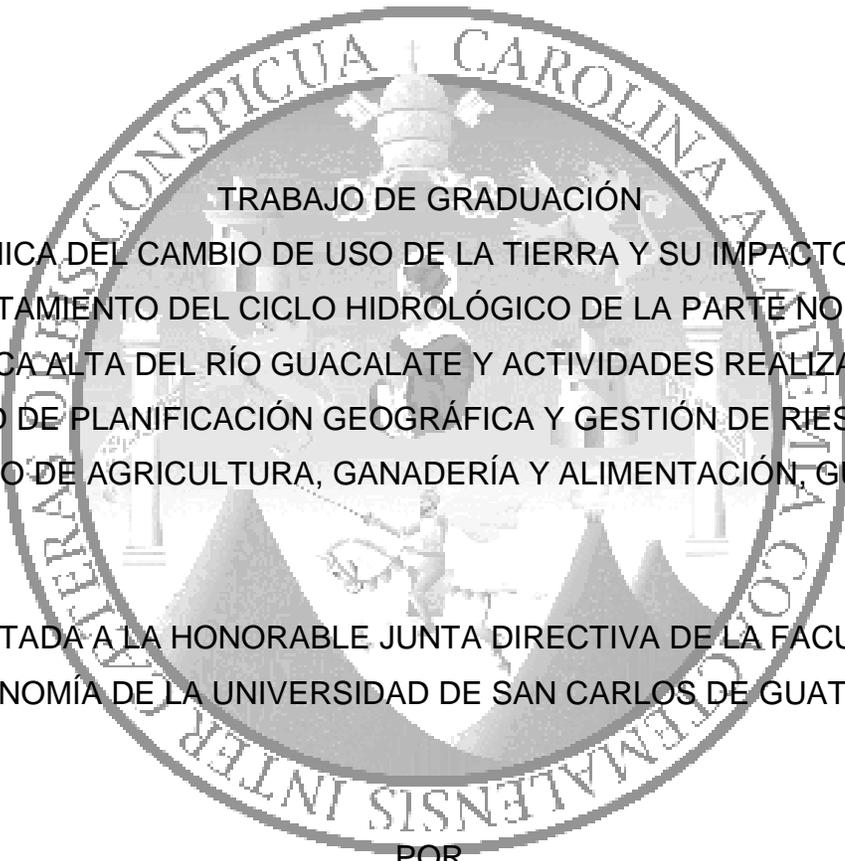


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central shield with a cross, a book, and other symbols. The shield is surrounded by a circular border containing the Latin motto "LIBERTAS CONSPICUA CAROLINA AETERNITAS".

TRABAJO DE GRADUACIÓN
DINÁMICA DEL CAMBIO DE USO DE LA TIERRA Y SU IMPACTO EN EL
COMPORTAMIENTO DEL CICLO HIDROLÓGICO DE LA PARTE NORTE DE LA
SUBCUENCA ALTA DEL RÍO GUACALATE Y ACTIVIDADES REALIZADAS EN LA
UNIDAD DE PLANIFICACIÓN GEOGRÁFICA Y GESTIÓN DE RIESGO DEL
MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN, GUATEMALA.

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

POR

CÁNDIDA AZUCENA TACAM CÚMEZ

En el acto de investidura como
INGENIERA AGRÓNOMA
EN
RECURSOS NATURALES RENOVABLES
EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

LIC. CARLOS ESTUARDO GALVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	MSc. Francisco Vásquez y Vásquez
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Walter Antonio Reyes Sanabria
VOCAL TERCERO	MSc. Danilo Ernesto Dardón Ávila
VOCAL CUARTO	Br. Rigoberto Morales Ventura
VOCAL QUINTO	Br. Miguel Armando Salazar Donis
SECRETARIO	MSc. Edwin Enrique Cano Morales

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2008

Guatemala, Noviembre de 2008

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: **Dinámica del cambio de uso de la tierra y su impacto en el comportamiento del ciclo hidrológico de la parte norte de la subcuenca alta del río Guacalate y actividades realizadas en la Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala**, como requisito previo a optar el título de Ingeniera Agrónoma en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciada.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Cándida Azucena Tacam Cúmez

Concédeles buenos caminos, hermosos caminos planos... que sea buena la existencia de los que te dan el sustento y el alimento en tu boca, en tu presencia, a ti, Corazón del Cielo, Corazón de la Tierra, envoltorio de la majestad... los cuatro rincones, los cuatro puntos... Popol Vuh

ACTO QUE DEDICO

A DIOS creador y formador de cada momento y lugar perfecto en la vida, por permitirme la dicha inmensa de lograr esta meta.

A MIS PADRES Rosa Cándida Cúmez Salazar y Arnaldo Tacam Batz, por darme la oportunidad de soñar y creer en un futuro mejor.

A MIS ABUELOS por ser forjadores de una generación de personas con ideales firmes en un mejor porvenir.

A MIS HERMANOS Ludvin Arnaldo, Manuela Floridalma, Elvin Basilio, Fernando Emilio, por su apoyo y comprensión.

A MIS TIOS por su apoyo, preocupación y motivación en cada momento de mi vida.

A MIS PRIMOS para demostrarles que las metas con la ayuda de DIOS y el esfuerzo se pueden cumplir.

A MIS AMIGOS por su cariño, aprecio y apoyo en cada momento de nuestras vidas.

A MI NOVIO José Nazario López Par por ser un compañero incondicional y un gran amigo.

A MI AMIGA Kimberly Amparo Ajuchan Amador (QEP) por que se que desde dónde este se encuentra orgullosa de este logro.

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A DIOS por que a pesar de las adversidades me dio la fuerza para mantenerme firme y lograr esta meta.

A MIS PADRES Rosa Cándida Cúmez Salazar y Arnaldo Tacam Batz, por su apoyo incondicional.

A MIS ABUELOS por ser personas con visión amplia hacia una mejor forma de vida, manteniendo firmemente nuestra identidad. de que con dedicación podemos aportar esfuerzos para mejorar nuestro país.

A MIS HERMANOS Ludvin Arnaldo, Manuela Floridalma, Elvin Basilio, Fernando Emilio, por su fe y confianza para obtener esta meta.

A MIS AMIGAS Y AMIGOS por su cariño y apoyo en los buenos y en los difíciles momentos.

A MI NOVIO José López por su cariño, apoyo y comprensión durante la elaboración del presente documento.

A LA FAMILIA LÓPEZ PAR por su colaboración y apoyo.

A LA UNIDAD DE PLANIFICACIÓN GEOGRÁFICA Y GESTIÓN DE RIESGO por el apoyo brindado y por darme la oportunidad de desarrollarme en el campo profesional.

A LA FACULTAD DE AGRONOMÍA por ser el medio de conocimientos por el cual pude alcanzar esta meta.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por brindarme la vida y cada oportunidad en ella.

A MIS PADRES Rosa Cándida Cúmez Salazar y Arnaldo Tacam Batz, por su paciencia y por el esfuerzo que realizaron y siguen realizando hasta el día de hoy.

A MIS HERMANOS Ludvin Arnaldo, Manuela Floridalma, Elvin Basilio, Fernando Emilio, por comprender cada momento de mi vida y apoyarme incondicionalmente.

A MIS AMIGAS Y AMIGOS Ava Castillo, Chahim Huet, Glenda Morales, Flor Calderón, Paola Ochoa, Rogelio Pacheco, por todo su apoyo y compañerismo, en especial a José Nazario López Par por su amistad y apoyo y a Julia Camel Franco y su familia por su apoyo en los momentos más difíciles.

A MIS COMPAÑERAS Y COMPAÑEROS DE LA ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA por su apoyo y comprensión en los buenos y difíciles momentos en especial a Merilan Fabiola Ramos Solares, por ser una gran amiga.

A MI SUPERVISOR Ing. Agr. Marco Vinicio Fernández por su importante apoyo y guía durante el proceso del EPS y en la elaboración del presente.

A MI ASESOR Ing. Agr. Marvin Salguero por aportar sus conocimientos en la elaboración de la investigación.

A LA UNIDAD DE PLANIFICACION GEOGRÁFICA Y GESTIÓN DE RIESGO, ingenieros José Miguel Duro, Rudy Vásquez, Rovoham Monzón, por su apoyo y confianza brindada, al personal administrativo; Rafael López, Maria del Carmen Hernández, Consuelo Marroquín, Marco González, personal del Laboratorio SIG-MAGA; Elmer Pérez, Odilia Pineda, José Folgar, Miriam Tejeda, Gustavo Rosal, Ing. Arturo Cruz, ingenieros del proyecto mapa de taxonomía; Roberto Moscoso, Hugo Corzo, José Manuel Sánchez, Otto Illescas, César García, Manuel Tum, por su compañerismo y apoyo.

INDICE GENERAL

CONTENIDO	PAGINA
INDICE GENERAL	i
INDICE DE FIGURAS.....	iii
INDICE DE CUADROS.....	iv
RESUMEN.....	viii
CAPITULO I	
DIAGNÓSTICO DEL PROYECTO: MAPA DE TAXONOMÍA DE SUELOS Y CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA A ESCALA 1:50,000 DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA.....	
	1
1.1 Presentación	2
1.2 Marco Referencial.....	3
1.2.1 Ubicación geográfica.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.4 Metodología	5
1.4.1 Primera fase.....	5
1.4.2 Segunda fase.....	5
1.4.3 Tercera fase.....	5
1.4.4 Recursos.....	6
1.5 Resultados.....	7
1.5.1 Antecedentes.....	7
1.5.2 Aspectos de organización y función en la unidad	7
1.5.3 Personal de la –UPGGR.....	8
1.5.4 Funciones del personal.....	8
1.5.5 Proyectos y procesos dentro la –UPGGR-.....	9
1.5.6 Aspectos de procedimientos operativos:.....	10
1.5.7 Proyecto de taxonomía	11
1.5.7.1 Antecedentes.....	12
1.5.7.2 Responsables técnicos.....	12
1.5.7.3 Productos esperados.....	13
1.5.7.4 Avances en la zona piloto.....	15
1.5.7.5 Análisis de la problemática.....	18
1.5.7.6 Priorización de problemas	21
1.5.7.7 Soluciones potenciales	21
1.6 Conclusiones y recomendaciones	23
1.7 Bibliografía.....	24
CAPÍTULO II	
INVESTIGACIÓN DINÁMICA DEL CAMBIO DE USO DE LA TIERRA Y SU IMPACTO EN EL COMPORTAMIENTO DEL CICLO HIDROLÓGICO DE LA PARTE NORTE DE LA SUBCUENCA ALTA DEL RÍO GUACALATE, GUATEMALA.....	
	25
2.1 Presentación	26
2.2 Planteamiento del problema	27
2.3 Marco teórico	28
2.3.1 Marco conceptual.....	28
2.3.2 Marco referencial.....	52
2.4 Objetivos.....	58

2.5	Hipótesis	59
2.6	Metodología	60
2.6.1	Elaboración de escenarios	60
2.6.2	Balances hídricos de suelos	62
2.6.3	Estimación de los caudales máximos de escorrentía	63
2.6.4	Estimación del volumen de escorrentía esperado	68
2.7.	Resultados y discusión.....	69
2.7.1	Establecimiento de escenarios	69
2.7.2	Balances hídricos de suelos	77
2.7.3	Estimación de los caudales máximos de escorrentía	82
2.7.4	Comparación del volumen de escorrentía	92
2.8	Conclusiones.....	97
2.9	Recomendaciones.....	99
2.10	Bibliografía	101
2.11	Apéndices	105

CAPITULO III

	INFORME DE SERVICIOS PRESTADOS EN LA UNIDAD DE PLANIFICACIÓN GEOGRÁFICA Y GESTIÓN DE RIESGO –UPGGR-	125
3.1	Presentación	126
3.2	SERVICIO No. 1: APOYO A EDAFÓLOGOS EN LA DESCRIPCIÓN DE OBSERVACIONES DE CAMPO EN EL MUNICIPIO DE SANTA LUCIA MILPAS ALTAS, PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE TAXONOMÍA DE SUELOS.....	127
3.2.1	Objetivos	127
3.2.2	Metas.....	127
3.2.3	Metodología.....	127
3.2.4	Resultados.....	130
3.2.5	Evaluación.....	134
3.3	SERVICIO No. 2. TALLER DE CAPACITACIÓN, SOBRE VISUALIZACIÓN, CONSULTA DE INFORMACIÓN, CLASIFICACIÓN Y EXTRACCIÓN DE INFORMACIÓN MEDIANTE EL SOFTWARE ArcView 3.3.....	135
3.3.1	Objetivos.....	135
3.3.2	Metas.....	135
3.3.3	Metodología.....	135
3.3.4	Resultados.....	136
3.3.5	Evaluación	137
3.3.6	Bibliografía.....	138

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Ubicación de la –UPGGR-.	3
2. Organigrama de la UPGGR.	8
3. Mapa de ubicación de la parte norte del Alto Guacalate	54
4. Hidrografía y relieve subcuenca, parte norte Alto Guacalate	55
5. Dinámica del uso de la tierra de la parte norte de la subcuenca del	71
6. Dinámica del uso de la tierra de la parte norte de la subcuenca del Alto Guacalate, en el período 1980-2008.	72
7. Mapa de capacidad de uso de la tierra, parte norte Alto Guacalate.....	73
8. Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra año 1980, parte norte Alto Guacalate....	74
9. Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra año 2000, parte norte Alto Guacalate....	75
10. Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra año 2008, parte norte Alto Guacalate....	76
11. Resumen general de los balances hídricos de suelos para las diferentes condiciones de uso de la tierra en la parte norte del Alto Guacalate.....	82
12. Resumen general de los caudales máximos para las diferentes condiciones de uso de la tierra en la parte norte del Alto Guacalate.....	92
13. Comparación entre caudal estimado y medido en la parte norte de la subcuenca del Alto Guacalate.....	96
14 A. Curva intensidad-duración-frecuencia de la estación meteorológica Alameda ICTA, Chimaltenango, Guatemala.....	124

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. Análisis FODA del proyecto Taxonomía	19
2. Priorización de problemas.....	21
3. Valores de coeficientes de escorrentía (C)	64
4. Valores del coeficiente C de la escorrentía.....	65
5. Coeficientes para fórmula de Mac Math, para cálculo de escorrentía	67
6. Dinámica del uso de la tierra de la parte norte de la subcuenca del Alto Guacalate, en los escenarios 1980, 2000 y 2008.	71
7. Dinámica del uso de la tierra de la parte norte de la subcuenca del Alto Guacalate, en el período 1980-2008.....	72
8. Resumen del balance hídrico en condiciones de capacidad de uso de la tierra para la parte norte de la subcuenca del Alto Guacalate.	77
9. Resumen del balance hídrico aplicado a diferentes usos de la tierra para el año 1980, para la parte norte de la subcuenca del Alto Guacalate.	78
10. Resumen de los balances en condiciones de cobertura vegetal y uso de la tierra para el año 2000, para la parte norte de la subcuenca del Alto Guacalate.	79
11. Resumen de los balances hídricos en condiciones de cobertura vegetal y uso de la tierra para el año 2008, para la parte norte de la subcuenca del Alto Guacalate.	80
12. Resumen general de los balances hídricos de suelos para las diferentes condiciones de uso de la tierra en la parte norte de la subcuenca del Alto Guacalate ..	81
13. Coeficientes de escurrimiento por escenario de la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate.	85
14. Intensidades de lluvia (mm/h), para el tiempo de concentración promedio de la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate.	87
15. Caudales máximos esperados, bajo diferentes escenarios de uso de la tierra para la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate, Guatemala, calculados por el método racional.	88
16. Caudales máximos esperados, bajo diferentes escenarios de uso de la tierra para la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate, Guatemala, calculados por el método de Mac Math.	89

17. Comparación de los caudales máximos calculados por los métodos Racional y Mac Math para la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate, Guatemala.....	91
18. Ponderación del valor de curva número	93
19. Caudales mensuales del río Guacalate.	94
20. Sedimentos (partículas en suspensión) mensuales del río Guacalate.	94
21. Análisis comparativo de los caudales del río Guacalate norte.....	95
22 A. Leyenda del mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra a escala 1:50,000.....	106
23 A. Coeficientes de escurrimiento de las categorías de cobertura de uso de la tierra, bajo condiciones de capacidad de uso de la tierra la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate.	107
24 A. Coeficientes de escurrimiento de las coberturas de uso de la tierra, bajo condiciones de uso de la tierra del año 1980 de la parte norte de la subcuenca G Alto Guacalate.....	107
25 A. Coeficientes de escurrimiento de las coberturas de uso de la tierra, bajo condiciones de uso de la tierra del año 2000 de la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate.....	108
26 A. Coeficientes de escurrimiento de las coberturas de uso de la tierra, bajo condiciones de uso de la tierra del año 2008 de la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate.....	108
27 A. Coeficientes de escorrentía promedio para el escenario capacidad de uso de la tierra, método Mac Math, de la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate, Guatemala.....	109
28 A. Coeficientes de escorrentía promedio para el escenario cobertura vegetal y uso de la tierra 1980, método Mac Math, de la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate, Guatemala.	109
29 A. Coeficientes de escorrentía promedio para el escenario cobertura vegetal y uso de la tierra 2000, método Mac Math, de la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate, Guatemala.	110
30 A. Coeficientes de escorrentía promedio para el escenario cobertura vegetal y uso de la tierra 2008, método Mac Math, de la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate, Guatemala.	110
31 A. Balance hídrico de suelos a capacidad de uso de la tierra de la categoría agricultura sin limitaciones.	111

32 A. Balance hídrico de suelos a capacidad de uso de la tierra de la categoría agricultura con mejoras.	111
33 A. Balance hídrico de suelos a capacidad de uso de la tierra de la categoría agroforestería con cultivos anuales.	112
34 A. Balance hídrico de suelos a capacidad de uso de la tierra de la categoría agroforestería con cultivos permanentes.	112
35 A. Balance hídrico de suelos a capacidad de uso de la tierra de la categoría sistemas silvopastoriles.	113
36 A. Balance hídrico de suelos a capacidad de uso de la tierra de la categoría tierras forestales de producción.	113
37 A. Balance hídrico de suelos a capacidad de uso de la tierra de la categoría tierras forestales de protección.	114
38 A. Balance hídrico de suelos de la cobertura vegetal y uso de la tierra año 1980, de la categoría bosque.	114
39 A. Balance hídrico de suelos de la cobertura vegetal y uso de la tierra año 1980, de la categoría café.	115
40 A. Balance hídrico de suelos de la cobertura vegetal y uso de la tierra año 1980, de la categoría de centros poblados.	115
41 A. Balance hídrico de suelos de la cobertura vegetal y uso de la tierra año 1980, de la categoría cultivos anuales.	116
42 A. Balance hídrico de suelos de la cobertura vegetal y uso de la tierra año 1980, de la categoría pastos.	116
43 A. Balance hídrico de suelos de la cobertura vegetal y uso de la tierra año 2000 y 2008, de la categoría bosque.	117
44 A. Balance hídrico de suelos de la cobertura vegetal y uso de la tierra año 2000 y 2008, de la categoría café.	117
45 A. Balance hídrico de suelos de la cobertura vegetal y uso de la tierra año 2000 y 2008, de la categoría centros poblados.	118
46 A. Balance hídrico de suelos de la cobertura vegetal y uso de la tierra año 2000 y 2008, de la categoría cultivos anuales.	118
47 A. Balance hídrico de suelos de la cobertura vegetal y uso de la tierra año 2000 y 2008, de la categoría cultivos perennes.	119

48 A. Balance hídrico de suelos de la cobertura vegetal y uso de la tierra año 2000 y 2008, de la categoría pastos.	119
49 A. Precipitación acumulada para tres niveles de condición de humedad antecedente.	120
50 A. Número de curva de escorrentía para áreas urbanas	120
51 A. Número de curva de escorrentía para tierras agrícolas cultivadas.....	121
52 A. Número de curva de escorrentía de otras tierras agrícolas.....	122
53 A. Números de curva de escorrentía correspondientes a tres condiciones de AMC. .	123
54. Material y equipo para descripción de suelos.	131
55. Leyenda geomorfológica de Santa Lucía Milpas Altas.....	132

RESUMEN

Trabajo de graduación: Dinámica del cambio de uso de la tierra y su impacto en el comportamiento del ciclo hidrológico de la parte norte de la subcuenca alta del río Guacalate y actividades realizadas en la Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala.

El presente documento fue elaborado dentro del marco del Ejercicio Profesional Supervisado –EPS-, la información que contiene, incluye el diagnóstico, la investigación y los servicios realizados dentro de la Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo.

El diagnóstico incluye el estado de la unidad, enfatizando en el Proyecto “Mapa de taxonomía de suelos y capacidad de uso de la tierra, a escala de semidetalle de la República de Guatemala”, en el que se identificó como principal objetivo: obtener información precisa de las características del suelo, para mejorar el uso de la tierra a nivel nacional, utilizando metodologías propuestas por el Instituto Agustín Codazzi de Colombia, iniciando con el departamento de Chimaltenango como proyecto piloto. Dentro del análisis del estado del proyecto se identificó la necesidad de obtener un estudio que demuestre la importancia del uso adecuado de la tierra, para mejorar las condiciones de vida de los habitantes de las distintas áreas bajo estudio, dicho estudio se consolidó con la elaboración de la investigación de la dinámica del cambio de uso de la tierra.

Con la investigación realizada se identificaron importantes diferencias en la dinámica del cambio de uso de la tierra de la parte norte de cuenca del río Alto Guacalate, entre el año 1980 al año 2008, período en el que se presentó un aumento de centros poblados, promoviendo la disminución de zonas agrícolas y área forestal, lo cual se reflejó en la disminución de la lámina de la recarga hídrica, aumentando así la lámina de escorrentía superficial, repercutiendo en la disminución de la capacidad de abastecimiento de agua para las zonas dentro de dicha cuenca, además se estimó que los caudales máximos de escorrentía esperados sobrepasan la capacidad del río, fenómeno provocado por el aumento de zonas impermeables.

Los servicios que se realizaron fueron: el apoyo a los edafólogos del proyecto Mapa de taxonomía de suelos, en el levantamiento de suelos del municipio de Santa Lucía Milpas Altas y dentro del Laboratorio SIG-MAGA de la UPGGR se apoyó impartiendo una serie de talleres a los coordinadores departamentales del MAGA, sobre la consulta, visualización, extracción y uso de la información digital georreferenciada elaborada por dicho laboratorio.



CAPITULO I

DIAGNÓSTICO

DIAGNÓSTICO DEL PROYECTO: MAPA DE TAXONOMÍA DE SUELOS Y CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA A ESCALA 1:50,000 DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA

1.1 Presentación

Para identificar el estado actual de un área es necesario realizar un diagnóstico, el cual debe incluir la dinámica de trabajo y avance de las actividades que se realizan, con el fin de presentar un panorama general del lugar.

El presente diagnóstico incluye una breve descripción de la Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo, seguida de la descripción del avance del proyecto: Mapa de Taxonomía de suelos y capacidad de uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala.

El Proyecto Mapa de taxonomía tiene como principal fin, actualizar y generar información sobre suelos, donde el único estudio a nivel de la República es el de Simmons y Tárano, de hace casi 50 años y presentado en escala de reconocimiento, por esta razón este es un proyecto de clasificación taxonómica, que permitirá la consulta y comparación con información de suelos de otros países, para establecer una mejora en los cultivos y los sistemas de producción agrícola.

1.2 Marco Referencial

1.2.1 Ubicación geográfica

La Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo –UPGGR-, del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación -MAGA-, se encuentra ubicada en la 7ª. Ave.12—90, zona 13, Ciudad de Guatemala.

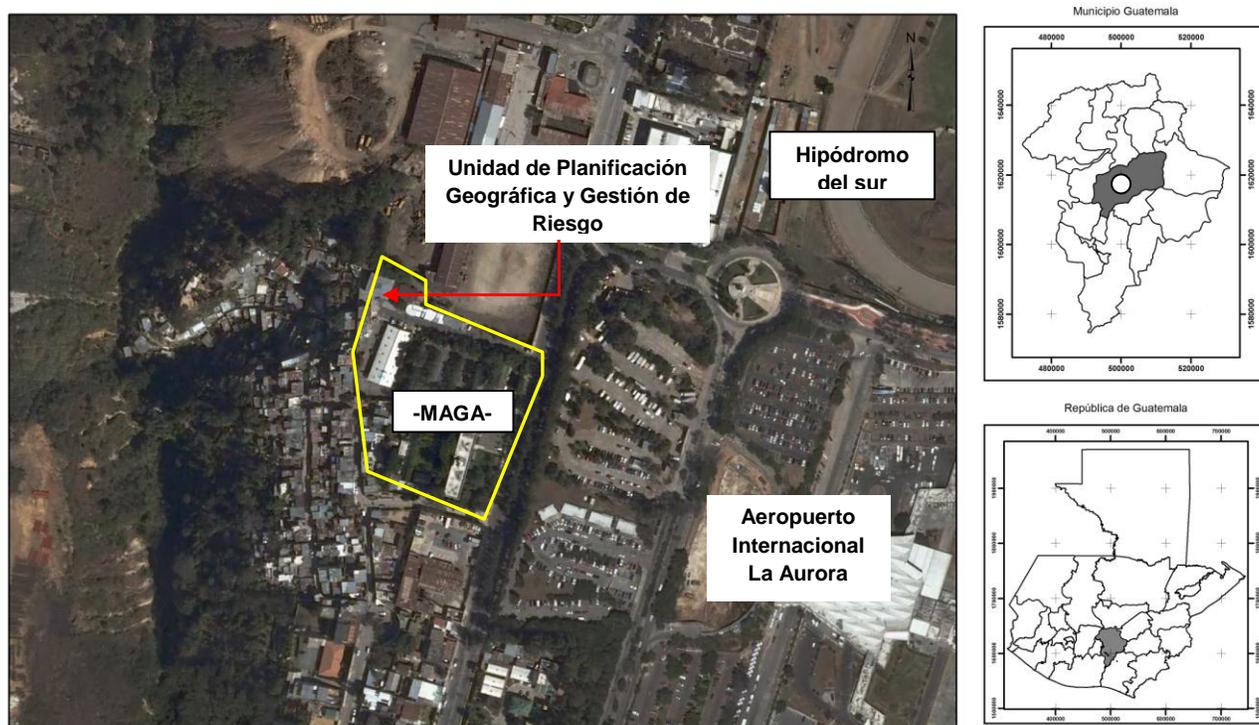


Figura 1. Ubicación de la –UPGGR-.

1.3 Objetivos

General

Realizar el diagnóstico de la Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo – UPGGR-, del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA-.

Específicos

- Describir y conocer el funcionamiento y principios de la –UPGGR-.
- Diagnosticar el estado actual del proyecto mapa de taxonomía de suelos y capacidad de uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala.
- Identificar problemas dentro de la unidad.

1.4 Metodología

La elaboración del diagnóstico, se efectuó a partir de las siguientes fases:

1.4.1 Primera fase

Durante esta fase se realizó la planificación de la obtención de información primaria y secundaria, la cual consistió en lo siguiente:

Obtención de información secundaria: durante esta fase se investigaron los componentes a la –UPGGR-, por medio de la consulta a fuentes secundarias, como manuales elaborados por la unidad, documentos electrónicos.

Observación del funcionamiento de la unidad: durante esta fase se recopiló información primaria a través de las personas encargadas de las distintas áreas, tanto técnica como administrativa, se identificaron las distintas áreas que existen dentro de la unidad, su funcionamiento y el aporte que ofrecen en la misión de la unidad.

1.4.2 Segunda fase

Consistió en el procesamiento e interpretación de la información obtenida a través de las fuentes primarias y secundarias.

También se verificaron los datos obtenidos, para garantizar la confiabilidad de los resultados reportados.

1.4.3 Tercera fase

En esta fase se interpretaron y priorizaron los problemas detectados con ayuda del análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas), además se plantearon las posibles soluciones de los mismos.

Se identificó el estado actual de la unidad y se propuso un tema de investigación con interés tanto para la unidad como para los usuarios que requieran el tipo de información generada, además se propondrán los servicios necesarios a la unidad.

1.4.4 Recursos

La mayoría de recursos necesarios se encuentran dentro de la unidad, los principales fueron:

Recursos materiales

- Libreta de anotaciones diarias
- Lápices y lapiceros
- Documentos electrónicos o físicos de información acerca de la unidad
- Equipo de computación

Recursos humanos

- Entrevista al encargado del área técnica
- Entrevista al encargado del área administrativa
- Entrevista a los edafólogos

1.5 Resultados

1.5.1 Antecedentes

Durante el 2002 el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación --MAGA- gestionó la aprobación para la formación de una unidad con carácter permanente, dotada de presupuesto anual, tanto interno del Ministerio como externo al mismo. Dando cumplimiento a lo anteriormente citado, el 27 de mayo del 2002 se publica en el Diario de Centro América, el Acuerdo Ministerial No. 750-2002 mediante el cual se crea la Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo –UPGGR-; como una Unidad Especial de Ejecución dentro del -MAGA-. Durante el tiempo transcurrido desde su creación a la presente fecha, las autoridades Ministeriales determinaron conveniente transformar a dicha Unidad como una dependencia permanente dentro de su estructura, para lo cual se modificó el Reglamento Orgánico Interno del -MAGA-, contenido en el Acuerdo Gubernativo Número 278-98 de fecha 20 de mayo de 1998, publicándose el Acuerdo Gubernativo No.216-2005 en el diario oficial el 23 de junio del año 2005 debidamente avalado por el Señor Presidente de la República y sus reformas. Dicha Unidad depende directamente del Despacho Ministerial (MAGA, 2002).

La UPGGR cuenta con personal técnico y administrativo, el cual esta adscrito al Despacho del -MAGA- y así mismo contará con la supervisión del Despacho del Viceministerio de Agricultura del -MAGA-(MAGA, 2002).

1.5.2 Aspectos de organización y función en la unidad

La unidad de planificación geográfica y gestión de riesgo se encuentra conformada y funcionando con base a:

- **Misión:** generar, procesar y poner a disposición de las autoridades del Ministerio y Proyectos vinculados, información cartográfica y temática, vinculada a los Recursos Naturales Renovables y aspectos sociales que orienten en la toma de decisiones destinadas al cumplimiento de la política agropecuaria nacional.(3)
- **Visión:** el país cuenta con información digital actualizada que facilita la elaboración de Programas, Proyectos, Planes y otras herramientas tendientes a alcanzar el ideal de un desarrollo sostenible (MAGA, 2002).

- **Objetivo:** la generación de información digital georreferenciada, así como la utilización de la misma para orientar la toma de decisiones del Despacho del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación e instituciones vinculadas (MAGA, 2002).

1.5.3 Personal de la –UPGGR-

La organización dentro de la Unidad se presenta en el siguiente organigrama:

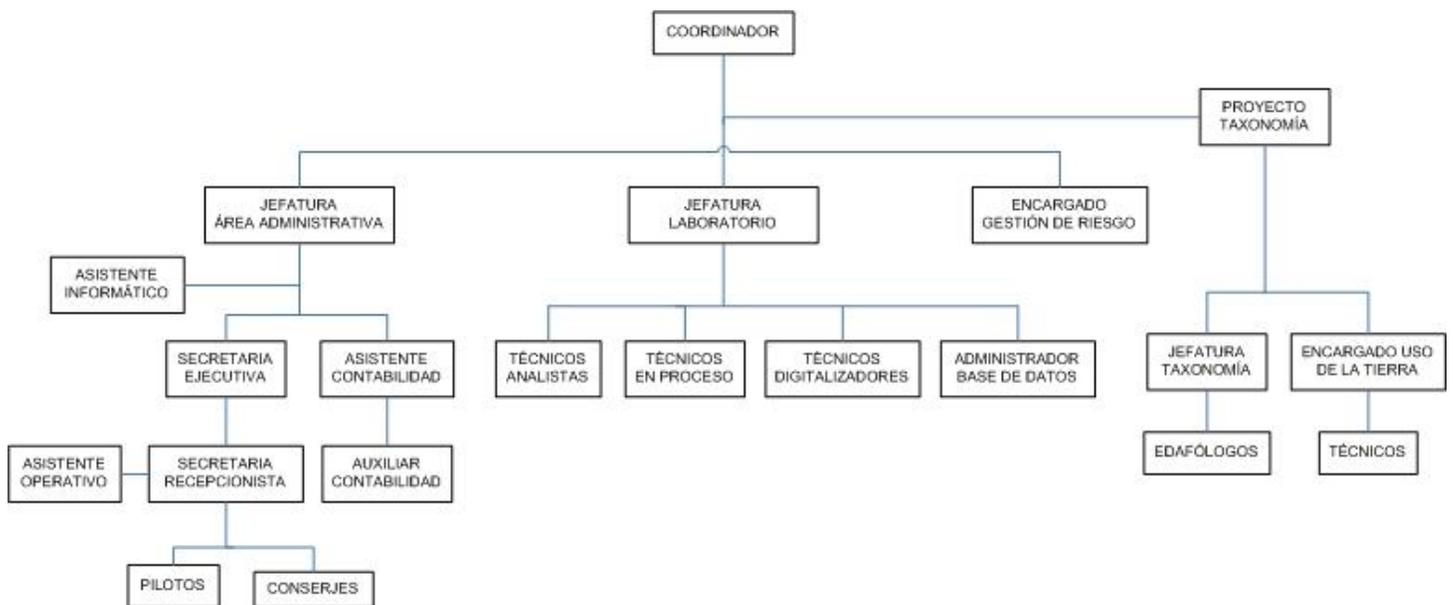


Figura 2. Organigrama de la UPGGR.

1.5.4 Funciones del personal

De acuerdo al organigrama presentado en el reglamento de funciones y operaciones, el personal de la UPGGR cumple con las siguientes funciones:

- **Coordinador general**

Define los criterios de análisis y métodos apropiados para solventar las solicitudes de apoyo técnico, dictámenes, estudios y proyectos solicitados por el despacho ministerial dentro de la temática de su dominio, enmarcados en cartografía digital y temática referida a recursos naturales renovables y medidas de prevención-mitigación de daños causados por desastres naturales (MAGA, 2002).

- **Jefe administrativo**

Tiene a su cargo la contabilidad de la unidad que incluye la contabilidad de los gastos efectuados sobre los fondos asignados, para lo cual registra las operaciones realizadas por la unidad en los registros contables establecidos. Personal a su cargo: asistente informático, secretaria ejecutiva, asistente de contabilidad, asistente operativo, secretaria recepcionista, auxiliar de contabilidad, pilotos, conserjes (MAGA, 2002).

- **Jefe técnico de laboratorio**

Tiene a su cargo el funcionamiento del laboratorio SIG-MAGA, personal a su cargo: técnicos analistas, técnicos en procesos, técnicos digitalizadores, administrador de base de datos (MAGA, 2002).

- **Jefe técnico y encargado de gestión de riesgo:**

Área técnica: elabora y supervisa el funcionamiento de las bases de datos vinculantes a la información cartográfica generada, esto es el desarrollo de la base de datos espaciales y no espaciales: incluyendo la captura, edición, impresión e informes de todos los mapas (MAGA, 2002).

Gestión de riesgo: coordina con la unidad de operaciones rurales del -MAGA-, la55 identificación y delimitación de áreas afectadas por desastres naturales; establece métodos de valoración, para los sistemas de producción en el laboratorio de SIG, elabora y analiza los diferentes mapas que se realizan dentro de su ámbito de acción (MAGA, 2002).

- **Jefe del proyecto de mapa de taxonomía:**

Tiene a su cargo la dirección del proyecto mapa de taxonomía de suelos.

1.5.5 Proyectos y procesos dentro la –UPGGR-

Las principales actividades dentro de la unidad, actualmente son:

a. Proyecto Obtención de imágenes digitales a escala de detalle de la República de Guatemala

Mediante el cual se generarán una serie de imágenes digitales, ortofotos y una base cartográfica a escala 1:50,000; con lo cual se contará con la información necesaria y básica para realizar aplicaciones en los temas sectoriales vinculados a la generación de cartografía temática.

La producción agrícola en su contexto general, la promoción y aplicación de la política de desarrollo rural, y la realización del catastro nacional, con énfasis a los predios rurales (MAGA, 2006).

Posee cuatro componentes que son:

- Obtención de imágenes digitales y ortofotos.
- Sistemas de almacenamiento de la información.
- Actualización de la base cartográfica a escala 1:50,000.
- Digitalización e indexación de duplicados del registro general de la propiedad (MAGA, 2006).

b. Proyecto Mapa de Taxonomía de suelos y capacidad de uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala

A continuación se presenta un resumen del proyecto; el objetivo es la generación de mapas de taxonomía de suelos, capacidad de uso y formas alternativas de uso de la tierra a una escala de semidetalle 1:50,000, en los 8 departamentos indicados. Se pretende llenar un vacío de información sobre suelos de casi 50 años ya que el último estudio en esta región data del año 1959; y a una escala de reconocimiento 1:250,000 (MAGA, 2007).

Con este proyecto se conocerán a detalle las características de los suelos, sus limitaciones, su fertilidad y se podrán clasificar científicamente. Esta clasificación taxonómica de cada unidad de suelo, funcionará como una llave que permitirá el acceso a informaciones de otros países sobre este tipo de suelo y eso facilitará la transferencia de tecnología (MAGA, 2007).

1.5.6 Aspectos de procedimientos operativos:

Los procedimientos operativos que se llevan a cabo dentro de la unidad se describen de la siguiente manera:

- **Procesamiento de información digital:** es el procesamiento que realiza la UPGGR, de sus bases de datos y mapas generados a escala 1:250,000, para el despacho y unidades del -MAGA-.

- **Generación de cartografía digital:** se refiere a la generación que realiza la UPGGR de bases de datos y mapas a escala 1:50,000 o de mayor detalle, apoyando al Instituto Geográfico Nacional –IGN- en la elaboración de la cartografía base digital a escala 1:50,000 del país.
- **Apoyo a proyectos vinculados con el -MAGA-:** se refiere al apoyo que brinda la unidad a proyectos vinculados con el -MAGA-, generando información de utilidad; el apoyo esta referido a bases de datos y mapas a diversas escalas, así como perfiles, proyectos agropecuarios y de recursos naturales.
- **Apoyo a diferentes instituciones del Estado:** atención que se brinda a otras instituciones del estado, fuera del Ministerio, principalmente a aquellas vinculadas al sector agrícola o de gestión de riesgo, por solicitudes para el procesamiento y generación de información que realiza el laboratorio de información geográfica de sus bases de datos y mapas generados a escala 1:250,000.
- **Aspectos de gestión de riesgo:** considera todas aquellas actividades que incluyen disminuir la vulnerabilidad, mediante acciones de prevención y mitigación de daños causados, al sector agropecuario, derivados principalmente de los desastres naturales.
- **Apoyo a usuarios externos:** atención que se brinda a los usuarios externos al ministerio, principalmente a los vínculos del sector agrícola (productores, grupos comunitarios organizados, cooperativas y otros).
Atención a solicitudes para el procesamiento y generación de información que realiza el laboratorio de información geográfica de sus bases de datos y mapas generados a escala 1:250,000 y otras disponibles.
- **Resolución de contingencias del área técnica:** básicamente se refiere a la resolución de contingencias que realiza el área técnica de la UPGGR.
- **Realización de actividades administrativas:** realización de todas las gestiones y actividades administrativas financieras que faciliten herramientas necesarias para la ejecución de objetivos esperados del área administrativa (MAGA, 2002).

1.5.7 Proyecto de taxonomía

El proyecto de taxonomía es uno de los principales que se encuentra en ejecución, el cual se divide en dos fases; este proyecto se describe a continuación:

1.5.7.1 Antecedentes

Como parte de las acciones del -MAGA- para aumentar el nivel de detalle para la operativización de la política agropecuaria, se suscribió el convenio de cooperación No. 43-2006 fortalecimiento interinstitucional y asistencia técnica entre el -MAGA- y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi de la República de Colombia –IGAC-, al amparo del cual y como objeto del mismo el IGAC se compromete a prestarle al -MAGA- la asesoría, capacitación, acompañamiento y supervisión para la obtención del “mapa de taxonomía de suelos y capacidad de uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala (fase I y II)”, que comprende los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Totonicapán, Sololá, Chimaltenango, Sacatepéquez, Guatemala y Escuintla, equivalentes en superficie a 17,000 km² aproximadamente (MAGA, 2007).

Para la ejecución del convenio, el IGAC designó como contraparte a la subdirección de agrología y el -MAGA- a la UPGGR, la cual como parte de sus funciones tiene a su cargo la organización y coordinación de la unidad ejecutora del proyecto, que tiene como uno de sus principales componentes a un equipo de edafólogos que son coordinados por un jefe técnico de proyecto y la asistencia de un equipo de expertos del IGAC (MAGA, 2007).

Comenzó el 29 de marzo del 2006 y finaliza en diciembre de 2008, sus fondos financieros que provienen del presupuesto nacional, son administrados por el Centro de Cooperación Internacional para la Preinversión Agrícola (CIPREDA) (MAGA, 2007).

1.5.7.2 Responsables técnicos

El -MAGA- ha constituido una unidad ejecutora del proyecto dentro de la UPGGR que cuenta con el siguiente personal: 8 edafólogos reconocedores de campo a cargo del jefe técnico del proyecto (MAGA, 2007).

A su vez, la coordinación del proyecto es efectuada por el Ing. Agr. PhD. José Miguel Duro Tamásiunas, responsable de la UPGGR, apoyado por el Ing. Agr. Rudy Vásquez Villatoro, el Ing. Agr. Rovoham Monzón y otros funcionarios del laboratorio de SIG de la UPGGR (MAGA, 2007).

Por su parte, el IGAC nombró como coordinador que es la contraparte Colombiana del convenio entre ambas instituciones, el Sub director de agroecología de dicha institución, el Ing. Agr. Julián Serna Giraldo y como director técnico el Agrologo Napoleón Ordoñez Delgado, jefe de división de esa subdirección (Duro y Vásquez, 2006).

A su vez, este Instituto apoyará en forma constante el proyecto a través de la capacitación del personal de la Unidad Ejecutora UE, por especialistas en disciplinas como: fotointerpretación, geomorfología, agrología y sistemas de información geográfica, entre otros aspectos (Duro y Vásquez, 2006).

Así mismo la UE cuenta con apoyo de consultores en aspectos climáticos, geológicos, aspectos productivos y variables sociales. Las muestras de suelos serán analizadas en laboratorios nacionales, las arcillas y aspectos mineralógicos en el laboratorio nacional de suelos del IGAC (Duro y Vásquez, 2006)

1.5.7.3 Productos esperados

A continuación se describen los productos esperados en la ejecución del proyecto:

a. Mapa de taxonomía de suelos de cada departamento:

Se realizará un mapa por departamento incluyendo su memoria técnica. Este mapa consistirá en la representación de las unidades de suelos que estarán definidas por sus características más importantes y que tendrán un nombre basado en un sistema de clasificación científica. USDA 2006 (MAGA, 2007).

Para obtenerlo se estará realizando un fuerte trabajo de campo, que inicia en las unidades previamente definidas en gabinete mediante fotointerpretación de imágenes digitales. En estas unidades, se realizan barrenamientos, cajuelas y calicatas que son perforaciones que permiten describir los horizontes del suelo y extraer las muestras que son dirigidas a laboratorios de suelos para su análisis (MAGA, 2007).

Se toman los datos que necesita la metodología y las muestras de suelo serán analizadas mediante análisis físico, químicos, mineralógicos y micro morfológicos. Para clasificar cada unidad y determinar el tipo de suelos y las características que lo definen. Finalmente se elaborará un mapa representando la ubicación de las unidades de suelo (MAGA, 2007).

b. Mapa de capacidad de uso de la tierra de cada departamento

Se elaborará este mapa con base a los datos técnicos del mapa de taxonomía y en este caso se clasificará los suelos en base a su capacidad para la producción agropecuaria y forestal en forma sostenible, o sea sin deteriorar el uso del suelo. Esta clasificación considera 8 clases de I a VIII, donde la clase VIII se dedica de la conservación de los recursos naturales y los restantes, se dedica a la producción teniendo en cuenta sus limitaciones (MAGA, 2007).

Este mapa es muy conocido en el ambiente agronómico y es muy utilizado para la determinación de las prácticas del manejo de recursos. Debido al grado de semidetalle del estudio se logrará un mapa que discriminará la clase y la subclase e incluso los grupos de manejo esto implica un gran detalle de información (MAGA, 2007).

c. Mapa de formas alternativas del uso de la tierra de cada departamento.

A partir de los dos mapas anteriores y con los resultados de los estudios que deberán realizarse sobre aspectos de mercado de los cultivos que podrían adaptarse a la zona, más aspectos económicos, sociales y de conocimiento de los pobladores que tienen terrenos en las unidades de suelos, se determinará que formas alternativas de uso podrían establecerse en esas unidades. Las formas alternativas de uso serán aquellas que permitan mejorar la rentabilidad de los poseedores de las unidades, conservando el recurso suelo. La elaboración de este mapa requerirá una fuerte integración entre los técnicos del proyecto y la población en un proceso decididamente participativo. Será un instrumento muy útil para los planificadores de proyectos productivos y de conservación de recursos naturales (MAGA, 2007).

d. Museo de suelos en cada departamento.

Se habilitará un espacio en las cabeceras departamentales para la exposición de secciones o columnas de suelos tomadas directamente en campo, denominadas monolitos que representen los suelos típicos de la región (MAGA, 2007).

Este espacio que funcionará como un museo, permitirá a la población conocer las características de los suelos de su departamento, así como su potencial o vocación y el manejo más adecuado que debe darse a cada uno (MAGA, 2007).

e. Componente de apoyo al proyecto: fortalecimiento de red municipal para manejo de información.

Se creará o si ya existiera se fortalecerá, una red con la inclusión de al menos un técnico por cada municipalidad de los departamentos involucrados. La red será utilizada para dotar a las municipalidades de información geográfica y temática actualizada y se desarrollarán capacitaciones dirigidas a los técnicos en el ambiente de los sistemas de información geográfica SIG, para que puedan consultar, generar y analizar su propia información tendiente a la información local. Se les vinculará directamente con la confección del mapa de formas alternativas de uso propuesto (MAGA, 2007).

1.5.7.4 Avances en la zona piloto

La zona piloto es el departamento de Chimaltenango, esta fase dio inicio en abril del año 2008, contando con 10 edafólogos y un jefe técnico de proyecto, hasta el mes de septiembre de 2008 se cuenta con 8 edafólogos (MAGA, 2007).

De los 16 municipios de este departamento se han abarcado 13, los cuales son: Chimaltenango, San Martín Jilotepeque, Santa Cruz Balanya, San Juan Comalapa, Zaragoza, Tecpán Guatemala, Patzicia, Patzún, Parramos, El Tejar, Acatenango, San Andrés Itzapa, San Miguel Pochuta, los municipios pendientes son: Yepocapa, San José Poaquil y Santa Apolonia (MAGA, 2007).

De acuerdo al primer informe de avance de la ejecución del proyecto: agosto 2006 a mayo 2007¹, la ejecución del POA para esta zona se resume en:

- **Recopilación y adaptación de información:** recopilación de datos naturales, culturales y socioeconómicos de Chimaltenango, en forma documental y electrónica, con los que se realizó una base de datos. Esto permitió establecer que hay información climática, geológica, geomorfología, de suelos y otras que están a diversas escalas por lo que es importante actualizarlas y llevarlas a escala 1: 50,000 (MAGA, 2007).
- **Fotointerpretación:** se realizó con el apoyo de un fotoanalista del Instituto Geográfico Agustín Codazzi –IGAC-, quien durante enero del 2007 asesoró al equipo técnico, definió las líneas maestras para las 370 fotografías aéreas que cubren Chimaltenango y realizó una gira de campo para ubicar sobre el terreno las geoformas interpretadas presentes en

¹ Elaborado por la Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo.

el departamento, se definió una leyenda geomorfológica entre el fotoanalista del IGAC y el Jefe Técnico del proyecto y se elaboró un documento en borrador que describe la geomorfología de Chimaltenango (MAGA, 2007).

- **Preparación del trabajo de campo:** consistió en disponer de todo el material ya foto interpretado y con la respectiva leyenda, los juegos de equipo e instrumental para los miembro del equipo, uniformes e identificación, preparación de reactivos químicos y otros materiales necesarios para el trabajo de campo (MAGA, 2007).

- **Lanzamiento y montaje del proyecto departamental:** presentación del proyecto a autoridades locales a nivel del Consejo Departamental de Desarrollo –CODEDE- y luego se traslado a las municipales de las áreas de trabajo.

Elaboración de campaña radial, se implementó, con apoyo del Departamento de comunicación social del MAGA, como refuerzo al proceso de socializar el proyecto, durante el mes de mayo se difundieron 4 mensajes diarios en español, K'aqchikel y K'iche en tres emisoras departamentales, ubicadas entre las de mayor audiencia departamental (MAGA, 2007).

- **Trabajo en campo:** obtención de muestras de suelos para establecer los diversos tipos de suelos y sus propiedades (MAGA, 2002).

1.5.7.5 Metodología empleada

En forma general la metodología utilizada por los edafólogos del proyecto se divide en:

A. **Fotointerpretación:** esta técnica es utilizada para la separación de paisajes presentes del departamento los principales que se identifican son: altiplanicie, terrazas, lomerío y pie de monte. Esto con el fin ubicar las unidades geomorfológicas que servirán para definir las unidades de muestreo.

B. **Socialización del proyecto:** dirigido a autoridades locales, este es el proceso básico para que se pueda realizar la descripción taxonómica de campo, debido a que las unidades de muestreo en su mayoría se ubican en terrenos propios es importante darles a conocer a los habitantes de las distintas comunidades por medio de sus lideres, el fin del trabajo a realizar para evitar malos entendidos o situaciones que pongan en peligro a los edafólogos.

Esta fase consiste en talleres participativos en los que se involucra a la autoridad con el fin de que colabore y se beneficie con la generación de esta información.

C. Trabajo de campo: el trabajo que los edafólogos realizan en el campo se resume en los siguientes puntos;

- Tipo de muestreo: se trata de mapeo libre, basado en un número definido de observaciones a cada 100 hectáreas dependiendo de la pendiente.
- Determinación de tipos de suelos: se verifican las unidades geomorfológicas de acuerdo a lo establecido por la fotointerpretación y analiza de acuerdo a la fotografía aérea cuales son los puntos de muestreo de mayor representatividad.

- Tipo de observaciones:

De identificación: también llamadas cajuelas, las cuales tienen dimensiones de 50 cm de lado y 50 cm de profundidad; en estas se realiza la descripción del perfil.

De verificación: son llamados barrenajes los cuales se realizan a 130 cm de profundidad, estos con el fin de verificar un cambio de unidad geomorfológica que no sea detectada a la vista.

- Caracterización de los diferentes tipos de suelos: es la toma de características físicas; como color (Munsell), textura, estructura, consistencia y químicas; reacciones pH, NaF, H₂O₂, HCl, que se pueden hacer en campo, estas son anotadas en una tarjeta de descripción de suelos diseñada por el MAGA en base a los estudio de descripción de suelos que realiza el IGAC.
- Descripción detallada de cada tipo de suelo en calicatas: las calicatas se definen de acuerdo a un perfil modal, este se identifica al existir varias cajuelas con características similares en un área definida.
- Muestreo de suelos en cada calicata: en cada horizonte se colectan muestras, las cuales van identificadas con distintos códigos para determinar el horizonte y la calicata, el lugar donde fueron tomadas, luego estas muestras son enviadas a los distintos laboratorios dependiendo de los análisis de interés para la descripción de la muestra.

F. Avances en los análisis de laboratorio de suelos

Durante la fase de campo se recolectaron muestras de suelo de las calicatas, las cuales han sido enviadas a distintos laboratorios para realizar análisis químicos o físicos de acuerdo a lo que se requiera.

G. Presupuesto del proyecto

Presupuesto total para este proyecto es de Q. 15 millones, hasta el momento se ha gastado Q. 4 millones y medio.

1.5.7.5 Análisis de la problemática

Para realizar este análisis se utilizó la herramienta denominada FODA, con la que se busca identificar las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas que existen dentro del área del proyecto de taxonomía.

Este análisis se realiza por medio de la identificación de factores externos (Oportunidades y Amenazas) e internos (Fortalezas y Debilidades), que intervienen en el desarrollo del proyecto.

Cuadro 1. Análisis FODA del proyecto Taxonomía

Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
<p>Fuerte trabajo en equipo. Buena comunicación. Profesionalismo de los edafólogos. Buena capacitación técnica de los edafólogos. Disponibilidad de equipo adecuado para la descripción de suelos. Fuerte apoyo institucional (viáticos, transporte). Capacidad de adaptación de metodologías extranjeras hacia condiciones del país. Asesoramiento de especialistas Integración de un comité técnico de apoyo principalmente en el análisis de</p>	<p>Generar información básica y de vanguardia sobre taxonomía de suelos, capacidad de uso de los suelos y formas alternativas de uso de los suelos. Generar empleo y preparación a profesionales en el campo de la clasificación de suelos. Fundamentar bases en la taxonomía de suelos del país. Generar información de formas alternativas del suelo que ayuden a mitigar desastres naturales y que contribuyan a la seguridad</p>	<p>Escasa preparación técnica de edafólogos en cuanto a fotointerpretación y delimitación de las unidades geomorfológicas. Bajo rendimiento de los edafólogos en las observaciones de campo. Poco conocimiento de la dinámica rural en cuanto a la organización de las comunidades y la identificación de líderes positivos.</p>	<p>Pocos profesionales especializados en el campo de edafología, taxonomía y clasificación de suelos. Poco interés en el conocimiento de la clasificación taxonómica de los suelos del país. Poco interés en la capacidad de uso de los suelos, con visión en las formas adecuadas y alternativas del uso de este recurso. Poco interés en el cambio de uso que se ha ido dando a los suelos y en los efectos que estos cambios han provocado, como lo son desbordes de ríos, inundaciones entre otros.</p>

<p>resultados de laboratorio. Apoyo en las aéreas de climatología, geomorfología, ecología y edafología, dado por el IGAC.</p>	<p>alimentaria. Generar información digital para consulta y planificación en las diferentes áreas estudiadas. Socialización con las autoridades municipales y comunales de las áreas bajo estudio.</p>		<p>Poco interés en la generación de información digital y generación de bases de datos para consulta y planificación. Desinformación de la población en cuanto al proyecto, por lo que en algunas comunidades no se pudo realizar el muestreo y se tuvieron que cambiar las áreas asignadas.</p>
--	--	--	--

1.5.7.6 Priorización de problemas

Debido al origen del proyecto, que es la generación de información de taxonómica y de capacidad de los suelos, con el fin de proponer un uso sostenible y así colaborar a mejorar el nivel de vida de las personas que viven de la producción agrícola y no agrícola, los principales problemas fueron detectados a través del análisis FODA.

Para ubicar estos problemas en orden de importancia, se utilizaron ámbitos con mayor relevancia que son el ambiental, técnico y social, se realizó una priorización en base a una ponderación que va de 0 a 10 en cada ámbito.

Cuadro 2. Priorización de problemas

Problemas	Ámbitos			Ponderación
	Ambiental	Técnico	Social	
Poco conocimiento del efecto del cambio de uso.	10	9	10	29
Poco conocimiento de la dinámica rural.	7	9	10	26
Pocos profesionales especializados.	8	10	8	26
Poco interés en la actualización y generación de información digital.	8	10	7	25

Como se muestra en el cuadro anterior uno de los principales problemas es la falta conocimiento de los efectos que produce el cambio del uso de la tierra, este se observa principalmente, en la primera fase de la socialización que tiene como fin obtener el acceso a las unidades de muestreo para poder realizar la descripción taxonómica de suelos.

1.5.7.8 Soluciones potenciales

De acuerdo a la problemática detectada las principales soluciones que se pueden plantear son:

- Realizar una proyección comparativa del cambio del uso del suelo y los efectos que este a provocado sobre las actividades agrícolas y no agrícolas.

Para mostrar a los alcaldes y representantes comunales la importancia del estudio que se está realizando y propiciar un ambiente de confianza y apoyo que garantice el acceso a las unidades de muestreo y a la información necesaria del área principalmente para la determinación del uso actual del suelo.

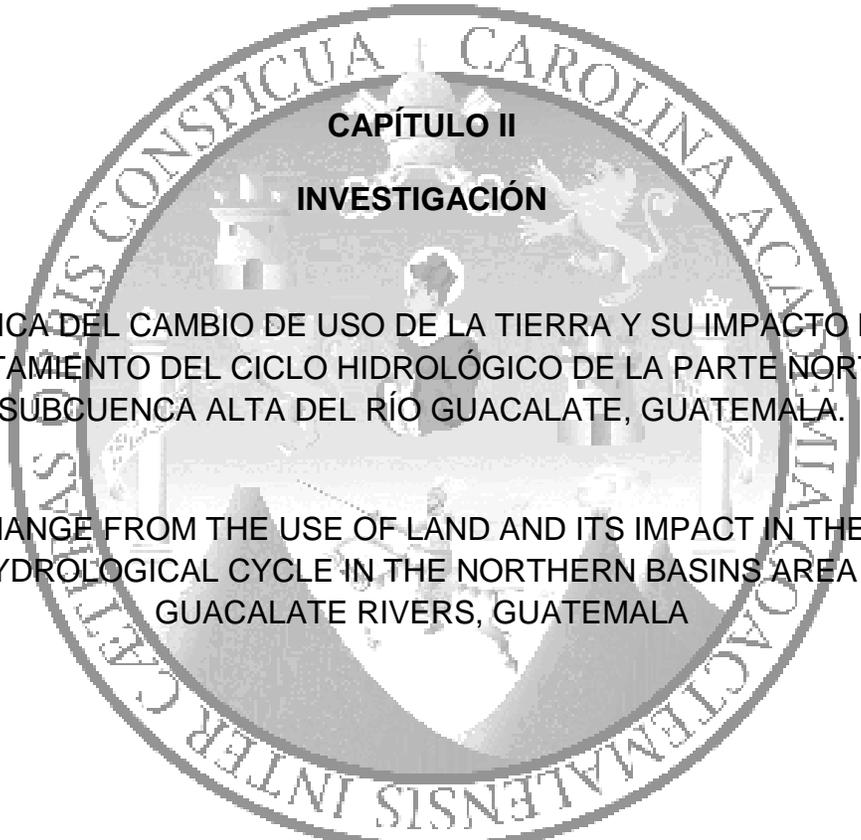
- Contratar a más profesionales con interés en el aprendizaje de la dinámica del suelo, principalmente en la clasificación taxonómica de suelos, con buena capacidad de trabajo en grupo y conscientes de la magnitud de este proyecto, por el tipo de información que se genera, la cual es para consulta de cualquier persona interesada.

1.6 Conclusiones y recomendaciones

- La unidad ejecutora del proyecto mapa de taxonomía de suelos y capacidad de uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala, es la UPGGR, dicho proyecto se encuentra enfocado hacia la generación de información de taxonomía y de capacidad de los suelos, con el fin de proponer un uso sostenible y así colaborar a mejorar el nivel de vida de las personas que viven de la producción agrícola y no agrícola; el inicio de este proyecto fue en Chimaltenango el cual es el área piloto que aún está en proceso, este inicio fue en abril del año 2008.
- Para la veracidad de los datos tomados en campo, el equipo de edafólogos encargados de las descripciones en campo, fue capacitado en Colombia por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi –IGAC-, además realizaron una serie de observaciones con técnicos que los capacitaron.
- Uno de los principales problemas es el poco conocimiento de los efectos que produce el cambio del uso del suelo, este se observa principalmente en la primera fase de la socialización que tiene como fin obtener el acceso a las unidades de muestreo para poder realizar la descripción taxonómica de suelos, los demás problemas relevantes identificados son: poco conocimiento de la dinámica rural, pocos profesionales especializados y poco interés en la actualización y generación de información digital.
- La planificación elaborada para el proyecto varió con respecto al tiempo de ejecución del mismo, debido a que este es un proyecto innovador a nivel de la República, esta variación se dio principalmente a que existen deficiencias en la implementación de la metodología del –IGAC-, además existe poca referencia de estudios pasados, para la consulta de los casos que se presentan en el campo.

1.7 Bibliografía

1. Duro Tamasiunas, JM; Vásquez, R. 2006. Mapa de taxonomía de suelos y capacidad de uso de la tierra a escala 1:50,000 de la república de Guatemala (fase I y II). Guatemala, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo, Proyecto de Inversión. 60 p.
2. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2002. Reglamento de operatividad y funciones de la unidad. Guatemala. 25 p.
3. _____. 2006. Proyecto: obtención de imágenes digitales y elaboración de ortofotos a detalle de la república de Guatemala. Guatemala. Desplegable.
4. _____. 2007. Primer informe de avance de la ejecución del proyecto mapa de taxonomía agosto 2006 a mayo 2007. Guatemala. 15 p.
5. _____. 2007. Proyecto: mapa de taxonomía de suelos y capacidad de uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala. Guatemala. Desplegable.



CAPÍTULO II

INVESTIGACIÓN

DINÁMICA DEL CAMBIO DE USO DE LA TIERRA Y SU IMPACTO EN EL COMPORTAMIENTO DEL CICLO HIDROLÓGICO DE LA PARTE NORTE DE LA SUBCUENCA ALTA DEL RÍO GUACALATE, GUATEMALA.

DYNAMIC CHANGE FROM THE USE OF LAND AND ITS IMPACT IN THE BEHAVIOR OF THE HYDROLOGICAL CYCLE IN THE NORTHERN BASINS AREA OF ALTO GUACALATE RIVERS, GUATEMALA

2.1 Presentación

El estudio del comportamiento del uso de la tierra es importante, principalmente para la determinación de su adecuado uso, evitando así efectos negativos sobre los ecosistemas, durante el progreso del hombre han existido distintos fenómenos que éste ha experimentado, siendo el más drástico; el crecimiento poblacional, con el que surgen nuevas necesidades e inquietudes, con el fin de mejorar la calidad de vida.

Uno de los efectos que ha traído el crecimiento poblacional ha sido el incremento de la urbanización, del cual no se realizan estudios específicos para garantizar un mínimo de daño en los ecosistemas aledaños y las actividades productivas como agricultura, industria entre otros.

El objetivo del presente estudio fue determinar por medio de la comparación del uso de la tierra de años anteriores, el impacto que el cambio ha producido principalmente sobre el ciclo hidrológico, para así poder evidenciar y ejemplificar la necesidad de conocer la capacidad que posee cierto terreno, además este estudio podrá facilitar la fase de socialización del proyecto: mapa de taxonomía de suelos y capacidad de uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala, donde se mostraran los efectos que causa el mal manejo de los recursos naturales en este caso el recurso suelo.

Para la realización de esta investigación se utilizaron estudios de uso de la tierra, de los años 1980, 2000, 2008 y se compararon con el uso a capacidad de la parte norte de la subcuenca del río Guacalate la cual cubre las microcuencas de los ríos: Itzapa, Guacalate I y II parte norte, Negro, Tizate, Paso de San Luis, Barranca Grande, que cubren el área sur de Chimaltenango y la parte nor-este de Sacatepéquez.

2.2 Planteamiento del problema

El cambio en el uso de la tierra, ha sido un fenómeno observado como parte del crecimiento demográfico y el cambio de necesidades de los habitantes sin embargo, durante los últimos años este cambio se ha presentado de manera acelerada, afectando así los ciclos naturales y el ritmo de deterioro del ambiente.

Es evidente este crecimiento en zonas aledañas a la ciudad capital, principalmente en lo que eran pequeños poblados que con el crecimiento demográfico, la migración y actividades turísticas se han convertido en ciudades dormitorio.

El crecimiento urbano y agrícola son las principales actividades que promueven el cambio del uso de la tierra, para evidenciar este fenómeno se realizaron comparaciones, para evaluar la dinámica del cambio de uso de la tierra y su impacto en el comportamiento del ciclo hidrológico principalmente en zonas cercanas a fuertes cambios urbanísticos.

Estos cambios muchas veces son irreversibles sin embargo es importante mencionar que es posible mitigar los efectos negativos y este es uno de los fines del proyecto: mapa de taxonomía de suelos y capacidad de uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala, con el que se busca determinar la capacidad de uso de la tierra y con ello proponer un uso alternativo del suelo de manera sostenible.

2.3 Marco teórico

2.3.1 Marco conceptual

2.3.1.1 Ciclo hidrológico

El ciclo no tiene un principio y un fin, sin embargo, se puede partir que el agua se evapora del mar, cuerpos de agua y de la superficie terrestre. La cantidad de agua que puede evaporarse depende de insumo de energía. La mayor evaporación ocurre cerca del Ecuador, donde la radiación solar es mas intensa. El vapor de agua llega a la atmósfera, transportado por las masas de aire en movimiento y bajo ciertas condiciones se condensa formando nubes que, a su vez, precipita de vuelta hacia la superficie de la tierra (Orozco, 2004).

En síntesis, los procesos básicos que incluyen el ciclo hidrológico son los de evapotranspiración, precipitación, infiltración, percolación y escorrentía. Es claro que los procesos descritos operan con diferente intensidad a muy distintas escalas espaciales y temporales, por lo que mas que un ciclo hidrológico unitario y mecanicista debe pensarse mas bien en un conjunto interrelacionado de procesos que, operando a muy distintas escalas, configuran un resultado final agregado que es el que se observa simplifadamente como objeto de estudio y evaluación (Fuentes, 2008).

La acción del hombre va induciendo cambios progresivamente importantes en el ciclo hidrológico de algunas regiones. Los drenajes intensivos han hecho descender el nivel de la zona saturada y paralelamente, ha descendido la evapotranspiración y ha aumentado la aportación de la escorrentía subterránea a los ríos, la deforestación o la repoblación forestal puede también modificar el régimen de crecida de los ríos, pero no parece haber datos que permitan asegurar una modificación sustancial en su aportación media anual (Custodio y Llamas, 2001).

2.3.1.2 Balance hidrológico

El balance hidrológico es la diferencia entre el total de entrada y total de salidas que debe ser igual al cambio de agua en almacenamiento en ese volumen. Debe considerarse que si las entradas superan a las salidas existe acumulación (aumento de almacenamiento) y lo contrario, si las salidas superan a las entradas, existe un déficit (Orozco, 2004).

La ecuación fundamental de la hidrología puede aplicarse al establecimiento del balance hidrológico de una región. De acuerdo al sistema hidrológico regional y al uso que se hace del agua en una región, se pueden identificar los elementos del balance:

$$P + q_a - q_e - EV - I = +/- \Delta A$$

Donde:

P: Precipitación sobre el terreno

EV: Evaporación de la superficie libre del agua sobre el terreno

q_a y q_e son el escurrimiento afluente y efluente

I: Infiltración en el suelo del agua sobre el terreno

A: Cambio en el almacenamiento de detención de agua en la superficie del terreno

2.3.1.4 Balance hídrico de suelos

El balance hídrico de suelos tiene la finalidad de determinar el volumen total de la recarga y escorrentía superficial que se da en la cuenca (Herrera, 1984).

a. Determinación de la evapotranspiración potencial

Para el cálculo de la evapotranspiración pueden utilizarse métodos directos e indirectos. En los métodos indirectos existen varias fórmulas empíricas que permiten obtener la evapotranspiración potencial. Los factores que determinan la evapotranspiración son tan complejos que es muy difícil considerarlos todos en una expresión matemática, por lo que algunos autores se basan en la temperatura, mientras que otras procuran acercarse mas a la realidad incluyendo otros factores físicos y biológicos. Los métodos se utilizan dependiendo de la información meteorológica disponible para el área de estudio (Herrera, 1995).

La evapotranspiración es el resultado de la suma de los fenómenos de la evaporación del suelo y de la transpiración de las plantas, pero solo es aplicable en un área de terreno que contenga cubierta vegetal.

En términos generales la evapotranspiración depende de dos factores muy variables y difíciles de medir: el contenido de humedad del suelo y del desarrollo vegetal de la planta (Custodio y Llamas, 2001).

La dificultad de medición de dichos factores hacen que, para efectos de cálculo de la recarga al acuífero en un balance hídrico de suelos, se considere el concepto de evapotranspiración potencial definida como la pérdida de agua por vapor en un cultivo, generalmente de poca altura, con desarrollo vegetal óptimo y con un determinado suministro de agua. Sin embargo existe un límite superior de la cantidad de agua que realmente vuelve a la atmósfera por evaporación y transpiración de la planta, lo que se conoce como evaporación real (Custodio y Llamas, 2001).

Con fines prácticos la evapotranspiración representa toda el agua que desaparece de cualquier área (con o sin cobertura vegetal) por efecto del clima y por lo tanto es muy importante, ya que reduce relativamente grandes cantidades de agua para la recarga de un acuífero. A la evapotranspiración también se le llama uso consuntivo y es la suma de los fenómenos de la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas (Orozco, 2004).

Los valores típicos de la evapotranspiración potencial varían entre 1 a 3 mm/día para los climas templados, de 5 a 8 mm/día en los trópicos húmedos y de 10 a 12 mm/día en regiones áridas (MAGA, 2006).

La evapotranspiración en general se considera como el 80 % de la evaporación medida en el evaporímetro tipo A, aunque algunos investigadores como Penman (1984) considera que este factor debe ser 0.75 en Guatemala, se utiliza el valor 0.80 principalmente para época seca, por ser la estación cuando se aplica riego (Herrera, 1984).

b. Determinación de la precipitación efectiva

La determinación de la precipitación efectiva se hace en base a registros de precipitación obtenidos en una estación meteorológica. La cual tiene influencia ya sea en el área total de estudio o en una porción de ella. Con los datos de los registros de precipitación de la estación, se establece un valor de precipitación media anual, mientras que su área de influencia se determina a través de isoyetas (Herrera, 1995).

c. Determinación de infiltración básica.

El método más recomendable en cada una de las pruebas de infiltración es el de Porchet o cilindro invertido. Por considerarse de buen grado de precisión y por su versatilidad en el campo (Herrera, 1995).

d. Cálculo de balance hídrico de suelos

Existen diferentes métodos para el cálculo de balances hídricos de suelos, actualmente se utilizan hojas de cálculo de Excel, en las cuales se introducen variables de características físicas de suelo (capacidad de infiltración, densidad aparente), grados de humedad (capacidad de campo y punto de marchitez permanente) y clima (precipitación y evapotranspiración). Con esta información el programa calcula recarga potencial, escurrimiento superficial y necesidad de riego de la unidad en lamina de agua, los cálculos los efectúa con un intervalo mensual (Herrera, 1995).

e. Elaboración del mapa de recarga hídrica

Como primer resultado se deberá elaborar un mapa de la cuenca, el cual contenga los valores de recarga anual determinados de cada una de la áreas de mapeo identificadas y analizadas, realizando agrupamientos de áreas con recargas similares mediante una codificación de color o texturizado en la presentación (Herrera, 1995).

2.3.1.5 Recarga hídrica natural

Es la cantidad de agua absorbida a través del suelo y percolada hasta llegar a un acuífero. Esta puede ser directa (infiltración de lluvia) y lateral (aporte de otras áreas o cuencas); las recargas de agua en la zona de saturación (acuífero) provenientes de fuentes superficiales (Cardona, 2006).

Comprenden tres pasos: infiltración del agua desde la superficie a la zona de suelo no saturado, el movimiento descendente de agua a través de los materiales comprendidos en la zona de aireación, y la emigración de parte del agua al manto freático aumentando así las reservas subterráneas (Cardona, 2006).

Una vez que la zona de los suelos ha recibido agua a toda su capacidad, toda el agua adicional desciende por gravedad, ya sea directamente hasta el manto freático o a la zona intermedia (Cardona, 2006).

En virtud de que la zona intermedia no es afectada por el proceso de evaporación o absorción de las raíces de las plantas, que normalmente retienen mucha agua, la mayor parte del agua tiende a moverse hacia abajo en respuesta a la fuerza de la gravedad (Cardona, 2006).

Factores que afectan la recarga hídrica:

- a. Clima: entre los factores del clima que influyen en la recarga hídrica natural están la precipitación y la evapotranspiración.
- b. Suelo: esta comprende el papel beneficioso de una cubierta forestal por la mayoría de trabajos de investigación, para la protección de los suelos. Como elemento físico de una cuenca vertiente, el suelo es un regulador de escorrentía superficial y subterránea que actúa a través de su capacidad de retención de agua, las características de suelo que influyen en la recarga hídrica natural son las siguientes: textura, estructura, densidad aparente, contenido de agua en el suelo (capacidad de campo, punto de marchitez permanente, humedad aprovechable), capacidad de infiltración.

Topografía: influye debido al tiempo de contacto del agua con la superficie, en condiciones planas el agua cae a la superficie y su movimiento será lento lo que dará un mayor tiempo para que esta se infiltre, caso contrario en condiciones accidentadas el agua cae y debido a la inclinación el terreno se desplaza a mayor velocidad pasando más rápido a formar parte del agua de escorrentía (Orozco, 2004).

- c. Estratigrafía geológica: es la rama de la geología que trata de la formación, composición, distribución, cronología, clasificación, secuencia y correlación temporal de las rocas dispuestas en capas o estratos. es importante realizar un estudio de la

disposición de los diferentes materiales geológicos, ya que estos pueden afectar grandemente la cantidad de recarga hídrica.

- d. Cobertura vegetal: dentro de este factor, se debe considerar la profundidad radicular, que se encuentra dentro de los 30 cm de suelo, para cultivos agrícolas y un metro en cobertura de bosques y cultivos permanentes de frutales y otros.

Escurrimiento: Se entiende por escorrentía a la parte de la precipitación que llega o alimenta a las corrientes superficiales, continuas o intermitentes de una cuenca. La escorrentía así definida, tiene diversas procedencias en el conjunto de la cuenca, lo cual hace que se consideren distintos tipos de escorrentías (Orozco, 2004).

- a. Escorrentía superficial
- b. Escorrentía subsuperficial o hipodérmica
- c. Escorrentía subterránea

2.3.1.6 Ciclo de la escorrentía

a. Primera fase o período sin precipitaciones

Después de un período sin precipitaciones, la evapotranspiración tiende a agotar la humedad existente en las capas superficiales y a extraer agua de las subterráneas a través de la franja capilar. Las aguas subterráneas alimentan a las corrientes superficiales descendiendo progresivamente su nivel (Martínez, 1996).

b. Segunda fase o período de iniciación de la precipitación

La evapotranspiración cesa, el agua es interceptada por la vegetación, las superficies de agua libre, los cursos de agua y el suelo. En éste se infiltra una cantidad importante de agua que abastece su capacidad de almacenamiento; el excedente se mueve superficialmente en forma de escorrentía directa que alimenta débilmente los cursos de agua; continúan las aportaciones de las corrientes subterráneas a los cursos superficiales no interrumpiéndose el descenso de los niveles de la capa freática (Martínez, 1996).

c. Tercera fase o de período de precipitación máxima

Luego de una cierta duración de la precipitación, la cubierta vegetal apenas intercepta el agua y prácticamente la totalidad de la precipitación alcanza el suelo.

Las capas superficiales llegan a estar completamente saturadas. Parte de las precipitaciones se infiltran alimentando la escorrentía hipodérmica y a los acuíferos, originándose en estos últimos una elevación en su nivel. La precipitación que no se infiltra genera escorrentía superficial, que en esta fase alcanza su nivel máximo. La escorrentía subterránea aumenta ligeramente (Martínez, 1996).

La escorrentía total es la suma de las escorrentías de superficie, hipodérmica y subterránea, alcanza igualmente su valor máximo, apareciendo las crecidas. Durante esta fase puede ocurrir que en determinadas zonas se produzca una alimentación de los cursos de agua a las corrientes subterráneas, es decir, un proceso contrario a lo que normalmente ocurre. Esta fase solamente tiene existencia si la intensidad del aguacero alcanza cierto valor (Martínez, 1996).

d. Cuarta fase o período posterior a la precipitación

Cuando la lluvia cesa, la escorrentía de superficie desaparece rápidamente. El suelo y subsuelo permanecen saturados y continúa la infiltración del agua estancada en depresiones superficiales, alimentando a la humedad del suelo, a la escorrentía hipodérmica y a las aguas subterráneas (Martínez, 1996).

Se reinician nuevamente los procesos de evapotranspiración. Los cursos de agua, alimentados únicamente por las escorrentías hipodérmica y subterránea entran en régimen de decrecida y se normaliza la alimentación de los cursos de agua por los acuíferos, desapareciendo las posibles inversiones de la fase anterior. El ciclo se cierra con la reaparición de la primera fase (Martínez, 1996).

2.3.1.7 Acción de las precipitaciones

La acción de las precipitaciones produce erosión por salpicadura. Cuando la gota de agua cae a través de la atmósfera, sufre cambios en su tamaño aumentando o disminuyendo por condensación o evaporación (Asturias, 2006).

Desciende por la acción de la fuerza de gravedad, frenando su caída la resistencia que le ofrece el aire.

En ausencia de obstáculos golpea al suelo con fuerza considerable disgregando las partículas terrosas y proyectándolas en el aire. En los estudios e investigaciones realizadas se ha determinado que, como consecuencia del choque con el suelo, las gotas proyectan partículas hasta los 60 cm de altura en vertical y hasta los 1.50 m en plano horizontal. Sin embargo, la precisa determinación de la energía erosiva de las gotas de agua, exige el adecuado conocimiento del tamaño de las gotas y la velocidad de caída. También interviene en la erosión un factor de relación que liga la intensidad de la precipitación con el tamaño medio de sus gotas (Asturias, 2006).

Al llegar al suelo, la precipitación puede evaporarse, infiltrarse o quedar en la superficie. Descontando la parte evaporada, la permeabilidad del suelo regula en todo momento la distribución de lo precipitado, entre el agua que penetra en el interior y el agua que queda detenida o bien fluye en la superficie.

La formación del escurrido superficial depende del régimen de precipitaciones y de las características hidrológicas del suelo. Si la permeabilidad del suelo permite en todo momento la infiltración de una cantidad de agua mayor o igual a la que aporta la precipitación, no se producirá ninguna corriente superficial (Asturias, 2006).

La acción del escurrido en el proceso erosivo se manifiesta en un doble aspecto: disgrega a los elementos terrosos y, al mismo tiempo, transporta a otros lugares aquellas partículas de tierra que por su tamaño y forma son susceptibles de arrastre (Asturias, 2006).

La acción del escurrido en cuanto a transportar partículas de tierra, encierra una mayor importancia. Los frotamientos y choques de la corriente de agua con la superficie rugosa del suelo, hacen rodar, deslizar o dar pequeños saltos a los granos de tierra. Tales tensiones serán causa de la formación de una turbulencia en la corriente, originándose torbellinos que al contener vectores de fuerza de trayectoria helicoidal, con zonas circulantes de suficiente velocidad de ascenso, pueden llegar a poner en suspensión a las partículas de tierra más pequeñas (Asturias, 2006).

2.3.1.8 Intensidad, duración y frecuencia de los aguaceros

Al considerar a la precipitación en el espacio y tiempo de ocurrencia, surge como unidad natural el aguacero. La intensidad, duración y frecuencia de los aguaceros son características de la precipitación de gran significado en la erosión. El producto de la intensidad y duración define la abundancia (Asturias, 2006).

Cuando la intensidad es superior a la penetración del agua en el suelo, se formará en escurrido superficial promotor fundamental de que se produzcan erosiones, siendo evidente que los efectos revestirán una mayor o menor importancia según el tiempo de duración del fenómeno. Así como las gotas de lluvia tienen mayores efectos erosivos para lluvias violentas y de velocidades elevadas (Asturias, 2006).

La frecuencia de los aguaceros ejerce influencia en el fenómeno erosivo debido a sus repercusiones en el estado de humedad del suelo en el tiempo. Si los intervalos son cortos, el contenido de humedad del suelo es elevado al iniciarse un nuevo aguacero, incidiendo en la generación de escorrentías superficiales, aunque su intensidad sea baja. Si los citados intervalos son largos en cambio, el suelo llegará prácticamente a secarse, retardándose la formación de escorrentías superficiales e incluso, puede que no lleguen a existir si la intensidad de la lluvia es baja. Los principios racionales expuestos han sido corroborados en multitud de experiencias (Asturias, 2006).

2.3.1.9 El proceso erosivo

Según Inzunza Citado por (Asturias, 2006), el proceso erosivo se presenta desde el nacimiento de los ríos cuando fluyen aguas abajo, disminuyendo progresivamente su altitud respecto del nivel del mar, obviamente dado a que las aguas siguen una dirección bajando sobre los cauces por acción de la fuerza de gravedad.

En términos hidrológicos, los estudios y experiencias realizadas determinan que en los ríos ocurre el transporte de materiales de origen erosivo que tiene diversas formas y estas son:

a. Suspensión: los materiales son arrastrados por la corriente sin tocar el fondo.

- b. Saltación: los materiales avanzan a saltos sucesivos, describiendo trayectorias discontinuas tanto en el espacio como en el tiempo.
- c. Acarreo: los materiales ruedan o se deslizan sobre el fondo. Los materiales transportados por los cursos de agua están formados por una mezcla de partículas de varios tamaños.

Factores determinantes del fenómeno erosivo

Determinan al fenómeno erosivo:

a. El suelo: la cantidad de tierra desplazada por la percusión de las gotas de lluvia es tanto más grande cuanto más susceptibles sean las partículas a disgregarse.

b. El relieve: la erosión hídrica acelerada, prácticamente no existe en las zonas llanas, siendo posible únicamente en suelos de pendiente suficiente, donde la percusión de las gotas de lluvia y la acción del flujo superficial llegan a ejercer efectos considerables.

c. La vegetación: la influencia de la vegetación en el fenómeno de la erosión obedece a diferentes causas:

- Protege el suelo de la percusión de las gotas de agua.
- Aumenta el poder de infiltración del suelo, disminuyendo el volumen de agua de escorrentía.
- En las zonas boscosas los troncos y ramas caídas obstaculizan el escurrimiento reduciendo su velocidad hasta su cuarta parte. Esto significa que la energía erosiva se reduce enormemente respecto de la que resultaría en terreno desnudo.
- Brinda mayor consistencia del suelo a consecuencia del entrelazamiento de las raíces. Esta consecuencia afecta a mayor o menor profundidad, según sea la naturaleza de la vegetación: pequeña cuando se trate de hierbas y mucho mayor cuando se trata de árboles o arbustos (Asturias, 2006)

2.3.1.10 Áreas críticas

Desde el punto de vista del uso de la tierra, se consideran áreas críticas todas aquellas unidades que se encuentran bajo condición de sobre uso, o sea, las áreas que sobrepasan la capacidad de uso con respecto al uso actual (Gutiérrez, 1994).

Podrán tomarse como criterios para determinar las áreas críticas los aspectos siguientes: la densidad poblacional, las características generales de los recursos y las necesidades de la población (Gutiérrez, 1994).

Se definen las áreas críticas en el campo en base a causas antrópicas: deforestación, mal manejo forestal, prácticas silviculturales inadecuadas, prácticas de inadecuadas de cultivo, sobrepastoreo, mal drenaje de caminos, deslizamientos en carreteras y erosión severa y muy severa. Las causas naturales, representadas por deslizamientos, avalanchas, inestabilidad de taludes naturales (ladera), dinámica geomorfológica y fallas geológicas activas (Gutiérrez, 1994).

2.3.1.11 Ecosistemas humanos

Las necesidades y deseos de una población en expansión, han requerido un control ambiental intensivo; la intervención del hombre ha creado ambientes completamente nuevos, que pueden denominarse ecosistemas humanos. Estas áreas, intensamente controladas, especialmente las ciudades, han tenido éxitos en resguarda a los habitantes humanos de los rigores del mundo externo, que algunas personas olvidan que estas áreas dependen de propiedades de mantenimiento de la vida de los ecosistemas naturales de la tierra (Gutiérrez, 1994).

Los ecosistemas, se dividen desde el punto de vista humano, en cuatro clases generales (Gutiérrez, 1994):

- Ecosistemas naturales maduros: que aparecen más o menos en sus estados naturales. Generalmente no son empleados, ni habitados por el hombre, por ej. áreas silvestres, montañas, desiertos.
- Ecosistemas naturales controlados: ecosistemas que controla el hombre para uso recreativo, o bien para la producción de recursos naturales, por ejemplo, parques, bosques controlados, áreas de caza y algunas zonas del mar.
- Ecosistemas productivos: ecosistemas que emplea el hombre para la producción intensiva de alimentos, o de recursos naturales, por ejemplo, granjas, ranchos para ganado, minas, etc.

- *Ecosistemas Urbanos*: ecosistemas en los que el hombre vive y trabaja, por ejemplo, ciudades y pueblos, áreas industriales. Un ecosistema urbano constituye el ambiente donde el hombre ejerce un control más intensivo. Requiere de entradas constantes, produce salidas continuas y posee varios ciclos internos de retroalimentación.

Al igual que todos los ecosistemas, las ciudades, son sistemas abiertos. Para continuar existiendo deben recibir entradas tanto de materiales, como de energía procedente de ecosistemas externos, y deben contar también con salidas de productos, desperdicios y calor (Gutiérrez, 1994).

Dentro de una ciudad, existen numerosas vueltas de retroalimentación, o bien ciclos que mantienen diferentes subsistemas ciudadanos en equilibrio. Una población urbana interactúa con el ambiente externo para obtener entradas continuas de alimentos, combustibles, materiales, aire y agua. Posteriormente, estas entradas, se concentran, se transforman, se almacenan y finalmente se expelen como una corriente en la que se incluyen productos de desperdicio, aire viciado, agua impura y los productos útiles de la tecnología, la educación y la cultura (Gutiérrez, 1994).

2.3.1.12 Impactos ambientales de la urbanización

Según (Dourojeanni y Jouravlev, 1999), no existe un sólo aspecto de la vida del ser humano y de su entorno que no se vea influenciado o afectado por la expansión de la población y su concentración en zonas urbanas. Las zonas urbanizadas se ven, sin embargo, afectadas a su vez por las actividades que se realizan en su entorno, sobre todo por las acciones que se realizan en las partes altas de las cuencas donde se asientan las poblaciones y por las lluvias que caen directamente en las zonas urbanas.

La interacción de los centros urbanos, las cuencas, los ríos o las lluvias y las zonas de pendiente debe ser considerada adecuadamente para prevenir riesgos así como para garantizar el abastecimiento de agua para el consumo humano, una de las claves para lograr un desarrollo sustentable o sostenible (Dourojeanni y Jouravlev, 1999),

No resulta extraño que el rápido incremento de la población urbana, sumada a la progresiva expansión de los sistemas de alcantarillado, el uso más intensivo de la tierra agrícola próxima a las ciudades, la destrucción de la cobertura vegetal por construcción

urbana, el aumento la regulación artificial del caudal, la ocupación del territorio de las cuencas de captación y de las áreas de recarga de las aguas subterráneas, así como las interferencias en el ciclo hidrológico y clima local como resultado de las construcciones urbanas haya tenido serias repercusiones sobre los recursos hídricos y el medio ambiente en general. Igualmente significativos, desde el punto de vista de la gestión del agua, han sido los cambios que han ocurrido en la estructura económica, especialmente el crecimiento de la industria manufacturera en las zonas metropolitanas (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

Los procesos urbanísticos, es decir, la conversión de un sistema ecológico natural a uno urbano, son responsables de varios efectos sobre el ambiente, tales como alteración de la composición de la atmósfera, de los parámetros hidrológicos de la cuenca, de la geomorfología de los cauces y de otros cuerpos de agua, así como de las condiciones naturales del suelo (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

Existen diversas fuentes de contaminación asociadas con el urbanismo, tal como desechos industriales, sistemas de calefacción y refrigeración, sistemas de transporte, disposición de aguas servidas, recolección y disposición de desechos sólidos (basuras), disposición de desechos vegetales orgánicos y caída de restos vegetales sobre superficies impermeables (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

Durante el período de construcción de los asentamientos, los efectos se reflejan como grandes pérdidas de suelo. En cuencas fuertemente urbanizadas la mayor parte de sedimentos que transportan las corrientes puede provenir de pequeñas áreas bajo construcción. La construcción de estructuras hidráulicas asociadas con los desarrollos urbanísticos, tal como puentes, canalizaciones, muros, retenciones, rectificación de cauces, etc., alteran la geomorfología del cauce en forma irreversible, lo mismo que el hábitat natural (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

El incremento de las áreas impermeables reduce la infiltración y el tiempo de concentración de la escorrentía superficial resultando en una respuesta de la cuenca (caudal) más rápida y de mayor magnitud que la de condiciones naturales; el caudal base, por el contrario, disminuye (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

Agrava lo anterior el hecho de que en los centros urbanos de la región existe una despreocupación generalizada con respecto a las zonas de captación de agua, sean éstas superficiales o subterráneas. En muchos casos, las ciudades simplemente amplían sus demandas e importan el agua y energía generada por plantas hidroeléctricas de todos los alrededores, sin mayor preocupación por el manejo de las cuencas de donde provienen estos recursos. Todo ello acarrea conflictos de tipo social, económico y ambiental a los cuales los centros urbanos prestan escasa atención si ocurren fuera del área urbana y no les afecta directamente (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

Otro aspecto importante con relación a las zonas urbanas es la creciente contaminación y agotamiento de las aguas subterráneas. Éstas merecen una consideración especial ya que se estima que en la región un 50% de las comunidades dependen exclusivamente de las aguas subterráneas como fuente de abastecimiento de agua. A pesar de su importancia, la protección de las aguas subterráneas no ha recibido hasta ahora casi ninguna atención. No hay prácticamente preocupación por mantener zonas de recarga (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

Un aspecto que aumenta los riesgos en zonas urbanas es la degradación de la vegetación en las laderas y cuencas de captación de agua y la expansión urbana en dichas zonas. Ello ha motivado un aumento en la escorrentía superficial, disminución de la recarga de agua subterránea, aumento de la erosión y, por ende, una mayor violencia en la descarga de agua en épocas de lluvias. Hay una enorme pérdida en el flujo de agua subterránea y subsuperficial, clave en la alimentación de manantiales utilizados en épocas secas por la población (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

Las construcciones y otras actividades que alteran la superficie de las cuencas proveedoras de aguas para las áreas urbanas están poniendo en peligro las posibilidades de mantener el abastecimiento actual de agua y asegurarlo en el futuro para las poblaciones. Ante estos problemas, cabe recordar la reflexión de un extranjero de visita en Lima, Perú: *“no los entiendo: traen el agua de la sierra, la energía de la sierra, los alimentos de la sierra y la gente de la sierra... para vivir en Lima. ¿Por qué mejor no ponen a Lima en la sierra?”* (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente, reunida en Estocolmo, Suecia, del 5 al 16 de junio de 1972, y atenta a la necesidad de un criterio y principios comunes que ofrezcan a los pueblos del mundo inspiración y guía para preservar y mejorar el medio ambiente; expresa la convicción común de que:

- a. Los recursos naturales de la tierra, incluidos, el aire, el agua, la tierra, la flora y la fauna y especialmente muestras representativas de los ecosistemas naturales, deben preservarse en beneficio de las generaciones presentes y futuras mediante una cuidadosa planificación u ordenación, según convenga.
- b. Debe mantenerse y, siempre que sea posible, restaurarse o mejorarse la capacidad de la tierra para producir recursos vitales renovables.
- c. Los recursos no renovables de la tierra deben emplearse de forma que se evite el peligro de su futuro agotamiento y se asegure que toda la humanidad comparta los beneficios de tal empleo.
- d. Debe aplicarse la planificación a los asentamientos humanos y a la urbanización con miras a evitar repercusiones perjudiciales sobre el medio y a obtener los máximos beneficios sociales, económicos y ambientales para todos (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

El Fondo de Población de la ONU (UNFPA) advirtió sobre los riesgos para el planeta del crecimiento poblacional, según datos del informe anual presentado en Londres por la directora de ese organismo, Thoraya Ahmed Obaid (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

El aumento de la población y el alto consumo de los sectores ricos está agravando el estrés sobre el medio ambiente mundial, provocando un aumento del calentamiento global, la deforestación, la creciente escasez de agua y la disminución de las tierras de cultivo", destacó el reporte (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

El informe *Estado de la Población Mundial 1999*, del Fondo Poblacional de las Naciones Unidas, documenta la tendencia a la creciente urbanización. El Informe ofrece la siguiente predicción sobre la urbanización: *la "huella" ecológica y sociológica de la ciudad se extiende en áreas cada vez más amplias, creando una continuidad urbana y rural de comunidades que comparten algunos aspectos de su estilo de vida.*

Cada día menos y menos lugares en el planeta escapan al efecto de la dinámica de las ciudades (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

Según (Peña, 2001), quien realizó un estudio de cambios del uso de la tierra en una cuenca de Alicante España, la dinámica de cambio de usos se ve influida por factores físicos y socioeconómicos. Existe un patrón de distribución de los usos del suelo, debido a causas antrópicas o naturales que limita la distribución de los usos por factores topográficos y socioeconómicos. Además, Los resultados teóricos del modelo indican un incremento de la infiltración, intercepción y percolación, y una disminución de la escorrentía y la evapotranspiración. Los resultados reales de infiltración para el período 1980-1997 no muestran evidencias estadísticamente significativas que permitan concluir con que los cambios de usos han afectado a los balances hídricos.

Narcís, P. citado por (Asturias, 2006), en su artículo “La urbanización nos ahoga” menciona que “el suelo no urbanizado filtra el 70% del agua de lluvia, mientras que el pavimentado sólo el 5%. Nos recordamos de las inundaciones cuando llueve mucho, pero el impacto producido por sus efectos dura poco en los medios de comunicación, y menos en los despachos de los políticos. Y se vuelve al pensamiento ¿donde hay suelo para construir más viviendas?, ¿Adónde irán a parar los nuevos polígonos industriales?, ¿por dónde pasará el tren de alta velocidad o la nueva autopista?.

Pocos piensan en los efectos que esta pérdida de suelo sin urbanizar va a originar cuando vengan las nuevas lluvias. Como excusa siempre nos quedará el recurso de acudir a lo inusual de la situación, ya que 200 litros por metro cuadrado en pocas horas es una lluvia extraordinaria o sea no siempre pasará.”

Además menciona Narcís citado por (Asturias ,2006), que las inundaciones de hoy son consecuencia de la política territorial de especulación de ayer, ya que el coeficiente de escorrentía del agua de lluvia en el suelo (agua que se escurre sin filtrarse) pasa del 30% en el suelo no urbanizado hasta el 95% en los suelos pavimentados. Se a calculado que el caudal de las crecidas puede llegar a multiplicarse por ocho si el suelo está urbanizado, generándose inundaciones a Pesar de la cobertura de sus ríos. Las

infraestructuras (autopistas, carreteras, trenes) contribuyen a agravar el problema. Primero, porque son generadores de escorrentía rápida (más agua en menos tiempo al río o a los colectores), y segundo, porque se oponen al movimiento del agua. Parece ser que quienes diseñan los pasos de las infraestructuras por los ríos nunca han visto una crecida fluvial allí donde lo más que hay es fango y muchos restos de vegetación que pueden obturar puentes o tuberías. Las soluciones al problema se buscan en más infraestructuras, más canalizaciones, limpieza de cauces y cobertura de torrentes y riveras. Pero sólo sirven para esconder los problemas hasta la próxima lluvia extraordinaria. A nadie se le ocurrirá cuestionar la nueva urbanización que se pretende desarrollar cubriendo un torrente o el nuevo carril de la autopista necesario para evitar atascos, operaciones que van a agudizar el problema en la próxima lluvia.

La planificación de los recursos hídricos se realiza a nivel de cuenca hidrográfica debido a que lo que llueve en ésta área y escurre superficialmente se concentra y tiene un punto de salida en la red hidrográfica. En otras palabras el buen o mal manejo de las actividades productivas dentro de una cuenca repercute aguas abajo de donde se llevan a cabo dichas acciones (Asturias,2006).

Entre las características biofísicas relevantes a evaluar para predecir los posibles efectos de un fenómeno natural extremo están: Los tipos de material parental (geología), suelos y pendientes. Estas condiciones, conjuntamente con la cantidad e intensidad de las precipitaciones y el uso actual del suelo contribuyen al proceso de erosión, transporte y sedimentación de sólidos. Los efectos se agravan cuando se presentan fenómenos naturales como el Mitch y hay un manejo inadecuado del suelo. Es decir, la incompatibilidad entre la capacidad de uso y el uso actual de la tierra favorece los procesos de erosión, con sus consecuentes efectos negativos sobre el ambiente y la infraestructura (Asturias,2006).

(Reyna, 1998), expresa que la presión demográfica, manifestada por el crecimiento y volumen de la población así como su distribución y desplazamiento, mantiene unas interrelaciones muy complejas entre pobreza, consumo y agotamiento de los recursos naturales, y el medio ambiente. Veamos cuales son esas interrelaciones:

- **Deforestación:** la deforestación es consecuencia también de un aumento de la población. La capa forestal desaparece progresivamente como efecto de la presión demográfica sobre el medio ambiente. Así, desaparecen o se erosionan tierras fértiles por el aumento en la cría de ganado. Los acuíferos se agotan por excesos de riegos, los cuales provocan a su vez mayor salinización.
- **La densidad de población:** los acuíferos y reservas de agua son bienes públicos amenazados por el factor del crecimiento poblacional, que se agravan cuando se unen otros factores conexos con la población, ejemplo de la contaminación por industria, demanda excesiva de recursos del bosque, pesca incontrolada o indiscriminada, mala gestión forestal o medioambiental, etc. El impacto tiene efectos más intensos en aquellos lugares donde se asientan las poblaciones humanas más densas, que son generalmente las zonas costeras. El resultado de este impacto en el medio ambiente próximo a las zonas más pobladas, es que muchos pantanos, humedales y arrecifes coralinos están seriamente amenazados.
- **La velocidad de cambio de la población:** la consecuencia inmediata del aumento de población urbana, es la ocupación de un mayor terreno fértil y cultivable para establecerse y levantar construcciones.

2.3.1.13 Hidrología urbana

Mencionan (Gutiérrez y Ayala, 1998), que la característica principal de las cuencas urbanas está representada por el incremento de la impermeabilización y la reducción de la infiltración debido al revestimiento del suelo como consecuencia de la construcción de nuevos edificios, pavimentación de veredas, calles y avenidas, y la remoción de la cobertura vegetal.

Estos factores incrementan el volumen y la velocidad de escorrentía produciendo caudales pico mayores en comparación con la cuenca no intervenida (Gutiérrez y Ayala, 1998)

Además manifiestan que la consecuencia más importante de la urbanización es la modificación drástica de las condiciones naturales, que gobiernan el movimiento, la distribución y la calidad del agua. En general la urbanización intensifica y acelera el proceso lluvia-escurrimiento.

La urbanización convierte en impermeables áreas que eran permeables y hace que se incremente la porción de lluvia que se convierte en escurrimiento superficial, es decir incrementa el coeficiente de escurrimiento. Además, la aceleración producida en el proceso lluvia-escurrimiento, debida a la sustitución del suelo natural por superficies menos rugosas y mejor alineadas, hace que se produzca una disminución del tiempo de ocurrencia de las avenidas y por lo tanto, un incremento en el gasto máximo de las mismas. Otros efectos de la urbanización, que siendo indirectas son muy importantes, son las invasiones de los cauces naturales y sus planicies de inundación y la deforestación de las cuencas aportadoras (Gutiérrez y Ayala, 1998)

El proceso lluvia-escurrimiento en zonas urbanas, presenta características muy peculiares, describiendo a continuación las fases más relevantes.

1. La lluvia es interceptada parcialmente por la vegetación, principalmente por las ramas de los árboles, antes de llegar al suelo.
2. Al llegar la lluvia al suelo se presentan dos fenómenos simultáneos: La lluvia se infiltra en el terreno; comienza a mojarse la superficie, llenando las depresiones.
3. Los procesos anteriores continúan hasta formarse un tirante suficiente que rompa la tensión superficial. Este hecho sucede cuando la intensidad de la lluvia es mayor que la capacidad de infiltración del terreno. Se inicia el escurrimiento superficial.
4. Al ocurrir el escurrimiento superficial se presentan varios procesos simultáneos:
 - El agua se infiltra con una velocidad variable (depende del grado de saturación del terreno, intensidad de la lluvia y volumen de agua almacenada sobre la superficie).
 - Las depresiones más grandes del terreno continúan llenándose.
 - Se produce el escurrimiento en el cual los tirantes y las velocidades varían en forma continua y son gobernados por las ecuaciones de continuidad y cantidad de movimiento. Este proceso es alimentado por la **lluvia efectiva**.
5. El agua que llega a las cunetas se acumula en ellas, hasta que se forma un tirante suficiente y escurre hacia las coladeras.
6. El agua que llega a las coladeras ingresa al sistema de drenaje.

7. El escurrimiento en los colectores de drenaje está gobernado por las ecuaciones de continuidad y cantidad de movimiento. Inicialmente el escurrimiento es a superficie libre. Después, cuando la capacidad de los conductores no es suficiente, el agua escurre a presión y en ocasiones puede derramarse.

Cerrillo citado por (Asturias ,2006), en su artículo “Efectos de la Tormenta” da a conocer que el fuerte ritmo de ocupación del suelo y el consiguiente proceso de impermeabilización del terreno es una de las principales causas de los graves efectos que están causando las inundaciones registradas en los últimos tiempos.

La creación de áreas urbanizadas o la consolidación de las existentes así como las infraestructuras de todo tipo han comportado el asfaltado de extensas superficies del suelo, con lo que se incrementa peligrosamente el caudal de agua que circula en caso de lluvia.

Así lo señalan algunos de los expertos consultados, que ven necesario sincronizar el desarrollo urbano con las obras hidráulicas. La impermeabilización del suelo también explica la reiteración de las inundaciones. El agua, al no poder filtrarse con facilidad a los acuíferos subterráneos, escurre por la superficie. El suelo ha dejado de ser una esponja y se ha transformado en una peligrosa tabla lisa que lo anega todo. A este hecho se une la constatación de que algunas infraestructuras cortan o modifican los cursos naturales del agua, con lo que se produce un efecto presa o barrera.

2.3.1.14 Sistemas de información geográfica

a. Definición

Sistema de información asistido por la computadora para ingresar, manipular y desplegar datos especiales, cuyo objetivo es tener: ubicación espacial del problema en estudio, un sistema normal de recolección de datos, información organizada, información actualizada, información instantánea, representación gráfica del problema y permitir modelos complejos. (Gonzáles, 2002).

Conjunto de programas de computadora que integra diferentes funciones, desde la entrada de datos, cargar y almacenar datos de mapas referenciados geográficamente, para su uso posterior, analizar, manipular, sobreponer, medir, calcular y recuperar datos espaciales hasta obtener resultados, despliegue de nuevos mapas o resultados en forma tabular (González, 2002).

b. Componentes

Se compone principalmente por dos unidades: el sistema operativo y la base de datos espacial. El primero es un conjunto de operaciones que actúan sobre la información contenida en la base de datos. Otros componentes son las estructuras de datos que constituyen el elemento puente entre el conjunto de funciones y la base de datos (González, 2002)

c. Aplicaciones de los SIG

Las principales aplicaciones de los sistemas de información geográfica se pueden enmarcar dentro de los siguientes aspectos.

- i. Seguridad pública: determinar rutas más rápidas de emergencia.
- ii. Distribución-control: con datos de propietarios de terrenos, regulación de zonas, uso de la tierra y riesgos naturales, se mejora la eficiencia con que se distribuyen los servicios.
- iii. Problemas ambientales: se puede utilizar el SIG en la valoración de efectos como los producidos por la lluvia acida, efecto de invernadero, plagas, etc.
- iv. Manejo de recursos naturales: en el mapeo e inventario de recursos, comparación de diferentes impactos (Veliz, 1996).

2.3.1.15 Metodologías para determinar caudales máximos

a. El método racional

Este modelo hidrológico determinístico se usa ampliamente en nuestro medio, debido a su aparente simplicidad, aunque no siempre con buenos resultados, ya que pocos ingenieros entienden bien el significado de cada uno de los parámetros involucrados en la expresión (Asturias, 2006).

Los efectos de la lluvia y del tamaño de la cuenca son considerados en la expresión explícitamente; otros procesos son considerados implícitamente en el tiempo de concentración y el coeficiente de escorrentía. El almacenamiento temporal y las variaciones espaciotemporales de la lluvia no son tenidos en cuenta. Debido a esto, el método debe dar buenos resultados, solo en cuencas pequeñas no mayores de 50 km² (Asturias, 2006).

Método desarrollado en el año de 1889, pero por su sencillez todavía se sigue utilizando. La hipótesis fundamental de este método es de que una lluvia constante y uniforme que cae sobre la cuenca de estudio, producirá un gasto de descarga el cual alcanza su valor máximo cuando todos los puntos de la cuenca esta contribuyendo al mismo tiempo en el punto de diseño (Asturias, 2006).

La hipótesis se satisface para un lapso de tiempo, denominado tiempo de concentración t_c , definido como el tiempo que tarda el agua en fluir desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de aforo o de estudio (Asturias, 2006).

Las limitaciones más importantes que tiene esta metodología son:

- Proporciona solamente un caudal pico, no el hidrograma de creciente.
- Asume que la escorrentía es directamente proporcional a la precipitación (si duplica la precipitación, la escorrentía se duplica también).
- En la realidad, esto no es cierto, pues la escorrentía depende también de otros factores, tales como precipitaciones antecedentes, condiciones de humedad del suelo, etc.
- Asume que el período de retorno de la precipitación y el de la escorrentía son los mismos, lo que no es cierto. La precipitación es filtrada por la cuenca para producir escorrentía, y ese filtro no es lineal. La transformación de precipitación en escorrentía se ve afectada por las características de la cuenca, el estado de la cuenca al momento de la lluvia y otros factores. Precipitaciones, por ejemplo, con períodos de retorno pequeños pueden producir caudales con períodos de retorno mayores, debido a las condiciones de humedad de la cuenca en el momento en que ocurra la tormenta (Asturias, 2006).

La fórmula del método Racional incluye los siguientes supuestos:

- El valor máximo de escurrimiento para una intensidad particular de lluvia, ocurre si la duración de la lluvia es igual o mayor que el tiempo de concentración.
- El tiempo de concentración se define como el tiempo requerido para que corra el agua desde el punto más alejado de la cuenca, hasta el punto de descarga del caudal.
- El valor máximo de escurrimiento para una intensidad específica de lluvia, la cual tiene una duración igual o mayor que el tiempo de concentración, es directamente proporcional a la intensidad de la lluvia.
- La frecuencia de la ocurrencia de la descarga máxima, es la misma que la de la intensidad de la lluvia con la cual se calculó.
- La descarga máxima por área unitaria disminuye conforme aumenta el área de drenaje y la intensidad de la lluvia disminuye conforme aumenta la duración.

En la fórmula racional, la estimación del coeficiente de escorrentía es la mayor fuente de incertidumbre. Los valores de este coeficiente se obtienen normalmente de tablas.

En realidad, el coeficiente de escorrentía depende en gran medida de las condiciones de humedad antecedente de la cuenca, que a su vez dependen de las tormentas ocurridas antes. Una interpretación probabilística del método racional fue hecha en 1936 por Horner y Flynt; en ella los coeficientes de escorrentía variaban con el período de retorno de la tormenta (Asturias, 2006).

El gasto pico o máximo se define con la expresión:

$$Q_p = 0.278 C_i A$$

Donde:

$$Q_p = \text{Gasto máximo (m}^3\text{/s)}$$

$$C = \text{Coeficiente de escurrimiento}$$

$$i = \text{Intensidad media de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca (mm/h)}$$

$$A = \text{Área de la cuenca drenada (km}^2\text{)}$$

O. Aplicación del método racional

a. Estimación del tiempo de concentración (tc)

Ahora bien, existen varios métodos para estimar el tiempo de concentración en las superficies naturales (tc), para lo cual se utilizan las siguientes fórmulas (Asturias, 2006):

Según Kirpich:

$$t_c = 0.0078 (L^{0.77} / S^{0.38})$$

Donde:

tc = Tiempo de concentración sobre la superficie natural (min)

L = Longitud del cauce principal (m)

S = Pendiente media del cauce principal (m/m)

Según Chow:

$$t_c = 0.01 (L / (S)^{0.5})^{0.64}$$

Donde:

tc = tiempo de concentración (h)

L = longitud del cauce principal (m)

S = pendiente media del cauce (%)

Según Rowe:

$$t_c = 0.87 (L^3 / H^{0.85})$$

Donde:

tc = tiempo de concentración (h)

L = longitud del cauce principal (km)

H = diferencia de alturas (m)

b. Evaluación del coeficiente de escurrimiento

Tradicionalmente, se ha determinado con el auxilio de valores estimados para diferentes tipos de áreas por drenar, con el auxilio de tablas. Si la cuenca de estudio esta integrada por diferentes tipos de superficie, se calcula un coeficiente de escurrimiento promedio (Asturias, 2006).

c. Estimación de la intensidad de la lluvia (i)

La intensidad media de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y asociada al período de retorno de diseño, se puede estimar con alguno de los métodos descritos, métodos probabilísticos o de regresión lineal múltiple (Asturias, 2006).

d. Determinación del gasto pico o máximo

Definidas las magnitudes de las variables involucradas en la fórmula racional, se procede a calcular el gasto pico o máximo con la ecuación del método racional (Asturias, 2006).

2.3.2 Marco referencial

2.3.2.1 Localización del área de estudio

Se encuentra comprendida entre los meridianos $90^{\circ}54'36''$ y $90^{\circ} 45'00''$ longitud oeste y los paralelos $14^{\circ} 40'36''$ y $14^{\circ} 30'36''$ de latitud norte, la subcuenca tiene como límites geográficos, al norte la cuenca del río Motagua, al este la cuenca del río María Linda y al sur por la parte media y baja la cuenca del Achiguate y al oeste la cuenca del río Coyolate. La elevación esta considerada entre los 1,520 a los 2,380 msnm (MAGA, 2006).

2.3.2.2 Generalidades

Las microcuencas de los ríos Itzapa, Guacalate I y II parte norte, Negro, Tizate, Paso de San Luis, Barranca Grande, se ubican en el altiplano y en la parte central de la República de Guatemala. La subcuenca es parte de la cuenca del río Achiguate en la vertiente del Pacífico. En ésta vertiente las cuencas están caracterizadas por tener pendientes pronunciadas en las partes altas y que disminuyen inmediatamente al caer a la zona costera de inundación y que constituye la parte baja de la misma (MAGA, 2002).

En la parte norte de la subcuenca alta del río Guacalate, se encuentran los siguientes municipios y poblados:

- Departamento de Chimaltenango: Chimaltenango, El Tejar, San Andrés Itzapa, Parramos.
- Departamento de Sacatepéquez: Sumpango, San Miguel Dueñas, Santa Catarina Barahona, San Antonio Aguas Calientes, Ciudad Vieja, Antigua Guatemala, Jocotenango y Pastores.

2.3.2.3 Características hidrográficas

La subcuenca de la parte norte del Alto Guacalate, forma parte de la cuenca del río Achiguate (se localiza entre las cuencas de los ríos Motagua, Coyolate, María Linda y Achiguate). El patrón de drenaje es dendrítico debido a la forma que se unen los tributarios primarios y secundarios con la corriente principal. Los ríos principales que drenan la subcuenca alta del río Guacalate, donde se origina el cauce principal de la subcuenca, los ríos Guacalate y Pensativo.

El punto de salida se localiza antes de la intersección de los ríos Guacalate y Pensativo, en el municipio de Ciudad Vieja (MAGA, 2002).

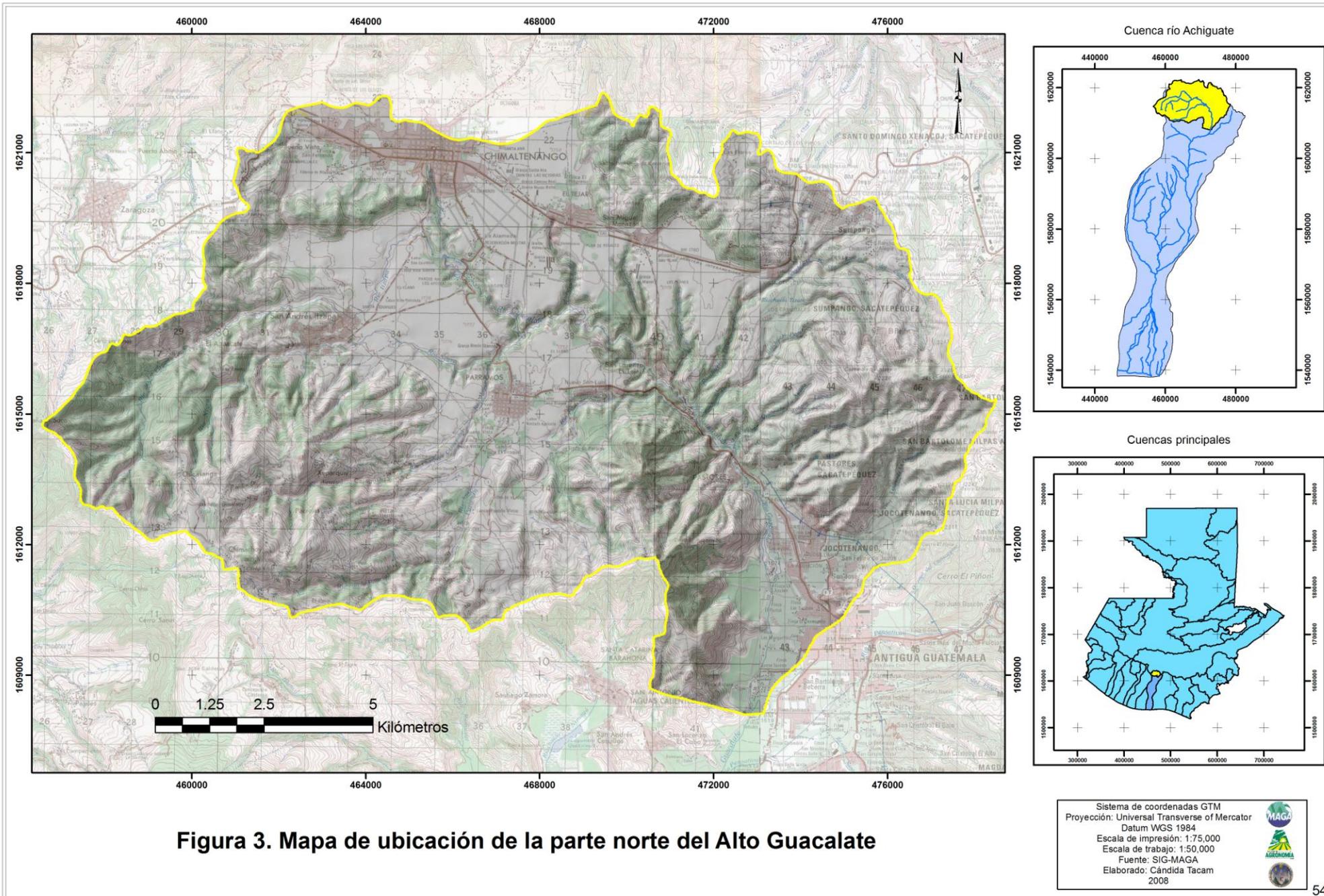


Figura 3. Mapa de ubicación de la parte norte del Alto Guacalate

2.3.2.4 Geología

Los materiales geológicos superficiales son principalmente rocas ígneas, rellenos Piroclásticos y una cubierta gruesa de ceniza pómez del cuaternario (MAGA, 2002).

2.3.2.5 Fisiografía

Los aspectos de fisiografía de la subcuenca se describen de forma general a particular y se localizan en la región fisiográfica tierras altas volcánicas, comprende principalmente lo que se conoce como altiplano, el cual toma en cuenta tanto la porción occidental y central, así como las áreas que se localizan al oriente guatemalteco (MAGA, 2002).

Se identificaron dos regiones fisiográficas a) zona montañosa occidental (Tacaná-Tecpán), que se caracteriza por presentar el relieve más alto del país con alturas de 1,000 a 4,000 msnm, con drenaje de tipo dendrítico, subdendrítico, paralelo, subparalelo, trellis y trenzado y b) Zona montañosa y planicie central (Tecpán-Jalpatagua), en donde el relieve es de 500 a 2,500 msnm con drenaje similar a la anterior subregión (MAGA, 2002).

2.3.2.6 Relieve

Se observa que el relieve predominante presenta zonas de escarpe, quebradas, laderas, barrancos, ondulaciones variables y altiplanicies. En general se observa una clara predominancia de pendientes mayores al 16% (MAGA, 2002).

2.3.2.7 Características climáticas

Según el sistema de clasificación climática de Thornthwaite, el área donde se localiza la subcuenca posee los siguientes tipos de climas: en la parte norte de la subcuenca, el clima es templado, con invierno benigno, húmedo e invierno seco - **B'₂b'Bi** -, cuya vegetación natural característica es el bosque conífero. Al norte en el departamento de Sacatepéquez el clima es templado, con invierno benigno, subhúmedo, con invierno seco - **B'₂b'Ci**- y en la parte baja de la subcuenca el clima es semicálido, con invierno benigno, húmedo e invierno seco - **B'b'Bi**. (MAGA, 2002).

La temperatura media anual del área, está entre los rangos de 14 a 21 grados °C, con una precipitación pluvial media al año de 600 a 1000 mm, la evapotranspiración potencial es de 300 a 500 mm (MAGA, 2002).

2.3.2.8 Suelos

A nivel de reconocimiento, la clasificación genética de la subcuenca se diferencia por presentar seis series de suelos que son: serie Tecpán, serie Patzicía, serie Cauqué, serie Alotenango, suelos de los valles y cimas volcánicas. En términos generales, los suelos son jóvenes, la textura generalmente va de franca a arcillosa, de color café oscuro o amarillento, siendo ligeramente ácidos, medianamente fértiles y de profundidades variables (MAGA, 2002).

Según (Herrera, 1998), los suelos de la subcuenca en el estudio realizado a escala 1:100,000 son del orden Inceptisol (91.6%), en la clasificación taxonómica de los suelos poseen bajo grado evolutivo, baja capacidad de retención de humedad. El 4.3%, está ocupado por suelos del orden Entisol y el 0.45% restante por el orden Alfisol; el 3.61% de la superficie total de la subcuenca estuvo ocupada por el área urbana para el año de 1984.

Entre los principales suelos están los siguientes: el valle de Chimaltenango - El Tejar, valle de San Andrés Itzapa, valle de Parramos y Dueñas-Barahona, se clasifican en Typic Vitrandepts. Los suelos del valle de Antigua Guatemala se clasifican en Mollic Vitrandepts. La altiplanicie de Milpas Altas sus suelos se clasifican en Typic Eutrandedpts (Herrera, 1998).

2.3.2.9 Clasificación de zonas de vida

En la subcuenca del río Alto Guacalate, parte norte se ubican tres zonas de vida que son (MAGA, 2002):

- Bosque húmedo montano bajo (bh-MB);
- Bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB);
- Bosque muy húmedo subtropical cálido (bmh-S (c)).

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo general

Determinar el impacto del cambio de uso de la tierra en el comportamiento del ciclo hidrológico de la parte norte de la subcuenca del río Alto Guacalate.

2.4.2 Objetivos específicos

- Determinar la dinámica de los cambios de uso de la tierra de la subcuenca del río Alto Guacalate norte.
- Comparar el comportamiento de la recarga hídrica y la escorrentía superficial por medio de los balances hídricos de suelos de la parte norte del Alto Guacalate, en condiciones de uso a capacidad y uso de la tierra para los años 1980, 2000 y 2008.
- Evaluar el impacto del cambio de uso y cobertura de la tierra, por medio de la diferencia de caudales máximos de escorrentía para la parte norte del Alto Guacalate, bajo condiciones de uso a capacidad del suelo y uso actual del suelo para los años 1980, 2000 y 2008.
- Monitorear el caudal y los sedimentos en suspensión de la parte norte del río Alto Guacalate.

2.5 Hipótesis

La causa del cambio de uso de la tierra se atribuye a varios factores, principalmente al fuerte crecimiento demográfico por ser áreas cercanas a la ciudad de Guatemala, trae como efecto el avance de la frontera agrícola y el avance urbanístico, este cambio ha provocado alteración en el sistema de la subcuenca alta del río Guacalate, siendo el ciclo hidrológico afectado, principalmente en cuanto a la pérdida de agua por escorrentía superficial la cual debería ser absorbida en el suelo, esto será evidenciado en el balance hídrico del suelo, con la comparación de condiciones actuales y el balance de años anteriores, así como con el comportamiento de los caudales máximos de escorrentía que han aumentado debido a la urbanización y cambio de uso de la tierra, lo cual es determinado por las crecidas y eventos extremos como inundaciones que se dan en el área principalmente por la impermeabilización de los suelos y a la pérdida de cobertura boscosa.

2.6 Metodología

Para la elaboración de este estudio comparativo se interpretaron distintos escenarios con el fin de evidenciar el impacto que ha producido el cambio del uso de la tierra, el análisis se realizó a una escala de semidetalle 1:50,000 principalmente por que la información a esta escala es de fácil acceso.

De conformidad con cada objetivo propuesto las metodologías utilizadas fueron las siguientes:

Cambio de uso de la tierra

Para determinar el cambio de uso de la tierra se establecieron cuatro escenarios bajo los cuales se realizó la comparación, estos son:

1. Uso a capacidad (capacidad de uso de la tierra INAB)
2. Cobertura vegetal y uso de la tierra en el año 2008
3. Cobertura vegetal y uso de la tierra en el año 2000
4. Cobertura vegetal y uso de la tierra en el año 1980

2.6.1 Elaboración de escenarios

2.6.1.1 Determinación de la capacidad de uso de la tierra (escenario 1)

La elaboración del mapa de capacidad de uso se realizó con la ayuda del proyecto llamado plan de manejo subcuenca del río Pensativo–Alto Guacalate, Guatemala. Publicado en el año 2002 por la Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo (UPGGR) en el que fue elaborado un mapa de capacidad de uso, determinado con la metodología desarrollada por el Instituto Nacional de Bosques –INAB-.

Con el mapa de “capacidad de uso” se separó el área de estudio (microcuenca del río alto Guacalate norte) y se obtuvo la información. Ya que se considera que la capacidad de uso del año 2002 es equivalente al año 2008.

2.6.1.2 Cobertura vegetal y uso de la tierra del año 1980 (escenario 2)

Con la ayuda de un mapa de uso del año 1983 a una escala 1:50,000, elaborado en formato papel para el área del río Pensativo – Alto Guacalate, por Herrera (1984), utilizando fotografías aéreas pancromáticas a escala 1:30,000 y mapas cartográficos a escala 1:50,000, se verificó el uso de la tierra a través de fotointerpretación, luego se separó el área de estudio digitalizando con la ayuda del software ArcGis 9.2 y se obtuvo la información del uso de la tierra para esa época.

Para homogenizar términos, la leyenda utilizada para este año fue comparada y acoplada a la leyenda de uso de la tierra que se utilizó basada en el sistema de clasificación adaptada por Schaal (1983), para la elaboración del mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra publicado por el –MAGA- en el año 2006 (apéndice 2).

2.6.1.3 Cobertura vegetal y uso de la tierra del año 2000 (escenario 3)

Con la ayuda de un mapa de uso publicado el año 2002, elaborado en sistemas de información geográfica por la UPGGR del proyecto llamado plan de manejo subcuenca del río Pensativo–Alto Guacalate, Guatemala, empleando fotografías aéreas a escala aproximada 1:30,000. Se delimitó el área bajo estudio para definir el uso en ese momento.

La leyenda de uso de la tierra que se utilizó es basada en el sistema de clasificación adaptada por Schaal (1983), para la elaboración del mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra publicado por el –MAGA- en el año 2006 (apéndice 2).

2.6.1.4 Cobertura vegetal y uso de la tierra 2,008 (escenario 4)

Fase de gabinete

Se delimitó el área de estudio en una hoja cartográfica a escala 1:50,000, luego se obtuvieron fotografías aéreas digitales del área bajo estudio del año 2006 disponibles en la UPGGR, para la realización del mapa de uso de la tierra, en términos de cobertura, se utilizó como base el sistema de clasificación adaptada por Schaal (1983), adaptada para la elaboración del mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra publicada por el –MAGA- en el año 2006 (apéndice 2).

- **Fase de campo**

Debido a que se utilizaron fotografías aéreas del año 2006, se llevó a cabo una verificación en campo para definir los cambios de cobertura y los usos de la tierra para el área, con el fin de validarlo para el año 2008.

Luego de haber elaborado los mapas de uso de la tierra en diferentes épocas y la capacidad de uso de la tierra, se realizó un análisis para cumplir con el primer objetivo determinando el porcentaje del aumento de la urbanización, la disminución del área forestal y el aumento de la frontera agrícola.

- **Comportamiento de los balances hídricos de suelos**

Los mapas de uso de la tierra en los años 2008, 2000, 1980 y capacidad de uso de la tierra, fueron utilizados como base para la realización del balance hídrico de suelos, mediante el cual se analizó el comportamiento de la recarga hídrica y la escurrimiento superficial.

2.6.2 Balances hídricos de suelos

Se realizarón los balances hídricos de suelos para los cuatro escenarios que se identificaron anteriormente.

2.6.2.1 Caracterización del clima

Se utilizaron los registros de tres estaciones meteorológicas del INSIVUMEH: la Alameda ICTA, ubicada en Chimaltenango, Pegoncito Pilón ubicada en Antigua Guatemala, Sacatepéquez y Chicazanga ubicada en San Andrés Itzapa, para la realización de los balances hídricos del suelo, las variables de clima utilizadas fueron: precipitación pluvial mensual promedio, precipitación efectiva mensual (con base en los coeficientes de escurrimiento) y evapotranspiración potencial mensual promedio.

2.6.2.2 Caracterización del suelo

Los datos que se obtuvieron del suelo son: constantes de humedad y densidad aparente en base a (Orozco, 2004), y el plan de manejo de la subcuenca Pensativo Alto Guacalate (MAGA, 2002).

2.6.2.3 Cálculo de balances hídricos de suelos

Utilizando los datos de clima, suelo y cobertura de cada una de las áreas identificadas en los cuatro escenarios se realizó un balance hídrico por cada unidad de mapeo, para lo cual se utilizó una hoja electrónica diseñada bajo el método de Penman, para facilitar el cálculo.

Luego de tener los balances por cada una de las áreas en cada uno de los escenarios se realizó un análisis de la situación del balance.

Impacto del cambio de uso y cobertura de la tierra

Para cumplir con el segundo objetivo se estimaron los caudales máximos de escorrentía los cuales se realizarán de la siguiente manera:

2.6.3 Estimación de los caudales máximos de escorrentía

Para ello se utilizarán 2 métodos o fórmulas empíricas, los cuales son métodos que se han diseñado con estos fines, con variables en el requerimiento de información, cada uno con sus ventajas y desventajas, por lo cual los datos obtenidos son estimaciones, por lo que se considera adecuado la utilización estos y presentar datos promedio, para su análisis.

Los métodos utilizados fueron:

2.6.3.1 Método racional

Esta metodología se utilizó para calcular caudales máximos esperados en función de características de suelo y cobertura e intensidad de lluvia.

a. Coeficiente de escurrimiento (C)

Tradicionalmente, se ha determinado con el auxilio de valores estimados para diferentes tipos de áreas por drenar, con el auxilio de tablas (cuadros 3 y 4). Si la cuenca de estudio esta integrada por diferentes tipos de superficie, se calcula un coeficiente de escurrimiento promedio.

Los coeficientes de escurrimiento se obtendrán de las siguientes tablas:

Cuadro 3. Valores de coeficientes de escorrentía (C)

Tipo de área	Coeficiente "C"
<i>Residencial</i>	
Áreas unifamiliares	0.30 - 0.50
Unidades múltiples separadas	0.40 - 0.60
Unidades múltiples conectadas	0.60 - 0.75
Áreas departamentales	0.50 - 0.70
Techos	0.75 - 0.95
Casa habitación	0.50 - 0.70
<i>Comercial</i>	
Centro de la ciudad	0.70 - 0.95
Fuera del centro de la ciudad	0.50 - 0.70
Techos	0.75 - 0.95
Cementerios y parques	0.10 - 0.25
Campos de juego	0.20 - 0.35
Patios de ferrocarril y terrenos sin construir	0.20 - 0.40
Zonas suburbanas	0.1 - 0.30
<i>Industrial</i>	
Ligera	0.50 - 0.80
Pesada	0.60 - 0.90
Techos	0.75 - 0.95
<i>Calles</i>	
Asfalto	0.70 - 0.95
Concreto	0.80 - 0.95
Adoquín	0.70 - 0.75
Aceras y andadores	0.75 - 0.85
Terracerías	0.25 - 0.60
<i>Parques, jardines y prados</i>	
Suelo arenoso plano < 2 %	0.05 - 0.10
Suelo arenoso pendiente de 2 a 7 %	0.10 - 0.15
Suelo arenoso pendiente de 7% o mayor	0.15 - 0.20
Suelo arcilloso plano < 0 = a 2%	0.13 - 0.17
Suelo arcilloso pendiente de 2 a 7 %	0.18 - 0.22
Suelo arcilloso pendiente de 7 % o mayor	0.25 - 0.35
Áreas no urbanizadas	0.10 - 0.30
<i>Áreas agrícolas</i>	
Planas arcillosas cultivadas	0.5
Planas arcillosas bosque	0.4
Planas arenosas cultivadas	0.2
Planas arenosas bosque	0.1
Colinas arcillosas cultivadas	0.5
Colinas arcillosas bosque	0.4
Colinas arenosas cultivadas	0.4
Colinas arenosas bosque	0.3

Fuente: Fundamentos de Hidrología de superficie. Francisco Javier Aparicio Mijares. México. 2001, Editorial Limusa. p. 183 citado por Asturias (1)

Cuadro 4. Valores del coeficiente C de la escorrentía

Topografía y vegetación	Clase textural del suelo		
	Arenosa	Franca	Arcillosa
Bosques			
Llano, 0-5% de pendiente	0,10	0,30	0,40
Ondulado, 5-10% de pendiente	0,25	0,35	0,50
Montañoso, 10-30% de pendiente	0,30	0,50	0,60
Pastizales			
Llanos	0,10	0,30	0,40
Ondulados	0,16	0,36	0,55
Montañosos	0,22	0,42	0,60
Tierras cultivadas			
Llanas	0,30	0,50	0,60
Onduladas	0,40	0,60	0,70
Montañosas	0,52	0,72	0,82
Zonas urbanas	30% impermeable	50% impermeable	70% impermeable
Llanas	0,40	0,55	0,65
Onduladas	0,50	0,65	0,80

Fuente: Hudson. 1997. Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y la escorrentía (en línea). Italia (Boletín de Suelos de la FAO – 68). FAO. Citado por Asturias (1)

b. Cálculo del tiempo de concentración

Intensidad media de la lluvia (i)

La intensidad media de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca asociada al período de retorno, se estimó por medio de las ecuaciones generadas por las curvas de intensidad-frecuencia-duración, para la estación Alameda ICTA, Chimaltenango.

Para determinar la intensidad media es necesario obtener primero el tiempo de concentración de la cuenca, para lo que se utilizarán las ecuaciones siguientes y luego se calculo el valor promedio:

- Kirpich: $t_c = (L^{0.77}/S^{0.38})$
- Según Rowe: $t_c = 0.87 (L^3/H^{0.85})$
- Chow: $t_c = 0.01 (L/S)^{0.5} 0.64$

L= Longitud de concentración en horas

S= Pendiente media del cauce principal

H= Diferencia de alturas

t_c = tiempo de concentración en horas

De las curvas de intensidad-frecuencia-duración se obtendrá la intensidad de lluvia:

Período de retorno (años)	Ecuación de intensidad de lluvia	Tiempo de concentración (min)	Intensidad (mm/h)
2	$i = 21810 / (t + 35)^{1.451}$		
5	$i = 105300 / (t + 45)^{1.701}$		
10	$i = 639800 / (t + 70)^{1.954}$		
25	$i = 311660 / (t + 65)^{1.812}$		
100	$i = 283480 / (t + 65)^{1.787}$		

Definidas las magnitudes de las variables involucradas en la fórmula racional, se procedió a calcular el gasto pico o máximo con la ecuación del método racional, se obtuvo el caudal máximo para cada escenario, organizando los datos bajo el siguiente formato.

Escenario	Período de retorno (años)	Coefficiente de escorrentía (C)	Intensidad de lluvia (mm/h)	Área de la cuenca (km ²)	Caudal máximo (m ³ /s)
-----------	---------------------------	---------------------------------	-----------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------

2.6.3.2 Fórmula empírica de Mac Math

El uso de fórmulas empíricas en el caso de que no sea posible hacer cualquier otra estimación por alguno de los métodos aquí descritos. La fórmula de Mac Math calcula el caudal máximo o caudal pico de escorrentía utilizando la ecuación:

$$Q = 0.0091 * C * I * A^{0.8} * S^{0.2}$$

Donde:

Q = caudal máximo con un período de retorno de t años (m^3/s)

C = factor de escorrentía de Mac Math, representa las características de la cuenca

$$C = C1 + C2 + C3$$

Donde:

C1 = coeficiente de cobertura (cuadro 5)

C2 = coeficiente de textura (cuadro 5)

C3 = coeficiente de Pendiente (cuadro 5)

I = intensidad máxima de la lluvia, para una duración

igual al tiempo de concentración t_c , y un período de retorno de t años (mm/h)

A = Área de la cuenca (has)

S = Pendiente media del cauce principal (m/km)

Cuadro 5. Coeficientes para fórmula de Mac Math, para cálculo de escorrentía

C1 (% de cobertura)		C2 (tipo de textura)		C3 (% pendiente)	
< 20 %	0.30	Arenoso	0.08	0 – 0.2	0.04
20 – 50 %	0.22	Franco arenoso	0.12	0.2 – 0.5	0.06
50 – 70 %	0.16	Franco	0.16	0.5 – 2	0.08
70 – 90 %	0.12	Franco arcilloso	0.22	2 – 5	0.10
90 – 100 %	0.08	Rocoso	0.30	5 - 10	0.15

Tomado de: Manual de usuario de HidroEsta (38)

2.6.4 Estimación del volumen de escorrentía esperado

2.6.4.1 Curva número

Para la utilización de este método se determinaron las características de cobertura y condición hidrológica de las áreas basadas en los tipos de suelo presentes en el área, con lo cual se estimó para cada área homogénea en condiciones de suelo y cobertura, el número de curva de escorrentía correspondiente, con la ayuda de tablas. Luego se estimó el número de curva promedio y se aplicaron las siguientes expresiones para calcular la lámina de escorrentía:

$$Q = (P - 0.2S)^2 / (P + 0.8S), \quad S = (25400/CN) - 254$$

Donde

Q = Profundidad acumulada de la escorrentía en mm

S = Retención potencial máxima en mm

P = Profundidad acumulada de la precipitación en mm

CN = Curva número en base a la situación del complejo suelo-cobertura

2.7. Resultados y discusión

2.7.1 Establecimiento de escenarios

Se determinaron los escenarios sobre los cuales se realizó el análisis del comportamiento siendo estos:

- a. Capacidad de uso de la tierra
- b. Cobertura vegetal y uso del año 1980
- c. Cobertura vegetal y uso del año 2000
- d. Cobertura vegetal y uso del año 2008

A. Capacidad de uso de la tierra

La capacidad de uso de la tierra del área bajo estudio incluye todas las categorías según la metodología de clasificación de tierras del Instituto Nacional de Bosques (INAB 2000), como se puede observar en la figura 3, que corresponde al mapa de capacidad de uso de la tierra del área bajo estudio.

La categoría que ocupa el mayor porcentaje del área bajo estudio es “agricultura sin limitaciones” con un 27.93 %, que corresponde a la parte baja de la subcuenca principalmente a las áreas planas que han generado por el río Guacalate. La segunda categoría es de “tierras forestales para producción con un 17.67%, encontrándose principalmente en la parte media de la cuenca. La tercera categoría relevante es “agroforestería con cultivos permanentes” como el café el cual ocupa 14.84 % del total del área.

En general la subcuenca alta del río Guacalate posee de acuerdo a su capacidad de uso de la tierra, 29.35 % del área para actividades forestales; divididas en 11.78 % para protección y 17.67% para producción, 38.6 % para actividades agrícolas; divididas en 10.67 % para agricultura con mejoras y 27.93 % para agricultura sin limitaciones, 19,61 % para actividades agroforestales; divididas en 4.77 % con cultivos anuales y 14.84 % con cultivos permanentes; y 12.34 % para sistemas silvopastoriles.

B. Uso de la tierra del año 1980

Con la ayuda de un mapa de uso de la tierra del año 1980 a una escala 1:50,000, elaborado en formato papel para el área del río Pensativo–Alto Guacalate (Herrera 1984), utilizando fotografías aéreas a escala 1:30,000 y mapas cartográficos a escala 1:50,000, se separó el área de estudio digitalizando en ArcGis 9.2 y se obtuvo la información del uso de la tierra para esa época, como se observa en la figura 4.

En el año 1980 el principal uso en el área era para cultivos anuales incluyendo maíz, frijol, hortalizas, trigo y pastos ocupando 49.52 % del total del área ubicado entre la parte baja y media de la subcuenca, luego el bosque ocupaba 38.27 % del área, el 7.38 % estaba siendo usado para la producción de café y el 3.75 % corresponde a los centros poblados (cuadro 6).

C. Uso de la tierra del año 2000

De acuerdo al plan de manejo para la subcuenca Pensativo-Alto Guacalate, para el año 2000 los bosques ocupaban alrededor de 37.05 % del total del área, 6.06 % de café, 8.60 % de centros poblados, 47.74 % de cultivos anuales y 0.55 % en otros usos (cuadro 4)

D. Uso de la tierra del año 2008

Con la ayuda de mosaico de fotografías aéreas georreferenciadas, rectificadas y en formato digital (ortofotos), que se construyeron con fotografía aérea del año 2006 y mediante recorridos de campo para rectificar las áreas, se obtuvo el mapa de uso para el año 2008, como se puede observar en la figura 5.

Para el año 2008, el principal uso de la tierra es la agricultura anual ocupando 42.65% del total del área, luego las actividades agrícolas con un 38.22 % y los centros poblados con un 12.79 %; como se puede observar en los cuadros 6 y 7.

El uso de la tierra ha variado de acuerdo a las necesidades de la población, de acuerdo al análisis de bases de datos del año 1980 hacia el año 2008 se determinó que dentro de la cuenca ha existido una expansión de los centros poblados de 3.75 % a 12.79 %, este fenómeno es justificado por el crecimiento poblacional del área.

La zona utilizada para agricultura ha disminuido un 8.36 %, los bosques se han mantenido respondiendo siempre a la dinámica de deforestación y reforestación.

Sin embargo al analizar el mapa de cobertura y uso del año 1980 en comparación con la cobertura y uso del año 2008 se observa que los cambios de mayor importancia son: la fragmentación del bosque mixto y conífero del municipio de San Andrés Itzapa, el aumento de la urbanización entre Chimaltenango y El Tejar, el cambio del cultivo de café por cultivos bajo invernadero en Parramos, Chimaltenango.

Cuadro 6. Dinámica del uso de la tierra de la parte norte de la subcuenca del Alto Guacalate, en los escenarios 1980, 2000 y 2008.

Uso	Áreas %		
	Año 1980	Año 2000	Año 2008
Bosques	38,27	37,05	38,22
Café	7,38	6,06	5,88
Centros poblados	3,75	8,60	12,79
Cultivos anuales	49,52	47,74	42,65
Otros	1,08	0,55	0,45

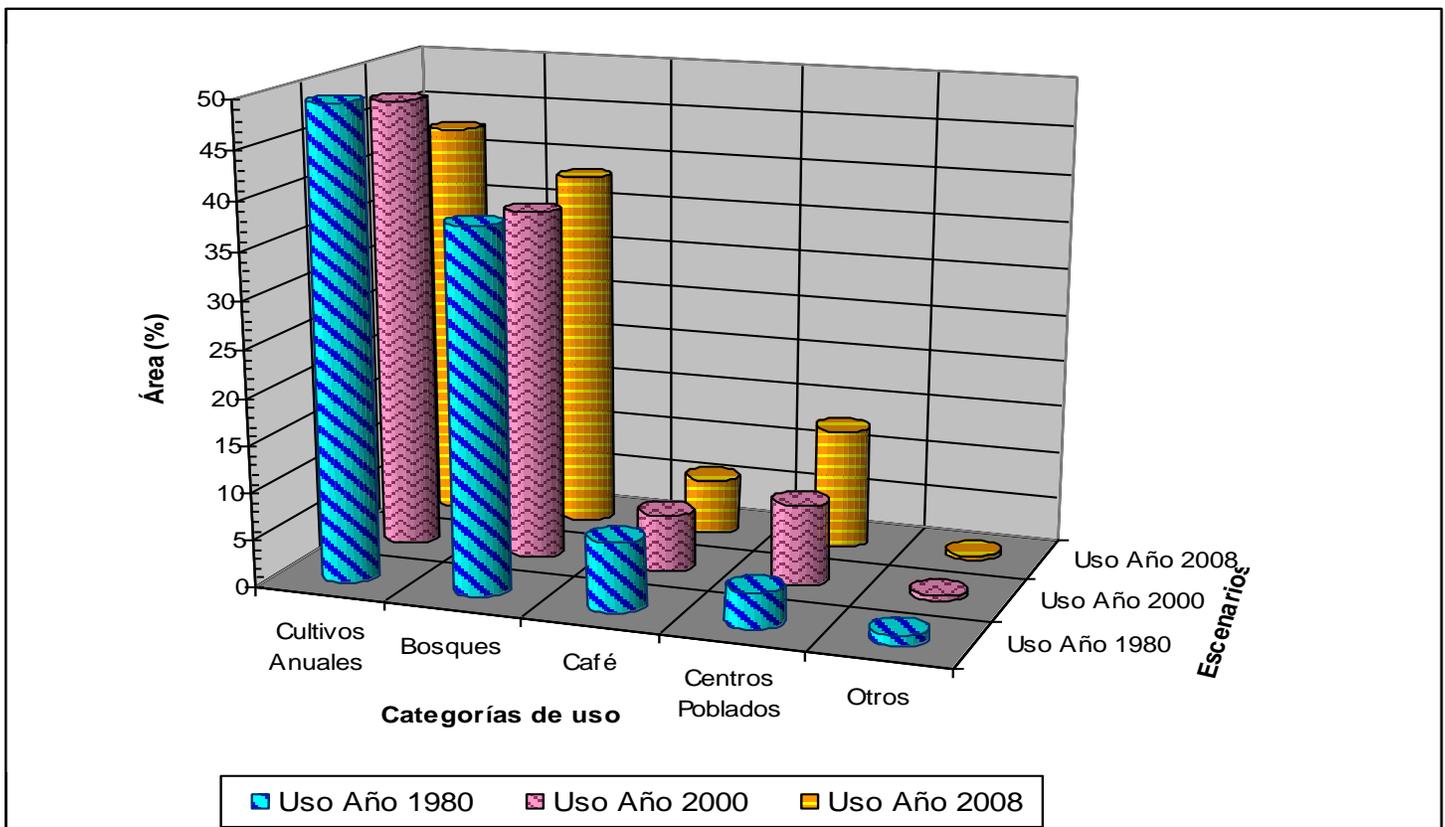


Figura 5. Dinámica del uso de la tierra de la parte norte de la subcuenca del Alto Guacalate, en los escenarios 1980, 2000 y 2008.

Cuadro 7. Dinámica del uso de la tierra de la parte norte de la subcuenca del Alto Guacalate, en el período 1980-2008.

Uso	Áreas %		
	Año 1980	Año 2008	Cambio de uso
Bosques	38,27	38,22	-0,05
Centros poblados	3,75	12,79	+9,04
Agricultura	56,90	48,54	-8,36
Otros	1,08	0,45	-0,63

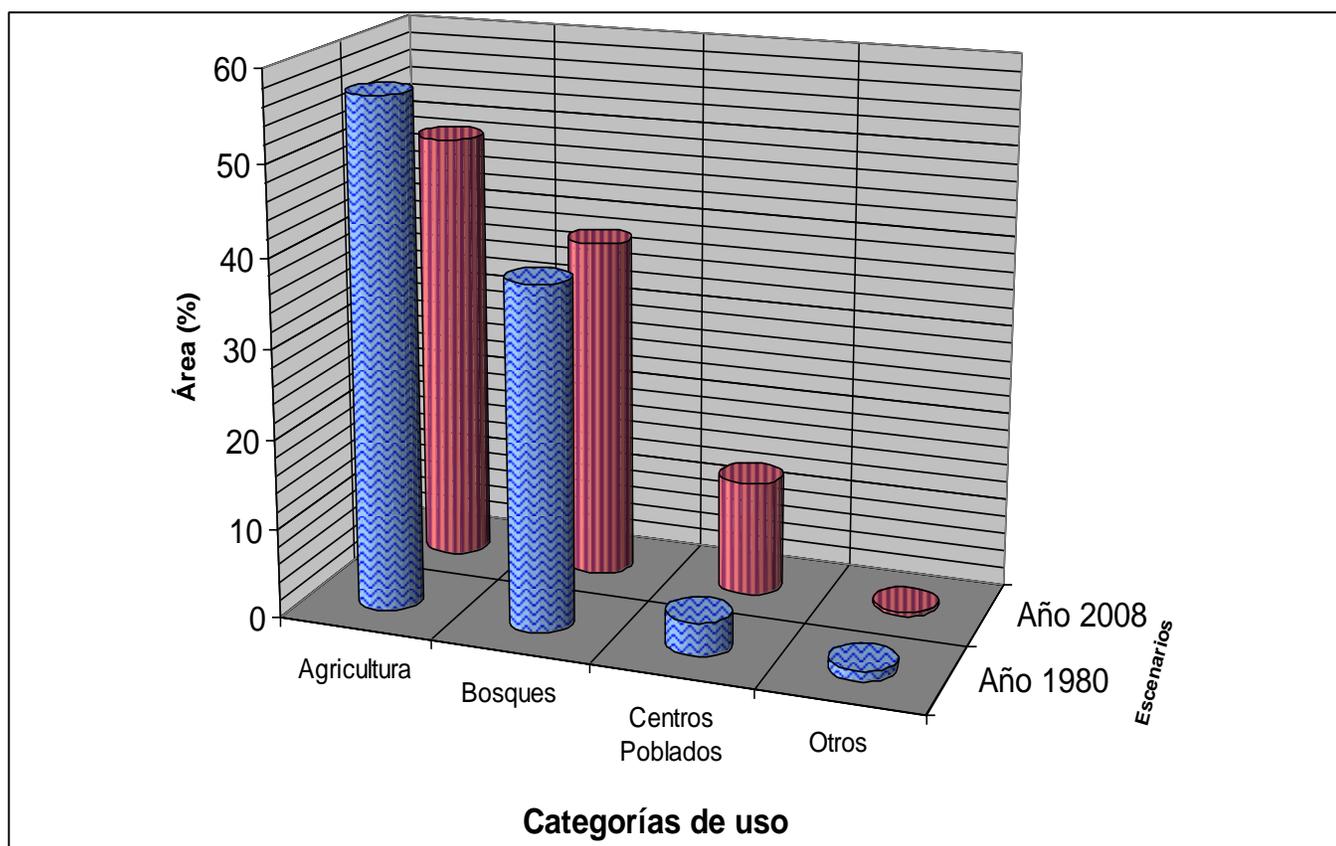


Figura 6. Dinámica del uso de la tierra de la parte norte de la subcuenca del Alto Guacalate, en el período 1980-2008.

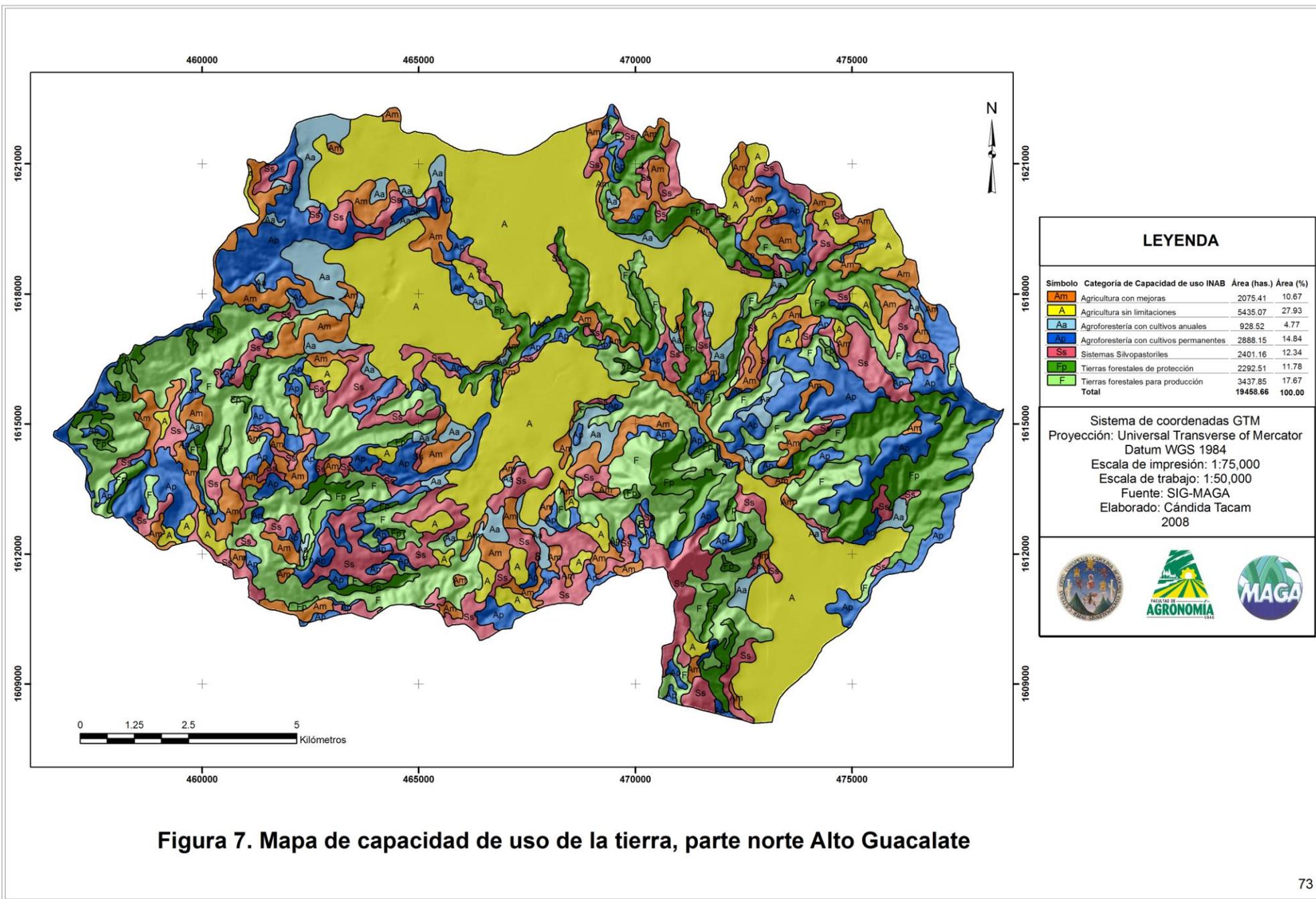


Figura 7. Mapa de capacidad de uso de la tierra, parte norte Alto Guacalate

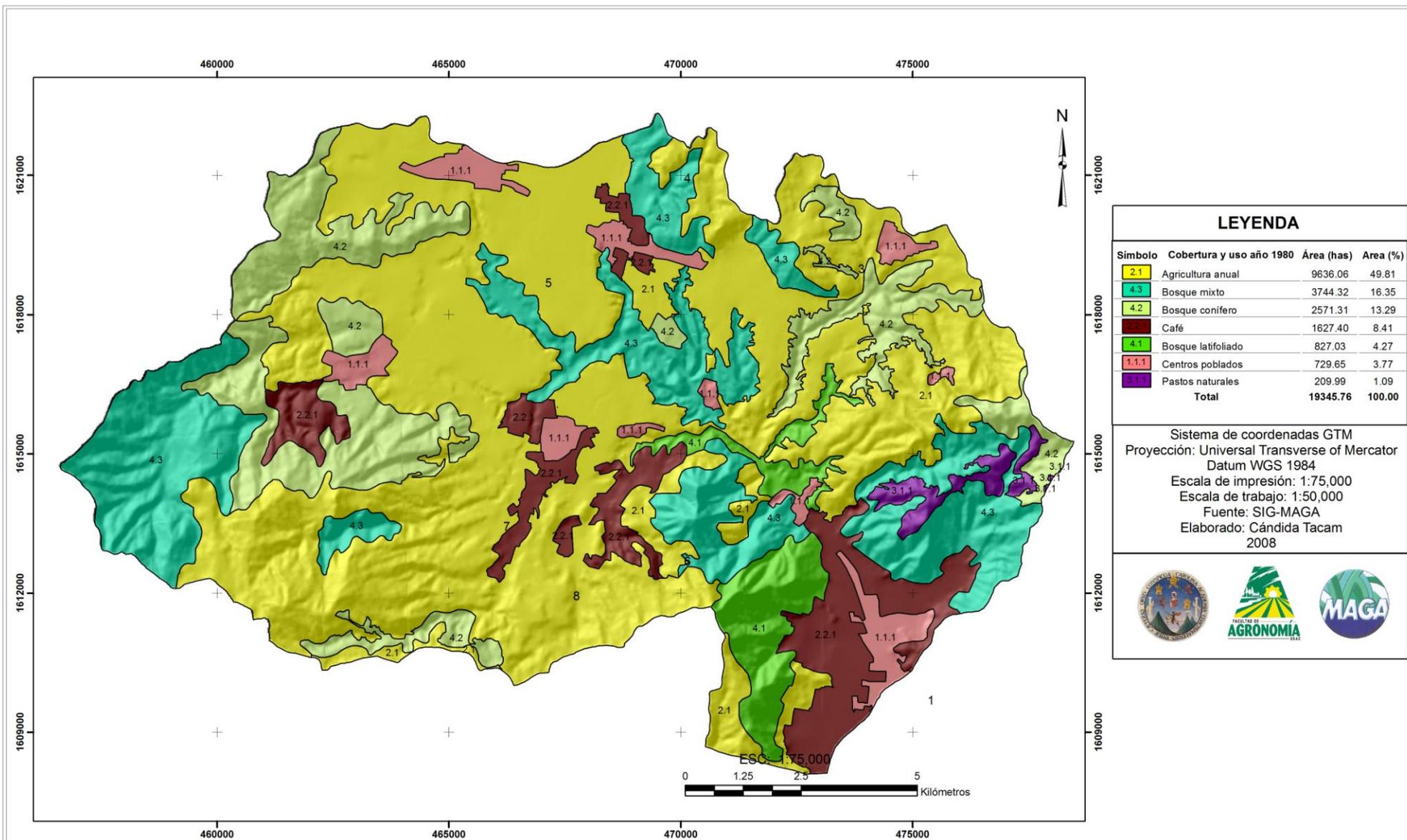


Figura 8. Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra año 1980, parte norte Alto Guacalate

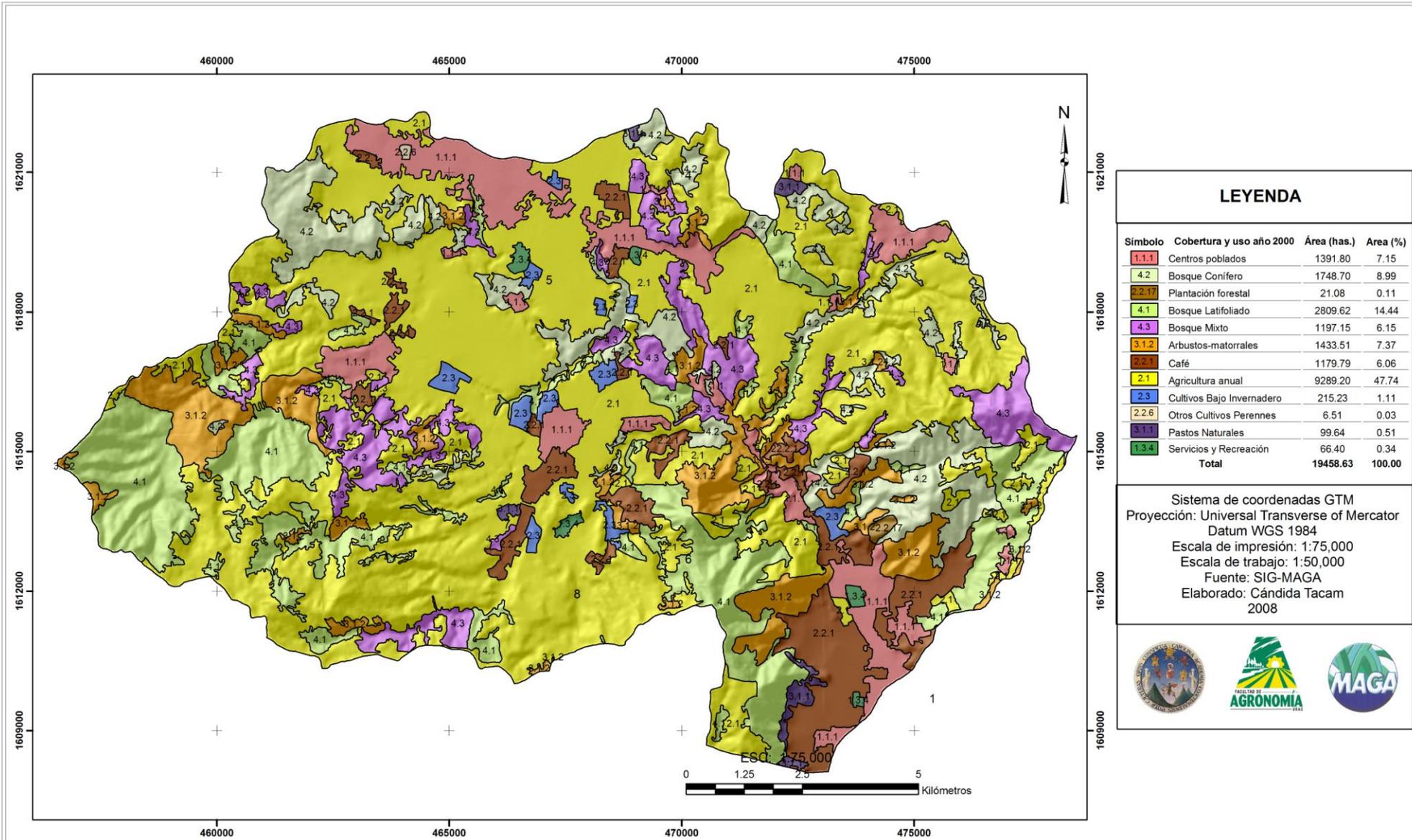


Figura 9. Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra año 2000, parte norte Alto Guacalate

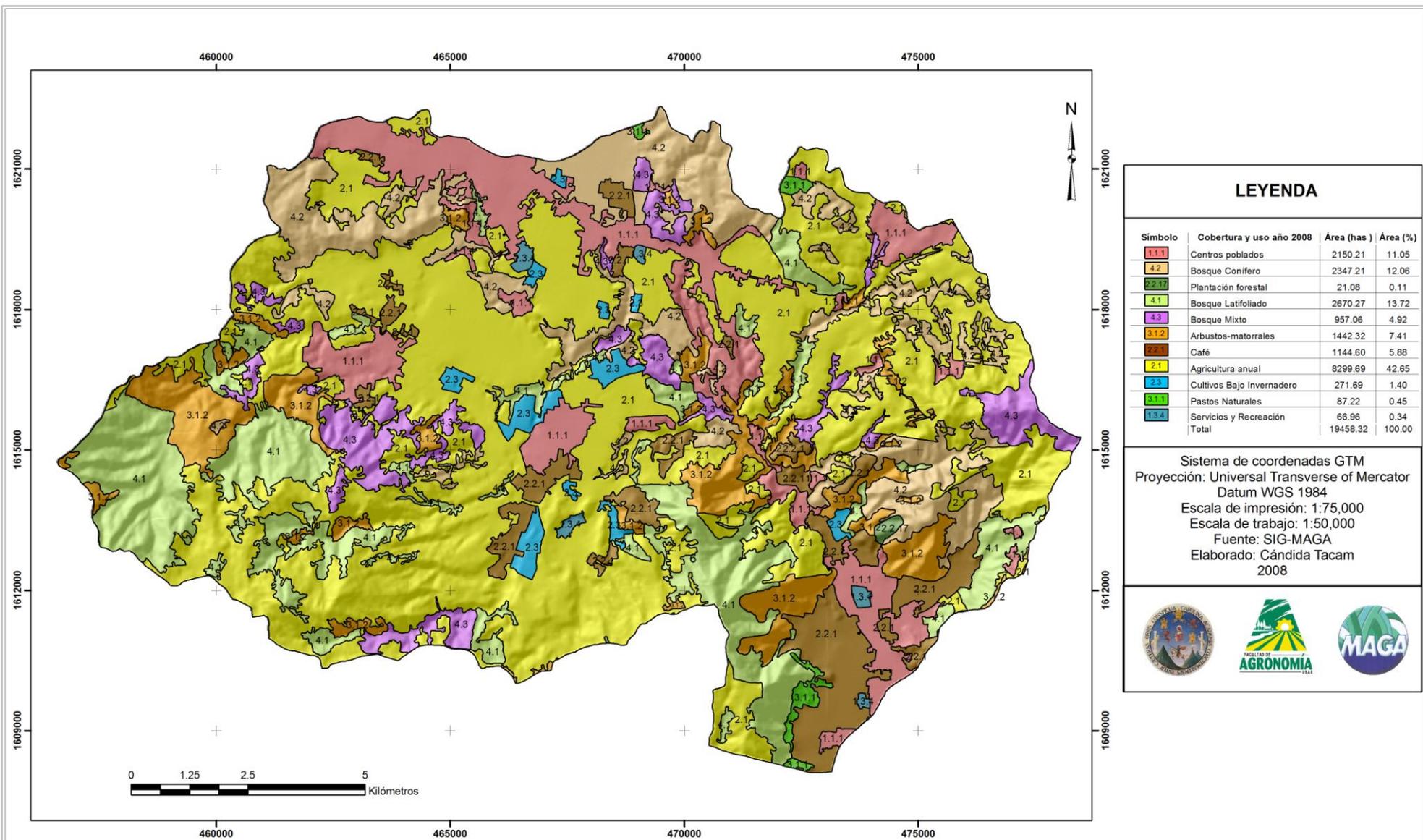


Figura 10. Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra año 2008, parte norte Alto Guacalate

2.7.2 Balances hídricos de suelos

A. Balance hídrico de suelos en condiciones de capacidad de uso de la tierra

El balance hídrico de suelos del escenario de capacidad de uso de la tierra fue utilizado como parámetro de uso adecuado (cuadro 8).

Del balance realizado, resulta una lámina de recarga potencial promedio ponderada por área de categoría de uso de 228.99 mm, la mayor lámina de recarga potencial se presenta en la categoría de “agroforestería con cultivos permanentes” correspondiendo a 414.49 mm, luego los “sistemas silvopastoriles” con una lámina de 404.44 mm, en las tierras forestales de producción una lámina de 287.26 mm y la menor recarga se identifico en la “agricultura con mejoras siendo una lámina de 102.29 mm.

El caudal potencial de recarga, para estas condiciones es de 1.41 m³/s siendo capaz de abastecer de agua a 456,840 personas (calculando un consumo per cápita de 200 litros por día y la utilización del 75 % de la disponibilidad, incluyendo aprovechamientos a través de pozos o manantiales)

Cuadro 8. Resumen del balance hídrico en condiciones de capacidad de uso de la tierra para la parte norte de la subcuenca del Alto Guacalate.

Categoría de uso	Recarga potencial (mm)	Escorrentía superficial (mm)	Área (m ²)	Volumen de recarga potencial Mm ³	Caudal potencial de recarga (m ³ /s)	Caudal potencial de escorrentía superficial (m ³ /s)
Agricultura sin limitaciones	155.46	0.00	54350200	8.45	0.27	0.00
Agricultura con mejoras	102.29	81.03	20753800	2.12	0.07	0.05
Agroforestería con cultivos anuales	183.93	0.00	9284600	1.71	0.05	0.00
Agroforestería con cultivos permanentes	414.49	0.00	28881100	11.97	0.38	0.00
Sistemas silvopastoriles	404.44	50.60	24011100	9.71	0.31	0.04
Tierras forestales de producción	116.69	0.00	34377800	4.01	0.13	0.00
Tierras forestales de protección	287.26	0.00	22924600	6.59	0.21	0.00
Totales	228.99	14.89	194583200	44.56	1.41	0.09

Mm³ = millones de metros cúbicos

B. Balance hídrico de suelos bajo condiciones de cobertura y uso de la tierra del año 1980

Bajo esta condición, la recarga potencial ponderada por área de la subcuenca era una lámina de 198 mm, la mayor lámina de recarga potencial era la de pastos acumulando 309 mm, luego los Bosques con una lámina de 264 mm, seguido el café con 227 mm, los cultivos anuales con 155 mm y contemplando los centros poblados como zonas impermeables se le denominó sin valor de recarga.

Como se puede observar en el cuadro 9, a consecuencia del déficit de recarga potencial en las áreas de centros poblados la lámina de escorrentía superficial es muy alta en comparación de las demás categorías de uso, demostrando así su susceptibilidad al tornarse en áreas de alto riesgo.

El “caudal potencial de recarga” para estas condiciones es de 1.25 m³/s siendo capaz de abastecer de agua a 405,000 personas (calculando un consumo per cápita de 200 litros/día y la utilización del 75 % de la disponibilidad, incluyendo aprovechamientos a través de pozos o manantiales)

Cuadro 9. Resumen del balance hídrico aplicado a diferentes usos de la tierra para el año 1980, para la parte norte de la subcuenca del Alto Guacalate.

Categoría de uso	Recarga potencial (mm)	Escorrentía superficial (mm)	Área (m ²)	Volumen de recarga potencial Mm ³	Volumen de escorrentía superficial Mm ³	Caudal potencial de recarga (m ³ /s)	Caudal potencial de escorrentía superficial (m ³ /s)
Centros poblados	0.00	287.30	7296481	0.00	2.10	0.00	0.07
Café	227.33	72.79	14353716	3.26	1.04	0.10	0.03
Cultivos anuales (maíz, frijol y hortalizas)	155.46	0.00	96360668	14.98	0.00	0.48	0.00
Pastos	308.94	0.00	2099970	0.65	0.00	0.02	0.00
Bosques	263.96	0.00	74472365	19.66	0.00	0.62	0.00
Totales	198.11	16.14	194583200	39.54	3.14	1.25	0.10

Mm³= millones de metros cúbicos

C. Balance hídrico de suelos bajo condiciones de cobertura y uso de la tierra del año 2000

La recarga potencial para el año 2000 fue una lámina de 175 mm de la cual, la mayor lámina acumulada fue la que comprende la categoría de pastos con 282 mm sin embargo al realizar la relación con el área total, esta resultó no ser significativa debido a que el área que abarca es menor al 1 % del total del área, sin embargo la segunda área con mayor acumulación de recarga potencial que es el bosque, que si cuenta con un área significativa del 37 % del total del área, mientras las áreas con menor recarga como centros poblados, cultivos anuales y cultivos perennes hacen un total de 55 % del total del área de la cuenca.

El caudal potencial de recarga para estas condiciones es de 1.08 m³/s, siendo capaz de abastecer de agua a 349,920 personas (calculando un consumo per cápita de 200 litros/día y la utilización del 75 % de la disponibilidad, incluyendo aprovechamientos a través de pozos o manantiales).

Cuadro 10. Resumen de los balances en condiciones de cobertura vegetal y uso de la tierra para el año 2000, para la parte norte de la subcuenca del Alto Guacalate.

Categoría de uso	Recarga potencial (mm)	Escorrentía superficial (mm)	Área (m ²)	Volumen de recarga potencial Mm ³	Volumen de escorrentía superficial Mm ³	Caudal potencial de recarga (m ³ /s)	Caudal potencial de escorrentía superficial (m ³ /s)
Centros poblados	0.00	287.30	16731189	0.00	4.81	0.00	0.15
Café	227.33	72.79	11797859	2.68	0.86	0.09	0.03
Cultivos anuales	136.79	47.03	92892046	12.71	4.37	0.40	0.14
Pastos	281.77	72.79	996436	0.28	0.07	0.01	0.00
Bosques	255.40	0.00	72100606	18.41	0.00	0.58	0.00
Cultivos perennes	58.53	0.00	65065	0.00	0.00	0.00	0.00
Totales	175.18	51.94	194583200	34.09	10.11	1.08	0.32

Mm³ = millones de metros cúbicos

D. Balance hídrico de suelos bajo condiciones de cobertura y uso de la tierra del año 2008

Como se ha observado en los escenarios anteriores la recarga potencial en cada período de tiempo disminuye, para el caso actual los pastos retienen una importante cantidad de recarga potencial por área siendo 282 mm por año, sin embargo ocupan poca extensión, siendo 87 hectáreas equivalentes al 0.5 % del total del área, por lo que se convierte en poco significativo.

También se observa el alto potencial de escorrentía al contar con áreas impermeables como el caso de los “centros poblados” que proyectan una escorrentía superficial de 287 mm. Sin embargo la clase de uso bosque posee una lámina de 255 mm que corresponde al 38 % del área.

El caudal potencial de recarga es para estas condiciones de 1.25 m³/s siendo capaz de abastecer de agua a 340,200 personas (calculando un consumo per cápita de 200 litros/día y la utilización del 75 % de la disponibilidad, incluyendo aprovechamientos a través de pozos o manantiales).

Cuadro 11. Resumen de los balances hídricos en condiciones de cobertura vegetal y uso de la tierra para el año 2008, para la parte norte de la subcuenca del Alto Guacalate.

Categoría de uso	Recarga potencial (mm)	Escorrentía superficial (mm)	Área (m ²)	Volumen de recarga potencial Mm ³	Volumen de escorrentía superficial Mm ³	Caudal potencial de recarga (m ³ /s)	Caudal potencial de escorrentía superficial (m ³ /s)
Centros poblados	0.00	287.30	24888675	0.00	7.15	0.00	0.23
Café	227.33	72.79	11446007	2.60	0.83	0.08	0.03
Cultivos anuales (maíz, frijol y hortalizas)	136.79	47.03	82996924	11.35	3.90	0.36	0.12
Pastos	281.77	72.79	872242	0.25	0.06	0.01	0.00
Bosques	255.40	0.00	74379352	19.00	0.00	0.60	0.00
Totales	170.61	61.42	194583200	33.20	11.95	1.05	0.38

Mm³ = millones de metros cúbicos

E. Análisis comparativo

En el cuadro 12, se puede observar de manera objetiva el comportamiento de las variables hidrológicas a través del transcurso de distintos períodos de tiempo, como se observa en la tabla, es evidente la disminución de la recarga potencial utilizando como parámetro de comparación la lámina de recarga potencial de la categoría de “capacidad de uso de la tierra” en relación a la cobertura y uso de los años 1980, 2000 y 2008.

El comportamiento de la recarga potencial cambia en cada período, para el primer período 1980-2000 la recarga disminuye en un 27 % y para el período 2000-2008 disminuye en un 34 %.

Uno de los factores que influye en la disminución de la recarga es el aumento de la urbanización de las tierras principalmente por ser zonas impermeables, esta conclusión también se basa en la lámina de escorrentía superficial que con el aumento de zonas impermeables o poco permeables aumenta de manera acelerada, como se muestra en la tabla que de una lámina de 14.89 mm a través de los años llega hasta una lámina de 61.42 mm aumentando así el caudal de escorrentía.

Cuadro 12. Resumen general de los balances hídricos de suelos para las diferentes condiciones de uso de la tierra en la parte norte de la subcuenca del Alto Guacalate

Categoría de uso	Recarga potencial (mm)	Escorrentía superficial (mm)	Volumen de recarga potencial Mm³	Volumen de escorrentía superficial Mm³	Caudal potencial de recarga (m³/s)	Caudal potencial de escorrentía superficial (m³/s)
Capacidad de uso	228.99	14.89	44.56	2.90	1.41	0.09
Uso de la tierra año 1980	198.11	16.14	39.54	3.14	1.25	0.10
Uso de la tierra año 2000	175.18	51.94	34.09	10.11	1.08	0.32
Uso de la tierra año 2008	170.61	61.42	33.20	11.95	1.05	0.38

Mm³ = millones de metros cúbicos

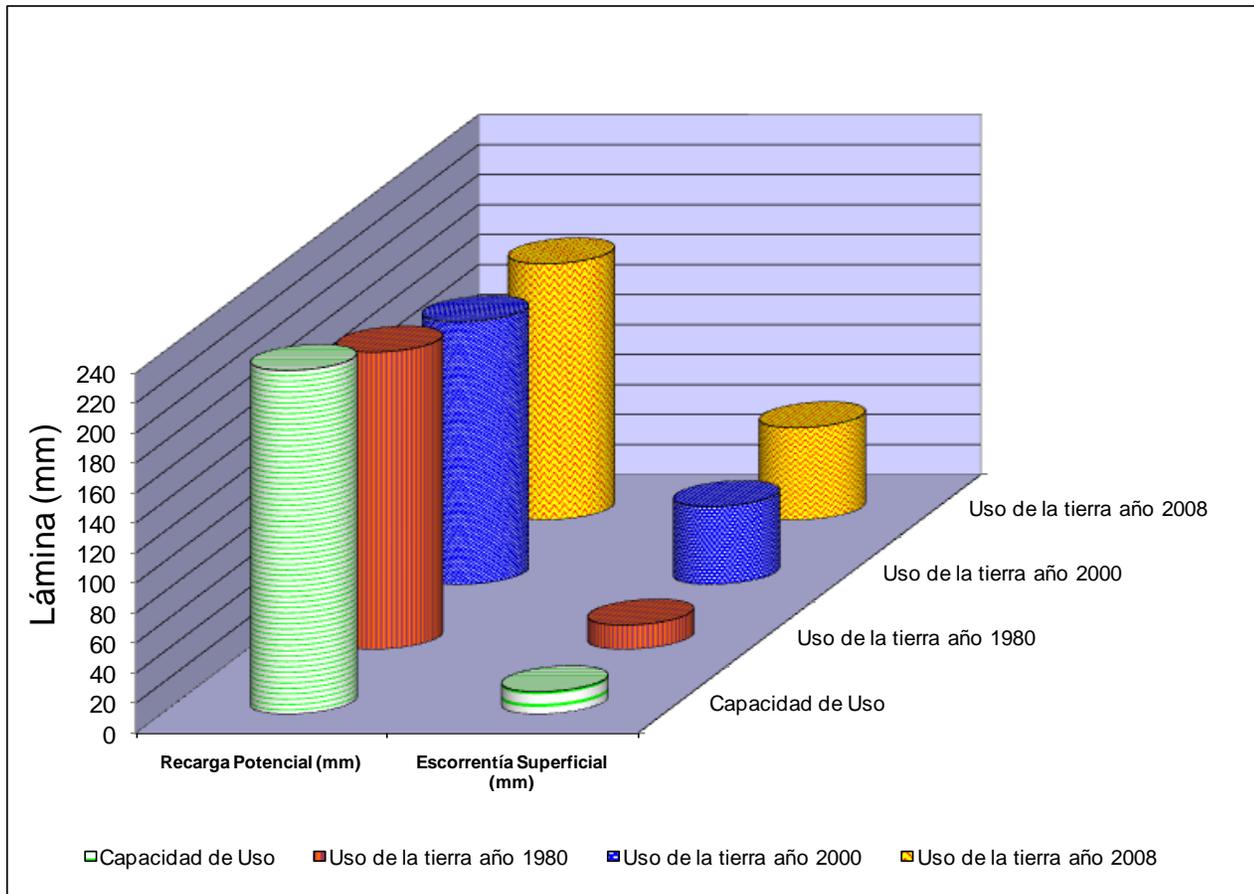


Figura 11. Resumen general de los balances hídricos de suelos para las diferentes condiciones de uso de la tierra en la parte norte de la subcuenca del Alto Guacalate.

2.7.3 Estimación de los caudales máximos de escorrentía

Para realizar la estimación de los caudales máximos dentro de la subcuenca se utilizaron dos métodos.

Dentro del desarrollo de estos dos métodos, los valores de área de la cuenca y la intensidad de las lluvias que se utilizan para el análisis se consideran constantes, por lo que la única variable dentro de estos métodos, derivada de la cobertura es el coeficiente de escurrimiento.

A. Método Racional

La ecuación del cálculo de caudales máximos que se utilizó para el método racional es:

$$Q_p = 0.278 CiA$$

Donde:

Q_p = Gasto o caudal máximo (m^3/s)

C = Coeficiente de escurrimiento;

i = Intensidad media de la lluvia, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca (mm/h)

A = Es el área de la cuenca drenada (km^2)

a. Coeficientes de escurrimiento (C)

Los coeficientes de escurrimiento se asignaron de acuerdo a cada categoría tanto de capacidad como de uso de la tierra, con base a la textura, cobertura vegetal y relieve del terreno.

A continuación se detallan los coeficientes de escurrimiento asignados a cada una de las coberturas bajo las 4 condiciones de uso de la tierra:

i. Capacidad de uso de la tierra

Los coeficientes de escurrimiento se obtuvieron con base a la categoría de uso, la textura y el relieve de cada categoría de uso identificada, en su mayoría se realizó una ponderación con base a datos promedio, debido a que el área bajo estudio pertenece en su mayoría a texturas franco arenosa a franco arcillo arenosa, en total el coeficiente de escurrimiento para este escenario es de 0.4548.

ii. Cobertura vegetal y uso de la tierra del año 1980

Los coeficientes de escurrimiento para la cobertura vegetal y uso de la tierra del año 1980, se calcularon en base a las características mencionadas, en el caso de los tipos de bosque se dieron valores de coeficientes de acuerdo a la topografía, los centros poblados se calcularon en base a valores promedio entre techos y calles.

En los cultivos anuales se ponderaron los valores como tierras cultivadas en algunos casos llanos o ondulados, dando como resultado un coeficiente de 0.4366.

iii. Cobertura y uso de la tierra del año 2000

Debido a que las categorías de uso de la tierra difieren poco respecto a la cobertura del año 1980, en algunos casos los coeficientes son iguales, sin embargo la diferencia en cuanto a coeficientes y su ponderación es el área que abarca cada cobertura.

Para los centros poblados se consideró un valor promedio entre techos y calles tomando en cuenta el aumento de las mismas, los cultivos bajo invernadero se ponderaron sobre el coeficiente de techo, los coeficientes de bosque en su mayoría coinciden con los valores ponderados para el año 1980 diferenciándose en el área que abarcan para este año.

iv. Cobertura vegetal y uso de la tierra del año 2008

Para definir estos coeficientes se tomaron en cuenta los utilizados para el año 2000, aunque no en todos los casos el coeficiente es el mismo, debido a la rotación de cultivos, sin embargo la diferencia en cuanto a los valores de coeficientes de escurrimiento, se presenta en relación al área que abarca cada categoría de uso de la tierra, el resultado de la ponderación para el coeficiente de escurrimiento del año 2008 es de 0.5859.

Al realizar la comparación de los datos de cada ponderación de coeficientes se observa que el coeficiente de escurrimiento para el año 1980 se mantuvo debajo del uso adecuado, mientras para los años 2000 y 2008 ha ido aumentando cada período de tiempo, como se observa en el cuadro 13.

Cuadro 13. Coeficientes de escurrimiento por escenario de la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate.

Categoría de uso	Recarga potencial (mm)	Escorrentía superficial (mm)	Volumen de recarga potencial Mm ³	Volumen de escorrentía superficial Mm ³	Caudal potencial de recarga (m ³ /s)	Caudal potencial de escorrentía superficial (m ³ /s)
Centros poblados	0.00	287.30	0.00	7.15	0.00	0.23
Café	227.33	72.79	2.60	0.83	0.08	0.03
Cultivos anuales (maíz, frijol y hortalizas)	136.79	47.03	11.35	3.90	0.36	0.12
Pastos	281.77	72.79	0.25	0.06	0.01	0.00
Bosques	255.40	0.00	19.00	0.00	0.60	0.00
Totales	170.61	61.42	33.20	11.95	1.05	0.38

b. Cálculo de la intensidad de lluvia (i)

Los valores de intensidad de la lluvia como se menciona en la fórmula son considerados para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca. El tiempo de concentración se utiliza debido a que la fórmula estima un caudal máximo o sea el punto máximo de la crecida cuando en el punto de aforo de la cuenca en estudio se este reflejando el escurrimiento del área más lejana.

Para calcular el tiempo de concentración de la cuenca se utilizaron las fórmulas de Kirpich, Chow y Rowe, para obtener un promedio de los tiempos obtenidos por las tres fórmulas.

Los resultados se obtuvieron por medio de las fórmulas siguientes:

Según Kirpich:

$$t_c = 3.97 (L^{0.77} / S^{0.385})$$

Donde:

t_c = tiempo de concentración sobre la superficie natural (min)

L = longitud del cauce principal (km)

S = pendiente media del cauce principal (m/m)

Según Chow:

$$t_c = 0.01 (L / (S)^{0.5})^{0.64}$$

Donde:

t_c = tiempo de concentración (h)

L = longitud del cauce principal (m)

S = pendiente media del cauce (%)

Según Rowe:

$$t_c = 0.87 (L^3/H^{0.85})$$

Donde:

t_c = tiempo de concentración (h)

L = longitud del cauce principal (km)

H = diferencia de alturas (m)

La aplicación de las fórmulas anteriores se realizó utilizando una pendiente del cauce principal de 2.55%, calculada por el método analítico, una longitud del cauce principal de 33.77 km y un área de 194.58 km², obteniendo los siguientes resultados: método de Kirpich: 245.04 minutos; método de Rowe: 245.77 minutos y método de Chow: 351.81 minutos, para obtener un valor de tiempo de concentración para el área se realizó un promedio aritmético, con el que se definió que el tiempo de concentración de la cuenca es de 281 minutos.

Utilizando el tiempo de concentración de la subcuenca se obtuvieron las intensidades de lluvia para este período de tiempo durante diferentes períodos de retorno. Para esto se utilizaron las curvas de intensidad-duración-frecuencia elaborados por el INSIVUMEH para la estación de la Alameda ICTA, en el año 2002.

En el cuadro 14, se observan las intensidades probables para la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate, para el tiempo de concentración de promedio de la cuenca que es de 281 minutos, tomando en cuenta diferentes períodos de retorno.

Se observa además como los valores van creciendo en función de que el período de probabilidad utilizado aumenta.

Cuadro 14. Intensidades de lluvia (mm/h), para el tiempo de concentración promedio de la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate.

Período de retorno (años)	Ecuación de intensidad de lluvia	Tiempo de concentración (min)	Intensidad (mm/h)
2	$i=21810/(t+35)^{1.451}$	280.879	5.15
5	$i=105300/(t+45)^{1.701}$	280.879	5.59
10	$i=639800/(t+70)^{1.954}$	280.879	6.80
25	$i=311660/(t+65)^{1.812}$	280.879	7.82
100	$i=283480/(t+65)^{1.787}$	280.879	8.23

Fuente: Departamento de investigación y servicios hídricos, INSIVUMEH (2002).

Luego de calcular todas las variables necesarias para la estimación del caudal máximo de escorrentía, se utilizaron estos valores para el cálculo en los diferentes escenarios. Los caudales máximos esperados para los diferentes escenarios, se observan en el Cuadro 15, donde se resumen los cálculos realizados con la ecuación racional ($Q_p = 0.278 CiA$), para una intensidad de lluvia uniforme durante el tiempo equivalente al tiempo de concentración de la subcuenca.

Las diferencias se muestran, donde el escenario de “cobertura vegetal” y “uso de la tierra” para el año 1980 muestra los valores más bajos de escorrentía máxima esperada para los diferentes períodos de retorno evaluados, los caudales van desde 121.65 hasta 194.41 m³/s, mientras para el uso a capacidad se presentan caudales desde 125.37 hasta 202.50 m³/s.

Los cambios mayores en relación al caudal en condiciones a capacidad de uso se presentaron en el período del año 2008, sin embargo se presentan datos intermedios como los del año 2000 que verifican el aumento de la escorrentía, el caudal de máximo para el año 2000 va de 129.79 a 207.42 m³/s, como ya se mencionó el caudal del año 2008 es bastante elevado en comparación de otros eventos, el caudal máximo para el área va de 163.23 hasta 260.86 m³/s.

Cuadro 15. Caudales máximos esperados, bajo diferentes escenarios de uso de la tierra para la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate, Guatemala, calculados por el método racional.

Escenario	Período de retorno (años)	Coefficiente de escorrentía (C)	Intensidad de lluvia (mm/h)	Área de la cuenca (km ²)	Caudal máximo (m ³ /s)
Capacidad de uso de la tierra	2	0.45	5.15	194.58	125.37
	5	0.45	5.59	194.58	137.62
	10	0.45	6.80	194.58	167.40
	25	0.45	7.82	194.58	192.35
	100	0.45	8.23	194.58	202.50
Cobertura y uso año 1980	2	0.44	5.15	194.58	121.65
	5	0.44	5.59	194.58	132.12
	10	0.44	6.80	194.58	160.72
	25	0.44	7.82	194.58	184.67
	100	0.44	8.23	194.58	194.41
Cobertura y uso año 2000	2	0.47	5.15	194.58	129.79
	5	0.47	5.59	194.58	140.96
	10	0.47	6.80	194.58	171.47
	25	0.47	7.82	194.58	197.03
	100	0.47	8.23	194.58	207.42
Cobertura y uso año 2008	2	0.59	5.15	194.58	163.23
	5	0.59	5.59	194.58	177.28
	10	0.59	6.80	194.58	215.65
	25	0.59	7.82	194.58	247.79
	100	0.59	8.23	194.58	260.86

B. Método de Mac Math

Este método requiere valores de coeficientes promedio, para las variables: cobertura, textura de suelos y pendiente. Los valores utilizados son valores medios para cada uno de las categorías de uso en los escenarios identificados, como se observa en el apéndice 3. Los valores de pendientes tienen rangos pequeños en comparación a los rangos que se presentan en el país, por lo cual el valor que se asigno no era el más adecuado para las condiciones de pendientes pronunciadas de la cuenca.

Para facilitar la presentación de los cálculos se obtuvo un coeficiente ponderado por el área de influencia para cada escenario.

Los resultados de la aplicación de la fórmula de Mac Math, para la intensidad de lluvia que corresponde al tiempo de concentración de la subcuenca, para diferentes períodos de retorno, se muestran en el cuadro 16, donde se observa al igual que en el método racional caudales menores en el escenario de cobertura vegetal y uso de la tierra, y en su orden le siguen los caudales de capacidad de uso de la tierra, cobertura vegetal y uso de la tierra para el año 2000 y cobertura vegetal y uso de la tierra para el año 2008.

Cuadro 16. Caudales máximos esperados, bajo diferentes escenarios de uso de la tierra para la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate, Guatemala, calculados por el método de Mac Math.

Escenario	Período de retorno (años)	Coeficiente de escorrentía (C)	Intensidad de lluvia (mm/h)	Área de la cuenca (has)	Pendiente del cauce (m/km)	Caudal máximo (m ³ /s)
Capacidad de uso de la tierra	2	0.3442	5.15051968	19458	25	82.91
	5	0.3442	5.59396156	19458	25	90.05
	10	0.3442	6.80466457	19458	25	109.54
	25	0.3442	7.81898582	19458	25	125.87
	100	0.3442	8.23123286	19458	25	132.50
Cobertura y uso año 1980	2	0.3378	5.15051968	19458	25	81.36
	5	0.3378	5.59396156	19458	25	88.36
	10	0.3378	6.80466457	19458	25	107.48
	25	0.3378	7.81898582	19458	25	123.51
	100	0.3378	8.23123286	19458	25	130.02
Cobertura y uso año 2000	2	0.3457	5.15051968	19458	25	83.28
	5	0.3457	5.59396156	19458	25	90.45
	10	0.3457	6.80466457	19458	25	110.02
	25	0.3457	7.81898582	19458	25	126.42
	100	0.3457	8.23123286	19458	25	133.09
Cobertura y uso año 2008	2	0.3528	5.15051968	19458	25	84.98
	5	0.3528	5.59396156	19458	25	92.29
	10	0.3528	6.80466457	19458	25	112.27
	25	0.3528	7.81898582	19458	25	129.00
	100	0.3528	8.23123286	19458	25	135.80

De forma general los caudales máximos de escorrentía calculados por el método racional son mayores que los caudales de escorrentía calculados por el método Mac Math, como se observa en el cuadro 17. Las diferencias son aproximadamente del 40 % de disminución en los caudales calculados tanto por el método racional como con el método Mac Math. Se consideró adecuado realizar un promedio de los métodos utilizados para presentar valores medios de caudales máximos de escorrentía para la cuenca en los diferentes escenarios.

Los rangos de los caudales máximos esperados son variables según el período de retorno y el método utilizado pero cabe mencionar que bajo las condiciones de uso para el año 2008 se esperarían caudales desde 124.10 m³/s para un período de retorno de 2 años, hasta 198.33 m³/s para un período de retorno de 100 años. Bajo condiciones de uso para el año 2000 se esperarían caudales desde 106.53 m³/s a 170.25 m³/s para un período de retorno de 2 años, hasta 198.33 m³/s para un período de retorno de 100 años.

Mientras, que con las condiciones de uso del año 1980 los caudales oscilarían entre 101.5 y 162.21 m³/s, para los mismos períodos de retorno. Y en condiciones de uso de la tierra a capacidad, los caudales serían de 104.14 y 167.5 m³/s, para los mismos períodos de retorno, esta dinámica muestra que para el uso de la tierra que se daba en el año 1980 los caudales máximos eran menores a los de la capacidad de uso de la tierra, en comparación al uso del año 2008 los caudales superan a la capacidad de uso de la tierra en un 16 %.

Cuadro 17. Comparación de los caudales máximos calculados por los métodos Racional y Mac Math para la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate, Guatemala

Escenario	Período de retorno (años)	Intensidad de lluvia (mm/h)	Caudales máximos método racional (m³/s)	Caudales máximos Mac Math (m³/s)	Caudales máximos calculados promedio (m³/s)
Capacidad de uso de la tierra	2	5.15	125.37	82.91	104.14
	5	5.59	137.62	90.05	113.83
	10	6.80	167.40	109.54	138.47
	25	7.82	192.35	125.87	159.11
	100	8.23	202.50	132.50	167.50
Cobertura y uso año 1980	2	5.15	121.65	81.36	101.50
	5	5.59	132.12	88.36	110.24
	10	6.80	160.72	107.48	134.10
	25	7.82	184.67	123.51	154.09
	100	8.23	194.41	130.02	162.21
Cobertura y uso año 2000	2	5.15	129.79	83.28	106.53
	5	5.59	140.96	90.45	115.70
	10	6.80	171.47	110.02	140.74
	25	7.82	197.03	126.42	161.72
	100	8.23	207.42	133.09	170.25
Cobertura y uso año 2008	2	5.15	163.23	84.98	124.10
	5	5.59	177.28	92.29	134.79
	10	6.80	215.65	112.27	163.96
	25	7.82	247.79	129.00	188.40
	100	8.23	260.86	135.80	198.33

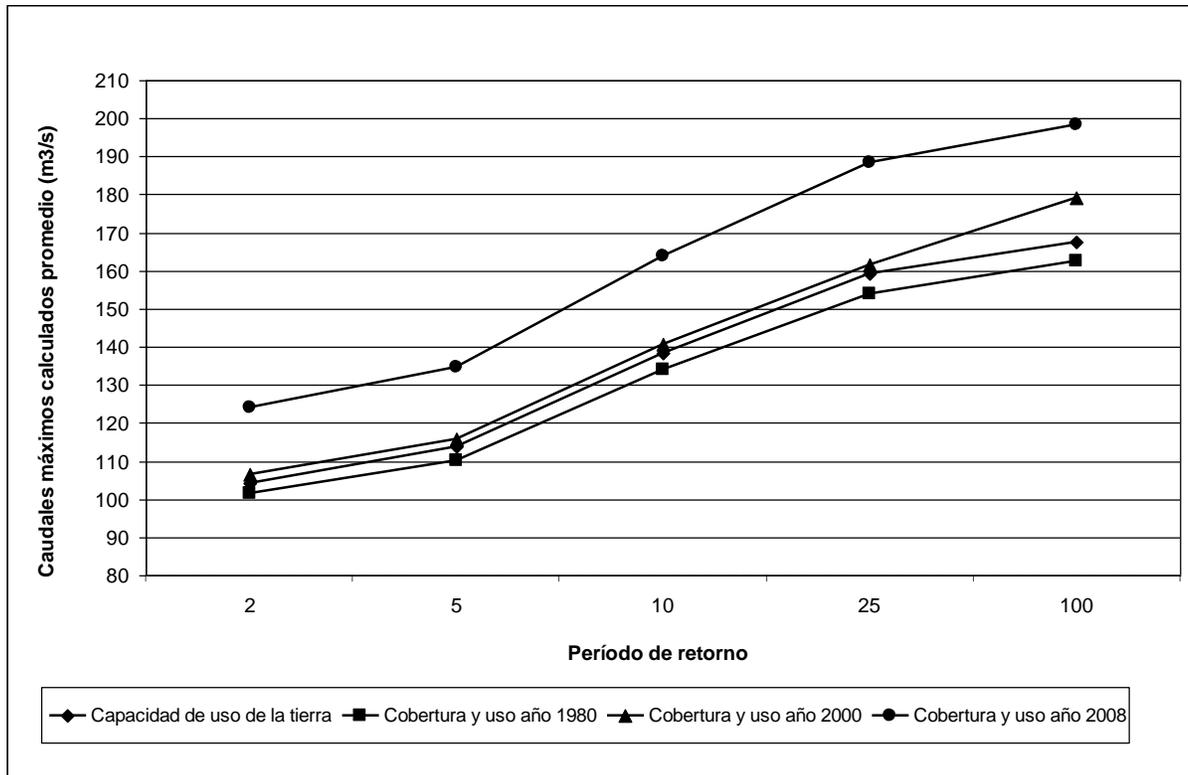


Figura 12. Resumen general de los caudales máximos para las diferentes condiciones de uso de la tierra en la parte norte de la subcuenca del Alto Guacalate.

2.7.4 Comparación del volumen de escorrentía

A. Método de curva número

El cálculo del volumen de escorrentía por el método de USSCS o curva número, se basa en el cálculo de un número de curva para las condiciones cobertura y condición hidrológica de las áreas, como las áreas dentro de la cuenca son heterogéneas, se calculó un número de curva promedio para el área. Como la cuenca tiene suelos franco arcillosos y arcillosos, se considera que su grupo hidrológico es del grupo C, con bajas tasas de infiltración cuando esta humedecido y baja transmisividad del agua. Los valores de número de curva se obtuvieron de diversas tablas y en algunos casos hubo necesidad de promediar valores para obtener un valor medio.

Los valores de número de curva, para cada categoría de uso de la tierra en cada uno de los escenarios, se ponderaron sobre la base del área de influencia, como se muestra en el cuadro 18.

Cuadro 18. Ponderación del valor de curva número

Cobertura y uso 2008	Coefficiente de escurrimiento	Área (ha)	Área (%)	Coefficiente ponderado
Asentamientos rurales	86	1298.10	0.67	0.58
Asentamientos urbanos	87	19046.14	9.85	8.57
Bosque conífero	58	23472.06	12.13	7.04
Bosque conífero plantado	58	210.79	0.11	0.06
Bosque latifoliado	58	26702.69	13.81	8.01
Bosque mixto	58	9570.62	4.95	2.87
Bosque secundario	58	14423.15	7.46	4.32
Cafetales	80	11446.01	5.92	4.73
Cultivos anuales	71	82996.92	42.91	30.47
Cultivos bajo invernadero	74	2716.91	1.40	1.04
Pastos naturales	65.00	872.24	0.45	0.29
Servicios y recreación	74.00	669.62	0.35	0.26
Total general		193425.27	100.00	68.24

B. Monitoreo de caudales

Como complemento al estudio de la alteración de las variables hidrológicas como consecuencia del cambio del uso de la tierra en un período de 28 años, se realizó un monitoreo mensual del caudal del cauce principal del río Guacalate, el punto de aforo se ubicó en Ciudad Vieja.

El monitoreo se realizó durante el período de septiembre 2007 a julio 2008, durante este período también se recolectaron muestras de agua con el fin de obtener una estimación de la cantidad de sedimentos (partículas en suspensión), que arrastra el río de la parte mas alta hasta el punto indicado.

El caudal promedio es de $1.31 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver apéndice 4), este arrastra una cantidad de sedimentos en suspensión de 178.07 mg/l , equivalentes a una pérdida de 0.0378 tm/ha/año lo que expresado en lámina corresponde a 0.03 mm/año para el área, que anualmente corresponde a 0.2 mm/año , indica que en el área existe pérdida de suelo, que es provocada principalmente por el exceso de escorrentía superficial.

Cuadro 19. Caudales mensuales del río Guacalate.

Año	Mes	Caudal m³/s
2007	Septiembre	1.6
2007	Septiembre	1.56
2007	Octubre	1.55
2007	Octubre	1.69
2007	Noviembre	1.69
2007	Noviembre	1.03
2007	Diciembre	1.31
2007	Diciembre	1.42
2008	Enero	1.21
2008	Enero	1.22
2008	Febrero	1.3

Año	Mes	Caudal m³/s
2008	Febrero	0.95
2008	Marzo	0.8
2008	Marzo	0.75
2008	Abril	0.65
2008	Abril	0.68
2008	Mayo	0.79
2008	Mayo	1.5
2008	Junio	1.78
2008	Junio	2.03
2008	Julio	1.8
2008	Julio	1.7
Promedio de caudales		1.3186

Cuadro 20. Sedimentos (partículas en suspensión) mensuales del río Guacalate.

Año	Mes	mg/l
2007	Septiembre	356.9
2007	Octubre	375.16
2007	Noviembre	1.66
2007	Diciembre	1.66
2008	Enero	14.94
2008	Febrero	49.8
2008	Marzo	73.04
2008	Abril	169.32
2008	Mayo	249
2008	Junio	325.36
2008	Julio	341.96
Sedimentos promedio		178.0727

C. Análisis comparativo entre el caudal estimado y medido

Al realizar la comparación entre el caudal estimado por medio de la curva número y el caudal medido durante el período de un año, se identificó que en los meses de enero a abril y noviembre a diciembre se presenta mayor el caudal medido que el esperado, esta respuesta es a razón de que durante esos meses no ocurren eventos de lluvia y que el caudal medido contiene volúmenes de agua subterránea como aporte.

Por lo tanto se demuestra que los caudales máximos que se esperan para eventos extremos sobrepasan el caudal que en condiciones normales se presenta, como el caso de Junio que en condiciones normales tiene un caudal de 1.91 m³/s y de acuerdo a las estimaciones en un evento extremo llegaría a tener 10.03 m³/s (cuadro 21).

Sin embargo para los meses de mayo a octubre se presentan mayores los caudales esperados, siendo mas significativos en los meses de junio y septiembre, principalmente por ser los meses con mayor presencia de lluvias (figura 13).

Cuadro 21. Análisis comparativo de los caudales del río Guacalate norte.

Meses	Caudal estimado método CN (m ³ /s)	Caudal medio medido (m ³ /s)
Enero	0.30	1.22
Febrero	0.30	1.13
Marzo	0.12	0.78
Abril	0.01	0.67
Mayo	3.31	1.15
Junio	10.03	1.91
Julio	5.16	1.75
Agosto	5.79	1.92
Septiembre	7.11	1.58
Octubre	3.51	1.62
Noviembre	0.13	1.36
Diciembre	0.10	1.37

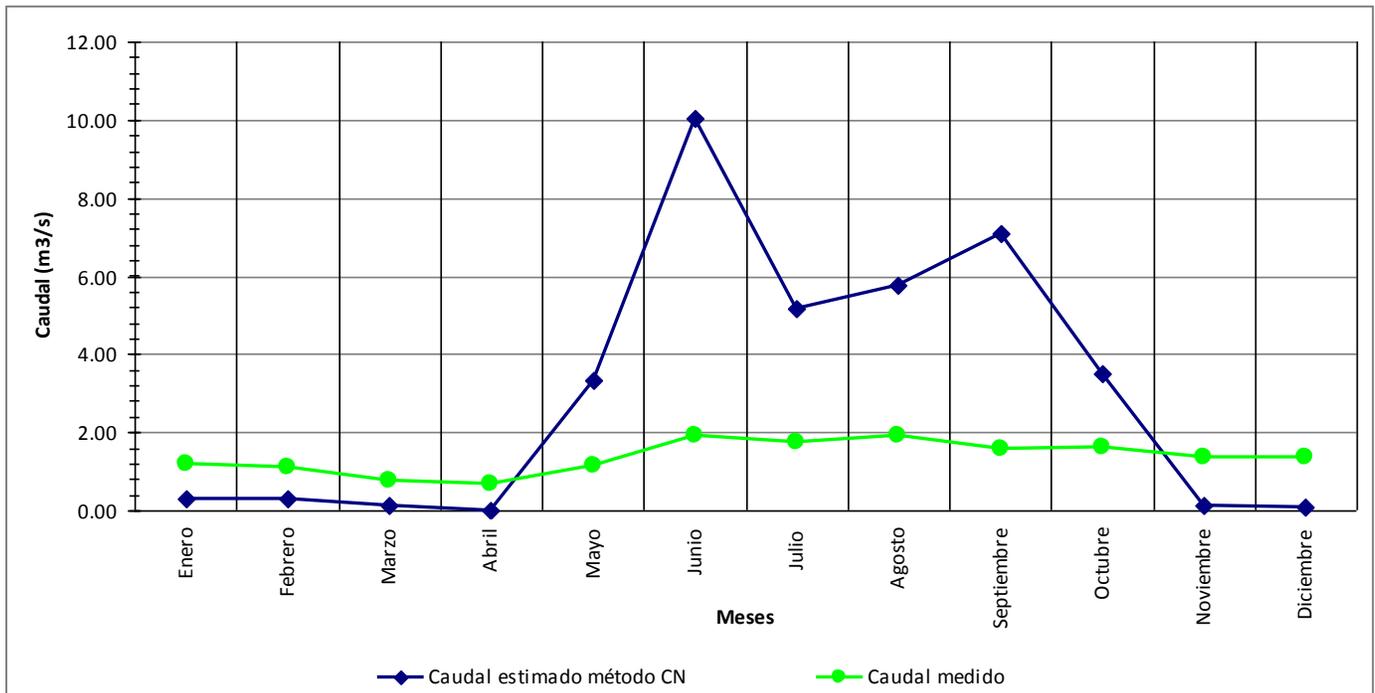


Figura 13. Comparación entre caudal estimado y medido en la parte norte de la subcuenca del Alto Guacalate.

2.8 Conclusiones

- La dinámica de los cambios de uso de la tierra de la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate, entre los años 1980 y 2008 ha presentado las mayores diferencias; siendo estas: el aumento de centros poblados en un 9 % equivalente a 1,759 has, mientras el comportamiento del bosque en general se mantiene, sin embargo al analizar cada polígono delimitado se muestra que el bosque natural ha sido segmentado y disminuido, pero esta segmentación ha sido compensada con reforestaciones según el estudio de dinámica del bosques publicado por el Instituto Nacional de Bosques para el área de Chimaltenango y Sacatepéquez, por lo que el bosque ha disminuido en un 0.05 % equivalente a 9.729 has, la agricultura en la cual se incluye los cultivos anuales, perennes y café disminuyeron un 8.36 % equivalente a 1,626.68 has, esta disminución es justificada con el aumento de los centros poblados, en la categoría otros se incluyen los pastos, arbustos y matorrales que ha disminuido 0.63 % lo que equivale a 122.58 has, al igual que la agricultura lo que ha disminuido en este uso ha sido lo que en centros poblados a aumentado; en general el mayor cambio que ha sufrido esta área a sido la expansión de los centros poblados.
- En el comportamiento de los balances hídricos de suelos se observa una disminución de la lámina de recarga hídrica potencial del año 1980 al 2008, de 27 mm; esta diferencia repercute en la capacidad de abastecimiento a la población, según la estimación para el año 1980 el abastecimiento de agua era para 405,000 personas mientras para el año 2008 el abastecimiento se ha reducido a 340,200 personas (calculando un consumo per cápita de 200 litros por día y la utilización del 75 % de la disponibilidad, incluyendo aprovechamientos a través de pozos y manantiales), en general esta disminución aunada al crecimiento poblacional responde a la posibilidad de escasez de agua en el área; en contraposición la disminución de la recarga es un efecto del aumento de la lámina de escorrentía superficial de 16.14 mm a 61.42 mm, la cual como se observa en el análisis del cambio de uso de la tierra es un efecto del aumento de zonas impermeables que para este caso son los centros poblados, por lo tanto el agua que anteriormente se convertía en fuentes subterráneas cada vez disminuye.

- En la magnitud de los caudales máximos de escorrentía calculados se presenta un aumento en cada período de retorno calculado como por ejemplo en la cobertura vegetal y uso de la tierra del 1980 al año 2008, para el período corto de 2 años el caudal aumenta de $101.5 \text{ m}^3/\text{s}$ a $124.10 \text{ m}^3/\text{s}$, este aumento indica que los eventos extremos a esperar aumentan conforme se presentan cambios tanto en el uso de la tierra como los provocados por los efectos del cambio climático; principalmente en el caso de las áreas impermeables (centros poblados), las cuales provocan la disminución de zonas de recarga potencial y aumentan la escorrentía superficial, lo cual responde a la crecidas de los ríos y a desastres que suceden en los lugares aledaños a ríos, como es el caso de inundaciones.
- De acuerdo a la comparación entre el caudal máximo de escorrentía superficial estimado y el caudal medido por medio de aforos del río Alto Guacalate norte, se determinó un aumento mayor al cien por ciento en el caudal de los meses de junio y septiembre, para los meses de enero al mes de abril el caudal medido es mayor al estimado debido a la cantidad de agua subterránea y la falta de precipitación.
- Como complemento al estudio se realizó un monitoreo del cauce principal, el cual consistió en la determinación del caudal mensual por medio de aforos y la determinación de sedimentos (partículas en suspensión) que transporta el río Alto Guacalate norte, se determinó que para el área existe una pérdida de 0.0378 tm/ha de limo y arcilla por año, lo cual corresponde a las partículas que proveen de mayor fertilidad al suelo.

2.9 Recomendaciones

- La información generada en este estudio puede ser utilizada como herramienta para fortalecer el plan de manejo generado por la Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo, del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, para la cuenca Pensativo-Alto Guacalate, aunque se trate de estimaciones estas pueden ayudar a dimensionar la dinámica del comportamiento de la cuenca, además de justificar acciones que pueden mitigar los efectos negativos como derrumbes, deslizamientos y crecidas entre otros.
- Debido a que es inevitable el crecimiento poblacional así como los cambios a nivel mundial en cuanto al clima es necesario, implementar el concepto de ordenamiento territorial de manera que cada municipio del área bajo estudio cuente con una zona de carga hídrica, para este fin las áreas aptas serían: San Andrés Itzapa (montaña del Soco), norte de Antigua Guatemala y Parramos, al priorizar estas áreas se podría garantizar el abastecimiento de agua potable para el corto, mediano y mejor aún largo plazo, así como se podría facilitar un insumo para cumplir con el código municipal con el fin de encontrar la manera de aprovechar la escorrentía superficial para evitar crecidas e inundaciones.
- Debido a la fuerte dinámica de urbanización, y al crecimiento de zonas residenciales, las municipalidades de las áreas de la subcuenca deberían exigir en los estudios realizados por área, una garantía sobre las políticas de aprovechamiento de aguas de lluvias, como pozas de captación de agua, manejo de aguas pluviales y plantas de tratamiento de aguas servidas.
- Debido a que el agua es de uso vital, es importante implementar un sistema de monitoreo de caudales tanto de agua superficial como de niveles de agua subterránea, para determinar con mayor exactitud el comportamiento anual de las variables del ciclo hidrológico estudiadas; tanto la recarga potencial como de la escorrentía superficial.

- Dentro del área el uso de leña como fuente energética, así como otros productos del bosque son imprescindibles para la sobrevivencia de los habitantes, por esta razón es importante promover el manejo sostenible del bosque, de tal manera que dentro del área no haga falta cobertura boscosa para minimizar la pérdida de suelo.
- Luego de analizar la pérdida de agua de recarga potencial (agua subterránea), tomando en cuenta que las áreas impermeables van en aumento, es necesario que las autoridades municipales implementen zonas de desechos sólidos (basureros), en áreas donde el impacto al acuífero sea mínimo, para evitar la contaminación de las aguas, así como exigir a las industrias del área que implementen el manejo de aguas servidas que estas generen.
- Es necesario implementar un monitoreo de sedimentos por medio de parcelas de escorrentía, principalmente para el área de estudio debido a que corresponde a la cabecera de la cuenca del río Achiguate, la cual desemboca en el océano pacífico y durante eventos extremos provoca desastres naturales.
- De acuerdo a la comparación de caudales de escorrentía superficial por medio de estimaciones y monitoreo del caudal se determinó que los meses de mayor riesgo de crecidas e inundaciones son de mayo a octubre, por lo que se recomienda difundir esta información, poniendo énfasis en los meses de junio y septiembre, de manera que este comportamiento provoque el menor daño posible.

2.10 Bibliografía

1. Asturias Hernández, RM. 2006. Impacto del cambio de uso del suelo en el comportamiento del ciclo hidrológico de las microcuencas de los ríos San Lucas y Arenal. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 102 p.
2. Cardona Hernández, LE. 2006. Contribución al programa de investigación de hidrología forestal del Instituto Nacional de Bosques INAB desarrollado en la microcuenca río Frio Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 161 p.
3. Constenlla, LA. 1983. El proceso de urbanización en Guatemala. Guatemala, USAC, Centro de Estudios Urbanos y Regionales. 35 p.
4. Corado Recinos, MJ. 1999 Efecto de la incorporación de materiales orgánicos en la disponibilidad y aprovechamiento de la humedad del suelo en el ICTA La Alameda, Chimaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 46 p.
5. Custodio, E; Llamas, MR. 2001 Hidrología subterránea 2 ed. Barcelona, España, Omega. v. 1, s.p.
6. Dourojeanni, A; Jouravlev, A. 1999. Gestión de cuenca y ríos vinculados con centros urbanos. Chile, CEPAL, División de Recursos Naturales e Infraestructura. 88 p.
7. Fuentes Montepeque, JC. 2008. Evaluación del sistema de alerta temprana para inundaciones, en la cuenca del río Coyolate. Tesis MSc. Guatemala, USAC. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS-. 101 p.
8. González Recinos, BE. 2002. Evaluación del efecto del crecimiento urbano en la cobertura vegetal y el uso del suelo en la subcuenca del río Platanitos. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 84 p.
9. González, A; Illescas, O. s.f. Diagnostico preliminar de los usos del suelo y sus impactos ambientales en la subcuenca del lago del Amatitlán. Guatemala, Instituto Geográfico Militar. 25 p.
10. Gutiérrez Ramírez, HR. 1994. Crecimiento urbano y su efecto sobre el uso del suelo y el área boscosa en la subcuenca del río Villalobos. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 75 p.

11. Gutiérrez, MA; Ayala, AR. 1998. Hidrología urbana: efectos de la impermeabilización en las cuencas urbanas de la ciudad de Posadas. Argentina, La Rioja, Entidad Binacional Yacyretá. 125 p.
12. Herrera Ibañez, IR. 1984. Levantamiento semidetallado de suelos de la cuenca del río Achiguate. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 199 p.
13. _____. 1995. Manual de hidrología. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 223 p.
14. _____. 1998. Reconocimiento hidrogeológico de la cuenca del río Itzapa, departamento de Chimaltenango, Guatemala. Tesis MSc. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Escuela Centroamericana de Geología, Sistema de Estudios de Posgrado. 104 p.
15. _____. 2002. Hidrogeología práctica. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. p. 70-190.
16. IGM (Instituto Geográfico Militar, GT). 1983. Mapa topográfico de la república de Guatemala: hoja ciudad de Guatemala, no. 2059–I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
17. _____. 1984. Mapa topográfico de la República de Guatemala: hoja Chimaltenango, no. 2059–IV. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
18. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1962. Mapa topográfico de la república de Guatemala: hoja Amatitlan, no. 2059–II. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
19. _____. 1977. Mapa topográfico de la República de Guatemala: hoja Alotenango, no. 2059–III. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
20. _____. 1980. Fotografías aéreas Chimaltenango-Sacatepéquez. Guatemala, Proyecto VTN. 20 fotografías.
21. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 1999. Manual de clasificación de tierras por capacidad de uso. Guatemala. 81 p. Consultado 15 oct 2005. Disponible en línea: <http://www.inab.gob.gt>

22. INE (Instituto Nacional de Estadística, GT). 2002. XI censo de población y VI de vivienda en Guatemala. Guatemala. 1 CD.
23. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). 2002. Estudio de intensidades de precipitación en la república de Guatemala: estudio de intensidades de precipitación en la República de Guatemala. Guatemala, Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, Departamento de Investigación y Servicios Hídricos. s.p.
24. _____. 2005. Estudio de intensidades de precipitación en la República de Guatemala: caudales medios diarios de la red hidrológica nacional 1986–2002. Guatemala, Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, Departamento de Investigación y Servicios Hídricos. Boletín 17 C Vertiente Océano Pacífico. s.p.
25. _____. 2007. Estudio de intensidades de precipitación en la República de Guatemala: caudales medios diarios de la red hidrológica nacional 2000–2003. Guatemala, Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, Departamento de Investigación y Servicios Hídricos. Boletín 19 C Vertiente Océano Pacífico. s.p.
26. Johnson, EE. 1975. El agua subterránea y los pozos. Minnesota, US, Johnson. 513 p.
27. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2002. Plan de manejo subcuenca del río Pensativo-alto Achiguate. Guatemala, Estudios y Proyectos en Cuencas Hidrográficas Estratégicas. 242 p.
28. _____. 2005. Atlas hidrológico. Guatemala. Escala 1:1,000,000
29. _____. 2006. Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala: memoria técnica y descripción de resultados. Guatemala. p. 35–44.
30. _____. 2006. Mapas temáticos digitales de la república de Guatemala, a escala 1:250,000. Guatemala. 1 CD.
31. Martínez, A; Navarro, J. 1996 Hidrología forestal el ciclo hidrológico. Valladolid, España, Universitario Ciencias no. 18, p. 19, 12, 15, 45, 51, 179, 199. (Manual 10, Textos).
32. Orozco Orozco, EO. 2004. Potencial de recurso hídrico subterráneo y modelo matemático preliminar del sistema acuífero del valle aluvial del río Guacalate desde

- Antigua Guatemala hasta Alotenango, Sacatepéquez, Guatemala. Tesis MSc. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Escuela Centroamericana de Geología, Sistema de Estudios de Posgrado. 132 p.
33. Peña Llopis, J. 2001. Análisis de los cambios de usos del suelo (1946-1999) en una cuenca semiárida (Agost, Alicante). España. Asociación Española de Ecología Terrestre. *Ecosistemas: Revista de Ecología y Medio Ambiente* 10(3): 47-58.
34. Reyna, El. 1998. Las interrelaciones de la presión demográfica. Guatemala, Guatemala, The World Bank. 12 p.
35. Romero Orellana, FR. 1998 Determinación de las áreas actualmente regadas y potencialmente regables, con fines de diseño de un sistema de riego de la cuenca del río Itzapa, San Andres Itzapa, Chimaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 27 p.
36. Toledo Meneses, EA. 1997. Estudio y diseño para la implementación del sistema de riego por aspersión de la estación del ICTA La Alameda, Chimaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 50 p.
37. Veliz Zepeda, RE. 1996. Comparación de metodologías de capacidad de uso de la tierra en la cuenca del río Itzapa, Chimaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 113 p.
38. Villón Béjar, M. 2004. HidroEsta: manual de usuario. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 295 p.
39. Zárate Zárate, R. 1994. Estado de la degradación de la tierra inducida por el hombre: un manual para su cartografía. Montecillo, Estado de México, México, Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas, Instituto de Recursos Naturales, Programa de Edafología. 79 p. (Cuaderno de Edafología no. 24).

2.11 Apéndices

APÉNDICE 1. Glosario

Tierra

Área geográfica que comprende el ambiente incluyendo el clima, relieve, hidrología y vegetación. Entre sus componentes se encuentran las actividades humanas. Es un concepto amplio que incluye al mismo suelo.²

Suelo

Cuerpo natural formado a partir de materiales minerales y orgánicos que cubren parte de la superficie terrestre, contienen materia viva y pueden soportar vegetación natural y en algunos casos han sido transformados por la actividad humana.¹

Capacidad de uso de la tierra

Es la determinación en términos físicos del soporte que permite una unidad de tierra de ser utilizada para determinados usos o tratamientos, se basa en la máxima capacidad de uso soportable sin causarle daño a la tierra.¹

Cuenca hidrográfica

Área geográfica en donde interactúan componentes físicos, biológicos y socioeconómicos; está enmarcada dentro de una divisoria superficial de aguas que convergen hacia los puntos mas bajos de la superficie y se unen en una corriente o río que las evacua a otro río, un lago u océano. (Gutiérrez, 1994).

Manejo de cuencas

Es la gestión que el hombre realiza a nivel de cuencas para aprovechar y proteger los recursos naturales que ofrece, con el fin de obtener una producción óptima y sostenida (Gutiérrez, 1994).

Crecimiento urbano:

Aumento cualitativo y cuantitativo de un centro urbano, originado ya sea por expansión física, territorial del tejido urbano; por incremento de las densidades de población y de los elementos que lo inscriben como producto de las funciones de ese centro urbano, o como generalmente sucede por ambo aspectos (10) (Gutiérrez, 1994).

² 1 Guía para descripción de suelos, segunda edición Hugo Antonio Tobías Vásquez, 2006.

APÉNDICE 2. Leyenda del uso de la tierra

Cuadro 22 A. Leyenda del mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra a escala 1:50,000

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Subdivisión del Nivel III
1. Infraestructura	1.1 Construcciones	1.1.1 Centros poblados	
	1.2 Comercios y servicios	1.2.1 Institucionales	1.2.1.1 Instalación educativa 1.2.1.2 Prisión 1.2.1.3 Instalación militar
		1.2.2 Recreacionales	1.2.2.1 Zoológico 1.2.2.2 Parque recreativo 1.2.2.3 Campo y/o pista deportiva
	1.3 Industria	1.3.1 Agroindustrias 1.3.2 Complejo industrial	
	1.4 Transporte y comunicación	1.4.1 Aeropuerto	
		1.4.2 Puerto	
1.5 Otros servicios	1.5.1 Cementerio		
2. Agricultura	2.1 Agricultura anual	2.1.1 Granos básicos	
		2.1.2 Arroz	
		2.1.3 Yuca	
		2.1.4 Mosaico de cultivos	
	2.2 Agricultura perenne	2.2.1 Café	
2.2.2 Café-cardamomo			
2.2.3 Cardamomo			
2.2.4 Banano-plátano			
2.2.5 Hule			
2.2.6 Palma africana			
2.2.7 Cítricos			
2.2.8 Pejibaye			
2.2.9 Té			
2.2.10 Aguacate			
2.2.11 Mango			
2.2.12 Coco			
2.2.13 Cacao			
2.2.14 Frutales deciduos			
2.2.15 Rambután			
2.2.16 Otros frutales			
2.2.17 Plantación forestal	2.2.17.1 Conífera 2.2.17.2 Latifoliada		
2.3 Agricultura semiperenne	2.3.1 Caña de azúcar		
	2.3.2 Papaya		
	2.3.3 Piña		
2.4 Huertos, viveros y hortalizas	2.4.1 Huerto		
	2.4.2 Vivero		
	2.4.3 Hortaliza-ornamental	2.4.3.1 Hortaliza-ornamental con riego 2.4.3.2 Melón-sandía con riego	
2.5 Pastos mejorados	2.5.1 Pastos cultivados		
3. Arbustos-matorrales	3.1 Pastos naturales y arbustos	Pastos naturales y/o	
		3.1.1 yerbazal 3.1.2 Arbustos-matorrales	
4. Bosque natural	4.1 Bosque latifoliado	4.1.1 Manglar	
	4.2 Bosque conífero		
	4.3 Bosque mixto		
5. Cuerpos de agua	5.1 Río		
	5.2 Lago-Laguna		
	5.3 Embalse (reservorio)		
	5.4 Canal-drenaje		
6. Humedal y zonas inundables	6.1 Humedal con bosque		
	6.2 Humedal con otra vegetación		
	6.3 Zona inundable		
7. Zona árida y minera	7.1 Arena y/o playa		
	7.2 Arena y/o material piroclástico		
	7.3 Roca expuesta		
	7.4 Minas descubiertas y otras superficies de excavación		
	7.5 Suelo estéril		

APÉNDICE 3. Coeficientes

Coeficientes de escorrentía método Racional

Cuadro 23 A. Coeficientes de escurrimiento de las categorías de cobertura de uso de la tierra, bajo condiciones de capacidad de uso de la tierra la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate.

Categoría de Capacidad de uso INAB	Coeficiente de escurrimiento	Área %	Coeficiente ponderado
Agricultura con mejoras	0.53	10.67	0.0566
Agricultura sin limitaciones	0.43	27.93	0.1201
Agroforestería con cultivos anuales	0.65	4.77	0.0310
Agroforestería con cultivos permanentes	0.64	14.84	0.0950
Sistemas silvopastoriles	0.35	12.34	0.0432
Tierras forestales de protección	0.43	11.78	0.0507
Tierras forestales para producción	0.33	17.67	0.0583
Total		100	0.4548

Cuadro 24 A. Coeficientes de escurrimiento de las coberturas de uso de la tierra, bajo condiciones de uso de la tierra del año 1980 de la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate.

Cobertura y uso 1980	Coeficiente de escurrimiento	Área %	Coeficiente ponderado
Bosque denso coníferas	0.43	8.28	0.0356
Bosque denso latifoliadas	0.4	2.96	0.0118
Bosque denso mixto	0.43	14.53	0.0625
Bosque denso mixto, café	0.4	0.97	0.0039
Bosque disperso coníferas	0.46	7.15	0.0329
Bosque disperso latifoliadas	0.3	1.22	0.0037
Bosque disperso mixto	0.4	4.36	0.0174
Café	0.53	7.34	0.0389
Centros poblados	0.85	3.58	0.0304
Cultivos anuales maíz y frijol	0.4	1.65	0.0066
Cultivos anuales maíz y frijol, pastos en tierras altas	0.5	1.06	0.0053
Cultivos anuales maíz y trigo	0.4	0.69	0.0028
Cultivos anuales maíz-frijol, hortalizas	0.4	46.23	0.1849
Total		100	0.4366

Cuadro 25 A. Coeficientes de escurrimiento de las coberturas de uso de la tierra, bajo condiciones de uso de la tierra del año 2000 de la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate.

Cobertura y uso 2000	Coeficiente de escurrimiento	Área %	Coeficiente ponderado
Asentamientos rurales	0.85	0.47	0.0040
Asentamientos urbanos	0.9	6.68	0.0601
Bosque conífero	0.43	8.99	0.0386
Bosque conífero plantado	0.3	0.11	0.0003
Bosque latifoliado	0.4	14.44	0.0578
Bosque mixto	0.4	6.15	0.0246
Bosque secundario	0.4	7.37	0.0295
Cafetales	0.53	6.06	0.0321
Cultivos anuales	0.43	47.74	0.2053
Cultivos bajo invernadero	0.85	1.11	0.0094
Otros cultivos perennes	0.50	0.03	0.0002
Pastos naturales	0.20	0.51	0.0010
Servicios y recreación	0.85	0.34	0.0029
Total		100.00	0.4658

Cuadro 26 A. Coeficientes de escurrimiento de las coberturas de uso de la tierra, bajo condiciones de uso de la tierra del año 2008 de la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate.

Cobertura y uso 2008	Coeficiente de escurrimiento	Área %	Coeficiente ponderado
Asentamientos rurales	0.85	0.67	0.0057
Asentamientos urbanos	0.9	9.85	0.0886
Bosque conífero	0.43	12.13	0.0522
Bosque conífero plantado	0.30	0.11	0.0003
Bosque latifoliado	0.43	13.81	0.0594
Bosque mixto	0.43	4.95	0.0213
Bosque secundario	0.43	7.46	0.0321
Cafetales	0.53	5.92	0.0314
Cultivos anuales	0.65	42.91	0.2789
Cultivos bajo invernadero	0.85	1.40	0.0119
Pastos naturales	0.26	0.45	0.0012
Servicios y recreación	0.85	0.35	0.0029
Total		100.00	0.5859

- **Coefficientes de escorrentía método Mac Math**

Cuadro 27 A. Coeficientes de escorrentía promedio para el escenario capacidad de uso de la tierra, método Mac Math, de la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate, Guatemala.

Categoría de Capacidad de uso INAB	Coefficiente de cobertura (C1)	Coefficiente de textura (C2)	Coefficiente pendiente (C3)	Coefficiente promedio	Coefficiente ponderado (C)
Agricultura con mejoras	0.12	0.12	0.08	0.32	0.034144
Agricultura sin limitaciones	0.16	0.12	0.06	0.34	0.094962
Agroforestería con cultivos anuales	0.16	0.12	0.08	0.36	0.017172
Agroforestería con cultivos permanentes	0.12	0.12	0.1	0.34	0.050456
Sistemas silvopastoriles	0.16	0.12	0.08	0.36	0.044424
Tierras forestales de protección	0.08	0.12	0.15	0.35	0.04123
Tierras forestales para producción	0.08	0.12	0.15	0.35	0.061845
Coeficiente ponderado por escenario					0.344233

Cuadro 28 A. Coeficientes de escorrentía promedio para el escenario cobertura vegetal y uso de la tierra 1980, método Mac Math, de la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate, Guatemala.

Cobertura y uso 1980	Coefficiente de cobertura (C1)	Coefficiente de textura (C2)	Coefficiente pendiente (C3)	Coefficiente promedio	Coefficiente ponderado (C)
Bosque	0.10	0.12	0.13	0.35	0.1361
Centros poblados	0.30	0.10	0.10	0.50	0.0179
Café	0.12	0.12	0.10	0.34	0.0249
Cultivos anuales	0.12	0.12	0.80	0.32	0.1588
Coeficiente ponderado por escenario					0.3378

Cuadro 29 A. Coeficientes de escorrentía promedio para el escenario cobertura vegetal y uso de la tierra 2000, método Mac Math, de la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate, Guatemala.

Cobertura y uso 2000	Coeficiente de cobertura (C1)	Coeficiente de textura (C2)	Coeficiente pendiente (C3)	Coeficiente promedio	Coeficiente ponderado (C)
Centros poblados	0.12	0.1	0.1	0.32	0.0229
Bosque	0.08	0.12	0.15	0.35	0.1297
Cafetales	0.12	0.12	0.15	0.39	0.0236
Cultivos anuales y perennes	0.12	0.12	0.1	0.34	0.1624
Cultivos bajo invernadero	0.22	0.12	0.08	0.42	0.0046
Pastos naturales	0.08	0.12	0.08	0.28	0.0014
Servicios y recreación	0.12	0.12	0.06	0.3	0.0010
Coeficiente ponderado por escenario					0.3457

Cuadro 30 A. Coeficientes de escorrentía promedio para el escenario cobertura vegetal y uso de la tierra 2008, método Mac Math, de la parte norte de la subcuenca Alto Guacalate, Guatemala.

Cobertura y uso 2008	Coeficiente de cobertura (C1)	Coeficiente de textura (C2)	Coeficiente pendiente (C3)	Coeficiente promedio	Coeficiente ponderado (C)
Centros poblados	0.3	0.1	0.1	0.5	0.0526
Bosque	0.08	0.12	0.15	0.35	0.1346
Cafetales	0.12	0.12	0.1	0.34	0.0201
Cultivos anuales	0.12	0.12	0.08	0.32	0.1373
Cultivos bajo invernadero	0.22	0.12	0.08	0.42	0.0059
Pastos naturales	0.08	0.12	0.08	0.28	0.0013
Servicios y recreación	0.12	0.12	0.06	0.3	0.0010
Coeficiente ponderado por escenario					0.3528

APÉNDICE 4. Balances hídricos de suelos

Cuadro 31 A. Balance hídrico de suelos a capacidad de uso de la tierra de la categoría agricultura sin limitaciones.

Zona de Estudio: Agricultura sin Limitaciones	
Estacion La Alameda	
Textura de Suelo: Franco Arenoso	
fc [mm/d]	1387.20
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.10
Kfc [0.01%]	0.99513
I [0.01%]	1
DS (g/cm ³):	1.30
PR (mm)	500.00
HSi (mm)	157.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12

Constante de humedad	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	24.25	157.38
PM	8.82	57.24
(CC-PM)	15.43	100.14

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	127.57	30.70	16.70	1.94	0.36	7.13	28.13	112.50	221.60	123.40	144.90	164.60	979.53
Ret [mm]	15.31	5.00	5.00	1.94	0.36	5.00	5.00	13.50	26.59	14.81	17.39	19.75	129.65
Pi (mm)	112.26	25.70	11.70	0.00	0.00	2.13	23.13	99.00	195.01	108.59	127.51	144.85	849.88
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)	76.73	76.34	75.97	81.44	89.37	121.84	123.29	119.18	117.03	98.51	96.84	93.43	1169.97
HSi (mm)	157.00	157.38	126.04	99.84	79.28	68.39	62.44	68.13	107.54	157.38	157.38	157.38	
HD (mm)	212.02	125.84	80.50	42.60	22.04	13.28	28.33	109.89	245.31	208.73	227.65	244.99	
ETR (mm)	76.73	57.04	37.91	20.56	10.89	8.08	17.44	59.59	117.03	98.51	96.84	93.43	694.04
HSf (mm)	157.38	126.04	99.84	79.28	68.39	62.44	68.13	107.54	157.38	157.38	157.38	157.38	
DCC (mm)	0.00	31.34	57.54	78.10	88.99	94.94	89.25	49.84	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	35.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.14	10.08	30.67	51.42	155.46
NR (mm)	0.00	50.64	95.61	138.98	167.47	208.70	195.10	109.43	0.00	0.00	0.00	0.00	965.93

Cuadro 32 A. Balance hídrico de suelos a capacidad de uso de la tierra de la categoría agricultura con mejoras.

Zona de Estudio: Agricultura con mejoras	
Estacion La Alameda	
Textura de Suelo: Franco Arenoso	
fc [mm/d]	288.00
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.10
Kfc [0.01%]	0.74466
I [0.01%]	0.90466
DS (g/cm ³):	1.30
PR (mm)	500.00
HSi (mm)	134.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12

Constante de humedad	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	20.74	134.60
PM	9.97	64.71
(CC-PM)	10.77	69.90

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	127.57	30.70	16.70	1.94	0.36	7.13	28.13	112.50	221.60	123.40	144.90	164.60	979.53
Ret [mm]	15.31	5.00	5.00	1.94	0.36	5.00	5.00	13.50	26.59	14.81	17.39	19.75	129.65
Pi (mm)	101.56	23.25	10.58	0.00	0.00	1.93	20.92	89.56	176.42	98.24	115.35	131.04	768.85
ESC (mm)	10.70	2.45	1.12	0.00	0.00	0.20	2.21	9.44	18.59	10.35	12.16	13.81	81.03
ETP (mm)	76.73	76.34	75.97	81.44	89.37	121.84	123.29	119.18	117.03	98.51	96.84	93.43	1169.97
HSi (mm)	134.00	134.60	110.50	90.45	75.45	68.58	65.45	67.26	97.24	134.60	134.52	134.60	
HD (mm)	170.85	93.15	56.38	25.74	10.75	5.80	21.67	92.12	208.95	168.14	185.17	200.94	
ETR (mm)	76.73	47.35	30.64	15.00	6.87	5.06	19.11	59.59	117.03	98.32	96.84	93.43	665.96
HSf (mm)	134.60	110.50	90.45	75.45	68.58	65.45	67.26	97.24	134.60	134.52	134.60	134.60	
DCC (mm)	0.00	24.10	44.15	59.15	66.02	69.15	67.34	37.37	0.00	0.08	0.00	0.00	
Rp (mm)	24.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.02	0.00	18.43	37.61	102.29
NR (mm)	0.00	53.09	89.48	125.59	148.52	185.93	171.52	96.95	0.00	0.27	0.00	0.00	871.37

Cuadro 33 A. Balance hídrico de suelos a capacidad de uso de la tierra de la categoría agroforestería con cultivos anuales.

Zona de Estudio:	Agroforestería con cultivos anuales												
Estacion	La Alameda												
Textura de Suelo:	Franco Arenoso												
fc [mm/d]	1440.00												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.10												
Kfc [0.01%]	0.99697												
I [0.01%]	1												
DS (g/cm ³):	1.30												
PR (mm)	500.00												
HSi (mm)	129.00												
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12												

Constante de humedad	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	20.00	129.80
PM	10.70	69.44
(CC-PM)	9.30	60.36

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	127.57	30.70	16.70	1.94	0.36	7.13	28.13	112.50	221.60	123.40	144.90	164.60	979.53
Ret [mm]	15.31	5.00	5.00	1.94	0.36	5.00	5.00	13.50	26.59	14.81	17.39	19.75	129.65
Pi (mm)	112.26	25.70	11.70	0.00	0.00	2.13	23.13	99.00	195.01	108.59	127.51	144.85	849.88
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)	76.73	76.34	75.97	81.44	89.37	121.84	123.29	119.18	117.03	98.51	96.84	93.43	1169.97
HSi (mm)	129.00	129.80	111.19	89.25	75.89	71.12	69.44	69.44	108.86	129.80	129.80	129.80	
HD (mm)	171.82	86.06	53.44	19.81	6.45	3.80	23.13	99.00	234.42	168.95	187.87	205.21	
ETR (mm)	76.73	44.31	33.63	13.36	4.77	3.80	23.13	59.59	117.03	98.51	96.84	93.43	665.15
HSf (mm)	129.80	111.19	89.25	75.89	71.12	69.44	69.44	108.86	129.80	129.80	129.80	129.80	
DCC (mm)	0.00	18.61	40.55	53.91	58.68	60.36	60.36	20.95	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	34.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	57.03	10.08	30.67	51.42	183.93
NR (mm)	0.00	50.64	82.88	121.99	143.28	178.39	160.52	80.53	0.00	0.00	0.00	0.00	818.24

Cuadro 34 A. Balance hídrico de suelos a capacidad de uso de la tierra de la categoría agroforestería con cultivos permanentes.

Zona de Estudio:	Agroforestería con cultivos permanentes												
Estacion	Chicasanga												
Textura de Suelo:	Franco Arcillo Arenoso												
fc [mm/d]	2160.00												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.18												
Kfc [0.01%]	1												
I [0.01%]	1												
DS (g/cm ³):	1.20												
PR (mm)	1000.00												
HSi (mm)	270.00												
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12												

Constante de humedad	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	22.60	271.20
PM	12.20	146.40
(CC-PM)	10.40	124.80

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	165.1	69.91	17.4	5.4	7.6	12	44.3	142.9	246.6	180.2	189.3	204.4	1285.11
Ret [mm]	19.812	8.3892	5	5	5	5	5.316	17.148	29.592	21.624	22.716	24.528	169.125
Pi (mm)	145.288	61.5208	12.4	0.4	2.6	7	38.984	125.752	217.008	158.576	166.584	179.872	1115.98
ESC (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETP (mm)	92.04	73.096	58.272	67.888	79.712	86.4	95.136	90.88	92.472	79.656	73.2	77	965.752
HSi (mm)	270	271.2	263.015	229.763	196.991	176.467	166.688	177.7104	233.925	271.2	271.2	271.2	
HD (mm)	268.888	186.321	129.015	83.7629	53.1911	37.0669	59.2721	157.0624	304.533	283.376	291.384	304.672	
ETR (mm)	92.04	69.7062	45.6517	33.1718	23.1242	16.7788	27.9617	69.53719	92.472	79.656	73.2	77	700.3
HSf (mm)	271.2	263.015	229.763	196.991	176.467	166.688	177.71	233.9252	271.2	271.2	271.2	271.2	
DCC (mm)	0	8.18537	41.4371	74.2089	94.7331	104.512	93.4896	37.27477	0	0	0	0	
Rp (mm)	52.048	0	0	0	0	0	0	0	87.2612	78.92	93.384	102.872	414.485
NR (mm)	0	11.5752	54.0574	108.925	151.321	174.133	160.664	58.61757	0	0	0	0	719.293

Cuadro 35 A. Balance hídrico de suelos a capacidad de uso de la tierra de la categoría sistemas silvopastoriles.

Zona de Estudio:	Sistemas Silvopastoriles												
Estacion	El Potrero												
Textura de Suelo:	Franco Arenoso												
fc [mm/d]	288.00												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.15												
Kfc [0.01%]	0.74466												
I [0.01%]	0.95466												
DS (g/cm ³):	1.21												
PR (mm)	500.00												
HSi (mm)	124.00												
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12												

Constante de humedad	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	20.74	125.69
PM	9.97	60.42
(CC-PM)	10.77	65.27

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	165.1	69.91	17.4	5.4	7.6	12	44.3	142.9	246.6	180.2	189.3	204.4	1285.11
Ret [mm]	19.812	8.3892	5	5	5	5	5.316	17.148	29.592	21.624	22.716	24.528	169.125
Pi (mm)	138.7	58.7314	11.8378	0.38186	2.48211	6.68261	37.2164	120.0502	207.169	151.386	159.031	171.716	1065.38
ESC (mm)	6.58758	2.78945	0.56224	0.01814	0.11789	0.31739	1.7676	5.701791	9.83948	7.19008	7.55318	8.15568	50.6005
ETP (mm)	92.04	73.096	58.272	67.888	79.712	86.4	95.136	90.88	92.472	79.656	73.2	77	965.752
HSi (mm)	124	125.695	119.373	96.4883	77.9162	68.2011	65.313	71.84364	118.196	125.695	125.695	125.695	
HD (mm)	202.277	124.003	70.788	36.447	19.9751	14.4606	42.1062	131.4707	264.941	216.658	224.302	236.988	
ETR (mm)	92.04	65.0527	34.7229	18.954	12.1972	9.57072	30.6858	73.69793	92.472	79.656	73.2	77	659.249
HSf (mm)	125.695	119.373	96.4883	77.9162	68.2011	65.313	71.8436	118.1959	125.695	125.695	125.695	125.695	
DCC (mm)	0	6.32134	29.2065	47.7786	57.4936	60.3817	53.8511	7.498848	0	0	0	0	
Rp (mm)	44.9656	0	0	0	0	0	0	0	107.198	71.7299	85.8308	94.7163	404.44
NR (mm)	0	14.3646	52.7556	96.7126	125.008	137.211	118.301	24.68092	0	0	0	0	569.035

Cuadro 36 A. Balance hídrico de suelos a capacidad de uso de la tierra de la categoría tierras forestales de producción.

Zona de Estudio:	Tierras forestales de produccion												
Estacion	Chicasanga												
Textura de Suelo:	Franco Arenoso												
fc [mm/d]	288.00												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.20												
Kfc [0.01%]	0.74466												
I [0.01%]	1												
DS (g/cm ³):	1.21												
PR (mm)	1500.00												
HSi (mm)	377.00												
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20												

Constante de humedad	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	20.74	377.08
PM	9.97	181.27
(CC-PM)	10.77	195.81

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	165.1	69.91	17.4	5.4	7.6	12	44.3	142.9	246.6	180.2	189.3	204.4	1285.11
Ret [mm]	33.02	13.982	5	5	5	5	8.86	28.58	49.32	36.04	37.86	40.88	268.542
Pi (mm)	132.08	55.928	12.4	0.4	2.6	7	35.44	114.32	197.28	144.16	151.44	163.52	1016.57
ESC (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETP (mm)	92.04	73.096	58.272	67.888	79.712	86.4	95.136	90.88	92.472	79.656	73.2	77	965.752
HSi (mm)	377	377.084	363.121	326.315	285.031	253.146	233.021	236.3902	290.32	377.084	377.084	377.084	
HD (mm)	327.81	251.743	194.251	145.446	106.361	78.8767	87.1918	169.4406	306.33	339.975	347.255	359.335	
ETR (mm)	92.04	69.8917	49.2054	41.6842	34.4847	27.1249	32.0712	60.39069	92.472	79.656	73.2	77	729.221
HSf (mm)	377.084	363.121	326.315	285.031	253.146	233.021	236.39	290.3195	377.084	377.084	377.084	377.084	
DCC (mm)	0	13.9637	50.7691	92.0533	123.938	144.063	140.694	86.76481	0	0	0	0	
Rp (mm)	39.9557	0	0	0	0	0	0	0	18.0432	64.504	78.24	86.52	287.263
NR (mm)	0	17.168	59.8357	118.257	169.165	203.338	203.759	117.2541	0	0	0	0	888.777

Cuadro 37 A. Balance hídrico de suelos a capacidad de uso de la tierra de la categoría tierras forestales de protección.

Zona de Estudio:	Tierras forestales de producción												
Estacion	Pegoncito Pilon												
Textura de Suelo:	Franco Arenoso												
fc [mm/d]	576.00												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.20												
Kfc [0.01%]	0.88538												
I [0.01%]	1												
DS (g/cm ³):	1.11												
PR (mm)	1500.00												
HSi (mm)	580.00												
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20												

Constante de humedad	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	34.96	582.66
PM	16.60	276.66
(CC-PM)	18.36	306.00

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	88.9	16.6	1.4	3.6	3	11.6	12.4	114.6	245.3	168.5	170.9	203.1	1039.9
Ret [mm]	17.78	5	1.4	3.6	3	5	5	22.92	49.06	33.7	34.18	40.62	221.26
Pi (mm)	71.12	11.6	0	0	0	6.6	7.4	91.68	196.24	134.8	136.72	162.48	818.64
ESC (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETP (mm)	100.96	76.08	64.08	74.8	87.6	95.04	104.56	99.92	84.64	86.8	80.32	84.72	1039.52
HSi (mm)	580	555.522	503.883	461.282	421.669	386.099	362.256	343.3095	391.731	514.302	565.19	582.661	
HD (mm)	374.456	290.458	227.219	184.618	145.005	116.035	92.9924	158.3256	311.307	372.439	425.246	468.477	
ETR (mm)	95.5984	63.2389	42.6005	39.6135	35.5697	30.4427	26.3468	43.25855	73.6685	83.9125	80.32	84.72	699.29
HSf (mm)	555.522	503.883	461.282	421.669	386.099	362.256	343.309	391.7309	514.302	565.19	582.661	582.661	
DCC (mm)	27.1392	78.7781	121.379	160.992	196.562	220.405	239.351	190.9299	68.3584	17.471	0	0	
Rp (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38.929	77.76	116.689
NR (mm)	32.5008	91.6192	142.858	196.179	248.592	285.002	317.565	247.5914	79.3299	20.3584	0	0	1661.6

Cuadro 38 A. Balance hídrico de suelos de la cobertura vegetal y uso de la tierra año 1980, de la categoría bosque.

Zona de Estudio:	Bosques												
Estacion	Chicasanga												
Textura de Suelo:	Franco Arenoso												
fc [mm/d]	2160.00												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.20												
Kfc [0.01%]	1												
I [0.01%]	1												
DS (g/cm ³):	1.20												
PR (mm)	2000.00												
HSi (mm)	542.00												
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20												

Constante de humedad	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	22.60	542.40
PM	12.20	292.80
(CC-PM)	10.40	249.60

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	165.1	69.91	17.4	5.4	7.6	12	44.3	142.9	246.6	180.2	189.3	204.4	1285.11
Ret [mm]	33.02	13.982	5	5	5	5	8.86	28.58	49.32	36.04	37.86	40.88	268.542
Pi (mm)	132.08	55.928	12.4	0.4	2.6	7	35.44	114.32	197.28	144.16	151.44	163.52	1016.57
ESC (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETP (mm)	92.04	73.096	58.272	67.888	79.712	86.4	95.136	90.88	92.472	79.656	73.2	77	965.752
HSi (mm)	542	542.4	527.746	489.141	443.307	404.819	377.75	376.0482	431.529	537.46	542.4	542.4	
HD (mm)	381.28	305.528	247.346	196.741	153.107	119.019	120.39	197.5682	336.009	388.82	401.04	413.12	
ETR (mm)	92.04	70.5822	51.005	46.2338	41.0884	34.0682	37.1422	58.83921	91.3489	79.656	73.2	77	752.204
HSf (mm)	542.4	527.746	489.141	443.307	404.819	377.75	376.048	431.529	537.46	542.4	542.4	542.4	
DCC (mm)	0	14.6542	53.2592	99.093	137.581	164.65	166.352	110.871	4.9399	0	0	0	
Rp (mm)	39.64	0	0	0	0	0	0	0	0	59.5641	78.24	86.52	263.964
NR (mm)	0	17.168	60.5262	120.747	176.205	216.981	224.346	142.9118	6.06302	0	0	0	964.948

Cuadro 39 A. Balance hídrico de suelos de la cobertura vegetal y uso de la tierra año 1980, de la categoría café.

Zona de Estudio:	Café												
Estacion	Pegoncito Pilon												
Textura de Suelo:	Franco Arenoso												
fc [mm/d]	216.00												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.18												
Kfc [0.01%]	0.67894												
I [0.01%]	0.91894												
DS (g/cm ³):	1.18												
PR (mm)	1000.00												
HSi (mm)	256.00												
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12												

Constante de humedad	Por peso (%)	(mm)	
	CC	21.73	256.85
	PM	11.05	130.61
	(CC-PM)	10.68	126.24

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	88.9	16.6	1.4	3.6	3	11.6	12.4	114.6	245.3	168.5	170.9	203.1	1039.9
Ret [mm]	10.668	5	1.4	3.6	3	5	5	13.752	29.436	20.22	20.508	24.372	141.956
Pi (mm)	71.8901	10.6596	0	0	0	6.06497	6.80012	92.67279	198.365	136.26	138.201	164.239	825.152
ESC (mm)	6.34185	0.94035	0	0	0	0.53503	0.59988	8.175209	17.4989	12.0203	12.1915	14.4885	72.7915
ETP (mm)	100.96	76.08	64.08	74.8	87.6	95.04	104.56	99.92	84.64	86.8	80.32	84.72	1039.52
HSi (mm)	256	238.894	199.471	173.388	155.551	144.249	141.064	139.492	183.595	256.849	256.849	256.849	
HD (mm)	197.279	118.943	68.86	42.7773	24.9398	19.703	17.2533	101.5538	251.349	262.497	264.438	290.477	
ETR (mm)	88.9962	50.0826	26.0826	17.8375	11.3017	9.24984	8.37228	48.57002	84.64	86.8	80.32	84.72	596.973
HSf (mm)	238.894	199.471	173.388	155.551	144.249	141.064	139.492	183.5948	256.849	256.849	256.849	256.849	
DCC (mm)	17.9546	57.3776	83.4603	101.298	112.6	115.784	117.357	73.25379	0	0	0	0	
Rp (mm)	0	0	0	0	1.4E-14	0	0	0	40.4713	49.4597	57.8805	79.5195	227.331
NR (mm)	29.9185	83.375	121.458	158.26	188.898	201.575	213.544	124.6038	0	0	0	0	1121.63

Cuadro 40 A. Balance hídrico de suelos de la cobertura vegetal y uso de la tierra año 1980, de la categoría de centros poblados.

Zona de Estudio:	Centros Poblados												
Estacion	La Alameda												
Textura de Suelo:	Franco Arcillo Arenoso												
fc [mm/d]	0.00												
Kp [0.01%]	0.01												
Kv [0.01%]	0.01												
Kfc [0.01%]	0												
I [0.01%]	0.02												
DS (g/cm ³):	1.10												
PR (mm)	2000.00												
HSi (mm)	500.00												
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.70												

Constante de humedad	Por peso (%)	(mm)	
	CC	24.25	533.50
	PM	8.82	194.04
	(CC-PM)	15.43	339.46

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	127.57	30.7	16.7	1.94	0.36	7.13	28.13	112.5	221.6	123.4	144.9	164.6	979.53
Ret [mm]	89.299	21.49	11.69	1.94	0.36	5	19.691	78.75	155.12	86.38	101.43	115.22	686.37
Pi (mm)	0.76542	0.1842	0.1002	0	0	0.0426	0.16878	0.675	1.3296	0.7404	0.8694	0.9876	5.8632
ESC (mm)	37.5056	9.0258	4.9098	0	0	2.0874	8.27022	33.075	65.1504	36.2796	42.6006	48.3924	287.297
ETP (mm)	71.93	71.57	71.22	76.35	83.78	114.23	115.58	111.73	109.72	92.36	90.79	87.59	1096.85
HSi (mm)	500	442.658	395.916	358.086	325.339	296.932	268.165	247.3443	233.176	223.54	217.172	212.481	
HD (mm)	306.725	248.802	201.976	164.046	131.299	102.935	74.2936	53.9793	40.466	30.2408	24.0016	19.4283	
ETR (mm)	58.1078	46.9263	37.93	32.7472	28.4061	28.8102	20.9893	14.84289	10.9656	7.10857	5.56089	4.36629	296.761
HSf (mm)	442.658	395.916	358.086	325.339	296.932	268.165	247.344	233.1764	223.54	217.172	212.481	209.102	
DCC (mm)	90.8423	137.584	175.414	208.161	236.568	265.335	286.156	300.3236	309.96	316.328	321.019	324.398	
Rp (mm)	6.4E-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1E-14	5.4E-14
NR (mm)	104.665	162.228	208.704	251.764	291.941	350.755	380.746	397.2107	408.714	401.579	406.248	407.622	3772.18

Cuadro 41 A. Balance hídrico de suelos de la cobertura vegetal y uso de la tierra año 1980, de la categoría cultivos anuales.

Zona de Estudio:	Cultivos Anuales (Maiz, Frijol, Trigo, Hortalizas)											
Estacion	La Alameda											
Textura de Suelo:	Franco Arenoso											
fc [mm/d]	1387.20											
Kp [0.01%]	0.15											
Kv [0.01%]	0.10											
Kfc [0.01%]	0.99513											
I [0.01%]	1											
DS (g/cm ³):	1.30											
PR (mm)	500.00											
HSi (mm)	157.00											
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1											
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12											

Constante de humedad	Por peso (%)	
CC	24.25	157.38
PM	8.82	57.24
(CC-PM)	15.43	100.14

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	127.57	30.7	16.7	1.94	0.36	7.13	28.13	112.5	221.6	123.4	144.9	164.6	979.53
Ret [mm]	15.3084	5	5	1.94	0.36	5	5	13.5	26.592	14.808	17.388	19.752	129.648
Pi (mm)	112.262	25.7	11.7	0	0	2.13	23.13	99	195.008	108.592	127.512	144.848	849.882
ESC (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETP (mm)	76.728	76.344	75.968	81.44	89.368	121.84	123.288	119.176	117.032	98.512	96.84	93.432	1169.97
HSi (mm)	157	157.383	126.043	99.8378	79.2825	68.3897	62.4422	68.13273	107.545	157.383	157.383	157.383	
HD (mm)	212.02	125.841	80.5014	42.596	22.0407	13.2779	28.3304	109.8909	245.311	208.733	227.653	244.989	
ETR (mm)	76.728	57.0393	37.9054	20.5553	10.8928	8.07753	17.4394	59.588	117.032	98.512	96.84	93.432	694.042
HSf (mm)	157.383	126.043	99.8378	79.2825	68.3897	62.4422	68.1327	107.5447	157.383	157.383	157.383	157.383	
DCC (mm)	0	31.3393	57.5447	78.1	88.9928	94.9403	89.2498	49.83777	0	0	0	0	
Rp (mm)	35.1511	0	0	0	0	0	0	0	28.1382	10.08	30.672	51.416	155.457
NR (mm)	0	50.644	95.6073	138.985	167.468	208.703	195.098	109.4258	0	0	0	0	965.931

Cuadro 42 A. Balance hídrico de suelos de la cobertura vegetal y uso de la tierra año 1980, de la categoría pastos.

Zona de Estudio:	Pastos											
Estacion	Pegoncito Pilon											
Textura de Suelo:	Franco Arenoso											
fc [mm/d]	576.00											
Kp [0.01%]	0.06											
Kv [0.01%]	0.18											
Kfc [0.01%]	0.88538											
I [0.01%]	1											
DS (g/cm ³):	1.11											
PR (mm)	500.00											
HSi (mm)	194.00											
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1											
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12											

Constante de humedad	Por peso (%)	
CC	34.96	194.22
PM	16.60	92.22
(CC-PM)	18.36	102.00

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	88.9	16.6	1.4	3.6	3	11.6	12.4	114.6	245.3	168.5	170.9	203.1	1039.9
Ret [mm]	10.668	5	1.4	3.6	3	5	5	13.752	29.436	20.22	20.508	24.372	141.956
Pi (mm)	78.232	11.6	0	0	0	6.6	7.4	100.848	215.864	148.28	150.392	178.728	897.944
ESC (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETP (mm)	100.96	76.08	64.08	74.8	87.6	95.04	104.56	99.92	84.64	86.8	80.32	84.72	1039.52
HSi (mm)	194	182.629	146.52	123.123	108.771	100.661	99.7761	99.51094	146.374	194.22	194.22	194.22	
HD (mm)	180.011	102.008	54.2983	30.9013	16.5493	15.0395	14.9548	108.1376	270.017	250.279	252.391	280.727	
ETR (mm)	89.6027	47.7097	23.397	14.352	8.10974	7.48477	7.66513	53.98507	84.64	86.8	80.32	84.72	588.786
HSf (mm)	182.629	146.52	123.123	108.771	100.661	99.7761	99.5109	146.3739	194.22	194.22	194.22	194.22	
DCC (mm)	11.591	47.7007	71.0977	85.4497	93.5594	94.4442	94.7093	47.84641	0	0	0	0	
Rp (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	83.3776	61.48	70.072	94.008	308.938
NR (mm)	22.9483	76.071	111.781	145.898	173.05	181.999	191.604	93.78134	0	0	0	0	997.132

Cuadro 43 A. Balance hídrico de suelos de la cobertura vegetal y uso de la tierra año 2000 y 2008, de la categoría bosque.

Zona de Estudio:	Bosques												
Estacion	Chicasanga												
Textura de Suelo:	Franco Arenoso												
fc [mm/d]	2160.00												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.20												
Kfc [0.01%]	1												
I [0.01%]	1												
DS (g/cm ³):	1.20												
PR (mm)	2200.00												
HSi (mm)	596.00												
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20												
	Constante de humedad		Por peso (%)										
			(mm)										
	CC		22.60		596.64								
	PM		12.20		322.08								
	(CC-PM)		10.40		274.56								
Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	165.1	69.91	17.4	5.4	7.6	12	44.3	142.9	246.6	180.2	189.3	204.4	1285.11
Ret [mm]	33.02	13.982	5	5	5	5	8.86	28.58	49.32	36.04	37.86	40.88	268.542
Pi (mm)	132.08	55.928	12.4	0.4	2.6	7	35.44	114.32	197.28	144.16	151.44	163.52	1016.57
ESC (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETP (mm)	92.04	73.096	58.272	67.888	79.712	86.4	95.136	90.88	92.472	79.656	73.2	77	965.752
HSi (mm)	596	596.64	581.757	542.54	495.081	454.1	424.236	420.2588	475.882	583.376	596.64	596.64	
HD (mm)	406	330.488	272.077	220.86	175.601	139.02	137.596	212.4988	351.082	405.456	426	438.08	
ETR (mm)	92.04	70.8107	51.6172	47.8586	43.5811	36.8643	39.4173	58.69664	89.786	79.656	73.2	77	760.528
HSf (mm)	596.64	581.757	542.54	495.081	454.1	424.236	420.259	475.8821	583.376	596.64	596.64	596.64	
DCC (mm)	0	14.8827	54.0999	101.559	142.54	172.404	176.381	120.7579	13.2639	0	0	0	
Rp (mm)	39.4	0	0	0	0	0	0	0	0	51.2401	78.24	86.52	255.4
NR (mm)	0	17.168	60.7547	121.588	178.671	221.94	232.1	152.9412	15.9499	0	0	0	1001.11

Cuadro 44 A. Balance hídrico de suelos de la cobertura vegetal y uso de la tierra año 2000 y 2008, de la categoría café.

Zona de Estudio:	Café												
Estacion	Pegoncito Pilon												
Textura de Suelo:	Franco Arenoso												
fc [mm/d]	216.00												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.18												
Kfc [0.01%]	0.67894												
I [0.01%]	0.91894												
DS (g/cm ³):	1.18												
PR (mm)	1000.00												
HSi (mm)	256.00												
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12												
	Constante de humedad		Por peso (%)										
			(mm)										
	CC		21.73		256.85								
	PM		11.05		130.61								
	(CC-PM)		10.68		126.24								
Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	88.9	16.6	1.4	3.6	3	11.6	12.4	114.6	245.3	168.5	170.9	203.1	1039.9
Ret [mm]	10.668	5	1.4	3.6	3	5	5	13.752	29.436	20.22	20.508	24.372	141.956
Pi (mm)	71.8901	10.6596	0	0	0	6.06497	6.80012	92.67279	198.365	136.26	138.201	164.239	825.152
ESC (mm)	6.34185	0.94035	0	0	0	0.53503	0.59988	8.175209	17.4989	12.0203	12.1915	14.4885	72.7915
ETP (mm)	100.96	76.08	64.08	74.8	87.6	95.04	104.56	99.92	84.64	86.8	80.32	84.72	1039.52
HSi (mm)	256	238.894	199.471	173.388	155.551	144.249	141.064	139.492	183.595	256.849	256.849	256.849	
HD (mm)	197.279	118.943	68.86	42.7773	24.9398	19.703	17.2533	101.5538	251.349	262.497	264.438	290.477	
ETR (mm)	88.9962	50.0826	26.0826	17.8375	11.3017	9.24984	8.37228	48.57002	84.64	86.8	80.32	84.72	596.973
HSf (mm)	238.894	199.471	173.388	155.551	144.249	141.064	139.492	183.5948	256.849	256.849	256.849	256.849	
DCC (mm)	17.9546	57.3776	83.4603	101.298	112.6	115.784	117.357	73.25379	0	0	0	0	
Rp (mm)	0	0	0	0	1.4E-14	0	0	0	40.4713	49.4597	57.8805	79.5195	227.331
NR (mm)	29.9185	83.375	121.458	158.26	188.898	201.575	213.544	124.6038	0	0	0	0	1121.63

Cuadro 45 A. Balance hídrico de suelos de la cobertura vegetal y uso de la tierra año 2000 y 2008, de la categoría centros poblados.

Zona de Estudio:	Centros Poblados											
Estacion	La Alameda											
Textura de Suelo:	Franco Arcillo Arenoso											
fc [mm/d]	0.00											
Kp [0.01%]	0.01											
Kv [0.01%]	0.01											
Kfc [0.01%]	0											
I [0.01%]	0.02											
DS (g/cm ³):	1.30											
PR (mm)	2000.00											
HSi (mm)	630.00											
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1											
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.70											

Constante de humedad	Por peso (%)	
CC	24.25	630.50
PM	8.82	229.32
(CC-PM)	15.43	401.18

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	127.57	30.7	16.7	1.94	0.36	7.13	28.13	112.5	221.6	123.4	144.9	164.6	979.53
Ret [mm]	89.299	21.49	11.69	1.94	0.36	5	19.691	78.75	155.12	86.38	101.43	115.22	686.37
Pi (mm)	0.76542	0.1842	0.1002	0	0	0.0426	0.16878	0.675	1.3296	0.7404	0.8694	0.9876	5.8632
ESC (mm)	37.5056	9.0258	4.9098	0	0	2.0874	8.27022	33.075	65.1504	36.2796	42.6006	48.3924	287.297
ETP (mm)	71.93	71.57	71.22	76.35	83.78	114.23	115.58	111.73	109.72	92.36	90.79	87.59	1096.85
HSi (mm)	630	565.26	510.829	465.374	424.724	388.178	349.417	319.9287	298.721	283.352	272.934	264.875	
HD (mm)	401.445	336.124	281.609	236.054	195.404	158.901	120.266	91.28369	70.7306	54.772	44.4832	36.543	
ETR (mm)	65.5054	54.6154	45.5555	40.6494	36.5461	38.8032	29.6576	21.88265	16.6991	11.1581	8.92778	7.1075	377.108
HSf (mm)	565.26	510.829	465.374	424.724	388.178	349.417	319.929	298.721	283.352	272.934	264.875	258.756	
DCC (mm)	65.24	119.671	165.126	205.776	242.322	281.083	310.571	331.779	347.148	357.566	365.625	371.744	
Rp (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.1E-14	0	0	2.1E-14
NR (mm)	71.6646	136.626	190.791	241.476	289.556	356.509	396.494	421.6263	440.169	438.768	447.487	452.227	3883.39

Cuadro 46 A. Balance hídrico de suelos de la cobertura vegetal y uso de la tierra año 2000 y 2008, de la categoría cultivos anuales.

Zona de Estudio:	Cultivos Anuales											
Estacion	La Alameda											
Textura de Suelo:	Franco Arenoso											
fc [mm/d]	288.00											
Kp [0.01%]	0.10											
Kv [0.01%]	0.10											
Kfc [0.01%]	0.74466											
I [0.01%]	0.94466											
DS (g/cm ³):	1.21											
PR (mm)	500.00											
HSi (mm)	125.00											
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1											
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12											

Constante de humedad	Por peso (%)	
CC	20.74	125.69
PM	9.97	60.42
(CC-PM)	10.77	65.27

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	127.57	30.7	16.7	1.94	0.36	7.13	28.13	112.5	221.6	123.4	144.9	164.6	979.53
Ret [mm]	15.3084	5	5	1.94	0.36	5	5	13.5	26.592	14.808	17.388	19.752	129.648
Pi (mm)	106.049	24.2777	11.0525	0	0	2.01212	21.8499	93.52119	184.216	102.582	120.455	136.832	802.848
ESC (mm)	6.21273	1.42228	0.6475	0	0	0.11788	1.28005	5.478814	10.792	6.00965	7.05671	8.01611	47.0338
ETP (mm)	76.728	76.344	75.968	81.44	89.368	121.84	123.288	119.176	117.032	98.512	96.84	93.432	1169.97
HSi (mm)	125	125.695	104.078	83.2942	69.026	63.1366	60.7382	61.65504	95.5882	125.695	125.695	125.695	
HD (mm)	170.626	89.5493	54.7071	22.871	8.60281	4.72557	22.165	94.75305	219.381	167.854	185.727	202.103	
ETR (mm)	76.728	45.8947	31.8361	14.2682	5.88936	4.41052	20.9331	59.588	117.032	98.512	96.84	93.432	665.364
HSf (mm)	125.695	104.078	83.2942	69.026	63.1366	60.7382	61.655	95.58823	125.695	125.695	125.695	125.695	
DCC (mm)	0	21.617	42.4006	56.6688	62.5581	64.9565	64.0397	30.10654	0	0	0	0	
Rp (mm)	28.6261	0	0	0	0	0	0	0	37.0774	4.07035	23.6153	43.3999	136.789
NR (mm)	0	52.0663	86.5325	123.841	146.037	182.386	166.395	89.69454	0	0	0	0	846.951

Cuadro 47 A. Balance hídrico de suelos de la cobertura vegetal y uso de la tierra año 2000 y 2008, de la categoría cultivos perennes.

Zona de Estudio:	Cultivos Perennes												
Estacion	La Alameda												
Textura de Suelo:	Franco Arenoso												
fc [mm/d]	681.60												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.18												
Kfc [0.01%]	0.91406												
I [0.01%]	1												
DS (g/cm ³):	1.30												
PR (mm)	1500.00												
HSi (mm)	472.00												
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12												
	Constante de humedad			Por peso (%)									
	CC			24.25		472.88							
	PM			8.82		171.99							
	(CC-PM)			15.43		300.89							
Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	127.57	30.7	16.7	1.94	0.36	7.13	28.13	112.5	221.6	123.4	144.9	164.6	979.53
Ret (mm)	15.3084	5	5	1.94	0.36	5	5	13.5	26.592	14.808	17.388	19.752	129.648
Pi (mm)	112.262	25.7	11.7	0	0	2.13	23.13	99	195.008	108.592	127.512	144.848	849.882
ESC (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETP (mm)	76.728	76.344	75.968	81.44	89.368	121.84	123.288	119.176	117.032	98.512	96.84	93.432	1169.97
HSi (mm)	472	472.875	428.656	381.152	332.2	291.682	254.469	243.1916	288.128	386.869	409.378	445.333	
HD (mm)	412.272	326.585	268.366	209.162	160.21	121.822	105.609	170.2016	311.146	323.471	364.9	418.191	
ETR (mm)	76.728	69.919	59.2038	48.9518	40.5184	39.3425	34.4079	54.06338	96.2673	86.0826	91.5577	93.432	790.474
HSf (mm)	472.875	428.656	381.152	332.2	291.682	254.469	243.192	288.1282	386.869	409.378	445.333	472.875	
DCC (mm)	0	44.219	91.7228	140.675	181.193	218.406	229.683	184.7468	86.0061	63.4967	27.5424	0	
Rp (mm)	34.6586	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.8736	58.5322
NR (mm)	0	50.644	108.487	173.163	230.043	300.903	318.564	249.8594	106.771	75.9261	32.8247	0	1647.18

Cuadro 48 A. Balance hídrico de suelos de la cobertura vegetal y uso de la tierra año 2000 y 2008, de la categoría pastos.

Zona de Estudio:	Pastos												
Estacion	Pegoncito Pilon												
Textura de Suelo:	Franco Arenoso												
fc [mm/d]	216.00												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.18												
Kfc [0.01%]	0.67894												
I [0.01%]	0.91894												
DS (g/cm ³):	1.18												
PR (mm)	500.00												
HSi (mm)	128.00												
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12												
	Constante de humedad			Por peso (%)									
	CC			21.73		128.21							
	PM			11.05		65.20							
	(CC-PM)			10.68		63.01							
Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	88.9	16.6	1.4	3.6	3	11.6	12.4	114.6	245.3	168.5	170.9	203.1	1039.9
Ret [mm]	10.668	5	1.4	3.6	3	5	5	13.752	29.436	20.22	20.508	24.372	141.956
Pi (mm)	71.8901	10.6596	0	0	0	6.06497	6.80012	92.67279	198.365	136.26	138.201	164.239	825.152
ESC (mm)	6.34185	0.94035	0	0	0	0.53503	0.59988	8.175209	17.4989	12.0203	12.1915	14.4885	72.7915
ETP (mm)	100.96	76.08	64.08	74.8	87.6	95.04	104.56	99.92	84.64	86.8	80.32	84.72	1039.52
HSi (mm)	128	122.384	95.004	79.8469	71.1504	67.0108	67.1325	66.68317	109.396	128.207	128.207	128.207	
HD (mm)	134.695	67.849	29.809	14.6519	5.95543	7.88075	8.73767	94.16096	242.566	199.272	201.213	227.251	
ETR (mm)	77.5058	38.04	15.1571	8.69644	4.13966	5.94321	7.2495	49.96	84.64	86.8	80.32	84.72	543.172
HSf (mm)	122.384	95.004	79.8469	71.1504	67.0108	67.1325	66.6832	109.396	128.207	128.207	128.207	128.207	
DCC (mm)	5.82266	33.203	48.3601	57.0566	61.1962	61.0745	61.5238	18.81104	0	0	0	0	
Rp (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	94.914	49.4597	57.8805	79.5195	281.774
NR (mm)	29.2769	71.243	97.283	123.16	144.657	150.171	158.834	68.77104	0	0	0	0	843.396

APÉNDICE 5. Ponderación de coeficientes para la utilización del método de curva número

Cuadro 49 A. Precipitación acumulada para tres niveles de condición de humedad antecedente.

Condición de humedad antecedente (AMC)	Precipitación acumulada de los 5 días previos al evento en consideración (cm)
I	0 – 3.30
II	3.50 – 5.25
III	más de 5.25

Nota: este cuadro fue desarrollado utilizando datos del occidente de los Estados Unidos. Por consiguiente, se recomienda tener cautela al emplear los valores suministrados en este cuadro para determinar la condición de humedad antecedente en otras regiones geográficas o climáticas. La precipitación acumulada de los cinco días previos al evento en consideración es para épocas de crecimiento de las plantas.

Fuente de: Asturias Hernandez, R.M. (1)

Cuadro 50 A. Número de curva de escorrentía para áreas urbanas¹

Tipo de cobertura y condición hidrológica	% Promedio de área impermeables ²	Número de curva para grupos de suelos hidrológicos			
		A	B	C	D
Áreas urbanas totalmente desarrolladas (vegetación ya establecida)					
Espacios abiertos (prados parques, campos de golf, cementerios, etc.) ³					
Condición pobre (menos del 50% cubierto de pasto)		68	79	86	89
Condición regular (del 50% al 75% cubierto de pasto)		49	69	79	84
Condición buena (más del 75% cubierto de pasto)		39	61	74	80
Áreas impermeables					
Parqueadores pavimentados, techos, autopistas, etc. (excluyendo derecho de vía)		98	98	98	98
Calles y caminos					
Pavimentados		98	98	98	98
Pavimentadas ; zanjas abiertas (incluyendo derecho de vía)		83	89	92	93
Grava (incluyendo derecho de vía)		76	85	89	91
Tierra (incluyendo derecho de vía)		72	82	87	89
Áreas desiertas urbanas occidentales:					
Paisajes desérticos naturales (solamente áreas permeables) ⁴		63	77	85	88
Paisajes desérticos artificiales (barrera impermeable de maleza, arbustos de desierto con 1 a 2 pulg. de diámetro; cubierta de arena o grava y orillas de áreas húmedas).		96	96	96	96
Áreas urbanas:		89	92	94	95
Comercial y de negocios	85	81	88	91	93
Industrial	72				
Áreas residenciales por promedio del tamaño del lote		77	85	90	92
1/8 de acre o menos	65	61	75	83	87
1/4 acre	38	57	72	81	86
1/3 acre	30	54	70	80	85
1/2 acre	25	51	68	79	84
1 acre	20	46	65	77	82
2 acre	12				
Áreas urbanas desarrolladas					
Áreas recientemente conformadas (solamente áreas permeables sin vegetación)		77	86	91	94

- ¹ Promedio de la condición de humedad antecedente AMC II e $I_a = 0.2S$
- ² El porcentaje promedio de área impermeable muestreada fue empleado para desarrollar el conjunto CNs. Otras suposiciones son las siguientes: áreas impermeables están directamente conectadas con el sistema de drenaje, áreas

impermeables tienen un CN = 98, y áreas permeables son consideradas equivalentes a espacios abiertos con una condición hidrológica buena.

- ³ CNs mostrados son equivalentes a aquellos pastos. CNs compuestos pueden ser calculados para otras combinaciones de tipo de cobertura de espacios abiertos.
- ⁴ los CNs de áreas permeables se suponen equivalentes a arbustos de desierto con una condición hidrológica pobre.

Fuente: Asturias Hernandez, R.M. (1)

Cuadro 51 A. Número de curva de escorrentía para tierras agrícolas cultivadas.

Uso de la tierra	COBERTURA		GRUPO DE SUELOS			
	Tratamiento ó practica	Condición Hidrológica	A	B	C	D
			Número de Curva			
Rastrojo	Hileras rectas	-	77	86	91	94
Cultivo en hileras	Hileras rectas	Mala	71	81	88	91
		Buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	Mala	70	79	84	88
		Buena	65	75	82	86
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	66	74	80	82
		Buena	62	71	78	81
Cultivos en hileras estrechas	Hileras rectas	Mala	65	76	84	88
		Buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	Mala	63	74	82	85
		Buena	61	73	81	84
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	61	72	79	82
		Buena	59	70	78	81
Leguminosas en ¹ hileras estrechas o forraje en rotación	Hileras rectas	Mala	66	77	85	89
		Buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	Mala	64	75	83	85
		Buena	55	69	78	83
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	63	73	80	83
		Buena	51	67	76	80
Pastos de pastoreo	Hileras rectas	Mala	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
	Curvas de nivel	Mala	47	67	81	88
		Regular	25	59	75	83
		Buena	6	35	70	79
Pastos de corte	Hileras rectas	Buena	30	58	71	78
Bosque	Hileras rectas	Mala	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
Pacios	Hileras rectas		59	74	82	86
Caminos de tierra ²	Hileras rectas		72	82	87	89
Pavimentos	Hileras rectas		71	84	90	92

- ¹ siembra tupida al voleo
- ² incluyendo derecho de vía

Fuente: Asturias Hernandez, R.M. (1)

Cuadro 52 A. Número de curva de escorrentía de otras tierras agrícolas¹.

Descripción y tipo de cobertura	Condición hidrológica	Número de curvas para grupos de suelos hidrológicos			
		A	B	C	D
Pastos, forraje para pastoreo ²	Mala	68	79	86	89
	Regular	49	69	79	84
	Buena	39	61	74	80
Prados continuos, protegidos de pastoreo, y generalmente segado para heno		30	58	71	78
Maleza mezclada con pasto de semilla, con la maleza como principal elemento ³	Mala	48	67	77	83
	Regular	35	56	70	77
	Buena	30 ⁴	48	65	73
Combinación de bosques y pastos (huertas o granjas con árboles) ⁵	Mala	57	73	82	86
	Regular	43	65	76	82
	Buena	32	58	72	79
Bosques ⁶	Mala	45	66	77	83
	Regular	36	60	73	79
	Buena	30	55	70	77
Predios de granjas, construcciones, veredas, caminos y lotes circundantes		59	74	82	86

- ¹ Condición de humedad antecedente promedio AMC II e I_a 0.02S
- ² Mala: menos del 50% del uso del suelo cubierto con pastoreo intensivo sin maleza.
- Regular: 50 a 75% del suelo cubierto y un pastoreo no muy intensivo.
- Buena: más del 75% del suelo cubierto y un pastoreo ocasional a ligero.
- ³ Mala: menos del 50% del suelo cubierto.
- Regular: 50 a 75% de suelo cubierto.
- Buena: más del 75% del suelo cubierto.
- ⁴ Número de curva actual menor a 30. emplear CN = 30 para cálculos de escorrentía
- ⁵ Los CNs mostrados se calcularon para áreas con 50% bosques y 50% cubiertas por pastos. otras combinaciones pueden ser calculadas de CNs para bosques y pastos.
- ⁶ Mala: Humus vegetal, pequeños árboles y maleza destruida por pastoreo intensivo y quemadas regulares.
- Regular: Bosques con pastoreo pero no quemados, suelo cubierto por humus vegetal.
- Buena: bosques protegidos del pastoreo y el suelo cubierto adecuadamente por humus vegetal.

Fuente: Asturias Hernandez, R.M. (1)

Cuadro 53 A. Números de curva de escorrentía correspondientes a tres condiciones de AMC.

AMC II	AMC I	AMC III	AMC II	AMC I	AMC III
100	100	100	60	40	78
99	97	100	59	39	77
98	94	99	58	38	76
97	91	99	57	37	75
96	89	99	56	36	75
95	87	98	55	35	74
94	85	98	54	34	73
93	83	98	53	33	72
92	81	97	52	32	71
91	80	97	51	31	70
90	78	96	50	31	70
89	76	96	49	30	69
88	75	95	48	29	68
87	73	95	47	28	67
86	72	94	46	27	66
85	70	94	45	26	65
84	68	93	44	25	64
83	67	93	43	25	63
82	66	92	42	24	62
81	64	92	41	23	61
80	63	91	40	22	60
79	62	91	39	21	59
78	60	90	38	21	58
77	59	89	37	20	57
76	58	89	36	19	56
75	57	88	35	18	55
74	55	88	34	18	54
73	54	87	33	17	53
72	53	86	32	16	52
71	52	86	31	16	51
70	51	85	30	15	50
69	50	84			
68	48	84	25	12	43
67	47	83	20	9	37
66	46	82	15	6	30
65	45	82	10	4	22
64	44	81	5	2	13
63	43	80	0	0	0
62	42	79			
61	41	78			

Fuente: Asturias Hernandez, R.M. (1)

APÉNDICE 6. Curva intensidad-duración-frecuencia

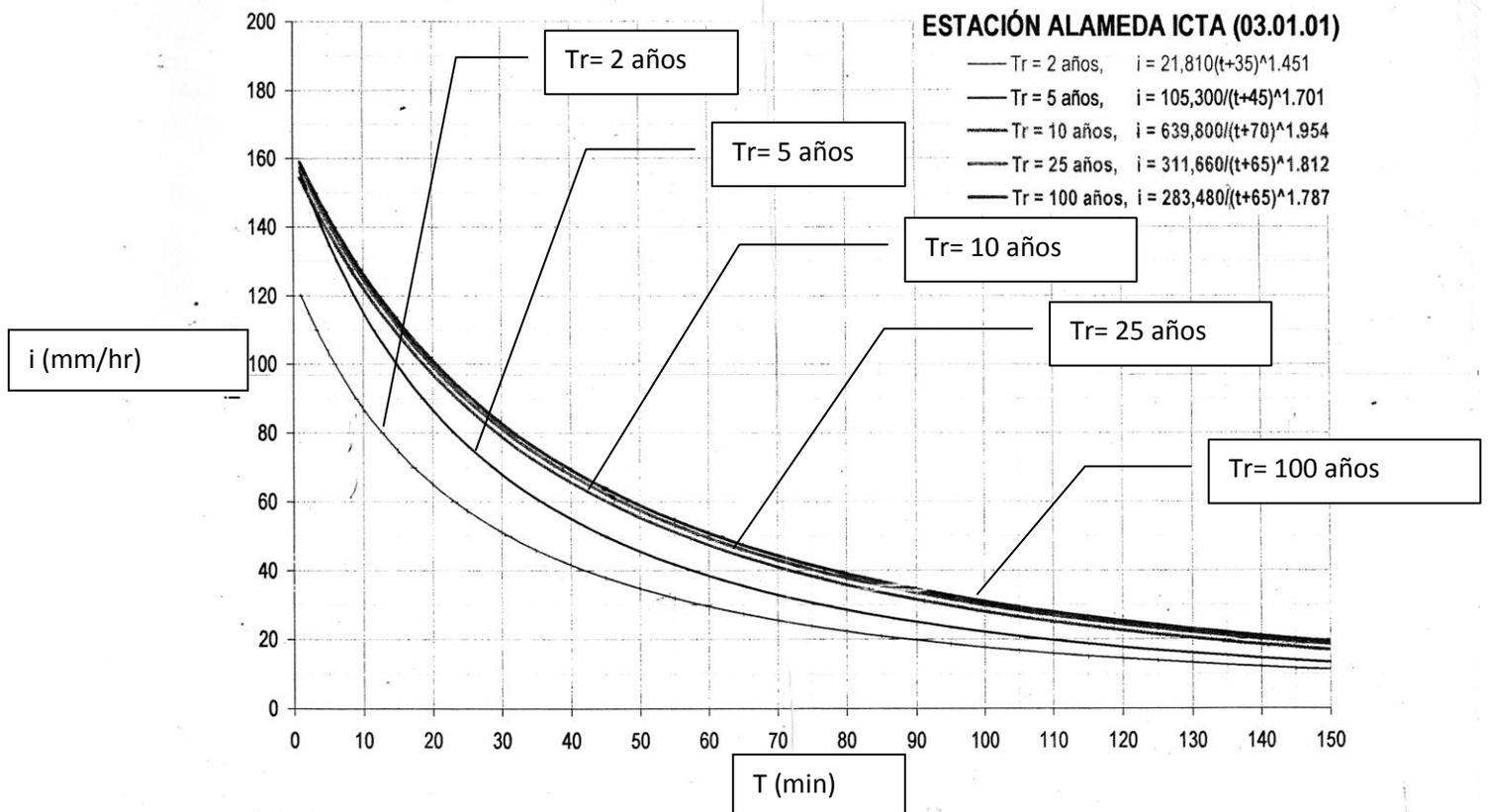


Figura 14 A. Curva intensidad-duración-frecuencia de la estación meteorológica Alameda ICTA, Chimaltenango, Guatemala.



3.1 Presentación

La Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo –UPGGR-, es la entidad encargada de generar información digital, obteniendo como productos: mapas temáticos, análisis espaciales, proyectos agrícolas y de manejo de recursos naturales, análisis para la gestión de riesgo, los cuales son utilizados por las dependencias del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, para la planificación de distintos proyectos, dicha información también se encuentra a disposición de la población guatemalteca en general.

Dentro de la UPGGR, se identifica el laboratorio de información geográfica SIG-MAGA, en el cual se genera la información digital utilizada para la planificación y gestión de riesgo de distintas áreas del país.

Actualmente la UPGGR, se encuentra ejecutando el proyecto de Inversión Elaboración del Mapa de Taxonomía de Suelos y Capacidad de uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala, proyecto en el que se estará realizando uno de los servicios de Apoyo a los edafólogos en la descripción de unidades cartográficas de suelos.

La fase de descripción de suelos es de suma importancia para la caracterización de las unidades de muestreo identificadas en cada área, debido a que esta información permitirá un mejor desarrollo de la agricultura, principalmente porque en el país no se han realizado descripciones de este detalle que cubran departamentos completos.

Los servicios se enfocaron en el apoyo para la descripción detallada de suelos e impartir talleres de capacitación sobre el software ArcView 3.3 a los coordinadores departamentales del –MAGA-, en el laboratorio de Información Geográfica SIG-MAGA.

Estos servicios se prestaron en el período comprendido del mes de agosto 2007 al mes de mayo de 2008.

SERVICIOS PRESTADOS

3.2 SERVICIO No. 1: APOYO A EDAFÓLOGOS EN LA DESCRIPCIÓN DE OBSERVACIONES DE CAMPO EN EL MUNICIPIO DE SANTA LUCIA MILPAS ALTAS, PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE TAXONOMÍA DE SUELOS.

3.2.1 Objetivos

- Recopilar la información y equipo necesario para iniciar con la descripción de suelos del municipio de Santa Lucia Milpas Altas, Sacatepéquez.
- Socializar el proyecto con las autoridades locales del municipio de Santa Lucia Milpas Altas, Sacatepéquez.
- Describir las unidades cartográficas de suelos que se definieron en el municipio.
- Elaborar el informe final del municipio.

3.2.2 Metas

- **Primera Meta:** recopilar la información y equipo necesario para iniciar con la descripción de suelos del municipio de Santa Lucía Milpas Altas, Sacatepéquez.
- **Segunda Meta:** apoyar en la fase de socialización del proyecto en el municipio de Santa Lucia Milpas Altas, Sacatepéquez.
- **Tercera Meta:** Reportar la ubicación y descripción de 6 cajuelas diarias por estudiante con la ayuda de un edafólogo, 1 calicata por cada paisaje definido, 1 monolito por cada municipio y extraer aproximadamente 15 muestras de suelo por calicata (6 para análisis físico, 6 para análisis químico y 3 para densidad aparente; dependiendo del número de horizontes por calicata).
- **Cuarta Meta:** integrar el archivo o informe final de Santa Lucía Milpas Altas, cubriendo un área de 10.19 km².

Nota: todas las descripciones se realizaron como apoyo a los edafólogos del proyecto.

3.2.3 Metodología

Actividad 1. Fase inicial para la descripción de las observaciones de campo

Para realizar las observaciones de campo se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- **Recopilación y adaptación de información:** incluyó la recopilación de datos naturales, culturales y socioeconómicos del departamento, en forma documental y electrónica el cual permitió el establecimiento de la información climática, geológica,

geomorfológica de los suelos y otras características importantes para la ubicación y descripción de las unidades de muestreo.

- **Fotointerpretación:** Esta técnica se utilizó para la separación de paisajes presentes del departamento en estudio, los principales que se identificaron fueron: valle, altiplanicie, terrazas, lomerío, pie de monte y montaña. Esto con el fin ubicar las unidades geomorfológicas que servirán para definir las unidades de muestreo, la fotointerpretación se realizó con el apoyo de un fotoanalista del Instituto Geográfico Agustín Codazzi –IGAC-, se realizaron visitas de campo para la ubicación e identificación de geoformas presentes en el departamento de estudio.
- **Preparación del trabajo de campo:** consistió en disponer de todo el material necesario para la localización y descripción de las observaciones de campo, los materiales fueron:
 - Fotografías aéreas a escala 1:14,000 fotointerpretadas sobre acetatos para ubicar los puntos de muestreo.
 - Leyenda geomorfológica que incluyó las características de paisaje, clima, tipo de relieve, material parental, forma del terreno, símbolo de las unidades geomorfológicas, códigos de observación y código de perfil de suelo.
 - Obtención de mapas: mapa base del municipio de estudio, mapa de pendientes, mapa climático y zonas de vida según la clasificación de Thornthwaite, mapa de distribución de fotografías aéreas.
 - Preparación de reactivos químicos y otros materiales necesarios.
 - Uniformes e identificación personal
 - Material y equipos necesarios para la descripción del perfil de los suelos.

Actividad 2. Socialización.

Fase en la que se contempló la presentación del trabajo de campo del proyecto con el objetivo de relacionarse con las autoridades locales del municipio bajo estudio y facilitar la identificación y ubicación de los puntos de muestreo.

Se visitó la municipalidad del área bajo estudio, para la presentación del trabajo de campo del proyecto, con el fin de contar con un facilitador para la planificación de las visitas a las comunidades.

En la reunión con las autoridades locales se llevó a cabo la planificación de las visitas de campo para la elaboración de barrenajes, cajuelas y calicatas, así mismo la asignación de auxiliares para la facilitar el acceso hacia los puntos de muestreos (fincas, comunidades y propietarios de terrenos).

Actividad 3. Descripción en campo de unidades cartográficas de suelo.

- Se verificó la ubicación y las unidades cartográficas de suelos de acuerdo a la fase inicial, por medio de un recorrido del área.
- Se identificaron zonas piloto y áreas de extrapolación para determinar el número de puntos de muestreo de mayor representatividad por cada unidad cartográfica de suelos, en las fotografías aéreas.
- Se definió el tipo de observación a realizar de acuerdo a la siguiente clasificación:
De verificación: son llamados barrenajes los cuales se realizaron a 1.30 m de profundidad, estos con el fin de verificar un cambio de unidad geomorfología que no sea detectada a la vista.

De identificación: también llamadas cajuelas, las cuales tuvieron dimensiones de 50 cm de cada lado y 50 cm de profundidad; en las que se realiza la descripción del perfil.

Calicatas: también conocido como perfil modelo o modal, estos tendrán dimensiones de 1.20 m de cada lado y 1.20 m de profundidad.

- Descripción de los diferentes tipos de suelos:
Se observaron características físicas y químicas, dentro de cajuelas y calicatas, estas fueron anotadas en una tarjeta de descripción de suelos diseñada por el MAGA en base a los estudio de descripción de suelos que realiza el IGAC.

Actividad 4. Elaboración de informe final de la descripción de suelos del municipio de Santa Lucia Milpas Altas

Actividad que se llevó a cabo al finalizar la recopilación de información, socialización y descripción de las unidades cartográficas de suelo del municipio de Santa Lucía Milpas Altas.

El informe final fue recopilado en una carpeta, conteniendo la siguiente información:

- **Carátula**
- **Planificación**
- **Leyenda Geomorfológica Preliminar**
- **Descripción de observaciones de campo**
- **Solicitud de análisis de laboratorio**
- **Localización de observaciones de campo en fotografías aéreas**
- **Mapa de puntos de muestreo**
- **Tablas de infiltración y conductividad hidráulica**
- **Documentación fotográfica del municipio**
- **Planilla de rendimientos de la actividad de campo**
- **Informe de actividades del grupo**

3.2.4 Resultados

A. Se utilizaron las fotografías aéreas interpretadas a escala 1:14,000 sobre acetatos correspondientes al municipio de Santa Lucia Milpas Altas, línea 225 fotografías 7822, 7823, 7824, 7825. En las que se identificaron los paisajes de montaña y altiplano.

B. Para realizar las observaciones de campo se tuvo acceso a mapas temáticos como el mapa base del municipio, mapa climático y zonas de vida, además se tuvo disponible la ortofotografía del área para mejor ubicación.

C. Se obtuvo el material y equipo descrito en el cuadro 54.

Cuadro 54. Material y equipo para descripción de suelos.

No	Material o equipo utilizado	Actividad realizada
1	Piocha, pala y azadón	Apertura de calicatas
2	Estereoscopio de bolsillo	Para verificar las unidades cartográficas de suelo
3	Barreno de suelos	Seleccionar sitios apropiados para muestreo. Muestreo de horizontes profundos.
4	Cuchillo o machete	Limpieza del perfil, diferenciar horizontes y sus límites.
5	Lupa de bolsillo	Identificación de minerales y/o rocas. Verificar películas o cutanes.
6	Clinómetro	Medición de la pendiente
7	Brújula	Orientación de la calicata, determinar dirección de la pendiente.
8	Mapa topográfico	Localización de sitio de muestreo, determinación de altitud y coordenadas.
9	Fotografía aérea y ortofotografía	Localización o redefinición del sitio de muestreo.
10	Agua oxigenada	Verificar presencia de concreciones de manganeso
11	NaF(1.0 M) y Fenoltaleína	Prueba cualitativa para la determinación de presencia de alófana.
12	Acido Clorhídrico 1 N.	Identificación de materiales con carbonatos.
13	Escala Munsell	Determinación de colores de los suelos
14	Agua	Determinación de consistencia en húmedo y mojado
15	Agua destilada y tubo de ensayo	Medición de pH
16	Indicador de pH	Medición de pH
17	Etiquetas	Para identificación de las muestras.
18	Cinta métrica	Medición de espesor de horizontes.
19	Cámara digital	Fotografías de las calicatas
20	Bolsas plásticas	Para recolectar las muestras de suelo
21	Cilindro doble	Determinación de infiltración básica
22	Conductímetro	Para determinar la conductividad hidráulica

Fuente: Proyecto Mapa de Taxonomía de suelos

D. Durante la fase de socialización se logró contar con el encargado de la oficina municipal de planificación el cual facilitó el acompañamiento de dos personas para la elaboración de cajuelas y calicatas.

E. Se realizaron 24 observaciones de identificación (cajuelas), 18 observaciones de verificación (barrenajes), 2 perfiles modales (calicatas) y se extrajo un monolito.

F. La leyenda geomorfológica de Santa Lucía Milpas Altas, realizada con los elementos de campo, se presenta en el cuadro 55:

Cuadro 55. Leyenda geomorfológica de Santa Lucía Milpas Altas.

PAISAJE	GEOLOGIA	TIEMPO	CLIMA	RELIEVE	VEGETACION	TAXONOMIA PRELIMINAR	FAMILIAS
MONTAÑA	Ceniza Volcánica, Roca Ígnea.	Cuaternario	Sub húmedo-semi frío (N)	Filas y vigas	Bosque natural coníferas.	Humic Dystrudepts	Fina
				Lomas	Bosque natural mixto, cultivos perennes Aguacate), pasto, cultivos anuales (Maíz-fríjol) Hortalizas Brócoli, Rábano, Remolacha, Arveja).	Andic Dystrudepts Andic Eutrudepts	Arenosa
				Cañón	Bosque natural mixto.	Andic Dystrudepts	Gruesa
ALTIPLANO	Piroclastos consolidados, Ceniza Volcánica	Cuaternario	Sub húmedo-semi frío (N)	Terraza	Hortalizas, Pasto Natural /Arbustos Maíz	Andic Eutrudepts	Franca Fina
				Cañón	Bosque natural mixto.	Andic Dystrudepts	Gruesa

Fuente: Proyecto Mapa de Taxonomía de suelos.

G. Se obtuvo un informe de las actividades realizadas en el municipio con el siguiente contenido:

- Carátula:** "Información Recopilada Durante la Fase de Campo del Mapa de Taxonomía de Suelos del Municipio de Santa Lucía Milpas Altas", contenido del archivo (recopilación de información, socialización, identificación de las cajuelas y calicatas, descripción de los mismos y tabulación de los datos), número de grupo e integrantes del mismo (al frente de cada integrante su código de cajuelas y barrenajes) y fecha de entrega del documento.
- Planificación:** se refiere a la planificación que se elaboró en la fase inicial de la descripción de las unidades cartográficas de suelo, la cual fue realizada por el equipo de edafólogos, se presentaron dos planificaciones:

- a) El plan de actividades preliminar a la entrada al municipio, y b) El plan de actividades final, al terminar la actividad en el municipio respectivo.
3. **Leyenda geomorfológica preliminar:** la leyenda, se realizó con base a la fotointerpretación de la fase inicial, tomando en cuenta las características de paisaje, clima, tipo de relieve, material parental, forma del terreno, símbolo de las unidades geomorfológicas, códigos de observación, código de perfil de suelo y clasificación taxonómica preliminar. Esta leyenda contiene todas las unidades cartográficas presentes en el municipio con su respectivo símbolo.
 4. **Descripción de observaciones de campo:** se incluyeron todas las tarjetas de descripción de perfiles de suelo de barrenajes, cajuelas (verdes) y calicatas (blancas) en forma física y digital ordenadas por paisaje.
 5. Se usó una tarjeta para la descripción de calicatas y una para la descripción de cajuelas y barrenajes, se incluyó el archivo digital de cada una de las tarjetas de descripción de suelos.
 6. **Solicitud de análisis de laboratorio:** se incluyeron las solicitudes de análisis a los laboratorios (ANACAFE, FAUSAC, ENCA, CENGICAÑA y ICTA), tanto físicos, como químicos.
 - **Los análisis físicos que se solicitaron son:** paquete parcial: humedad de campo, densidad aparente, densidad real, pipeta, saturación, tensiones en bares.
 - **Los análisis químicos que se solicitaron son:** paquete básico: CICA, bases (calcio, magnesio, potasio, sodio) fósforo, Al, carbono orgánico, materia orgánica, pH, elementos menores (hierro, manganeso, cobre, zinc).
 - **Análisis para andisoles:** retención fosfórica, hierro y aluminio activos.
 7. **Localización de observaciones de campo en fotografías aéreas:** se incluyeron las fotografías aéreas que se utilizaron para la identificación de observaciones de campo y la ubicación de los puntos de muestreo, las fotografías aéreas fueron separadas: las interpretadas de las no interpretadas, organizadas debidamente en sobres por fajas. Las fotografías aéreas interpretadas y trabajadas se codificaron con lápiz en su reverso y se colocaron en buen estado y presentación. Los acetatos se encuentran adheridos con cinta a la fotografía aérea. Junto con las fotografías se entregó un índice de las fotografías (tanto las interpretadas como las no interpretadas) y el estado en el que estas se entregaron.

8. **Mapa de puntos de muestreo:** mapa de “pecas” o puntos de observación, las observaciones se colocaron en la ortofotografía de manera clara para identificar cada punto de muestreo.
9. **Tablas de infiltración y conductividad hidráulica:** los formatos de las tablas de infiltración y conductividad hidráulica que se utilizaron fueron según el modelo suministrado por el Jefe Técnico, debidamente llenados- tanto en forma análoga, como digital.
10. **Documentación fotográfica del municipio:** se incluyeron todas las fotografías tomadas de cajuelas, barrenajes, calicatas, paisajes, usos, materiales geológicos, monolitos, pruebas de campo, entre otras. Las fotografías de todo el grupo se entregaron en formato digital y en un único CD.
11. **Planilla de rendimientos de la actividad de campo:** en la planilla de rendimientos de la actividad de campo se incluyó: el municipio que se trabajó, la fecha en días, el número de cajuelas elaboradas por día, el número de barrenajes, el número de calicatas, el número de monolitos, el nombre de la comunidad de socialización y los días utilizados para la socialización
12. **Informe de actividades del grupo:** en el informe de actividades del grupo se incluyeron los objetivos de la comisión, la fecha de actividades, la descripción de las actividades desarrolladas y comentarios.

3.2.5 Evaluación

Se logro recopilar la información y equipo necesario para iniciar con la descripción de suelos del municipio de Santa Lucía Milpas Altas, Sacatepéquez, se apoyo a los edafólogos durante la fase de socialización del proyecto en el municipio de Santa Lucía Milpas Altas, Sacatepéquez, se realizarón 24 observaciones de identificación (cajuelas), 18 observaciones de verificación (barrenajes), 2 perfiles modales (calicatas) y se extrajo un monolito.

3.3 SERVICIO No. 2. TALLER DE CAPACITACIÓN, SOBRE VISUALIZACIÓN, CONSULTA DE INFORMACIÓN, CLASIFICACIÓN Y EXTRACCIÓN DE INFORMACIÓN MEDIANTE EL SOFTWARE ArcView 3.3.

3.3.1 Objetivos

- Lograr que los directores y técnicos de información estratégica de las distintas sedes departamentales del –MAGA-, puedan visualizar y consultar la información generada en el laboratorio SIG-MAGA.
- Colocar a disposición de las coordinadoras departamentales del –MAGA-, información digital generada en el laboratorio SIG-MAGA como una herramienta de planificación.

3.3.2 Metas

- Capacitar a las coordinadoras departamentales del –MAGA-, haciendo un total de 23 coordinadores y 23 técnicos de información estratégica.
- Capacitar al total de coordinadoras departamentales en 5 días, distribuyendo estas en grupos de 5 coordinadoras por día.

3.3.3 Metodología

Los talleres fueron impartidos de manera interactiva, para lograr que cada participante se involucrara en la capacitación, el proceso para impartir el taller se describe a continuación:

- Preparación de la documentación digital: con el fin de presentar de mejor manera la información digital generada en el laboratorio SIG-MAGA, se organizó por cada departamento una carpeta con la información necesaria para la visualización y consulta de características biofísicas y bases de datos.
- Preparación de la documentación impresa: para el acompañamiento y visualización de cada proceso a realizar se elaboró un manual el cual contiene cada paso para realizar los ejercicios tanto en el taller como para la consulta posterior al mismo.
- Confirmación de la participación de las coordinadoras departamentales: debido a que la unidad de operaciones rurales convocó al taller, fue necesario confirmar la participación de cada coordinadora departamental del –MAGA-.

- Preparación del área para la capacitación: dentro de la logística de los talleres se habilitó un espacio en el laboratorio SIG-MAGA para el desarrollo de la serie de talleres.
- Desarrollo de la capacitación: el taller se dividió en cuatro fases, para facilitar el aprendizaje, estas fueron:
 - Instalación del software ArcView 3.3: esta fase fue necesaria para que cada técnico participante pueda instalar este software en la coordinadora departamental del –MAGA-, la licencia de este paquete fue donada por el Sistema mesoamericano de alerta temprana para la seguridad alimentaria NFEWS.
 - Ejercicio 1: Visualización de características sociales.
 - Ejercicio 2: Visualización de características biofísicas.
 - Ejercicio 3: Visualización de productividad del departamento.
- Impacto de la capacitación: para determinar el desarrollo del taller se consultó por escrito los comentarios y sugerencias de los participantes.

3.3.4 Resultados

- Se editaron e imprimieron 50 manuales de casos prácticos para la utilización del software ArcView 3.3.
- Se preparó de manera digital la información para el taller, se distribuyeron 3 discos compactos por cada coordinación, el contenido de cada disco fue:

2 discos del software de instalación ArcView 3.3

1 disco con el contenido del taller el cual se estructuró de la siguiente manera:

Taller departamental

1. Info_general: contiene las bases de datos de los “shapes” contenidos, el manual digital, en imágenes contiene las ortofotos la cabecera departamental, la hoja topográfica del departamento y las imágenes del atlas departamental generado en el Laboratorio SIG-MAGA

2. Shapefile: contiene cada ejercicio, en el ejercicio 1 se cuenta con el departamento cortado con características básicas, mientras en los siguientes ejercicios se proporcionan capas a nivel de la República para que sean llevados a nivel departamental.
 3. Res_shapes: ésta carpeta fue creada para guardar cada capa que se va creando.
 4. Proyectos: ésta carpeta se creó para que cada proyecto sea guardado.
 5. Grid: esta carpeta incluye capas generadas en formato raster, contiene el relieve a nivel nacional, la precipitación, temperatura, precipitación, elevación y el uso de la tierra.
- Se capacitó a un total de 21 coordinadoras departamentales del –MAGA-, los asistentes fueron los coordinadores departamentales y los técnicos de información estratégica.
 - Se lograron realizar mapas departamentales de población, analfabetismo en total de personas y porcentaje, cuencas, ríos, precipitación, uso de la tierra, capacidad de uso de la tierra; cultivos anuales, permanentes y ganadería.

3.3.5 Evaluación

Se logró capacitar al personal de las coordinadoras departamentales del –MAGA-, siendo un total de 23 coordinadores y 23 técnicos de información estratégica, durante un tiempo de 5 días, distribuyéndose en grupos de 5 coordinadoras por día.

3.3.6 Bibliografía

1. Duro Tamasiunas, JM; Vásquez, R. 2006. Mapa de taxonomía de suelos y capacidad de uso de la tierra a escala 1:50,000 de la república de Guatemala (fase I y II). Guatemala, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo, Proyecto de Inversión. 60 p.
2. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2002. Plan de manejo subcuenca del río Pensativo-alto Achíguate. Guatemala, Estudios y Proyectos en Cuencas Hidrográficas Estratégicas. 242 p.
3. _____. 2002. Reglamento de operatividad y funciones de la unidad. Guatemala. 25 p.
4. _____. 2005. Atlas hidrológico. Guatemala. Escala 1:1,000,000
5. _____. 2006. Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala: memoria técnica y descripción de resultados. Guatemala. p. 35–44.
6. _____. 2006. Mapas temáticos digitales de la República de Guatemala, a escala 1:250,000. Guatemala. 1 CD.
7. _____. 2006. Proyecto: obtención de imágenes digitales y elaboración de ortofotos a detalle de la República de Guatemala. Guatemala. Desplegable.
8. _____, UPGGR (Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo, GT). 2007. Primer informe de avance de la ejecución del proyecto mapa de taxonomía agosto 2006 a mayo 2007. Guatemala. 15 p.
9. _____, UPGGR (Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo, GT); IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, CO). 2006. Proyecto: mapa de taxonomía de suelos y capacidad de uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala. Desplegable.