidades de mapeo y velocidad de infiltración.

Geología	Taxonomía de suelos	Lugar	Uso del suelo	Prof. Raíces (cm)	Infiltración	
					(cm/hr)	(mm/día)
(Tv) Rocas igneas y metamórficas. Mioplioceno, incluye tobas, coladas de lava, material labarico y	Orthens	Cabajchum	Bosque	200	1.16	278.95
		Cabajchum	Papa	40	1.73	415.99
	Udans	Nueva Victoria	Bosque	200	0.86	206.57
		San Jose la Frontera	Milpa	40	0.84	201.91
	Ustands	Cancil	Bosque	200	1.50	360.82
		Cancil	Milpa	40	0.53	126.14

La profundidad radicular varía según el uso del suelo en la unidad de mapeo muestreada. Las profundidades varían de 0.4 metros para áreas con maíz y papa, hasta 2 metros aproximadamente en las áreas donde existe bosque.

Cuadro 41. Características físicas de suelos en la sub-cuenca.

ID	X	Y	Z	Lugar	Textura	Densidad	% Humedad		Arcilla	Limo	Arena
						(gr/cc)	1/3 atm	15 atm	%	%	%
1	364219	1681707	2716	Cabajchum	Franco arcillo arenoso	1.08	33.25	22.48	20.85	16.64	62.51
2	364359	1682075	2514	Cabajchum	Franco arcillo arenoso	1.02	36.25	26.87	26.75	15.69	57.56
3	371125	1682619	2297	Nueva Victoria	Franco arcilloso	0.97	34.92	22.36	34.85	23.57	41.58
4	361799	1679610	2895	San Jose la Frontera	Franco	0.78	28.47	19.72	26.52	34.29	39.19
5	369492	1681392	2490	Cancil	Arcilloso	1.03	35.24	28.63	45.83	18.26	35.92
6	368465	1682035	2383	Cancil	Franco arcillo arenoso	1.28	39.61	28.32	28.62	19.53	51.85

La densidad de los suelos varía de 0.78 g/cc a 1.28 g/cc, observándose principalmente texturas francas, que varían de franco arenosas a franco arcillosas. Las texturas arcillosas se encuentran principalmente en las unidades de mapeo 5, y 6.

La granulometría muestra que en su mayor parte los suelos tienen más arcillas y arenas. Además, los suelos en su mayoría presentan más arenas que arcillas, exceptuando la muestra tomada en la unidad de mapeo 5.

2.8.5 ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA

Al llevar a cabo la transposición de los mapas de geología, taxonomía de suelos y uso actual de la tierra, se determinaron 6 unidades de mapeo o recarga hídrica (figura 14). El principal aporte a la recarga hídrica natural es la precipitación pluvial, por lo tanto a cada unidad de mapeo se le asignaron los datos climáticos de la estación meteorológica que la influenciaba según el método de los polígonos de Thiessen.

Por esto, se tomaron los datos de la estación meteorológica San José la Frontera para las unidades de recarga de la parte alta de la subcuenca que son: 1) Orthens-Bosque, 2) Orthens-Anuales, 4) Udans-Bosque y 6) Ustands-Anuales y para las unidades de la parte baja de la subcuenca que son: 3) Udans-Bosque y 5) Ustands-Anuales los datos de la estación Mina Marlín.

Con los datos obtenidos se determinó la recarga hídrica en cada unidad de mapeo (cuadro siguiente) y se determinó que en la subcuenca el volumen de total de recarga hídrica es de 1.954×10^6 millones de metros cúbicos.

Cuadro 42. Calculo del volumen de recarga hídrica.

Geología	Suborden	Uso actual	Área (km2)	Área (%)	Lamina recarga	Lamina recarga	Volumen	Rec Esp.
					(mm)	(m)	(m3)	(m3/km2)
(Tv) Rocas ígneas y metamórficas. Mioplioceno, incluye tobas, coladas de lava, material labarico y sedimentos volcanicos.	Orthents	Bosque	5.90	9.04	284.20	0.28	1,676,552.64	284,200.00
		Anuales	4.05	6.21	531.96	0.53	2,156,033.88	531,960.00
	Udands	Bosque	16.50	25.27	212.16	0.21	3,499,706.50	212,160.00
		Anuales	13.06	20.01	426.20	0.43	5,566,939.16	426,200.00
	Ustands	Bosque	18.96	29.04	314.79	0.31	5,967,804.38	314,787.50
		Anuales	6.81	10.43	185.22	0.19	1,261,144.46	185,220.00
TOTAL			65.28	100.00			20,128,181.02	

La categorización de áreas de recarga hídrica (ver cuadro 10), metodología desarrollada por Herrera (mencionado por Herrera, 2009), indica que las áreas de recarga hídrica 1, 3, y 6 son de clasificación alta ya que recargan volúmenes entre los $150,000 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{año}$ a los $300,000 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{año}$, mientras que las unidades 2, 4, y 5, son de clasificación muy alta ya que recargan volúmenes mayores de los $300,000 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{año}$ (Ver figura 15).

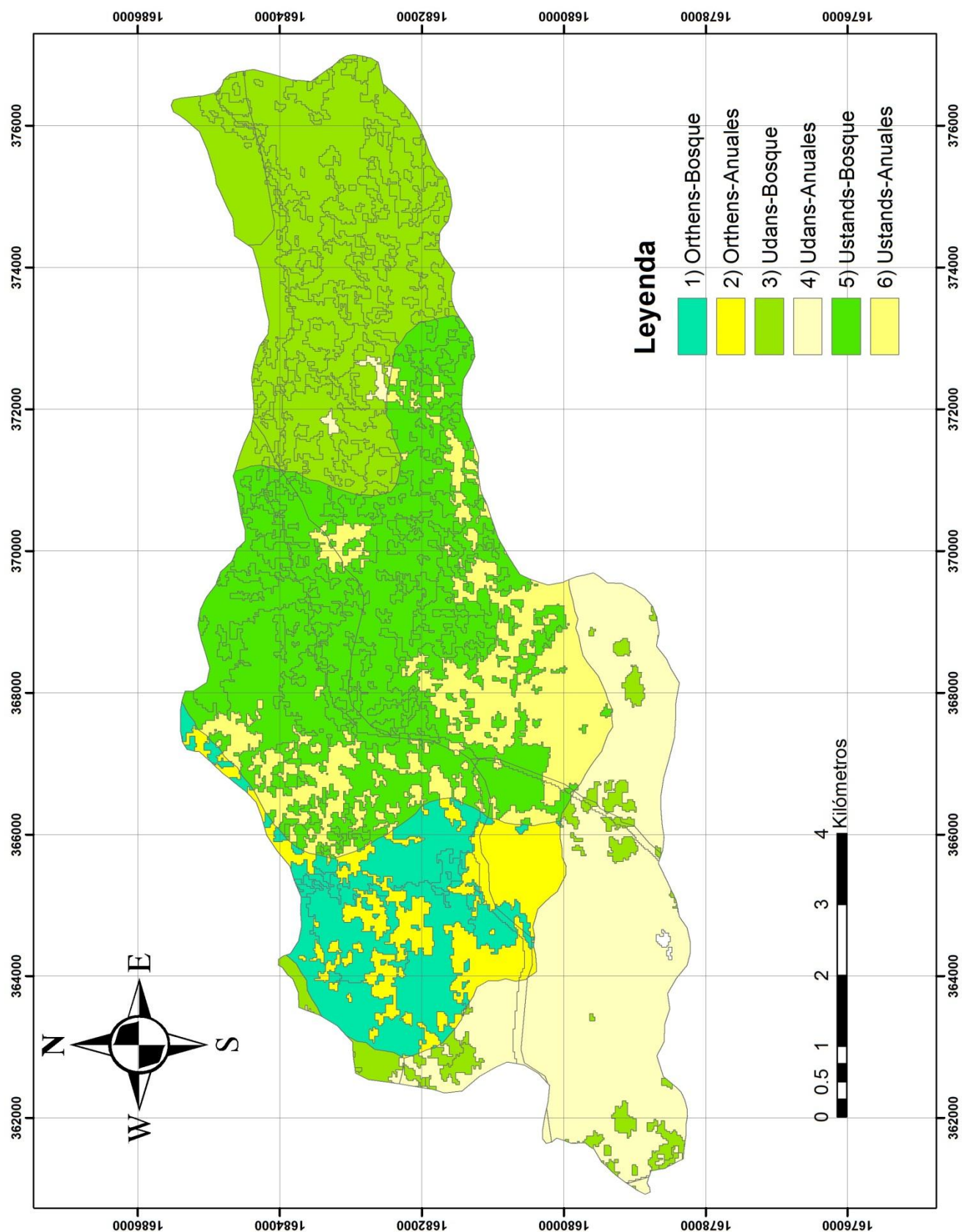


Figura 27. Mapa de unidades de recarga hídrica.

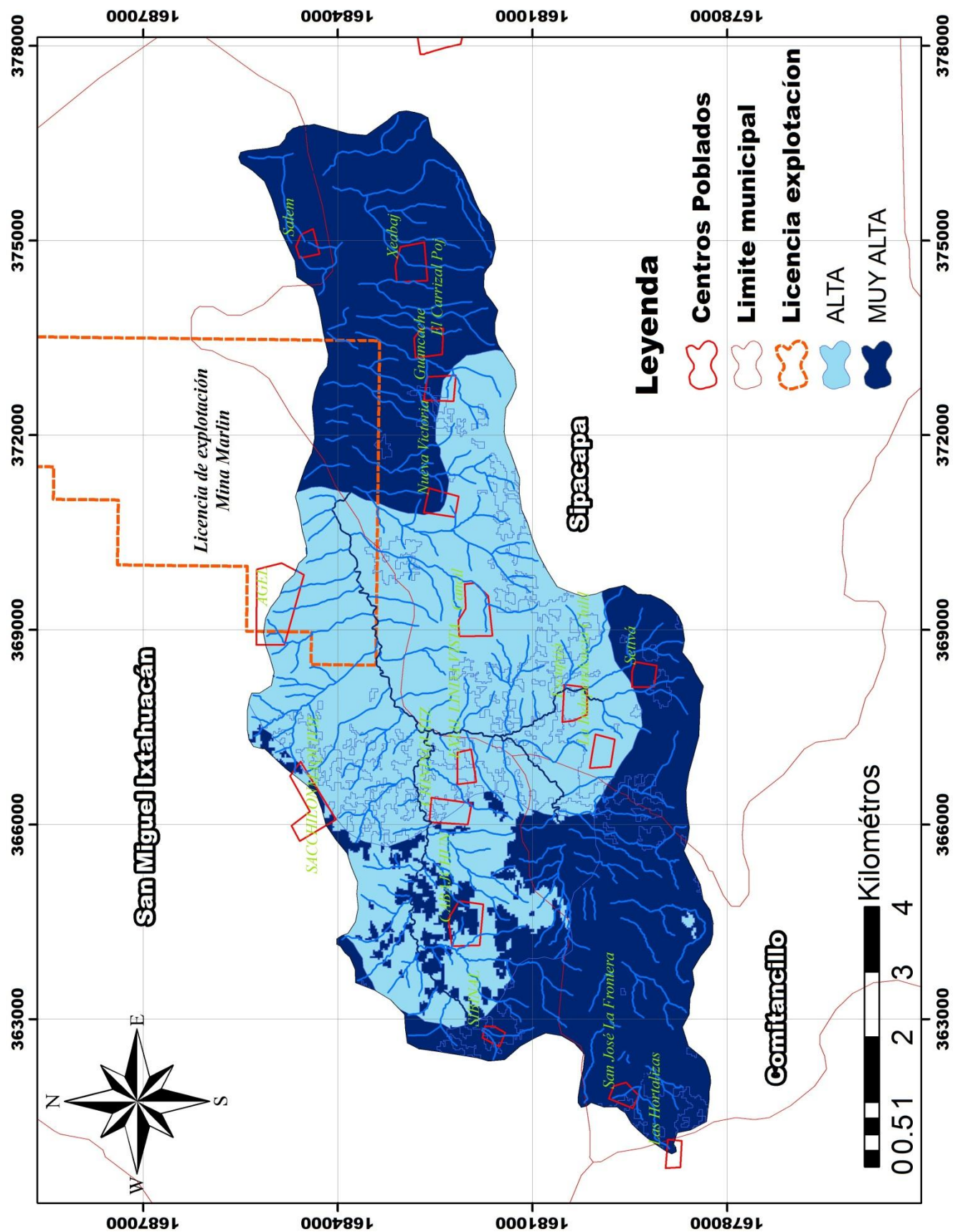


Figura 28. Mapa de áreas de recarga hídrica.

2.8.6 ÁREAS CRÍTICAS DE RECARGA HÍDRICA

Al someter las características de cada una de las áreas de recarga hídrica de la sub-cuenca, a la evaluación para determinar la susceptibilidad de las mismas a reducir su potencial de recarga al ser sometidas a un manejo contrario a su capacidad por medio de la metodología de establecimiento de áreas críticas de recarga a acuíferos (INAB, 2003B), se determinó, que todas las unidades de recarga hídrica son altamente susceptibles, (ver cuadro siguiente).

Cuadro 43. Criterios de susceptibilidad de áreas a ser consideradas áreas críticas.

Geología	Suborden	Uso actual	Geología	Infiltración Básica	Recarga anual	Pendiente (%)	TOTAL	Susceptibilidad
(Tv) Rocas ígneas y metamórficas. Mioceno, incluye tobas, coladas de lava, material labarico y sedimentos volcánicos.	Orthents	Bosque	0	4	4	4	12	ALTA
		Anuales	0	4	4	4	12	ALTA
	Udands	Bosque	0	4	4	4	12	ALTA
		Anuales	0	4	4	2	10	ALTA
	Ustands	Bosque	0	4	4	4	12	ALTA
		Anuales	0	3	4	4	11	ALTA

2.8.7 ZONIFICACIÓN Y LINEAMIENTOS DE MANEJO

La zonificación que se recomienda para la subcuenca del río Tzalá identifica los espacios físicos con características morfológicas considerablemente homogéneas. Para su determinación, se ha considerado la capacidad de uso de la tierra, taxonomía de suelos, geología y pendientes.

Las diferentes zonas orientan el diseño y la aplicación de recomendaciones de manejo de manera que las actividades que se realicen en cada zona, sean compatibles con la capacidad productiva de la tierra en términos generales.

Se identificaron cuatro zonas de manejo que intentan responder a distintas necesidades, características y condiciones especiales del área de la subcuenca, considerando como aspectos centrales la conservación y captación del agua de lluvia, además el mejoramiento y desarrollo de la calidad de vida de la población.

2.8.7.1 ZONA DE APROVECHAMIENTO

Estas zonas comprenden en su mayoría la parte alta de la subcuenca y tiene una extensión de 4.88km². En estas zonas se recomienda realizar actividades que le brinden beneficios económicos a la población, sin restricción alguna ya que en estas zonas no existen limitaciones de pendiente, profundidad, pedregocidad o drenaje.

Entre las actividades que se pueden realizar en estas zonas se encuentran por ejemplo: siembra de maíz, frijol, papa, cultivos no tradicionales de exportación, además el aprovechamiento de madera o leña, entre otros.

2.8.7.2 ZONA DE CONSERVACIÓN

Estas zonas abarcan un total de 12.32km²; representan zonas con moderadas limitaciones de pendiente, profundidad, pedregocidad y/o drenaje. En estas zonas se recomienda realizar una agricultura con prácticas de conservación de suelos o la implementación de sistemas agroforestales con cultivos anuales, además de la conservación de la vegetación natural. En estas zonas es permitido el uso de arbustos para la recolecta de leña, plantas medicinales, hongos comestibles, flores, o hierbas.

Dentro de las prácticas o sistemas que se recomiendan llevar a cabo en estas zonas son: cultivos en callejones, barreras vivas, arboles de sombra, cercas vivas, linderos, cortinas rompevientos y el sistema Taungya que permite la siembra de cultivos durante la fase de establecimiento de plantaciones forestales, frutales o cultivos permanentes como por ejemplo el café.

Además, se puede llevar a cabo una adecuada implementación de matorrales para mantener el suelo con vegetación todo el tiempo, esto con el fin de producir siempre leña de plantas arbustivas a lo largo del año y en especial en la época seca.

En áreas con poca densidad de plantas de maíz y frutales, se recomienda aumentar la densidad de las mismas, para tener mayor cobertura vegetal y el suelo pueda tener mayor protección a la erosión.

2.8.7.3 ZONA DE PRESERVACIÓN O PROTECCIÓN

Estas áreas ocupan 25.80km² y se caracterizan por ser terrenos con pendientes escarpadas y con limitaciones de pedregosidad o profundidad. En estas zonas se recomienda la implementación de un manejo forestal sostenible, tanto de los bosques naturales, como de plantaciones con fines de aprovechamiento, en lugares en donde la pendiente lo permita ya que la reducción de la cobertura forestal en las mismas tendería a aumentar la probabilidad de erosión hídrica, así como de derrumbes o deslizamientos.

Estas tierras son marginales para uso agrícola o pecuario, apropiado también para actividades forestales de protección o conservación ambiental. El objetivo principal es preservar el ambiente natural, conservar la biodiversidad, así como fuentes de agua.

En estas áreas se puede realizar una propuesta para la incorporación de las mismas al Programa de Incentivos Forestales del INAB (PINFOR), para que mediante la modalidad de Áreas de Protección y Conservación, el propietario de estas tenga una entrada económica extra con el bosque mediante la conservación y contribuir al manejo adecuado de estas zonas, para conservar el suelo, manteniendo la cobertura forestal y propiciando la infiltración del agua de lluvia, que es vital para la recarga hídrica.

2.8.7.4 ZONA DE PROTECCIÓN (RECARGA HÍDRICA)

Estas zonas ocupan 22.22km² y es en estas donde se concentran las áreas de recarga hídrica media, lo que hace necesario su mejor manejo para mantener dicho proceso. El objetivo principal es preservar el ambiente natural, conservar la biodiversidad; así como, fuentes de agua y mantener la infiltración de agua de lluvia para coadyuvar el proceso de recarga hídrica.

En esta zona se recomienda la reforestación y adecuado manejo de la cobertura forestal así como la inclusión al PINFOR como mediante la modalidad de “Áreas de Protección y Conservación” o como “Áreas de Captación Hídrica”. Las actividades que se realicen en esta zona deberán ser estrictamente controladas, para producir el más bajo nivel de contaminación del agua.

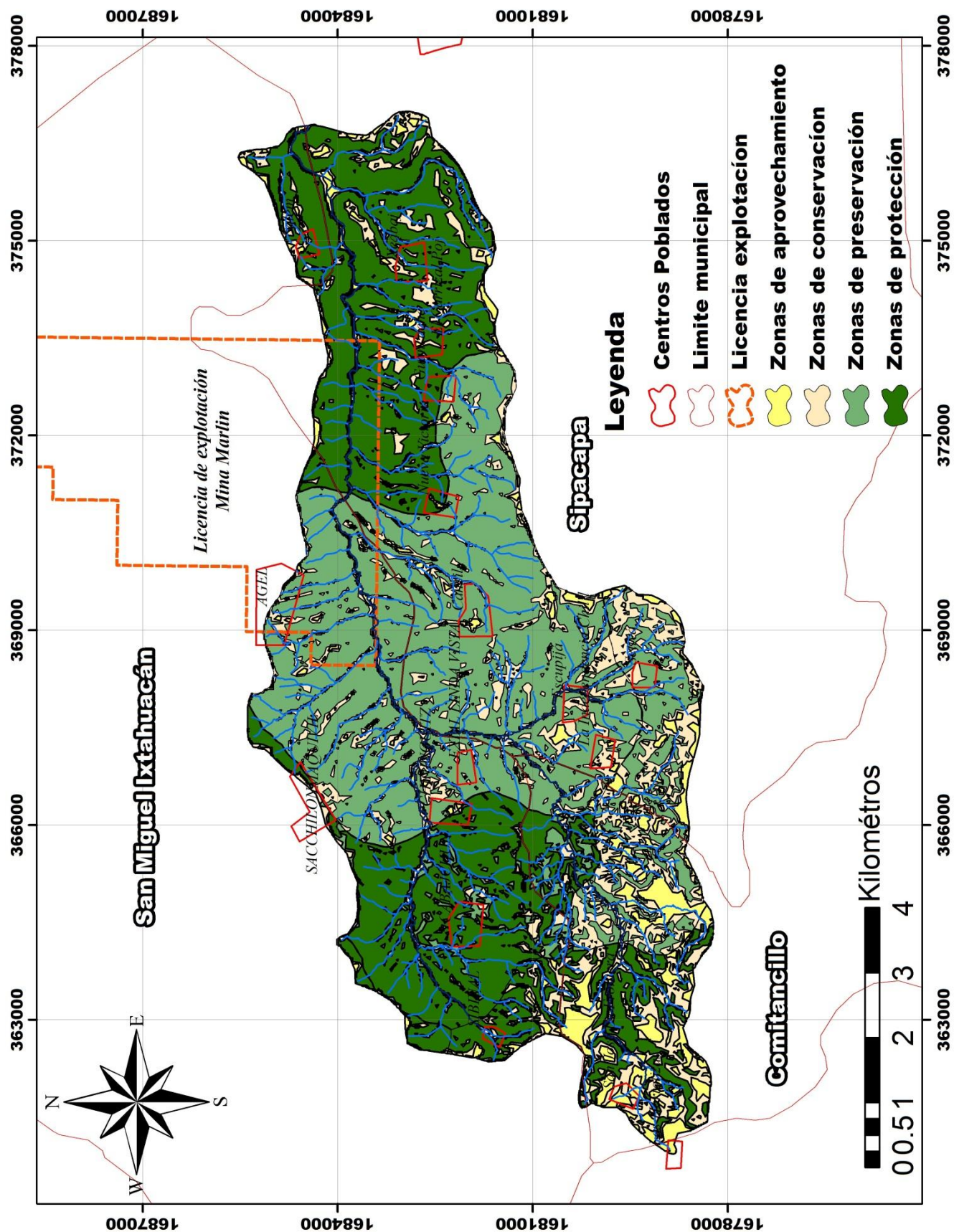


Figura 29. Mapa de zonificación.

Los esfuerzos en el manejo de la sub-cuenca deben ir orientados a mantener la cobertura vegetal existente, a la restauración de la misma en lugares deforestados y a la protección y conservación de suelos. El uso eficiente de sistemas de manejo de desechos sólidos y aguas servidas es vital para evitar la contaminación del manto freático.

Ya que la mayoría de las prácticas que han generado amplio impacto en otras cuencas han sido aquellas impulsadas por el mercado (ya que los agricultores obtienen dinero o reciben algún beneficio tangible a corto plazo) es importante orientar el manejo de la sub-cuenca en este sentido.

Por ejemplo, algunos cultivos y prácticas que han tenido éxito en anteriores planes de manejo de cuencas son por mencionar algunos:

- Cultivo de café: ya que el café de sombra es amigable con el ambiente y con las cuencas hidrográficas, siempre y cuando su manejo sea bajo la visión de la agricultura orgánica.
- Cultivo de árboles de uso múltiple y de rápido crecimiento: ya que la leña es un subproducto comercial.
- Árboles frutales: los agricultores están más interesados en variedades mejoradas para su comercialización y se debe aprovechar el potencial del área para el cultivo de frutales deciduos, aguacate, entre otros.
- Cultivos no tradicionales para la exportación: estos cultivos aunque no proveen buena cobertura de cuenca, requieren de trabajo muy intensivo, por lo que tienden a mantener a los agricultores fuera de áreas marginales.
- Pasto de corte: ya proveen forraje de buena calidad para la temporada seca.
- Cercas vivas y barreras rompevientos: ya que proveen una alternativa barata para el remplazo de postes normales que deben ser cortados de los bosques, ofrecen productos maderables renovables, leña, forraje y sombra.
- Manejo de bosques para madera y otros productos: hay ejemplos de comunidades que manejan grandes bloques de bosque para madera y otros productos forestales.
- Manejo de áreas protegidas legalmente declaradas: Ha tenido éxito ocasional en casos de grupos de campesinos.

- Leguminosas para abono verde: ha tenido amplia aceptación en algunas regiones.
- Siembra en contorno: ha sido aceptado en toda Centro América, ya que los agricultores ven los beneficios de la retención del agua y el control de la erosión del suelo.

Algunos cultivos y prácticas que no han tenido éxito:

- Plantación de árboles maderables de larga rotación: ya que los campesinos no pueden esperar tanto tiempo para obtener ingresos.
- Terrazas, zanjas en laderas, muros de piedra: ya que requieren demasiado trabajo.
- Barreras de contorno: los agricultores las construirán cuando se sientan presionados por otros extensionistas, pero raramente será imitado por otros agricultores.
- Hortalizas para mercado local: no vincular a los agricultores a mercados ha sido la principal falla.
- Ecoturismo: Las ONGs tienden a aumentar las expectativas que rara vez alcanzan. Solo han sido exitosas en casos especiales, en donde es más probable que las atracciones se vendan por si solas y/o empresarios privados proveen su propio financiamiento.
- Plantaciones para leña: debido al bajo precio de la leña, las plantaciones para este propósito son rara vez justificables en términos financieros. Además la leña es un subproducto comercial de plantaciones establecidas para otros productos más lucrativos.

2.9 CONCLUSIONES

- La precipitación en la parte alta de la sub-cuenca, para el periodo comprendido entre octubre del 2009 y septiembre del año 2010 es de 1,764.2 mm anuales, con una temperatura media anual de 15.7°C, la humedad relativa es de 73.5% y la ETP calculada por el método de Hargreaves es de 1,432.4 mm anuales.
- Para la parte baja de la sub-cuenca, se determinó para el mismo período; una precipitación anual de 1,676.4 mm, una temperatura media anual de 16.8°C, la humedad relativa media anual de 71.3% y una ETP de 1,511.3 mm anuales.
- Seis unidades de mapeo fueron identificadas al transponer los mapas de uso actual de la tierra, geología y taxonomía de suelos; en las mismas, se determinó un rango de infiltración básica que oscila entre los 126.14 mm/día y los 415 mm/día.
- Según la metodología desarrollada por Schosinsky y Losilla, se estableció un volumen anual de precipitación (principal entrada del ciclo hidrológico) de 112,048,310.50 m³/año, mientras que para las salidas como lo son la ETR, la escorrentía superficial, la retención vegetal y la recarga hídrica un total de 112,040,481.58 m³/año.
- Las 6 unidades de mapeo identificadas son: 1) Orthens-Bosque, 2) Orthens-Anuales, 3) Udans-Bosque, 4) Udans-Anuales, 5) Ustands-Bosque y 6) Ustands-Anuales, en las que se determinó, una recarga hídrica potencial de 284,201.67 m³/km²; 531,964.69 m³/km²; 212,160.43 m³/km²; 426,191.95 m³/km²; 314,785.71 m³/km² y 185,215.18 m³/km², por año respectivamente, categorizándose las unidades 1, 3 y 6 como áreas de recarga ALTA; mientras que las unidades 2, 4 y 5 como áreas de recarga MUY ALTA.
- La recarga potencial total, se calculó en 20,128,044.90 m³ anuales.
- Según, los criterios para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural por medio de la metodología presentada por el INAB (2,003), se concluye que las 6 zonas, son susceptibles de disminuir su potencial de recarga hídrica al ser sometidas a un manejo contrario a su capacidad, por lo que las 6 zonas son declaradas áreas críticas.

- Se determinaron 4 zonas que orientaran el manejo o zonas de uso territorial y se dieron los lineamientos de manejo de las mismas. Estas fueron definidas basándose en la capacidad de uso de la tierra, geología, taxonomía de suelos, pendientes, para que las mismas sean aprovechadas según la vocación productiva de las mismas. Las zonas definidas son: a) zona de aprovechamiento (4.88 km²), b) zona de conservación (12.32 km²), c) zona de preservación o protección (25.79 km²) y d) zona de protección (22.22 km²).

2.10 RECOMENDACIONES

- Se recomienda, la realización del plan de manejo integrado de la cuenca enfocándose en el concepto de cogestión, entendiéndose el mismo como la gestión conjunta, compartida y colaborativa, donde diferentes actores locales como productores, grupos organizados, gobiernos locales, empresa privada, ONGs, instituciones nacionales, organismos donantes y cooperantes integren esfuerzos, recursos, experiencias y conocimientos para desarrollar procesos dirigidos a lograr impactos favorables y sostenibilidad en el manejo de los recursos naturales y el ambiente en la subcuenca del río Tzalá.
- Es importante, determinar u obtener los parámetros hidrogeológicos del acuífero por medio de pruebas de bombeo para conocer la productividad y el tipo de acuífero en la subcuenca.
- Las áreas de recarga hídrica identificadas en el presente estudio, deben ser manejadas de acuerdo a la capacidad de uso de las mismas, por lo que se recomienda orientar el uso de las mismas siguiendo los lineamientos y la zonificación dada para la sub-cuenca y que se presenta en el inciso 2.8.7 del presente documento, con el fin, de garantizar el suministro de servicios ambientales básicos proporcionados por la sub-cuenca y disminuir el riesgo de dichas áreas a reducir su potencial de recarga hídrica al ser sometidas a un manejo contrario al de su capacidad.

2.11 BIBLIOGRAFÍA

- 1) Avalos Cambranes, OA. 2008. Determinación de las áreas principales de recarga hídrica natural de la subcuenca del río Belejeyá del municipio de Granados, Baja Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 151 p.
- 2) Barreno Rosales, VP. 2009. Identificación de áreas de recarga hídrica natural en la subcuenca del río Quiscab, cuenca del lago de Atitlán. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 302 p.
- 3) Chow, VT; Maidment, DR; Mays, LW. 1994. Hidrología aplicada. Bogotá, Colombia, McGraw-Hill. 585 p.
- 4) Espinoza, C. 2004. Hidráulica de aguas subterráneas y su aprovechamiento: existencia y origen de las aguas subterráneas (en línea). Chile, Universidad de Chile. 18 p. Consultado 19 set 2009. Disponible en: <http://www.cec.uchile.cl/~ci51j/txt/Apuntes/Tema01.pdf>
- 5) Faustino, J; Jiménez, F; Velásquez, S; Alpizar, F; Prins, C. 2006. Gestión integral de cuencas hidrográficas. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 400 p.
- 6) García Benítez, S. 2006. Estudio de los recursos naturales renovables e identificación de las áreas de recarga hídrica en la microcuenca del río Tzulbá, Joyabaj, El Quiché. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 335 p.
- 7) Herrera Ibáñez, IR. 1995. Manual de hidrología. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 223 p.
- 8) _____. 1998. Reconocimiento hidrogeológico de la cuenca del río Itzapa, departamento de Chimaltenango, Guatemala. Tesis MSc. Costa Rica, Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela Centroamericana de Geología. 104 p.
- 9) _____. 2002. Hidrogeología práctica. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 345 p.
- 10) _____. 2009. Determinación de las áreas principales de recarga hídrica y propuesta de aprovechamiento sostenible del agua subterránea, superficial y de lluvia en la subcuenca de los ríos Pansiguis y Cushapa, departamento de Jalapa, Guatemala. CONCYT. Guatemala, Gt. 165 p.
- 11) INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2003a. Clasificación de tierras por capacidad de uso. Guatemala. 96 p.

- 12) _____. 2003b. Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía / Instituto Nacional de Bosques. 106 p.
- 13) Maldonado Ramos, BR. 2004. Determinación de la recarga hídrica y propuesta de lineamientos de protección de los recursos naturales, aldea Chojzunil, Santa Eulalia, Huehuetenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 109 p.
- 14) Mánzo Barrientos, DE. 2008. Reconocimiento hidrogeológico para la determinación de zonas de recarga hídrica en la subcuenca del río Pínula, jurisdicción de Santa Catarina Pínula, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 138 p.
- 15) Montana Exploradora de Guatemala, GT. 2003. Estudio de evaluación de impacto ambiental y social: proyecto minero "Marlín". Municipio de San Miguel Ixtahuacán, departamento de San Marcos, Guatemala. 539 p.
- 16) Noriega Arriaga, JP. 2005. Determinación de las áreas principales de recarga hídrica natural en la microcuenca del río Sibacá, Chiniche, Quiché. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 83 p.
- 17) Pérez, A. 2004. Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integral del recurso hídrico. México, PNUMA. 111 p. (Serie Manuales de Educación y Capacitación Ambiental).
- 18) Rosssiter G, D. 2004. Metodologías para el levantamiento del recurso suelo. Trad. por R. Vargas Rojas. 2 ed. Cochabamba, Bolivia, Universidad Mayor de San Simón. 145 p.
- 19) Sandoval Illescas, JE. 2007. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC. 365 p.
- 20) Simmons, CS.; Tarano, JM.; Pinto, JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Guatemala, GT. José Pineda Ibarra. 1000 p.
- 21) Tschinkel, H. 2001. ¿Qué realmente funciona en manejo de cuencas hidrográficas?: algunas lecciones para Guatemala. US, USAID. 22 p.
- 22) UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, GT). 2009. Guía para la elaboración de planes de manejo de micro-cuencas. San Marcos, Guatemala. 68 p.
- 23) Vega Isuhuaylas, DA. 2008. Plan de ordenamiento territorial participativo para la microcuenca del río Seses miles, Honduras. Tesis de Maestría en Manejo Integrado de

Cuencas Hidrográficas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Costa Rica. 248 p.

- 24) WV (World Vision, SV). 2004. Manual de manejo de cuencas. San Salvador, El Salvador. 154 p.

2.12 ANEXOS

A. DATOS DE CLIMA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO TZALÁ

A1. Precipitación pluvial diaria (en mm) para el periodo octubre 2009 a septiembre 2010, Estación Mina Marlín.

Estación MINA MARLIN													
DÍA	2009			2010									ANUAL
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	
1	17	2	0	0	0	0	0	14	1	2	0	0	3
2	0	36	0	0	0	0	0	0	11	8	0	0	5
3	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	0	0	1
4	0	7	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	1
5	0	41	0	0	0	0	2	0	0	25	0	12	7
6	0	6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	37	4
7	0	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	7	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	29	3
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	21	4	0	2
10	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
11	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	2
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	1
13	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	44	10	5
14	0	0	0	0	0	0	1	4	19	0	15	24	5
15	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	6	60	6
16	1	0	0	0	0	0	0	22	0	0	55	19	8
17	0	0	0	0	0	0	1	35	42	0	51	0	11
18	13	0	0	0	0	4	0	1	2	0	6	0	2
19	0	0	3	0	0	0	0	5	3	0	2	0	1
20	0	0	60	0	0	0	0	0	6	13	17	13	9
21	0	0	4	0	0	0	0	13	2	0	0	6	2
22	1	0	0	0	0	0	6	4	8	16	25	34	8
23	4	0	0	0	0	0	0	9	4	0	15	26	5
24	3	0	0	0	0	0	0	8	7	0	35	0	4
25	0	0	0	0	0	0	0	4	0	5	38	3	4
26	0	0	0	0	0	0	0	44	24	2	0	6	6
27	8	0	0	0	0	0	0	16	41	0	2	0	6
28	0	0	0	0	0	0	0	81	3	35	29	0	12
29	47	0	0	0		0	31	61	1	0	0	0	12
30	7	0	0	3		0	14	0	10	9	2	0	4
31	2		0	1		0		0		7	0		1
TOTAL	113	94	67	3	0	4	61	319	195	153	346	321	1676

A2. Temperatura media diaria y promedio mensual (en °C) para el periodo octubre 2009 a septiembre 2010, Estación Mina Marín.

	Estación MINA MARLIN											
	2009			2010								
DÍA	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
1	19.1	16.5	17.2	16.6	17.1	18.4	19.9	16.8	14.2	15.2	14.5	16.7
2	20.1	15.0	16.6	16.0	17.8	16.9	20.8	17.8	13.8	15.7	16.7	16.8
3	20.0	16.0	17.0	16.1	18.8	17.8	19.8	17.9	14.8	15.3	16.7	16.4
4	20.4	16.6	16.9	15.5	18.0	18.1	18.9	15.5	14.7	15.8	16.1	15.7
5	19.3	13.8	15.7	13.6	17.4	18.2	18.0	16.8	15.2	15.4	15.3	15.4
6	19.3	13.7	17.4	14.3	17.5	17.9	19.8	17.6	15.5	15.7	16.7	16.0
7	19.4	15.6	16.9	16.3	17.9	14.4	20.1	18.4	15.2	15.5	17.7	15.8
8	18.8	17.2	16.8	15.7	17.7	18.4	18.8	19.3	15.1	15.8	16.6	17.5
9	19.0	17.7	17.5	12.0	17.2	21.2	19.0	21.0	14.7	15.1	14.5	16.8
10	16.6	14.7	15.3	11.0	17.6	20.3	19.1	21.1	14.6	15.9	15.8	16.5
11	17.0	14.9	16.3	10.8	19.1	20.4	19.2	21.1	16.3	15.4	16.2	15.5
12	18.9	14.9	16.6	10.8	18.1	20.4	18.9	19.7	13.3	15.2	16.0	16.0
13	18.7	16.4	16.9	13.7	16.0	20.2	17.0	19.9	14.7	16.2	16.0	15.2
14	18.7	17.1	16.7	15.3	17.0	19.9	18.1	20.2	17.0	16.0	14.7	15.0
15	17.6	16.9	16.5	13.7	17.5	21.6	18.3	19.6	17.8	16.9	15.5	15.3
16	17.8	16.4	16.8	14.7	16.7	20.8	16.6	20.3	16.5	17.5	16.7	15.4
17	18.2	15.0	16.4	15.1	15.0	17.9	17.8	18.2	17.2	18.1	17.1	15.9
18	16.1	13.7	16.3	20.3	14.6	15.6	17.9	15.2	16.3	16.2	16.9	15.8
19	15.2	14.4	14.5	17.0	16.4	18.3	16.6	15.8	15.9	14.7	16.3	15.0
20	18.7	16.7	11.2	17.4	18.1	19.3	14.5	16.6	16.0	15.7	16.5	16.3
21	19.1	16.4	11.9	16.9	18.7	17.9	18.5	15.3	17.0	14.8	16.7	16.6
22	21.0	16.5	12.8	20.0	18.6	17.8	25.8	16.9	17.2	15.3	16.3	15.5
23	19.4	15.6	13.7	17.2	21.9	19.9	23.5	18.8	16.2	15.3	17.2	15.1
24	17.7	16.2	14.1	16.8	16.7	20.6	16.8	17.8	16.4	16.1	16.8	16.5
25	18.1	17.9	14.2	15.1	15.4	20.9	16.0	15.7	15.4	16.2	15.8	16.8
26	18.0	15.9	15.8	15.4	18.5	19.8	17.9	16.7	15.2	15.7	16.6	15.8
27	16.6	14.6	15.5	15.2	15.7	20.7	18.3	17.5	15.1	16.8	15.1	15.3
28	19.6	16.7	13.9	14.9	17.8	20.9	18.3	15.8	14.8	17.3	15.7	14.8
29	19.1	16.8	15.7	17.5		17.6	16.8	15.1	16.0	16.6	16.9	15.2
30	18.1	15.5	16.7	17.0		18.4	15.0	14.7	16.6	15.4	15.7	14.4
31	16.2		16.9	14.7		19.6		15.7		15.4	16.4	
PROM	18.4	15.8	15.7	15.4	17.5	19.0	18.5	17.7	15.6	15.9	16.2	15.8

A3. Humedad relativa media diaria y promedio mensual (en %) para el periodo de octubre 2009 a septiembre 2010, Estación Mina Marlín.

	Estación MINA											
	2009			2010								
DÍA	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
1	78.9	87.4	74.7	76.5	70.1	59.3	58.5	50.9	89.8	70.7	68.6	87.1
2	70.7	93.2	66.1	79.0	68.3	62.3	54.3	65.7	nd	73.2	71.2	82.1
3	67.5	81.7	71.0	73.0	66.2	62.8	50.3	76.1	nd	80.2	69.4	86.8
4	66.2	80.4	71.0	75.8	59.5	60.2	45.1	62.4	64.3	nd	64.5	77.1
5	74.2	98.6	80.8	77.1	61.6	62.9	64.9	64.6	83.3	67.7	81.5	84.2
6	75.8	97.7	70.5	72.3	74.1	63.0	73.7	72.3	88.9	75.9	99.0	99.0
7	71.7	91.0	63.6	69.4	69.3	69.1	70.5	70.8	73.9	71.1	76.0	84.6
8	75.4	84.0	68.6	78.3	65.4	53.0	72.5	65.6	69.7	73.2	74.2	89.6
9	74.4	82.8	63.9	83.3	59.8	44.3	64.3	56.9	73.5	73.5	73.7	93.3
10	86.2	85.0	69.8	78.7	68.0	42.8	56.6	56.4	75.4	71.5	73.7	84.2
11	87.8	83.4	71.9	66.9	64.5	40.3	51.9	64.7	83.0	75.1	76.7	73.4
12	75.1	78.1	68.8	71.3	67.1	43.4	53.0	59.4	81.4	62.4	81.5	83.0
13	73.8	76.3	65.1	65.6	72.7	57.1	77.4	63.2	82.0	76.2	99.0	74.7
14	68.3	71.6	65.8	64.8	66.3	60.9	75.8	59.8	79.7	76.6	99.0	78.6
15	73.8	67.6	72.0	80.8	66.8	55.4	71.9	62.4	80.2	86.7	87.7	70.6
16	76.1	67.0	71.3	PA	69.0	58.2	83.8	62.3	86.2	91.4	82.9	77.4
17	67.7	67.7	79.5	PA	69.3	73.3	69.7	66.8	81.9	75.5	83.0	74.1
18	81.6	68.5	80.8	51.3	69.5	80.4	64.3	62.8	75.2	79.5	69.4	81.2
19	81.1	72.8	87.2	54.7	70.2	98.7	61.9	54.9	74.8	77.1	67.3	83.6
20	67.9	70.8	99.1	48.1	68.6	56.5	58.1	58.4	75.2	70.6	69.9	81.0
21	69.0	73.3	87.8	54.8	65.4	63.7	65.3	63.6	69.1	72.0	84.6	99.0
22	68.6	66.4	77.6	46.4	67.8	67.0	78.5	68.3	74.5	80.3	83.6	94.8
23	77.5	74.0	73.0	54.4	49.2	51.9	74.3	54.6	81.3	77.7	99.0	91.8
24	78.7	71.7	65.0	45.4	64.6	55.3	62.3	56.7	83.5	87.4	88.6	99.0
25	73.8	68.9	64.3	59.1	70.0	51.3	60.8	61.4	70.8	82.0	81.8	96.6
26	75.6	80.3	63.9	63.2	57.9	60.8	64.2	69.2	73.3	75.7	81.2	89.9
27	88.7	83.2	64.4	70.4	64.6	56.7	56.6	82.5	85.1	79.6	80.4	84.0
28	75.2	71.4	75.9	69.3	59.1	53.6	51.9	86.1	82.1	77.3	81.3	82.5
29	81.4		74.2	65.4		68.1	53.0	78.0	77.6	81.8	86.4	70.7
30	79.5	62.8	70.0	76.4		61.5	77.4	81.5	82.5	75.7	91.1	85.6
31	86.5		71.6	85.3		60.4		86.3		73.5	87.3	
PROM	75.8	75.3	72.5	63.1	65.9	59.8	64.1	65.9	73.3	73.9	81.1	84.6

Calculo de la evapotranspiración potencial (ETP), por el método de Hargreaves, para la Estación Mina Marlín.

A4. Calculo de la evapotranspiración potencial (ETP), por el método de Hargreaves, para la estación Mina Marlín.

Par	Dím	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
Tmed	°C	18.4	15.8	15.7	15.4	17.5	19.0	18.5	17.7	15.6	15.9	16.2	15.8	16.8
Tmed	°F	65.2	60.5	60.3	59.7	63.4	66.3	65.4	63.9	60.1	60.6	61.1	60.5	62.2
HR	%	75.8	75.3	72.5	63.1	65.9	59.8	64.1	65.9	73.3	73.9	81.1	84.6	71.3
S	%	61.5	62.2	65.5	75.9	73.0	79.2	74.9	72.9	64.6	63.9	54.4	49.0	
Rad	mm/día	14.1	12.7	11.9	12.3	13.5	14.8	15.8	16.0	16.0	16.0	15.9	15.3	
días mes	días	31.0	30.0	31.0	31.0	28.0	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	30.0	
RMM	mm/mes	436.2	379.8	369.2	381.0	378.3	459.7	473.1	496.6	480.0	496.6	493.8	459.9	
RSM		256.6	224.6	224.1	248.9	242.4	306.9	307.1	318.1	289.4	297.6	273.1	241.4	
ETP	mm/mes	125.5	102.0	101.3	111.4	115.3	152.5	150.5	152.4	130.5	135.2	125.2	109.5	1511.3

A5. Precipitación pluvial diaria (en mm) para el periodo octubre 2009 a septiembre 2010, Estación San José la Frontera.

	Estación SAN JOSE LA FRONTERA												
	2009			2010									
DÍA	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
1	0	16	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
2	3	22	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	3
3	26	13	0	0	0	0	0	0	1	0	0	10	4
4	0	0	0	0	0	0	0	0	16	3	0	6	2
5	0	5	0	0	0	0	5	0	21	13	0	12	5
6	0	37	0	0	0	0	2	0	1	1	0	7	4
7	4	6	0	0	0	0	4	0	0	0	0	23	3
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	37	4
9	1	0	0	0	0	0	0	0	2	14	16	14	4
10	7	0	0	5	0	0	0	6	23	20	33	0	8
11	4	0	0	0	0	0	2	1	6	8	22	0	4
12	0	0	0	0	0	0	7	26	16	0	14	22	7
13	0	0	0	0	0	0	14	37	41	4	6	11	9
14	0	0	0	0	0	0	0	1	32	33	19	35	10
15	0	0	0	0	0	0	0	6	22	11	24	3	6
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	18	3
17	16	0	0	0	0	12	0	16	0	2	5	25	6
18	0	0	4	0	1	0	0	8	3	2	11	6	3
19	23	0	38	0	2	0	0	6	2	4	0	10	7
20	0	0	15	0	0	0	0	0	0	1	22	7	4
21	4	0	0	0	0	0	2	0	0	0	13	3	2
22	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	8	15	2
23	0	0	5	0	0	0	1	4	0	2	37	4	4
24	4	0	0	0	0	0	0	38	0	16	16	2	6
25	2	5	0	0	0	0	9	20	0	13	13	15	6
26	0	0	0	0	0	0	18	76	0	2	24	13	11
27	10	0	0	0	0	0	6	72	0	0	2	0	8
28	0	0	0	0	0	0	33	0	0	0	33	0	5
29	25	0	0	1		0	5	0	0	0	15	0	4
30	19	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	2
31	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	147	103	62	6	3	13	114	335	185	147	355	296	1764

A6. Temperatura media diaria y promedio mensual (en °C) para el periodo octubre 2009 a septiembre 2010, Estación San José la Frontera.

	Estación SAN JOSE LA FRONTERA											
	2009			2010								
DÍA	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
1	14.8	12.6	11.5	14.1	15.9	15.2	18.3	14.8	16.0	17.7	18.6	16.3
2	14.3	12.5	12.5	14.0	16.3	19.6	18.3	15.9	17.0	19.2	17.7	16.6
3	14.4	13.1	14.6	10.0	14.9	16.5	18.8	16.9	14.2	19.0	18.3	15.5
4	14.1	13.6	15.8	12.6	13.2	16.2	19.5	17.3	13.8	19.7	19.2	15.1
5	14.7	15.8	14.6	12.7	12.3	15.2	12.4	16.5	14.8	19.3	19.1	16.5
6	13.0	14.4	14.9	12.5	12.5	15.8	20.7	15.8	14.7	18.1	19.4	16.8
7	12.6	14.7	12.3	11.5	11.0	18.2	14.9	17.8	15.2	17.2	18.9	15.8
8	13.7	14.8	11.0	13.8	12.3	16.5	16.6	18.4	15.5	19.8	18.9	15.3
9	12.2	14.3	11.3	14.6	13.0	14.8	18.0	18.3	15.2	19.4	19.0	14.8
10	12.9	15.9	12.6	14.3	14.0	19.7	18.5	14.7	15.1	21.3	19.0	15.2
11	13.5	16.3	14.2	10.9	13.6	19.9	18.5	16.5	14.7	20.0	17.1	14.4
12	12.9	16.3	12.0	12.4	14.1	16.6	15.9	16.9	14.6	18.8	17.9	18.4
13	15.2	15.5	13.0	11.0	13.6	15.3	15.7	17.2	16.3	15.2	18.4	18.7
14	15.8	16.0	14.0	10.3	14.0	16.9	16.5	22.0	13.3	16.2	19.3	18.8
15	15.1	14.5	11.9	14.9	14.0	18.8	17.0	17.4	18.6	16.0	16.7	18.9
16	15.1	13.0	15.4	13.8	13.1	17.8	15.5	16.3	17.3	16.9	17.7	20.0
17	15.1	11.9	13.8	13.3	14.1	15.7	18.1	18.6	17.7	17.5	16.6	18.8
18	14.0	10.6	15.7	13.6	15.0	16.7	17.5	19.5	19.0	18.1	14.5	17.4
19	13.2	10.6	13.7	14.1	15.9	17.5	17.9	18.1	18.9	16.2	15.8	17.7
20	15.4	11.3	14.1	14.5	15.0	15.8	18.3	18.7	19.4	14.7	16.2	19.6
21	14.6	11.7	13.0	14.2	12.1	15.1	19.1	18.5	20.3	15.7	16.0	16.0
22	10.8	10.7	13.5	12.3	13.9	15.5	17.2	18.5	20.1	14.8	16.0	15.8
23	13.8	12.6	13.4	11.7	15.7	16.8	17.6	17.4	20.1	15.3	14.7	17.5
24	15.5	14.1	14.0	12.4	16.3	17.6	19.0	12.4	20.7	17.9	15.5	16.8
25	16.3	12.9	15.7	10.8	16.3	18.4	18.9	15.3	19.5	16.4	16.7	16.5
26	13.4	14.4	15.9	10.5	16.1	19.3	19.3	17.1	13.7	17.8	17.1	15.5
27	15.1	14.6	15.4	14.4	13.9	16.8	18.2	14.2	16.9	18.9	16.9	16.0
28	14.9	13.6	14.7	13.0	15.3	17.8	15.2	15.4	16.4	16.2	16.3	15.2
29	14.9	14.0	10.5	11.7		17.9	12.8	16.4	16.0	15.7	16.5	18.5
30	15.4	14.1	14.9	12.8		14.7	13.5	17.5	16.9	16.8	16.7	17.7
31	13.6		16.0	12.5		15.7		17.7		17.3	18.3	
PROM	14.2	13.7	13.7	12.7	14.2	16.9	17.2	17.0	16.7	17.5	17.4	16.9

A7. Humedad relativa media diaria y promedio mensual (en %) para el periodo de octubre 2009 a septiembre 2010, Estación San José la Frontera.

	Estación SAN JOSE LA FRONTERA											
	2009			2010								
DÍA	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
1	99.0	84.0	71.3	54.7	57.1	66.1	56.1	75.2	64.3	77.1	67.3	88.9
2	92.3	72.9	71.0	48.1	67.3	59.6	66.0	79.4	83.3	70.6	69.9	84.0
3	94.0	83.0	75.7	54.8	60.1	62.9	55.2	73.6	88.9	72.0	84.6	75.5
4	81.6	84.4	71.9	46.4	78.2	60.3	56.0	67.8	73.9	80.3	83.6	81.2
5	96.9	77.7	70.2	54.4	75.0	55.1	75.8	67.0	69.7	77.7	99.0	83.6
6	96.0	74.9	70.7	45.4	76.8	54.4	71.9	63.3	73.5	87.4	88.6	81.0
7	85.2	73.3	69.1	59.1	71.3	62.6	83.8	95.2	75.4	82.0	81.8	99.0
8	78.6	70.6	76.4	63.2	70.9	60.6	69.7	81.4	83.0	75.7	81.2	94.8
9	72.2	67.9	73.7	70.4	80.2	47.1	64.3	62.7	81.4	79.6	80.4	91.8
10	78.8	70.6	70.8	69.3	68.4	52.3	61.9	74.9	82.0	77.3	81.3	99.0
11	87.3	67.3	66.3	65.4	68.0	58.2	58.1	93.0	79.7	81.8	86.4	96.6
12	91.0	72.1	75.2	76.4	67.5	58.2	65.3	80.6	87.1	86.5	91.1	89.9
13	80.2	77.5	80.9	88.4	66.9	58.3	78.5	60.3	69.3	82.1	95.0	84.0
14	96.5	76.7	68.9	90.4	64.4	58.7	74.3	69.5	59.2	75.5	91.6	88.7
15	91.7	74.4	70.4	79.3	68.8	57.4	62.3	80.4	58.9	77.5	82.0	89.4
16	93.9	71.5	83.0	90.0	64.2	60.3	60.8	76.1	58.3	69.6	80.0	93.7
17	88.5	79.8	73.9	81.2	63.2	58.7	64.2	62.4	55.6	69.9	75.9	86.9
18	94.7	71.8	75.4	74.7	62.8	60.0	61.4	64.6	59.0	79.7	80.3	87.2
19	89.3	71.0	70.8	76.2	67.4	52.7	60.2	72.3	57.8	86.9	87.3	94.0
20	90.5	65.6	60.0	66.2	68.4	44.5	68.6	70.8	63.9	88.8	84.5	97.5
21	79.3	93.2	73.0	64.2	67.8	53.6	69.2	65.6	60.2	69.9	87.0	91.1
22	92.3	81.7	86.8	70.4	66.4	58.5	64.0	56.9	70.5	60.0	72.6	89.9
23	74.5	80.4	87.5	66.9	70.2	59.4	63.4	56.4	77.5	67.7	70.8	92.4
24	82.5	98.6	67.6	68.2	68.6	42.8	61.2	64.7	85.6	68.4	68.6	96.7
25	89.7	97.7	67.0	72.7	65.4	40.3	58.4	59.4	90.2	69.5	71.7	75.6
26	85.2	91.0	67.7	65.9	67.8	43.4	76.6	63.2	86.7	76.7	69.8	70.6
27	82.8	84.0	68.5	65.8	49.2	57.1	49.2	67.8	89.2	87.2	70.9	70.6
28	84.5	82.8	72.8	68.6	64.6	60.9	75.0	67.0	83.6	66.3	73.5	79.8
29	88.9	85.0	70.8	66.7		55.4	60.6	63.3	89.4	65.1	63.1	87.8
30	84.0	83.4	73.3	79.4		58.2	73.1	70.8	83.3	61.2	66.4	87.0
31	75.5		66.4	75.9		63.0		54.6		67.3	70.9	
PROM	87.0	78.8	72.5	68.3	67.4	56.1	65.5	69.7	74.7	75.4	79.3	87.6

Calculo de la evapotranspiración potencial (ETP), por el método de Hargreaves, para la Estación San José la Frontera.

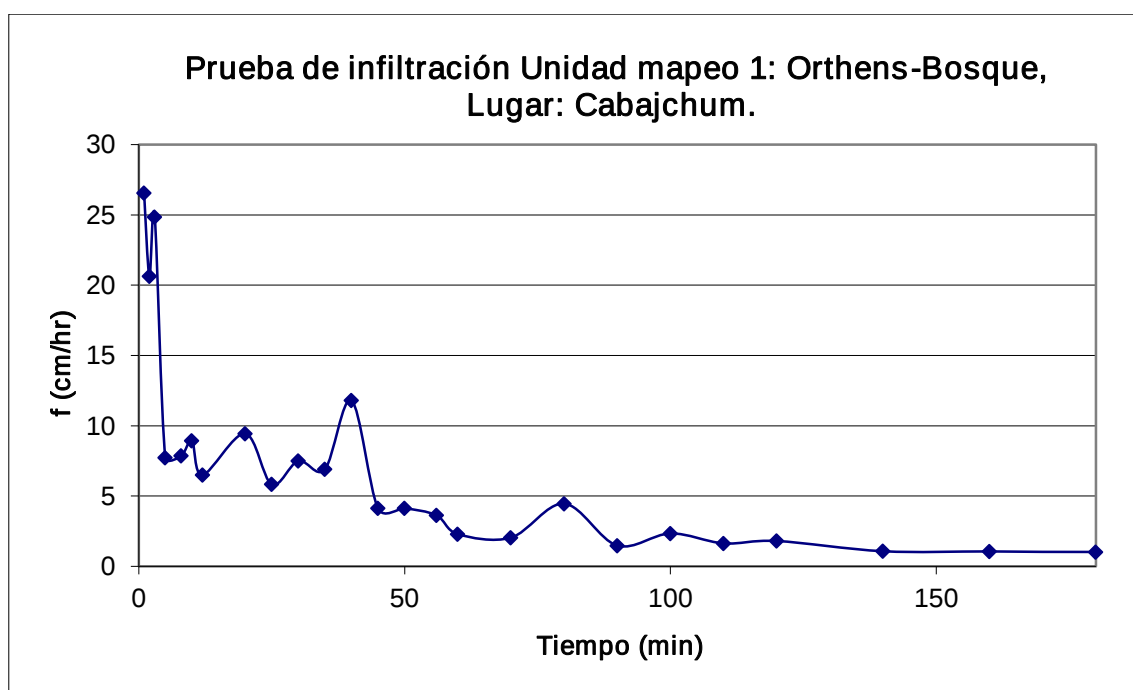
A8. Calculo de la evapotranspiración potencial (ETP, por el método de Hargreaves, para la estación San José la Frontera.

Par	Dim	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
Tmed	°C	14.2	13.7	13.7	12.7	14.2	16.9	17.2	17.0	16.7	17.5	17.4	16.9	15.7
Tmed	°F	57.6	56.6	56.7	54.9	57.5	62.4	63.0	62.6	62.1	63.5	63.3	62.4	60.2
HR	%	87.0	78.8	72.5	68.3	67.4	56.1	65.5	69.7	74.7	75.4	79.3	87.6	73.5
S	%	45.1	57.5	65.6	70.3	71.4	82.8	73.4	68.8	62.9	62.0	56.9	44.0	
Rad	mm/día	14.1	12.7	11.9	12.3	13.5	14.8	15.8	16.0	16.0	16.0	15.9	15.3	
días mes	días	31.0	30.0	31.0	31.0	28.0	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	30.0	
RMM	mm/mes	436.2	379.8	369.2	381.0	378.3	459.7	473.1	496.6	480.0	496.6	493.8	459.9	
RSM		219.6	216.0	224.2	239.6	239.7	313.7	304.0	309.0	285.5	293.3	279.5	228.8	
ETP	mm/mes	94.8	91.8	95.4	98.7	103.4	146.9	143.8	145.2	133.0	139.7	132.7	107.0	1432.4

B. PRUEBAS DE INFILTRACIÓN Y DATOS DE LABORATORIO DE SUELOS

B1. Prueba de infiltración realizada en unidad de mapeo no. 1, coordenadas (GTM) 364219 Este, 1681707 Norte, Diámetro del agujero 44cm, Profundidad 54cm.

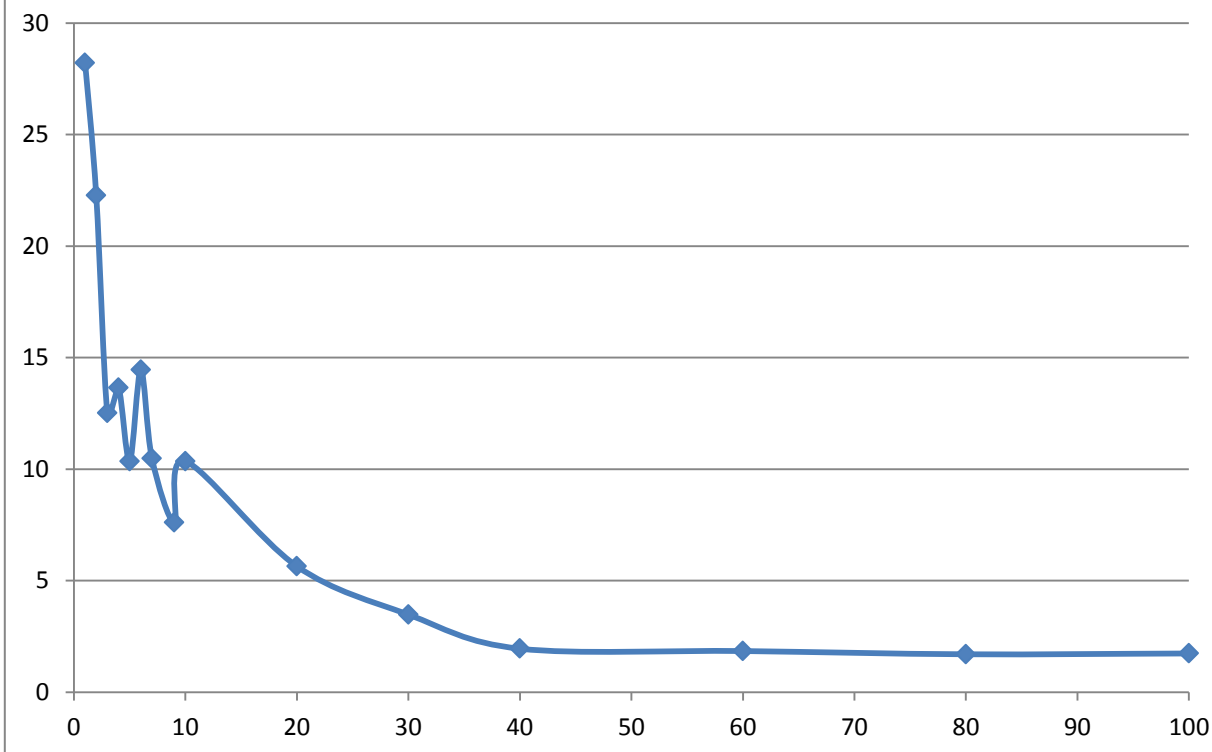
No.	Tiempo (min)	Altura (cm)	$R/2(t_2-t_1)$	$\ln((2h_1+R)/(2h_2+R))$	f (cm/min)	f (cm/hr)
1	0	15	-	-		
2	1	12.5	2.95	0.14998111	0.44244428	26.54665675
3	2	10.8	2.95	0.11657018	0.34388203	20.63292172
4	3	9	2.95	0.14030755	0.41390726	24.8344356
5	5	8	1.475	0.08739182	0.12890294	7.734176257
7	8	15.8	1.18	0.11094489	0.13091497	7.854898492
8	10	14	1.475	0.10092592	0.14886573	8.931943795
9	12	12.8	1.475	0.07342747	0.10830552	6.498330967
12	20	16.8	0.7375	0.21347672	0.15743908	9.446345062
13	25	13.8	0.59	0.16475523	0.09720559	5.832335251
14	30	10.6	0.59	0.21201171	0.12508691	7.505214567
15	35	8.2	0.59	0.19494705	0.11501876	6.901125549
17	40	13.4	0.7375	0.26682384	0.19678258	11.80695502
18	45	11.6	0.59	0.1166369	0.06881577	4.128946392
19	50	10	0.59	0.11649521	0.06873217	4.123930274
20	56	8.5	0.491666667	0.12310606	0.06052715	3.631628715
22	60	17.2	0.983333333	0.03893436	0.03828545	2.297127121
23	70	15	0.295	0.11561417	0.03410618	2.04637087
24	80	11	0.295	0.25211061	0.07437263	4.462357738
26	90	16.4	0.310526316	0.07944623	0.02467014	1.480208648
27	100	14	0.295	0.13242459	0.03906525	2.343915166
29	110	12.5	0.295	0.09265883	0.02733435	1.6400613
30	120	11	0.295	0.1021295	0.0301282	1.807692063
31	140	9.4	0.1475	0.12182345	0.01796896	1.07813749
32	160	8	0.1475	0.12031661	0.0177467	1.06480197
33	180	6.8	0.1475	0.11607217	0.01712065	1.027238716
34	200	5.6	0.1475	0.131336	0.01937206	1.162323618



B2. Prueba de infiltración realizada en unidad de mapeo no. 2, coordenadas (GTM) 364359 Este, 1682075 Norte, Diámetro del agujero 30cm, Profundidad 20cm.

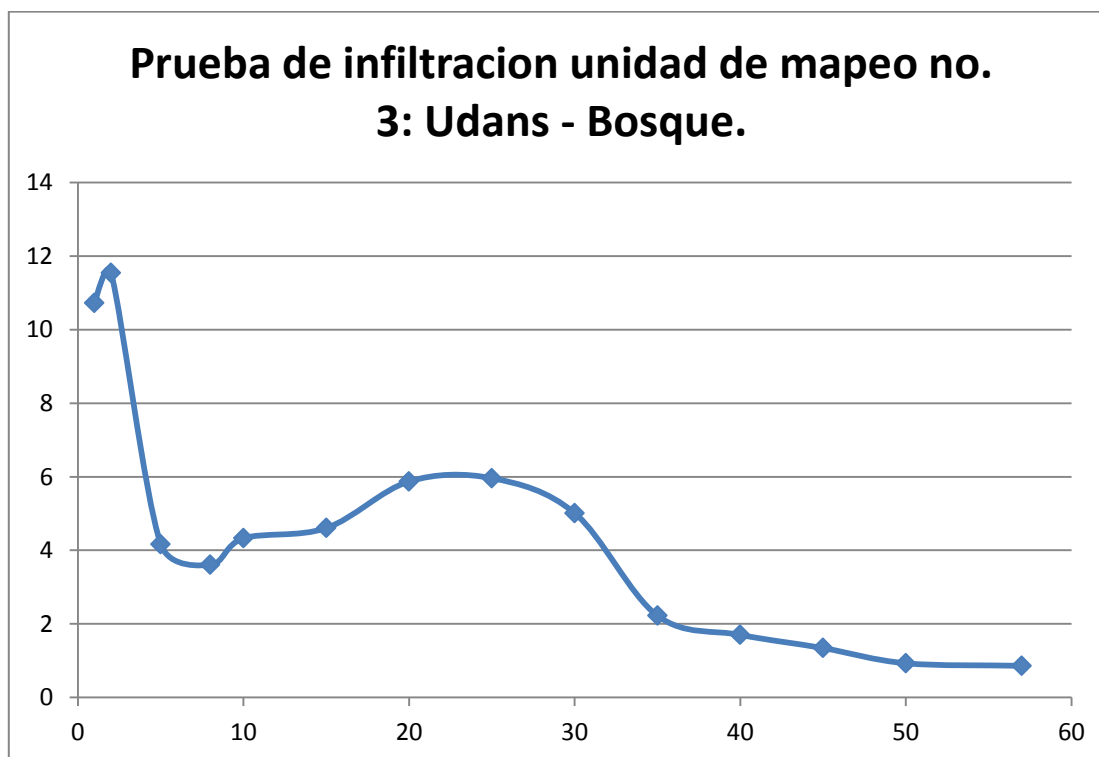
No.	Tiempo (min)	Altura (cm)	$R/2(t_2-t_1)$	$\ln((2h_1+R)/(2h_2+R))$	f (cm/min)	f (cm/hr)
1	0	15	-	-		
2	1	12	2.5	0.18805223	0.47013058	28.2078347
3	2	10	2.5	0.14842001	0.37105001	22.2630008
4	3	9	2.5	0.08338161	0.20845402	12.5072413
5	4	8	2.5	0.09097178	0.22742945	13.6457667
6	5	7.3	2.5	0.06899287	0.17248218	10.3489307
7	6	6.4	2.5	0.09633111	0.24082777	14.4496663
8	7	5.8	2.5	0.06979576	0.1744894	10.4693643
9	9	5	1.25	0.10135249	0.12669062	7.60143707
10	10	4.5	2.5	0.06899287	0.17248218	10.3489307
12	20	12	0.5	0.18805223	0.09402612	5.64156695
13	30	9	0.25	0.23180161	0.0579504	3.47702421
14	40	7.6	0.25	0.12981161	0.0324529	1.94717417
15	60	5.4	0.125	0.24567266	0.03070908	1.84254498
16	80	3.8	0.125	0.22631313	0.02828914	1.69734845
17	100	2.5	0.125	0.23111172	0.02888897	1.73333791

Prueba de infiltración unidad de mapeo 2: Orthens - Anual.



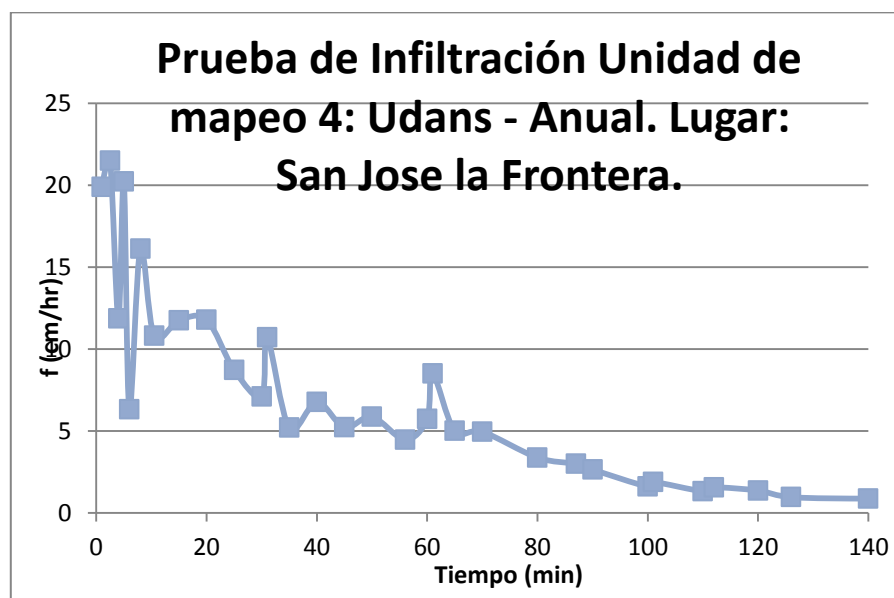
B3. Prueba de infiltración realizada en unidad de mapeo no.3, coordenadas (GTM) 371125 Este, 1682619 Norte, Diámetro del agujero 40cm, Profundidad 20cm.

No.	Tiempo (min)	Altura (cm)	$R/2(t_2-t_1)$	$\ln((2h_1+R)/(2h_2+R))$	f (cm/min)	f (cm/hr)
1	0	12	-	-		
2	1	11	2.5	0.07145896	0.17864741	10.7188446
3	2	10	2.5	0.07696104	0.1924026	11.5441562
4	5	9	0.83333333	0.08338161	0.06948467	4.16908045
5	8	8.2	0.83333333	0.07210329	0.06008608	3.6051647
6	10	7.6	1.25	0.05770832	0.0721354	4.32812382
8	15	11	0.55555556	0.13815034	0.07675019	4.60501128
9	20	8.6	0.5	0.19574458	0.09787229	5.87233731
10	25	6.6	0.5	0.19867069	0.09933535	5.96012084
11	30	5.2	0.5	0.16705408	0.08352704	5.01162254
13	35	12	0.55555556	0.06669137	0.03705076	2.22304582
14	40	11.2	0.5	0.05675282	0.02837641	1.7025845
15	45	10.6	0.5	0.0447836	0.0223918	1.34350808
16	50	10.2	0.5	0.03101024	0.01550512	0.9303071
17	57	9.7	0.35714286	0.04016604	0.01434501	0.86070089



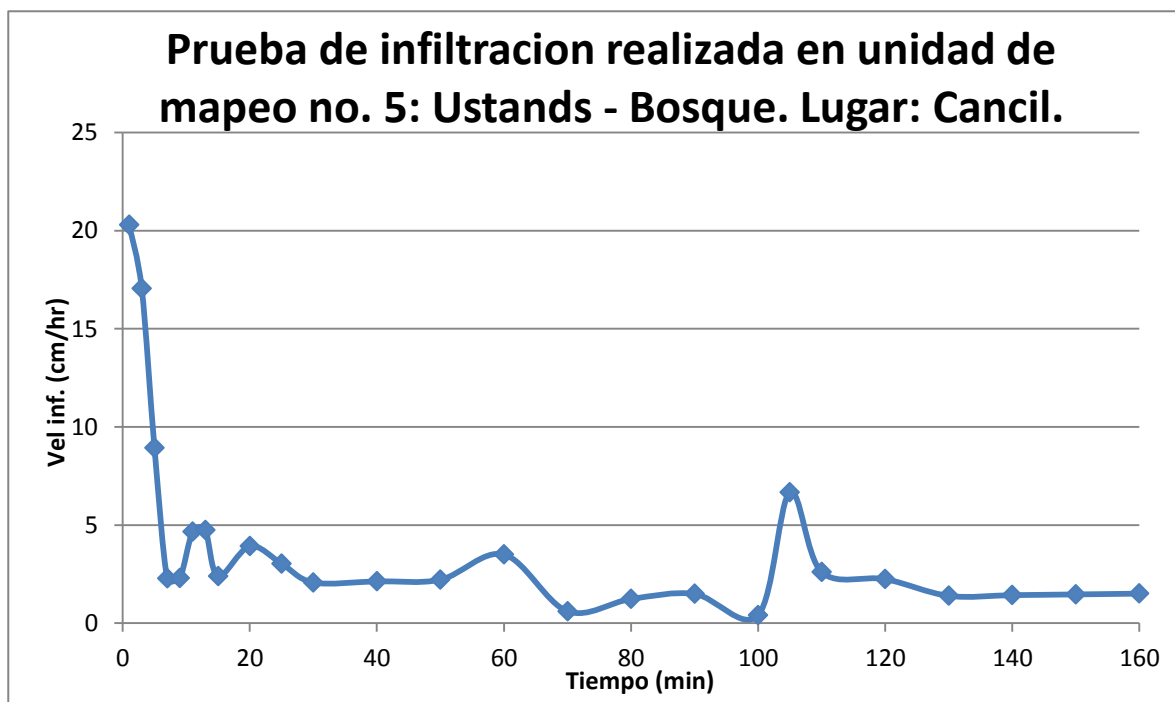
B4. Prueba de infiltración realizada en unidad de mapeo no. 4, coordenadas (GTM) 361799 Este, 1679610 Norte, Diámetro del agujero 40cm, Profundidad 20cm.

No.	Tiempo (min)	Altura (cm)	$R/2(t_2-t_1)$	$\ln((2h_1+R)/(2h_2+R))$	f (cm/min)	f (cm/hr)
1	0	15.2	-	-		
2	1	13	2.5	0.13272462	0.33181154	19.9086923
3	2.5	10	1.66666667	0.21511138	0.35851897	21.511138
4	4	8.6	1.66666667	0.11878354	0.19797256	11.8783536
5	5	7.2	2.5	0.13481922	0.33704806	20.2228834
6	6	6.8	2.5	0.04211149	0.10527871	6.3167228
7	8	5	1.25	0.21511138	0.26888922	16.1333535
9	10.5	15	1.66666667	0.10821358	0.18035597	10.8213585
10	15	9.8	0.55555556	0.35260162	0.19588979	11.7533873
11	20	5.8	0.5	0.39334375	0.19667187	11.8003124
13	25	12.2	0.55555556	0.26184084	0.14546713	8.72802804
14	30	9.1	0.5	0.2368424	0.1184212	7.10527187
15	31	8.3	2.5	0.07145896	0.17864741	10.7188446
16	35	6.9	0.625	0.13883644	0.08677278	5.20636668
17	40	5	0.5	0.22580667	0.11290333	6.77420006
18	45	3.8	0.5	0.17435339	0.08717669	5.23060161
20	50	15.2	0.625	0.15656906	0.09785566	5.87133978
21	56	12.3	0.41666667	0.17893746	0.07455727	4.47343647
22	60	10.2	0.625	0.15302519	0.09564074	5.73844452
23	61	9.5	2.5	0.05669534	0.14173836	8.50430155
24	65	8	0.625	0.13353139	0.08345712	5.00742722
25	70	6.4	0.5	0.16532398	0.08266199	4.95971941
29	80	15.1	0.5	0.11271973	0.05635987	3.38159201
30	87	12.8	0.35714286	0.14004607	0.05001645	3.00098729
32	90	15.2	1	0.04420609	0.04420609	2.65236555
33	100	13.4	0.25	0.10724553	0.02681138	1.60868296
34	101	13.2	2.5	0.0126584	0.03164599	1.89875953
35	110	12	0.27777778	0.07951206	0.02208668	1.32520105
36	112	11.7	1.25	0.02090668	0.02613336	1.56800136
37	120	10.7	0.3125	0.07302514	0.02282035	1.36922128
38	126	10.2	0.41666667	0.03861484	0.01608952	0.9653709
39	140	9.2	0.17857143	0.08201315	0.01464521	0.87871234
40	150	8.5	0.25	0.06169357	0.01542339	0.92540354
41	160	7.9	0.25	0.05608947	0.01402237	0.841342



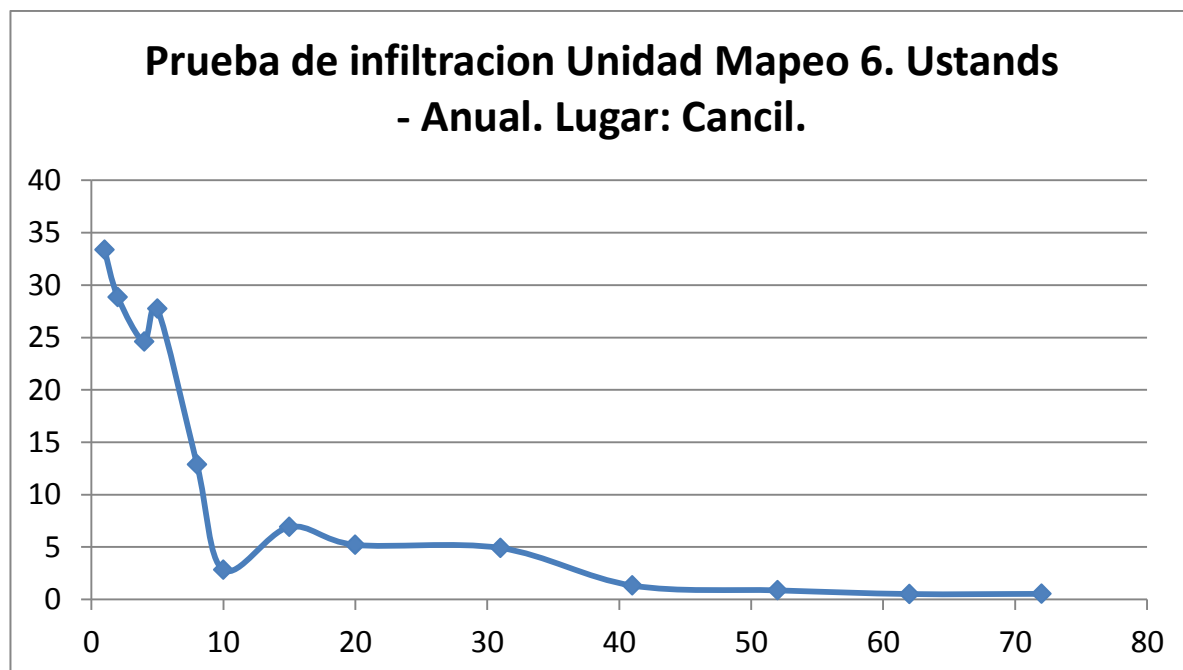
B5. Prueba de infiltración realizada en unidad de mapeo no. 5, coordenadas (GTM) 369492 Este, 1681392 Norte, Diámetro del agujero 37cm, Profundidad 26cm.

No.	Tiempo (min)	Altura (cm)	$R/2(t_2-t_1)$	$\ln((2h_1+R)/(2h_2+R))$	f (cm/min)	f (cm/hr)
1	0	18.6	-	-		
2	1	17.6	9.25	0.03656715	0.3382461	20.2947657
3	3	16	4.625	0.06143967	0.28415845	17.0495071
4	5	15.2	4.625	0.03219594	0.14890622	8.93437329
5	7	15	4.625	0.0082136	0.03798789	2.27927359
6	9	14.8	4.625	0.00828162	0.0383025	2.29814978
7	11	14.4	4.625	0.01677188	0.07756995	4.65419715
8	13	14	4.625	0.01705798	0.07889317	4.73359026
9	15	13.8	4.625	0.00863936	0.03995705	2.39742312
10	20	13	1.85	0.03532376	0.06534896	3.92093745
11	25	12.4	1.85	0.02733655	0.05057263	3.03435751
12	30	12	1.85	0.01864856	0.03449983	2.06999006
13	40	11.2	0.925	0.03837401	0.03549596	2.12975771
14	50	10.4	0.925	0.03990554	0.03691263	2.2147577
15	60	9.2	0.925	0.06301297	0.058287	3.49721971
16	70	9	0.925	0.01089929	0.01008184	0.60491062
17	80	8.6	0.925	0.02216157	0.02049945	1.22996724
19	90	18.4	1.15625	0.02146773	0.02482206	1.48932374
20	100	18.2	0.925	0.00725956	0.00671509	0.40290558
21	105	16.6	1.85	0.06005557	0.1111028	6.66616794
22	110	16	1.85	0.02348445	0.04344622	2.60677342
23	120	15	0.925	0.04040954	0.03737882	2.24272938
24	130	14.4	0.925	0.0250535	0.02317449	1.39046939
25	140	13.8	0.925	0.02569735	0.02377004	1.42620267
26	150	13.2	0.925	0.02637516	0.02439702	1.46382112
27	160	12.6	0.925	0.02708969	0.02505797	1.50347794



B6. Prueba de infiltración realizada en unidad de mapeo no. 6, coordenadas (GTM) 368465 Este, 1682031 Norte, Diámetro del agujero 40cm, Profundidad 20cm.

No.	Tiempo (min)	Altura (cm)	$R/2(t_2-t_1)$	$\ln((2h_1+R)/(2h_2+R))$	f (cm/min)	f (cm/hr)
1	0	10	-	-		
2	1	7.8	3	0.18540322	0.55620967	33.3725802
3	2	6.2	3	0.16034265	0.48102795	28.861677
4	4	4	1.5	0.27329333	0.40994	24.5964001
5	5	3	3	0.15415068	0.46245204	27.7471224
7	8	10	1.5	0.14310084	0.21465127	12.8790759
8	10	9.6	1.5	0.03125254	0.04687882	2.81272892
9	15	7.4	0.6	0.19189101	0.1151346	6.90807628
10	20	6	0.6	0.14458123	0.08674874	5.20492424
12	31	6.9	0.3	0.2724146	0.08172438	4.90346281
13	41	6.2	0.3	0.07333127	0.02199938	1.31996292
15	52	11.3	0.3	0.04779066	0.0143372	0.86023195
16	62	10.9	0.3	0.0283707	0.00851121	0.51067255
17	72	10.5	0.3	0.02919915	0.00875975	0.52558478



C. CALCULO DE BALANCE HÍDRICO

C1. Balance hídrico de suelos de la unidad de mapeo 1.

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS													

C2. Balance hídrico de suelos de la unidad de mapeo 2.

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS													
Zona de Estudio:		Unidad 2: Orthens-Anuales											
Fecha:		jun-10											
Textura de Suelo:		Franco arcillo arenosa											
Cultivo:		Papa											
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.		P: Precipitación Media Mensual.											
I: Infiltración.		Pi: Precipitación que infiltra.											
CC: Capacidad de Campo.		ESC: Escorrentía Superficial											
PM: Punto de Marchitez.		ETP: Evapotranspiración Potencial.											
PR: Profundidad de Raíces.		ETR: Evapotranspiración Real.											
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.		HSi: Humedad de Suelo Inicial.											
DS: Densidad de Suelo.		HD: Humedad Disponible											
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR		HSf: Humedad de Suelo Final.											
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR		DCC: Déficit de Capacidad de Campo.											
Kp: Factor por pendiente (ver léame)		Rp: Recarga Potencial											
Kv: Factor por vegetación (ver léame)		NR: Necesidad de Riego.											
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración		Ret: Retención de lluvia											
fc [mm/d]		415.20											
Kp [0.01%]		0.06											
Kv [0.01%]		0.10											
Kfc [0.01%]		0.82274											
I [0.01%]		0.98274											
DS (g/cm ³):		1.02											
PR (mm)		400.00											
HSi (mm)		147.90											
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?		1											
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1		0.12											
Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	147.40	103.10	61.70	5.60	2.90	12.60	113.50	334.50	184.80	146.70	355.10	296.30	1764.20
Ret [mm]	17.69	12.37	7.40	5.00	2.90	5.00	13.62	40.14	22.18	17.60	42.61	35.56	222.07
Pi (mm)	127.47	89.16	53.36	0.59	0.00	7.47	98.16	289.28	159.82	126.87	307.09	256.24	1515.51
ESC (mm)	2.24	1.57	0.94	0.01	0.00	0.13	1.72	5.08	2.81	2.23	5.39	4.50	26.62
ETP (mm)	94.80	91.80	95.40	98.70	103.40	146.90	143.80	145.20	133.00	139.70	132.70	107.00	1432.40
HSi (mm)	147.90	147.90	147.90	147.90	109.63	109.63	109.63	135.89	147.90	147.90	147.90	147.90	
HD (mm)	165.74	127.43	91.63	38.86	0.00	7.47	98.16	315.53	198.09	165.14	345.36	294.51	
ETR (mm)	94.80	88.64	47.70	38.86	0.00	7.47	71.90	145.20	133.00	116.28	132.70	107.00	983.54
HSf (mm)	147.90	147.90	147.90	109.63	109.63	109.63	135.89	147.90	147.90	147.90	147.90	147.90	
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	38.27	38.27	38.27	12.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	32.67	0.53	5.66	0.00	0.00	0.00	0.00	132.06	26.82	10.59	174.39	149.24	531.96
NR (mm)	0.00	3.16	47.70	98.11	141.67	177.70	83.91	0.00	0.00	23.42	0.00	0.00	575.68

C3. Balance hídrico de suelos de la unidad de mapeo 3.

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS													

C4. Balance hídrico de suelos de la unidad de mapeo 4.

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS													

C5. Balance hídrico de suelos de la unidad de mapeo 5.

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS														
Zona de Estudio:		Unidad 5: Ustands-Bosque												
Fecha:		jun-10												
Textura de Suelo:		Arcillosa												
Cultivo:		Bosque												
Simbología														
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.							
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.							
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial							
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.							
PR: Profundidad de Raices.							ETR: Evapotranspiración Real.							
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.							
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible							
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.							
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.							
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial							
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.							
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia							
fc [mm/d]					360.72									
Kp [0.01%]					0.06									
Kv [0.01%]					0.20									
Kfc [0.01%]					0.79357									
I [0.01%]					1									
DS (g/cm³):					1.03		Por peso							
PR (mm)					2000.00		(%)		(mm)					
HSi (mm)					725.93		CC		35.24	725.94				
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?					1		PM		28.63	589.78				
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1					0.20		(CC-PM)		6.61	136.17				
Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total	
P (mm)	113.30	93.80	66.80	3.30	0.00	4.30	61.30	318.90	195.10	152.70	345.60	321.30	1676.40	
Ret [mm]	22.66	18.76	13.36	3.30	0.00	4.30	12.26	63.78	39.02	30.54	69.12	64.26	341.36	
Pi (mm)	90.64	75.04	53.44	0.00	0.00	0.00	49.04	255.12	156.08	122.16	276.48	257.04	1335.04	
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
ETP (mm)	125.50	102.00	101.30	111.40	115.30	152.50	150.50	152.40	130.50	135.20	125.20	109.50	1511.30	
HSi (mm)	725.93	707.14	697.32	677.91	635.30	613.07	600.03	616.30	722.90	725.94	719.38	725.94		
HD (mm)	226.79	192.40	160.98	88.13	45.52	23.30	59.29	281.64	289.20	258.33	406.08	393.21		
ETR (mm)	109.43	84.86	72.85	42.61	22.23	13.05	32.77	148.53	130.50	128.73	125.20	109.50	1020.24	
HSf (mm)	707.14	697.32	677.91	635.30	613.07	600.03	616.30	722.90	725.94	719.38	725.94	725.94		
DCC (mm)	18.80	28.62	48.03	90.64	112.87	125.92	109.64	3.05	0.00	6.57	0.00	0.00		
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.53	0.00	144.71	147.54	314.79	
NR (mm)	34.87	45.76	76.48	159.43	205.94	265.37	227.38	6.92	0.00	13.04	0.00	0.00	1035.20	

C6. Balance hídrico de suelos de la unidad de mapeo 6.

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS													

**Capítulo 3. SERVICIOS REALIZADOS EN COMUNIDADES DE LOS
MUNICIPIOS DE SAN MIGUEL IXTAHUACÁN Y SIPACAPA, DEL
DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS.**



3.1 PRESENTACIÓN

Las actividades realizadas dentro de los servicios prestados como parte del programa de EPS de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala y en apoyo a la institución cooperante Fundación Sierra Madre, se desarrollaron en comunidades de los Municipios de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, que son asistidas por dicha institución y como parte de las actividades del componente de ambiente de la misma.

En dichas actividades, se brindó seguimiento al programa de educación ambiental que se implementa con niños que cursan cuarto, quinto y sexto de educación primaria y jóvenes de primero, segundo y tercero de educación básica; en el mismo se impartieron charlas tales como: el bosque de mi comunidad, los cuidados del bosque, sembrando mi primer arbolito, el agua fuente de vida, conservemos nuestro suelo, manejando los residuos sólidos de mi comunidad, entre otras; con el fin de concientizar a niños y jóvenes sobre la importancia de los recursos naturales y la conservación de los mismos, así como, del manejo de los residuos sólidos.

Como parte del mismo programa, se brindó apoyo en labores de reforestación con grupos comunitarios y estudiantes de educación básica, además, en la instalación de baterías de clasificación de residuos sólidos en escuelas de educación primaria que participan en el mismo.

Como parte de las actividades del componente de ambiente de dicha institución se brindó capacitación y asistencia técnica en el manejo de viveros forestales, implementados en varias comunidades. En dichos viveros, se realiza la producción de árboles de especies, tales como: el pino (*Pinus spp.*) y aliso (*Alnus spp.*), dichos trabajos se llevaron a cabo con grupos de mujeres de las aldeas Llano Grande, Pie de la Cuesta del municipio de Sipacapa y con jóvenes estudiantes de la Telesecundaria de aldea La Cal en Malacatancito, Huehuetenango. Las capacitaciones brindadas, van desde la preparación del sustrato, llenado de bolsas, labores culturales, preparación de abonos y preparados orgánicos para el control de plagas y enfermedades, entre otras.

3.2 SERVICIO 1: PROGRAMA DE EDUCACIÓN AMBIENTAL “EL AMBIENTE Y YO”

3.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Crear en los grupos escolares una actitud responsable en el cuidado y conservación del ambiente al fomentar un manejo y conservación de los recursos naturales (agua, suelo, bosque), así como un manejo adecuado de los residuos sólidos.

3.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Que niñas, niños y adolescentes, reconozcan la importancia y beneficios del uso sostenible del recurso bosque.
- Que niñas, niños y adolescentes, reconozcan la importancia y beneficios del uso sostenible del recurso suelo.
- Que niñas, niños y adolescentes, reconozcan la importancia y beneficios del uso sostenible del recurso agua.

3.2.3 METAS

- 600 niños, niñas y adolescentes, conocen la importancia y los beneficios del manejo sostenible de los recursos naturales.
- 6 grupos escolares, conocen las prácticas antropogénicas que contribuyen al deterioro de los recursos naturales.
- 2400 árboles sembrados y/o entregados.
- 20 baterías de clasificación de residuos sólidos establecidas.

3.2.4 METODOLOGÍA

1. Se realizó una presentación a autoridades de los centros educativos seleccionados, sobre el programa “el ambiente y yo”; con el fin de brindarles una idea de los contenidos que serían impartidos a los grupos de escolares y de los objetivos del mismo.
2. Se realizó una segunda reunión con los directores de los centros educativos con el fin de presentarles el cronograma de actividades, establecer los convenios necesarios y los requerimientos por ambas partes, para brindar las charlas.
3. Se impartieron charlas en las escuelas y telesecundarias seleccionadas. En las mismas se impartieron las charlas siguientes: 1) el bosque de mi comunidad, 2) los cuidados del bosque, 3) sembrando mi primer arbolito, 4) el agua fuente de vida, 5) conservemos nuestro suelo, 6) manejando los residuos sólidos de mi comunidad, entre otras. Dichas charlas fueron impartidas a cada 15 días.
4. Como parte de la charla sembrando mi primer arbolito, se realizó la entrega de arbolitos de diferentes especies (*Pinus* spp., *Alnus* spp. y *Cupressus lusitanica*) a los alumnos participantes o se efectuó la siembra de los mismos según el acuerdo llevado a cabo con las diferentes autoridades escolares.
5. Se realizó la gestión para la instalación de baterías de clasificación de residuos sólidos en las escuelas de primaria y una telesecundaria. Tal actividad, se llevó a cabo, como parte de la charla “manejando los residuos sólidos de mi comunidad”.
6. Se realizó la clausura del programa en los centros educativos participantes.

3.2.5 RESULTADOS

Para el desarrollo del programa “El Ambiente y Yo”: Se brindaron las charlas: 1) el bosque de mi comunidad, 2) los cuidados del bosque, 3) sembrando mi primer arbolito, 4) el agua fuente de vida, 5) conservemos nuestro suelo, 6) manejando los residuos sólidos de mi comunidad, a niños de cuarto, quinto, y sexto de ocho escuelas de educación primaria (tabla 1), así como a jóvenes de primero, segundo y tercero básico de 6 establecimientos de educación básica (tabla 2), así como varios videos informativos.

Tabla 1. Escuelas y niños que participaron en el programa “El ambiente y yo”, de FSM.

ID	Comunidad	No. Niños
1	Maquivil	255
2	Chilive	188
4	Siete Platos	53
3	Horcones	75
6	Xeabaj	100
7	Legual	61
8	Llano Grande	68
	TOTAL	813

Tabla 2. Jóvenes que participaron en el proyecto “El ambiente y yo”.

id	Comunidad	No. Jovenes
1	Baljetre	105
2	La Cal	45
3	San Jose Ixcaniche	54
4	Sipacapa	200
5	San Miguel Ixtahuacán	23
6	Xanxegual	40
	TOTAL	467



Figura 30. Charla del programa el ambiente y yo impartida a alumnos de la escuela de educación primaria de aldea Maquivil.



Figura 31. Charla del programa el ambiente y yo impartida a alumnos de la escuela de educación primaria de aldea Los Horcones.



Figura 32. Charla del programa el ambiente y yo impartida a jóvenes de la telesecundaria de aldea Baljetre, San Miguel Ixtahuacán.



Figura 33. Charla del programa el ambiente y yo impartida a jóvenes de la telesecundaria de aldea Shansegual, San Miguel Ixtahuacán.

Como parte de dicho programa a los alumnos participantes se repartieron y/o se realizó la siembra de un total de 7,832 arbolitos de especies tales como: pino, aliso, ciprés ver tabla 3 y 4.

Tabla 3. Árboles a escuelas de educación primaria en el proyecto “El ambiente y yo”.

ID	Comunidad	No. Niños	Pinos	Alisos	Cipres	TOTAL
1	Maquivil	255	510	255	255	1020
2	Chilive	188	376	188	188	752
4	Siete Platos	53	106	53	53	212
3	Horcones	75	150	75	75	300
6	Xeabaj	100	200	100	100	400
7	Legual	61	122	61	61	244
8	Llano Grande	68	136	68	68	272
	TOTAL	813	1600	800	800	3200

Tabla 4. Árboles entregados a jóvenes que participan en el proyecto “El ambiente y yo”.

id	Comunidad	No. Jovene	Pinos	Alisos	Cipres	TOTAL
1	Baljetre	105	525	871		1396
2	La Cal	45			1600	1600
3	San Jose Ixcan	54	108	54	54	216
4	INBASIPA	200	400	300	100	800
5	San Miguel Ixt	23	230	115	115	460
6	Xanxegual	40	80	40	40	160
	TOTAL	467	1194	1568	2097	4632



Figura 34. Reforestación realizada con niños de la escuela de educación primaria de aldea Chilive, San Miguel Ixtahuacán.



Figura 35. Reforestación realizada con niños de la escuela de educación primaria de aldea Llano Grande, Sipacapa.



Figura 36. Entrega de arbolitos realizada a niños de la escuela de educación primaria de aldea Xeabaj, Sipacapa.



Figura 37. Entrega de arbolitos realizada a niños de la escuela de educación primaria de aldea Maquivil, San Miguel Ixtahuacán.



Figura 38. Entrega de árboles y reforestación realizada con jóvenes del Instituto Tecnológico de San Miguel Ixtahuacán.



Figura 39. Entrega de árboles y reforestación realizada con jóvenes del instituto por telesecundaria de aldea Xanxegual, San Miguel Ixtahuacán.

El programa incluyó la instalación de baterías de clasificación de residuos sólidos (orgánicos e inorgánicos) en las escuelas beneficiadas, por lo que se implementaron 13 baterías en las escuelas antes mencionadas. El número de baterías por escuela se determinó según el primer informe sobre desechos sólidos domiciliarios elaborado por el MARN y la URL en donde se estimó que la generación ponderada de los mismos en los municipios de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa es de 0.4269kg/hab/día (siendo un 35.77% de papel y cartón, 0.4% de plásticos, 0.6% de aluminio y 30% de residuos orgánicos), por lo que se determinó la cantidad de residuos sólidos por escuela, según la tabla 5.

Tabla 5. Generación de residuos sólidos según el número de estudiantes por escuela.

ID	Comunidad	NIÑOS TOTAL	Kg/día	Lb/día	Kg/día	Lb/día	Kg/día	Lb/día	Kg/día	Lb/día
			Papel/Carton		Plasticos		Aluminio		Organicos	
1	Chilive	500	75.12	165.26	8.61	18.94	13.44	29.57	63.00	138.60
2	Maquivil	805	120.94	266.06	13.86	30.50	21.64	47.60	101.43	223.15
3	Siete Platos	202	30.35	66.76	3.48	7.65	5.43	11.95	25.45	55.99
4	Legual	166	24.94	54.87	2.86	6.29	4.46	9.82	20.92	46.02
5	Xeabaj	127	19.08	41.98	2.19	4.81	3.41	7.51	16.00	35.20
6	Llano Grande	195	29.30	64.45	3.36	7.39	5.24	11.53	24.57	54.05
7	Horcones	80	12.02	26.44	1.38	3.03	2.15	4.73	10.08	22.18

Además, conociendo que dichos establecimientos son utilizados no solo en una jornada al día sino dos o hasta tres veces y tomando en cuenta la densidad de cada material de desecho y el volumen que ocupan los mismos se determinó que era necesaria la implementación de 13 baterías de clasificación (tabla 6).

Tabla 6. Numero de botes de basura calculados para cada escuela según la generación de residuos sólidos estimada.

ID	Comunidad	NIÑOS TOTAL	Papel/Carton /día	Its Plasticos	Its Aluminio	# de botes recomendado	# de botes total
1	Chilive	500	79.33	7.71	4.99	1.62	3
2	Maquivil	805	127.72	12.42	8.04	2.61	5
3	Siete Platos	202	32.05	3.12	2.02	0.65	1
4	Legual	166	26.34	2.56	1.66	0.54	1
5	Xeabaj	127	20.15	1.96	1.27	0.41	1
6	Llano Grande	195	30.94	3.01	1.95	0.63	1
7	Horcones	80	12.69	1.23	0.80	0.26	1
TOTAL		2075					13

Ya que el número de botes totales está determinado para desechos inorgánicos y se desea clasificar los orgánicos también, el número total de botes se duplico, siendo un total de 26 botes siendo los costos siguientes si se compran depósitos individuales:

Tabla 7. Distribución de botes de basura (baterías clasificación = botes basura/2), instalados en escuelas asistidas por FSM.

ID	Comunidad	NIÑOS TOTAL	# de botes total
1	Chilive	500	6
2	Maquivil	805	10
3	Siete Platos	202	2
4	Legual	166	2
5	Xeabaj	127	2
6	Llano Grande	195	2
7	Horcones	80	2
TOTAL		2075	26



Figura 40. Entrega de baterías de clasificación de residuos sólidos en escuela de educación primaria de aldea Xeabaj, Sipacapa.



Figura 41. Instalación de baterías de clasificación de residuos sólidos en escuela de educación primaria de la aldea Maquivil, San Miguel Ixtahuacán.



Figura 42. Instalación de baterías de clasificación de residuos sólidos en escuela de educación primaria de aldea Siete Platos, San Miguel Ixtahuacán,



Figura 43. Baterías de clasificación de residuos sólidos instaladas en aldea Baljetre.



Figura 44. Baterías de clasificación de residuos sólidos instaladas en aldea Baljetre.

3.2.6 EVALUACIÓN

- Las metas propuestas para el desarrollo del presente servicio fueron: atender 600 niños y jóvenes de 6 grupos escolares, 2400 árboles entregados; así como, la implementación de 20 baterías de clasificación de residuos sólidos. Dichas metas, fueron sobrepasadas ya que al implementar el proyecto “El ambiente y yo”, se logró atender un total de 8 escuelas de educación primaria y 6 institutos de educación básica (o telesecundarias), participando en total 813 niños y 467 jóvenes, respectivamente. Además, se sembraron y/o repartieron un total de 7752 árboles de especies forestales y se instalaron un total de 23 baterías de clasificación de residuos sólidos. Por lo tanto, el 100% de las metas fueron alcanzadas durante la realización del presente servicio.

3.3 SERVICIO 2: VIVEROS COMUNALES

3.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar la capacidad de los pobladores asistidos por FSM, en el manejo de viveros con el fin de asegurar el abastecimiento y aprovechamiento sostenible de los recursos agroforestales de las comunidades y pobladores beneficiadas con el proyecto.

3.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Cuatro viveros forestales implementados, autosostenibles y con capacidad de autogestión.
- 20,000 árboles de 3 especies forestales en producción.
- 4 talleres de capacitación por comunidad participante implementados.

3.3.3 METODOLOGÍA

1. El proyecto se trabajó con grupos que ya habían sido establecidos por la institución cooperante. Por lo que se realizaron contactos con los líderes y/o lideresas de los mismos para acordar reuniones con los grupos y determinar las condiciones en que se encontraban sus viveros si los tenían y si no conocer el lugar en donde se implementarían, para darles las recomendaciones del caso.
2. Se realizó una segunda reunión para expresar a los integrantes de los diferentes grupos, las condiciones en que la institución cooperante se comprometía a brindarles el apoyo y la forma en que este se implementaría.
3. La tercera reunión, consistió en dar a conocer a los grupos el calendario de actividades para la implementación y/o seguimiento de los viveros en sus comunidades.
4. Como paso siguiente, se realizó una visita a cada comunidad para realizar los arreglos necesarios en el área; en donde, se implementarían los viveros y efectuar las primeras actividades culturales dentro del mismo.
5. Ya que uno de los requisitos para brindar el apoyo en la implementación de los viveros era establecer cajones para la elaboración de lombricompost, con el objetivo de que el mismo fuese utilizado como insumo en la producción de árboles en el vivero, se brindaron las especificaciones para la elaboración de los cajones, datos sobre el alimento de las lombrices (*Eisenia foétida*) y los materiales que podían ser utilizados para tal motivo y estuviesen disponibles en el terreno familiar, los cuidados del cajón, entre otros datos. Como aporte de la institución cooperante se brindó a cada grupo un pie de cría de la lombriz antes mencionada, mismo que fue colocado en los cajones previamente establecidos.
6. Como paso seguido se coordinaron las actividades y pláticas propias del manejo del vivero entre las que encontramos: 1) criterios para el establecimiento de un vivero, tipos de viveros, áreas de distribución, 2) preparación de sustratos, labores culturales, 3)

elaboración de abonos y preparados orgánicos para el control de plagas y enfermedades, entre otras.

7. El aporte de la institución cooperante consistió en semillas de diferentes especies forestales (principalmente pino), bolsas para almacigo, insumos que fueron entregados a los grupos participantes en su momento. Además,

3.3.4 RESULTADOS

Como parte del proceso de producción de árboles forestales se brindó asistencia técnica en el manejo de viveros además en la elaboración de abonos foliares y extractos botánicos para el control de plagas y enfermedades. En la tabla siguiente se muestra un resumen de los viveros atendidos y las plantas producidas y o en proceso de producción actual:

Tabla 8. Producción de especies forestales y aporte realizado por FSM, a diferentes grupos asistidos.

Grupo	Personas beneficiadas	Plantas Producidas
Llano Grande	12	1,800
Pie de la Cuesta	10	1,500
El Carrizal	18	1,000
La Cal	35	2,000
Nueva Victoria	10	1,000
TOTAL	85	7,300

Actualmente se ha provisto a dichos grupos de semilla de pino (*Pinus montezumae*), gravilea (*Grevillea robusta*), mismas, que fueron donadas por el departamento de ambiente de Mina Marlín y semilla de chipilín, además, de bolsas de polietileno de 6x8", donadas por Fundación Sierra Madre y se les ha brindado los talleres de capacitación siguientes:

- Preparado y llenado de bolsas.
- Preparación de abono orgánico tipo lombricompost.
- Propagación de árboles frutales por medio de injerto.
- Prácticas culturales en el vivero agro-forestal.



Figura 45. Preparación del terreno para la implementación del vivero comunitario en aldea Nueva Victoria, Sipacapa.



Figura 46. Instalación de malla perimetral en terreno preparado para la implementación del vivero comunitario en Nva. Victoria, Sipacapa.



Figura 47. Preparación de sustrato y llenado de bolsas con grupo comunitario de Nueva Victoria, Sipacapa.



Figura 48. Preparación de sustrato y llenado de bolsas en aldea El Carrizal, Sipacapa.



Figura 49. Preparación de bolsas y siembra con jóvenes de la telesecundaria de aldea La Cal, Malacatancito.



Figura 50. Preparación de bolsas y siembra con grupo de la aldea Llano Grande, Sipacapa.



Figura 51. Prácticas culturales llevadas a cabo en el vivero del grupo de aldea Pie de la Cuesta,



Figura 52. Prácticas culturales realizadas con el grupo de aldea Llano Grande, Sipacapa.

Sipacapa.

Figura 53. Preparación de abono orgánico tipo lombricompost por integrantes del grupo de aldea Llano Grande, Sipacapa.



Figura 54. Preparación de abono orgánico tipo lombricompost por integrantes del grupo de aldea Nueva Victoria, Sipacapa.



Figura 55. Representantes de grupos de las aldeas Llano Grande, Pie de la Cuesta y La Cal, asisten a gira de campo en vivero del departamento de ambiente de Mina Marlin, para ser capacitados en la preparación de sustrato y llenado de bolsas.



Figura 56. Representantes de grupos de Llano Grande y Pie de la Cuesta, asisten a gira de campo en vivero del departamento de ambiente de Mina Marlin, para ser capacitados en la elaboración de injertos en árboles frutales.



Figura 57. Árboles de aliso en vivero de aldea Llano Grande, Sipacapa, listos para la venta.



Figura 58. Comercialización de árboles del vivero de aldea Llano Grande, Sipacapa, a Fundación Sierra Madre para ser utilizados en el programa de educación ambiental de la misma.

3.3.5 EVALUACIÓN

- En dicho proyecto, se contempló la implementación de 4 viveros agroforestales, produciendo un total de 10,000 árboles forestales y la implementación de 4 talleres de capacitación por comunidad participantes. Las metas alcanzadas en dicho proyecto son 5 viveros implementados, 7,300 plantas producidas y 4 talleres impartidos a los participantes. Por lo que se puede observar que la mayor parte de las mismas, fueron completadas en su mayoría.

3.4 BIBLIOGRAFÍA

1. FSM (Fundación Sierra Madre, GT). 2005a. Módulo 2: el vivero forestal de mi comunidad. San Marcos, Guatemala. 44 p.
2. _____. 2005b. Módulo 3: los frutales de mi comunidad. San Marcos, Guatemala. 52 p.
3. _____. 2005c. Módulo 4: cuidemos la tierra que es nuestra casa mayor. San Marcos, Guatemala. 47 p.