

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN

DINÁMICA DEL CAMBIO DE USO DE LA TIERRA Y SU IMPACTO EN EL
COMPORTAMIENTO DEL CICLO HIDROLÓGICO DE LA PARTE SUR DE LA
SUBCUENCA DEL ALTO GUACALATE Y APOYO A LA UNIDAD DE PLANIFICACIÓN
GEOGRÁFICA Y GESTIÓN DE RIESGO –UPGGR- DEL MINISTERIO DE
AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACION –MAGA-, GUATEMALA.

JOSÉ NAZARIO LÓPEZ PAR

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

DINÁMICA DEL CAMBIO DE USO DE LA TIERRA Y SU IMPACTO EN EL
COMPORTAMIENTO DEL CICLO HIDROLÓGICO DE LA PARTE SUR DE LA
SUBCUENCA DEL ALTO GUACALATE Y APOYO A LA UNIDAD DE PLANIFICACIÓN
GEOGRÁFICA Y GESTIÓN DE RIESGO –UPGGR- DEL MINISTERIO DE
AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACION –MAGA-, GUATEMALA.

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

POR

JOSÉ NAZARIO LÓPEZ PAR

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, NOVIEMBRE 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 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 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 sur de la subcuenca del Alto Guacalate y apoyo a la Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo –UPGGR- del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA-, Guatemala.

como requisito previo a optar al titular de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

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

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

JOSÉ NAZARIO LÓPEZ PAR

ACTO QUE DEDICO

A:

Dios: Todopoderoso, gracias por darme la oportunidad de culminar mis estudios de manera satisfactoria y por estar a mi lado en todo momento.

Mis Padres: Juan José López y Juana Cristina Par, por el apoyo, comprensión y amor he logrado alcanzar esta meta, que Dios les bendiga y proteja siempre.

Mis Hermanos: Luisa, Lucia, Marta, Adán, Vicky y Estuardo, mis mejores consejeros durante todo los años de estudio, los quiero mucho.

Mis sobrinas: Dulce y Emily

Mis tíos y primos: como muestra de cariño y respeto.

Mis cuñados (a): Mario Orizabal, Virgilio y Lilian como muestra de estima.

Mi Novia: Cándida Azucena Tacam, por su valiosa ayuda, comprensión y amor.

Mis amigos: Ariel Turcios, Edvin Orellana, Cesar Amílcar Torres y Rogers Muy Corzo, por su apoyo y compañía durante los años de estudio.

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A:

Dios

Dueño de todo el mundo.

Guatemala

País lleno de belleza.

Universidad de San Carlos de Guatemala

Institución que me dio la oportunidad de salir adelante y ser un profesional.

Escuela Nacional Central de Agricultura

Institución que me enseñó el camino de mi profesión.

Centro Educativo Parroquial Monseñor

Angélico Melotto y Escuela Cantón La cruz

Instituciones que me ayudaron en mi formación académica.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Marco Vinicio Fernández e Ing. Marvin Salguero, por su valiosa asesoría, tiempo y colaboración en la elaboración de este documento.

Al personal de la Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo del MAGA: A los Dr. José Miguel Duro y Raúl Álvarez a los Ingenieros: José Sánchez, Hugo Corzo, Otto Illescas, Manuel Tum, Víctor Villalta, Roberto Moscoso, Cesar García, Rudy Vásquez, Rovoham Monzón y Arturo Cruz. Al personal Rafael López, Marco González, José Folgar, Elmer Pérez, María del Carmen, Odilia Pineda, Miriam Tejeda, Consuelo Marroquín y a todos los que laboran en la unidad, gracias por compartir sus valiosos conocimientos.

Al personal docente de la Sub-área de Manejo de Suelo y Agua de la Facultad de Agronomía: Ing. Marvin Salguero, Ing. Tomas Padilla, Ing. Iván Santos, Ing. Hugo Tobías, Ing. Isaac Herrera, Ing. Guillermo Santos, Ing. Aníbal Sacbajá, Ing. Rogelio Pacheco, por su apoyo durante el tiempo que labore como auxiliar de la Sub-área de Manejo de Suelo y Agua.

Al los Ingenieros: Juan Carlos Fuentes, Dauno Chew por su apoyo y compartir sus valiosos conocimientos.

A la familia Tacam Cúmez: por su apoyo y consejo.

A mis compañeros y Amigos de promoción: de la Facultad de Agronomía y Escuela Nacional Central de Agricultura.

Y a todas aquellas personas que me ayudaron en mi formación académica, que Dios les bendiga.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
Índice general	i
Índice de figuras	iii
Índice de cuadros	iv
RESUMEN GENERAL.....	vii
CAPITULO I	
DIAGNÓSTICO DEL LABORATORIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN -MAGA-, GUATEMALA, GUATEMALA	
	1
1.1 Presentación.....	2
1.2 Marco Referencial.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.4 Metodología	5
1.5 Resultados.....	6
1.6 Conclusiones	14
1.7 Bibliografía.....	15
 CAPITULO II	
DINÁMICA DEL CAMBIO DE USO DE LA TIERRA Y SU IMPACTO EN EL COMPORTAMIENTO DEL CICLO HIDROLÓGICO DE LA PARTE SUR DE LA SUBCUENCA DEL ALTO GUACALATE, GUATEMALA.....	
	16
2.1 Presentación.....	17
2.2 Definición del problema	18
2.3 Marco Teórico.....	19
2.4 Objetivos.....	53
2.5 Metodología	54
2.6 Resultados.....	65
2.7 Conclusiones	93
2.8 Recomendaciones	94
2.9 Bibliografía.....	95

2.10	Apéndice	99
------	----------------	----

CAPITULO III

SERVICIOS PRESTADOS EN LA UNIDAD DE PLANIFICACIÓN GEOGRÁFICA Y GESTIÓN DE RIESGO -UPGGR- DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN –MAGA-	116
---	-----

3.1 Presentación	117
------------------------	-----

3.2 Servicio I: Apoyo a los edafólogos en el Proyecto de taxonomía de suelos y capacidad de uso de la tierra a escala 1:50,000 de los departamentos de Chimaltenango y Sacatepéquez	118
---	-----

3.2.1 Objetivos	118
-----------------------	-----

3.2.2 Metodología	118
-------------------------	-----

3.2.3 Resultados	122
------------------------	-----

3.2.4 Evaluación	123
------------------------	-----

3.3 Servicio 2: Apoyo en el laboratorio de Sistemas de Información Geográfico	123
---	-----

3.3.1 Objetivos	123
-----------------------	-----

3.3.2 Metodología	123
-------------------------	-----

3.3.3 Resultados	124
------------------------	-----

3.3.4 Evaluación	125
------------------------	-----

3.3.4 Bibliografía	125
--------------------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Ubicación de la unidad de planificación geográfica y gestión de riesgo -UPGGR-.....	3
2. Ubicación de la subcuenca parte sur Alto-Guacalate	47
3. Hidrografía y relieve Alto-Guacalate sur	48
4. Ubicación de estaciones meteorológicas, muestreo de suelos e infiltraciones.....	59
5. Dinámica del cambio de uso de la tierra periodo 1980 – 2008	67
6. Comportamiento de precipitación (mm) de 4 estaciones meteorológicas.....	68
7. Comportamiento de la evapotranspiración potencial de las cuatro estaciones meteorológicas.....	69
8. Climadiagrama promedio de las cuatro estaciones meteorológicas	69
9. Capacidad de uso de la tierra, Alto Guacalate sur.....	70
10. Cobertura vegetal y uso de la tierra Año 1980, Alto Guacalate sur	71
11. Cobertura vegetal y uso de la tierra Año 2000, Alto Guacalate sur	72
12. Cobertura vegetal y uso de la tierra Año 2008, Alto Guacalate sur	73
13. Comportamiento de la recarga hídrica y escorrentía superficial m ³ /s.....	79
14. Comportamiento del caudal estimado por CN y caudal medido años 2007- 2008	91
15 A. Curva intensidad- duración – frecuencia de la estación meteorológica Alameda ICTA, Chimaltenango.....	111

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. Análisis FODA.....	12
2. Priorización de problemas.....	13
3. Valores de coeficientes de escorrentía (C)	44
4. Valores del coeficiente C de la escorrentía.....	45
5. Coeficientes para formula de Mac Math, para cálculo de escorrentía	45
6. Distribución de población de la subcuenca Alto Guacalate.....	52
7. Estaciones meteorológicas que conforman la parte sur del Alto Guacalate.	57
8. Puntos de muestreo e infiltraciones	58
9. Dinámica del cambio de uso de la tierra de los años 1980, 2000 y 2008.	66
10. Promedios mensuales de precipitación (mm), registrados en cada una de las estaciones meteorológicas del área de estudio.....	68
11. Promedios mensuales de evapotranspiración potencial (mm), registrados en cada estación del área de estudio.....	69
12. Balances hídricos en condiciones de capacidad de uso	74
13. Balances hídricos en condiciones de uso de la tierra para el año 1980	75
14. Balances hídricos de las categorías de uso en condiciones de uso de la tierra del año 2000, para la parte sur de la subcuenca del Alto Guacalate.	76
15. Balances hídricos de las categorías de uso en condiciones de uso de la tierra del año 2008, para la parte sur de la subcuenca del Alto Guacalate.	77
16. Resumen de los balances hídricos de suelos para las diferentes condiciones de uso de la tierra en la parte sur de la subcuenca del Alto Guacalate.....	78
17. Coeficientes de escurrimiento según la categoría de capacidad de uso	80
18. Coeficientes de escurrimiento de las coberturas de uso de la tierra, bajo condiciones de uso de la tierra del año 1980	81
19. Coeficientes de escurrimiento de las coberturas de uso de la tierra, bajo condiciones de uso de la tierra del año 2000	82
20. Coeficientes de escurrimiento de las coberturas de uso de la tierra, bajo condiciones de uso de la tierra del año 2008	83

21. Intensidades de lluvia (mm/h), para el tiempo de concentración promedio de la parte sur de la subcuenca Alto Guacalate	84
22. Caudales máximos esperados, bajo diferentes escenarios de uso de la tierra, calculados por el método racional.....	85
23. Coeficientes de escorrentía promedio para cada escenario por el método Mac Math	86
24. Caudales máximos esperados, bajo los escenarios de uso de la tierra, calculados por el método de Mac Math.....	88
25. Comparación de los caudales máximos calculados por el método racional y Mac Math para la parte sur de la subcuenca Alto Guacalate	89
26. Comparación de los caudales máximos calculados por el método racional y Mac Math para la parte sur de la subcuenca Alto Guacalate	90
27. Sedimentos en suspensión y caudales determinados en la parte sur del Alto Guacalate	92
28 A. Balance hídrico de suelos de bosques del año 1980	99
29 A. Balance hídrico de suelos del cultivo de café del año 1980	100
30 A. Balance hídrico de suelos de los centros poblados del año 1980	100
31 A. Balance hídrico de suelos de los cultivos anuales del año 1980.....	101
32 A. Balance hídrico de suelos de los frutales del año 1980	101
33 A. Balance hídrico de suelos de hortalizas del año 1980	102
34 A. Balance hídrico de suelos de pastos del año 1980	102
35 A. Balance hídrico de suelos de bosques del año 2000 y 2008	103
36 A. Balance hídrico de suelos del cultivo de café del año 2000 y 2008	103
37 A. Balance hídrico de suelos de los centros poblados del año 2000 y 2008	104
38 A. Balance hídrico de suelos de cultivos anuales del año 2000 y 2008.....	104
39 A. Balance hídrico de suelos de cultivos perennes del año 2000 y 2008	105
40 A. Balance hídrico de suelos de pastos del año 2000 y 2008	105
41 A. Balance hídrico de suelos para tierras inundables del año 2000 y 2008.....	106
42 A. Balance hídrico de suelos de agricultura con mejoras (CUT).....	106
43 A. Balance hídrico de suelos de agricultura sin limitaciones (CUT).....	107
44 A. Balance hídrico de suelos de agroforestería con cultivos anuales (CUT)	107

45 A. Balance hídrico de suelos de agroforestería con cultivos permanentes (CUT)	108
46 A. Balance hídrico de suelos de sistemas silvopastoriles (CUT)	108
47 A. Balance hídrico de suelos de tierras forestales de producción (CUT)	109
48 A. Balance hídrico de suelos de tierras forestales de producción (CUT)	109
49 A. Leyenda utilizada de los mapas	110
50 A. precipitación acumulada para tres niveles de condición de humedad antecedente.....	111
51 A. Número de curva de escorrentía para áreas urbanas	112
52 A. Numero de curva de escorrentía para tierras agrícolas cultivadas	113
53 A. Numero de curva de escorrentía de otras tierras agrícolas	114
54 A. Número de curva de escorrentía correspondientes a tres condiciones de AMC	115
55. Extensión de cada municipio socializado.....	122
56: Descripciones y pruebas realizadas por municipio	122

DINÁMICA DEL CAMBIO DE USO DE LA TIERRA Y SU IMPACTO EN EL
COMPORTAMIENTO DEL CICLO HIDROLÓGICO DE LA PARTE SUR DE LA
SUBCUENCA DEL ALTO GUACALATE Y APOYO A LA UNIDAD DE PLANIFICACIÓN
GEOGRÁFICA Y GESTIÓN DE RIESGO –UPGGR- DEL MINISTERIO DE
AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACION –MAGA-, GUATEMALA.

RESUMEN GENERAL

El trabajo de graduación consistió en la elaboración de un diagnóstico, un trabajo de investigación y un informe de servicios en el área donde se llevó a cabo el Ejercicio Profesional Supervisado –EPSA-. En el diagnóstico se identificaron principalmente las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de la institución en cuanto a la elaboración de sus proyectos con el fin de definir el punto de investigación y los servicios.

Debido al proyecto de Taxonomía de suelos ejecutado actualmente por la unidad se vio la necesidad de elaborar una investigación sobre la dinámica del cambio de uso de la tierra en el comportamiento del ciclo hidrológico del departamento de Sacatepéquez con el fin de dar a conocer por medio de estimaciones la degradación de los recursos naturales y la importancia del proyecto.

La investigación se realizó en las microcuencas de los ríos Nimayá, Ramuxat, Blanco, Pensativo I, Pensativo II – Pilar y Guacalate II que forman parte de la subcuenca Alto-Guacalate ubicado en el departamento de Sacatepéquez desde la Antigua Guatemala hasta Alotenango con un área de 19,854 hectáreas.

El objetivo de esta investigación fue comparar el impacto que ha causado el cambio del uso de la tierra en el comportamiento del ciclo hidrológico, mediante la evaluación de cuatro escenarios; 1. Capacidad de uso del suelo, utilizando la metodología del INAB; 2. Uso de la tierra del año 1980, 3. Uso de la tierra para el año 2000 y uso de la tierra para el año 2008. Esto se determinó a través de la comparación de los balances hídricos de suelo, así como con la estimación de los caudales máximos de escorrentía.

En base a los resultados obtenidos se concluye que del año 1980 para el año 2008 el bosque ha aumentado 2.49 % del total de área (19,854 ha) y el cultivo de café presenta un aumento de 6.72 % (1334 has), los centros poblados han aumentado un 4.81 % (955 has), para el caso de los cultivos agrícolas como hortalizas, frutales y granos básicos han disminuido un 14 % (2,780 has) provocando un aumento de la escorrentía superficial de 14 % y disminución de la recarga hídrica de 6.38 %.

Los servicios prestados fueron: el apoyo a los edafólogos en la elaboración del Mapa de taxonomía de suelos a escala 1:50,000 del departamento de Chimaltenango y Sacatepéquez y el apoyo al laboratorio de sistemas de información geográfica.

CAPITULO I

DIAGNÓSTICO DEL LABORATORIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN -MAGA-, GUATEMALA, GUATEMALA

1.1 Presentación

El presente diagnóstico es sobre la situación actual del laboratorio de la unidad de planificación geográfica y gestión de riesgo - UPGGR – del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, donde se incluyen los objetivos, la metodología utilizada y los resultados obtenidos.

El laboratorio tiene como objetivo generar información digital georeferenciada, para que la misma sea utilizada por el despacho ministerial para la toma de decisiones y ejecución de la política agropecuaria. Utilizando como instrumento el sistema de información geográfica que es un sistema de información asistido por el computador para la entrada, manipulación y despliegue de datos espaciales.

Actualmente el laboratorio ejecuta el proyecto de obtención de imágenes digitales a escala de detalle de la República de Guatemala que se integra de cuatro componentes: 1. Obtención de imágenes digitales y ortofotos, 2. Sistemas de almacenamiento de información, 3. Base cartográfica nacional escala 1:50,000 y 4. Digitalización e indexación de duplicados del registro general de la propiedad, también realiza actividades como digitalización de mapas geológicos y de talleres.

1.2 Marco Referencial

1.2.1 Ubicación

La UPGGR, del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación se encuentra ubicada en la 7ª. Ave.12—90, zona 13 ciudad capital. Dentro de ella se ubica el laboratorio.

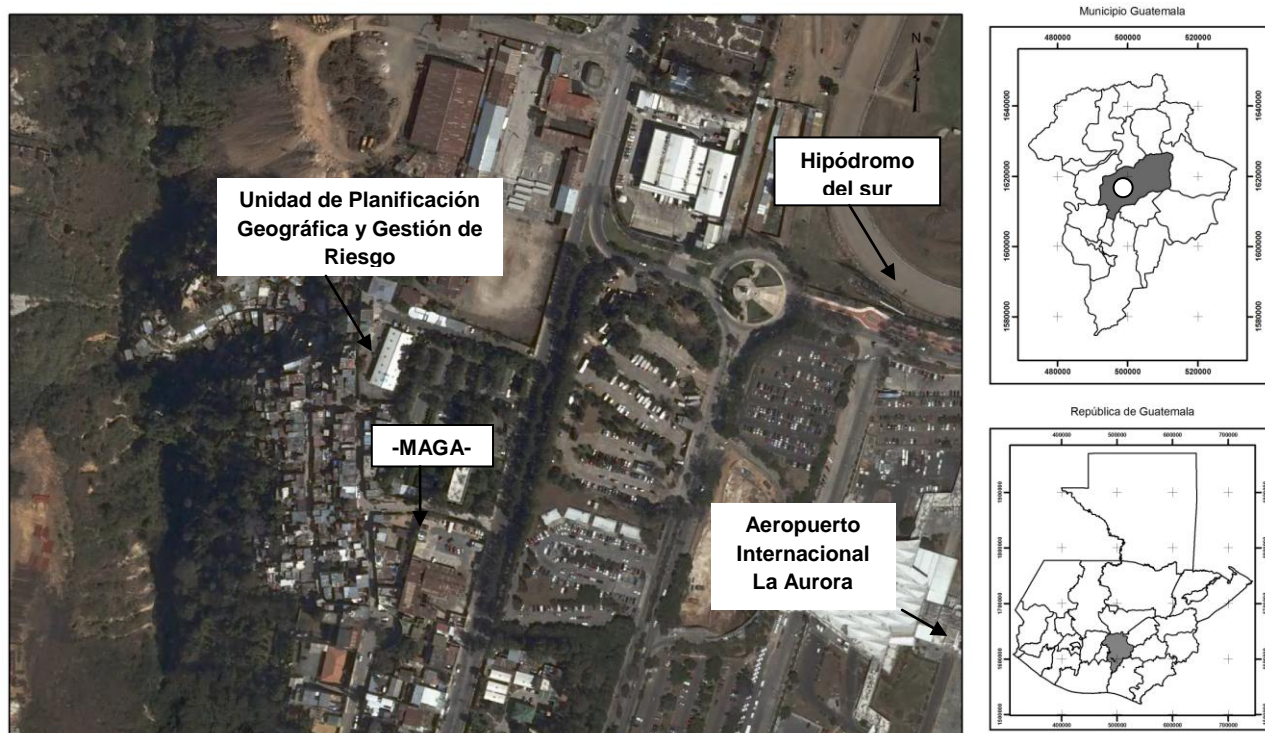


Figura 1. Ubicación de la unidad de planificación geográfica y gestión de riesgo -UPGGR-

1.3 Objetivos

1.3.1 General

- Diagnosticar el laboratorio de sistemas de información geográfica de la Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo – UPGGR - del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA –

1.3.2 Específicos

- Describir y conocer la situación actual del laboratorio de sistemas de información geográfica.
- Identificar y describir los proyectos ejecutados y en ejecución del laboratorio de la UPGGR.
- Identificar los principales problemas dentro del laboratorio.

1.4 Metodología

Procedimientos y pasos que se efectuaron para la elaboración del diagnóstico del laboratorio de la Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo –UPGGR- del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. – MAGA –

1.4.1 Recopilación de información secundaria del laboratorio de la unidad

Se recopiló información con respecto a lo siguiente: Misión, visión, objetivos, organización y funciones de la unidad, procedimientos operativos, normas de aplicación interna del personal y reglamento de funciones y operaciones, proyectos ejecutados y proyectos en ejecución.

1.4.2 Observación directa en el laboratorio:

Durante el diagnóstico se llevó a cabo una observación directa en el laboratorio con el fin de recopilar información primaria como el equipo disponible, el número de personal, etc.

1.4.3 Entrevistas

Para la recopilación de información primaria se procedía entrevistar al personal integrada por: PhD. José Miguel Duro coordinador de la unidad, Lic. Rafael López encargado del área administrativa, Ing. Agr. Rovoham Monzón encargado del laboratorio, Ing. Agr. Rudy Vásquez encargado del área técnica y gestión de riesgo, a las secretarías, conserjes, asistentes operativos, técnicos en proceso I y II.

1.4.4 Ordenamiento de información secundaria y primaria:

Para el ordenamiento de la información tanto secundaria como primaria es importante tener como primer punto los aspectos generales (antecedentes, misión de la unidad, visión de la unidad y sus objetivos), luego la organización y funciones de la unidad (organigrama general), luego los diferentes procedimientos operativos (procesamiento de información, generación de cartografía, proyectos vinculados, etc.), y al final las normas de la institución.

1.4.5 Interpretación de la información secundaria y primaria.

Para la interpretación de la información se tomó en cuenta los aspectos económicos y sociales.

1.5 Resultados

1.5.1 Situación actual del Laboratorio de la UPGGR

A. Ubicación

El laboratorio de sistemas de información geográfica se encuentra ubicado en el segundo nivel de la Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.

B. Objetivo del laboratorio

Generar información digital georeferenciada, para que la misma sea utilizada por el Despacho Ministerial para la toma de decisiones y ejecución de la política agropecuaria.

C. Personal de laboratorio

1. Jefe de Laboratorio: Ing. Agr. Rovoham Monzón.
2. Técnicos Analistas: Henry Morales, Oscar Rolando González, Dauno Chew, Genners Barrios.
3. Técnicos en procesos: José Folgar, Walter Palacios Ávila.
4. Técnicos digitalizadores: Luis Fernando Vargas, Marco Francisco Ralon, Odilia Pineda Paiz, Miriam Tejeda.
5. Administrador de base de datos: Elmer Pérez.

D. Funciones del personal de laboratorio:

a. Administrador de Base de Datos

- Administración de la SAN (Servidor de Almacenamiento de gran capacidad).
- Administración de la Red.

- Administración de la Base de Datos Geográfica (GEODATABASE).
- Análisis y Desarrollo de Sistemas.
- Desarrollo del sistema de Taxonomía de suelos (Base de Datos, aplicación para el ingreso de datos y el modulo de consultas).
- Desarrollo y Administración del Portal Web (MAGA, 2002).

b. Analistas en sistemas de información geográfica:

- Genera bases de datos cartográficas – temáticas y productos derivados del análisis con SIG de acuerdo a procesos metodológicos y estándares de calidad indicados por el jefe técnico del laboratorio SIG, a escala 1:50,000.
- Brinda apoyo técnico a los consultores que se contratarán para la elaboración de las bases de datos cartográficas y de los productos derivados del análisis con el SIG.
- Procesa la información, según los criterios de análisis establecidos.
- Participa activamente en los procesos de capacitación que la jefatura indique en la temática de información geográfica de su competencia.
- Participa activamente en la promoción y atención al usuario del laboratorio que la jefatura le indique.
- Representa a la unidad y al MAGA en los eventos que la coordinación le indique.
- Rinde informes mensuales o cuando se le requiera, a la jefatura, sobre los avances de ejecución física en lo que se refiera a su competencia.
- Velar por el buen uso de los bienes y recursos asignados (MAGA, 2002).

c. Técnico en proceso SIG

- Realiza ediciones digitales de la cartográfica temática que le sea asignada.
- Apoya a los analistas SIG en el desarrollo de tareas básicas que le designe el Jefe Técnico de la unidad.
- Realiza la coordinación logística del mantenimiento preventivo y correctivo del equipo de cómputo y software de la unidad.
- Se encarga de mantener actualizado un inventario del equipo de cómputo y software con que cuente la unidad.

- Representa a la unidad y al MAGA en los eventos que la coordinación le indique.
- Rinde informes mensuales o cuando se le requiera, a la Jefatura, sobre los avances de ejecución física en lo que se refiera a su competencia.
- Vela por el buen uso de los bienes y recursos asignados a su cargo (MAGA, 2002).

d. Técnico digitalizador

- Realiza ediciones digitales de la cartografía temática que le sea asignada.
- Rinde informes mensuales o cuando se le requiera, a la Jefatura, sobre los avances de ejecución física en lo que se refiera a su competencia.
- Vela por el buen uso de los bienes y recursos asignados a su cargo (MAGA, 2002).

E. Equipo e instrumento de laboratorio

a. Instrumento

El laboratorio de la UPGGR utiliza como instrumento el sistema de Información Geográfica que es un sistema de información asistido por el computador para la entrada, manipulación y despliegue de datos espaciales. El objetivo de estos sistemas es contar con lo siguiente:

1. Ubicación espacial del problema de estudio
2. Un sistema normal de recolección de datos
3. Información organizada
4. Información actualizada
5. Información instantánea
6. Representación gráfica del problema
7. Permitir modelos complejos

El laboratorio utiliza el SIG como un instrumento para crear y actualizar mapas, constituyéndose en una tecnología para combinar e interpretar mapas y en una revolución informática en cuanto a la estructura, contenido y uso del mapa.

Actualmente se tienen dos tendencias en cuanto a los SIG, procesamiento de tipo descriptivo, esto es inventario de la información, y procesamiento de tipo prescriptivo, análisis y modelamiento de la información, siendo éste último el más importante, por sus características de apoyo en cuanto a la toma de decisiones.

Para la utilización del SIG en el laboratorio se utiliza un conjunto de programas de computadora que integran diferentes funciones. Desde la captura de datos, en particular de mapas espaciales con información coherente, cargar y almacenar datos de mapas espaciales internamente referenciados geográficamente, para uso posterior de los mismos, analizar y modelar (manipular, sobreponer, medir, calcular y recuperar) los datos espaciales hasta obtener resultados, despliegue de nuevos mapas o resultados en forma tabular.

En general, se utilizan tres notaciones básicas para representar la posición espacial de los fenómenos geográficos: puntos, líneas y polígonos.

Hay dos métodos para identificar esta información espacialmente. El primero es utilizando mediciones reales en la forma de coordenadas (x, y), llamado formato vectorial. El segundo comprende la definición de los fenómenos geográficos por medio de las relaciones entre puntos y líneas, las redes, la contigüidad de los polígonos y la proximidad de las celdillas, llamado formato raster. En el laboratorio se utiliza el formato vectorial.

b. Equipo

- 3 - Estaciones de fotogrametría digital
- 4 – Estaciones de análisis espacial
- 4 – Estaciones de digitalización
- 1 – Estación de administración de base de datos
- 2 – Plotter de 42 pulgadas
- 1 – Plotter de 24 pulgadas
- 84 – discos duros de 500 Gigas

c. Software

Arc Gis: Lo utilizan para análisis espacial vectorial y Raster, para el manejo de coordenadas y la edición de mapas, el cual cuenta con los siguientes componentes:

- ✓ Arc Map: para cargar capas, desplegar y analizar información.
- ✓ Arc catalogo: administrador de capas
- ✓ Toolbox: herramientas de análisis
- ✓ Arc ecens: maneja en tercera dimensión
- ✓ Arc glob: maneja la base de datos mundial.

F. Actividades

a. Proyectos ejecutados

1. Atlas temático de las cuencas hidrográficas de la República de Guatemala: publicado en diciembre de 2004.
2. Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala: publicado en el año 2003.
3. Cartografía y análisis de la vulnerabilidad a la seguridad alimentaria en Guatemala.
4. Clasificación de municipios para el desarrollo de obras viales prioritarias.

b. Proyectos en ejecución

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

Posee cuatro componentes que son:

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

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

c. otras actividades

- Procesamiento de información digital.
- Generación de cartografía digital.
- Apoyo a proyectos vinculados al MAGA.
- Apoyo a diferentes instituciones del Estado.
- Aspectos de gestión de riesgo.
- Apoyo a usuarios externos.
- Resolución de contingencia del Área técnica.
- Realización de actividades administrativas.

1.5.2 Interpretación de resultados

Para la interpretación de la información recopilada se utilizó la herramienta FODA para determinar las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas que existen en el laboratorio de la unidad.

Cuadro 1. Análisis FODA

INTERNAS FORTALEZAS	EXTERNAS OPORTUNIDADES	INTERNAS DEBILIDADES	EXTERNAS AMENAZAS
Trabajo en equipo	Generación de empleos y formación de profesionales en SIG.	Falta de promoción y publicidad de los proyectos elaborados.	Deficiencia del Proceso de requerimiento de material y equipo.
Comunicación	Digitalización de mapas para otros proyectos que conllevan a la solución de problemas.	Falta de capacitación en el SIG.	Poco personal para la aplicación del SIG en la agronomía.
Apoyo institucional	Información actualizada para la generación de proyectos	Falta de personal capacitado en el tema de SIG vrs. Recursos naturales renovables.	Las personas desconocen de los proyectos ejecutados y en proceso y de los beneficios que ofrecen los mismos.
Disponibilidad de software	Ubicación espacial del problema de estudio para diferentes fines.	Personal capacitado en la fotointerpretación digital.	Poco interés en la generación de información digital y generación de bases de datos para consulta y planificación.
Almacenamiento de información	Información organizada con el objetivo de obtener resultados concisos.	Falta de promoción de la degradación de los recursos.	
Eficiencia del servidor a las maquinas.	Información instantánea para los demandantes.		
	Representación gráfica del problema, importante para la observación de la magnitud de cualquier problema		
	Generación de bases de datos para la realización de cualquier mapa en estudio.		

1.5.3 Priorización de problemas

Los principales problemas que fueron definidos a través del análisis FODA son los siguientes:

1. Falta de profesionales en la agronomía que manejen el SIG.
2. Falta de un programa de capacitación a los profesionales.
3. Desconocimiento de los proyectos ejecutados por la unidad y proyectos en proceso.
4. Falta de promoción de los resultados obtenidos.

Para ubicar estos problemas en orden de importancia, se utilizaron ámbitos con mayor relevancia que son: 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	
1	10	10	10	30
2	7	7	10	24
3	7	8	10	25
4	10	10	10	30

Según la priorización de los problemas los más importantes son: la falta de profesionales en la agronomía que manejen el SIG y la falta de promoción de los resultados obtenidos.

El laboratorio de la UPGGR tiene una estrecha relación con respecto a los trabajos de campo, ya que si no existen datos tabulados en forma descriptiva no se procede a la digitalización de los mismos.

1.5.4 Soluciones

De acuerdo a los problemas establecidos se ve la necesidad de realizar una investigación del impacto de cambio de uso del suelo, principalmente del área de Sacatepéquez que es el departamento que en el proyecto de taxonomía de suelos corresponde trabajar. Con ello se pretende divulgar la degradación de los recursos a los habitantes de nuestro país. Así mismo el impacto del cambio de uso de los suelos; con ello se pretende una mayor agilización de los datos que se obtienen en el campo para la digitalización y elaboración de mapas de taxonomía de suelos en el laboratorio y prestar servicios como la socialización en las comunidades, fotointerpretación digital, descripción de calicatas, cajuelas y barrenajes.

1.6 Conclusiones

La UPGGR tiene como objetivo la generación de información digital georeferenciada, así como la utilización de la misma para orientar la toma de decisiones del Despacho del MAGA e instituciones vinculadas.

El Laboratorio de la Unidad genera información digital georeferenciada, el cual está comprendido por analistas, técnicos en proceso, técnicos digitalizadores y administrador de la base de datos. Cuenta con 12 estaciones de trabajo, plotter, 84 discos duros de 500 gigas para el sistema de almacenamiento, licencia de Arcview y Arcinfo con el software ArcGis con los componentes Arc Map: para cargar capas, desplegar y analizar información. Arc catalogo: administrador de capas Toolbox: herramientas de análisis Arc ecens: maneja en tercera dimensión y Arc glob: maneja la base de datos mundial.

Ejerce el proyecto llamado obtención de imágenes digitales a escala de detalle de la República de Guatemala que posee cuatro componentes: obtención de imágenes digitales y ortofotos, sistemas de almacenamiento de la información, actualización de la base cartográfica 1:50,000 y la digitalización e indexación de duplicados del registro general de la propiedad.

Los principales problemas dentro del laboratorio son: 1. La falta de profesionales agrónomos con el manejo de sistemas de información geográfica y 2. La falta de promoción y divulgación de los proyectos elaborados para la agilización de los trabajos de campo para la digitalización y elaboración de mapas taxonómicos.

1.7 Bibliografía

1. 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.
2. _____. 2002. Reglamento de operatividad y funciones de la unidad. Guatemala. 25 p.
3. _____. 2005. Atlas hidrológico. Guatemala. Escala 1:1,000,000
4. _____. 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.
5. _____. 2006. Mapas temáticos digitales de la república de Guatemala, a escala 1:250,000. Guatemala. 1 CD.

CAPITULO II

**DINÁMICA DEL CAMBIO DE USO DE LA TIERRA Y SU IMPACTO EN EL
COMPORTAMIENTO DEL CICLO HIDROLÓGICO DE LA PARTE SUR DE
LA SUBCUENCA DEL ALTO GUACALATE, GUATEMALA.**

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

2.1 Presentación

Debido a la degradación de los recursos renovables y no renovables y al desbalance del ciclo hidrológico, es importante determinar el impacto tanto negativo como positivo del cambio del uso de la tierra tomando en cuenta principalmente la cobertura, la deforestación y la urbanización. La magnitud del impacto no se ha determinado, solamente se han determinado impactos asociados como deslizamientos, inundaciones, pérdida de infraestructura, incluso pérdida de vidas humanas.

El presente estudio de la parte sur de la subcuenca del Alto Guacalate abarca las microcuencas de los ríos Nimayá, Ramuxat, Blanco, Pensativo I, Pensativo II – Pilar y Guacalate II con un total de 42 poblados incluyendo granjas, fincas, municipios, etc, los principales municipios son las siguientes; parte sur de Antigua Guatemala, Santa Lucia Milpas Altas, Magdalena Milpas Altas, Santo Tomas Milpas Altas, San Mateo Milpas Altas, María de Jesús, San Juan El Obispo, y San Pedro las Huertas del departamento de Sacatepéquez, Guatemala.

El objetivo fue determinar el cambio de uso de la tierra analizando el aumento urbano, disminución de áreas boscosas y el aumento de la frontera agrícola; así mismo se analizó el impacto del cambio de uso de la tierra sobre la escorrentía superficial y recarga hídrica del balance hídrico y se compararon caudales máximos de escorrentía bajo condiciones de capacidad de uso y en condiciones de uso del año 2008, 2000 y 1980. El estudio se desarrolló a una escala de semidetalle (1:50,000), por contar con información cartográfica a este nivel, la obtención de información de campo se llevó a cabo durante el mes de agosto del año 2007 al mes de agosto del año 2008 tiempo que duró la investigación. Al final de la investigación se logró la descripción de la dinámica de cambio de uso del suelo durante un periodo de 28 años, así como la determinación del impacto en base al cálculo de los balances hídricos de suelo y caudales máximos.

En resumen, los cultivos anuales fueron desplazados por el café y la urbanización en un 14 % del área total, provocando un aumento de la escorrentía en un 11.32 % y una

disminución de la recarga hídrica en un 6.38%, la información se generó por medio de los balances hídricos. La investigación fue de gran importancia para conocer la degradación de los recursos naturales y generación de información importante para la justificación de una propuesta de ordenamiento territorial.

2.2 Definición del problema

Dada las necesidades de los seres humanos y el crecimiento poblacional, los recursos naturales renovables y no renovables se van degradando cada día y aunado a esto el aumento de poblados, pavimentos, deforestación y área agrícola que provocan cambios positivos y negativos, dependiendo de la forma y el grado de utilización de los recursos.

La urbanización y la agricultura son las principales actividades que inducen el cambio de uso de la tierra provocando cambios en los componentes del ciclo hidrológico como baja retención e infiltración por la disminución de la cobertura, mayor escorrentía superficial por el aumento de pavimentos y techos, menor infiltración del agua en la superficie del suelo y una menor cantidad de agua en los mantos acuíferos.

El crecimiento poblacional es efectivo en zonas cercanas a la ciudad capital principalmente en áreas turísticas como la Antigua Guatemala y pequeños poblados aledaños, el crecimiento agrícola es evidente en las faldas del volcán de agua debido a la siembra de café en áreas aptas para cultivos anuales con menor pendiente provocando la disminución de áreas de protección de los volcanes.

Para comprobar este fenómeno se realizaron comparaciones de la escorrentía superficial, la recarga hídrica mediante balances hídricos y caudales máximos, con el fin de evaluar el impacto del cambio de uso de la tierra.

2.3 Marco Teórico

2.3.1 Marco conceptual

A. Ciclo hidrológico

Los recursos hídricos tienen como referencia al ciclo hidrológico, el cual consiste en la continua circulación del agua sobre nuestro planeta (Cardona, 2006).

a. Los factores responsables del movimiento del agua en la atmósfera:

1. La energía térmica solar, produce una circulación del aire en la atmósfera debido al calentamiento desigual de la superficie terrestre, originando varios fenómenos meteorológicos.
2. La fuerza de gravedad, responsable de los fenómenos de precipitación, infiltración, convección, etc.
3. Presión atmosférica, a causa de los vientos. En meteorología se llama viento al desplazamiento horizontal de aire y corriente al desplazamiento vertical.
4. Las fuerzas intermoleculares, originan fenómenos capilares y de viscosidad, afectando la velocidad del flujo.
5. Actividades humanas, actividades de riego, drenajes, embalses, etc, (Cardona, 2006).

b. Las fases principales del ciclo hidrológico:

1. Evaporación del suelo, plantas y océanos.
2. Formación y desplazamientos de nubes y niebla.
3. Condensación del agua y precipitación en forma de lluvia, nieve, granizo, etc.
4. Escorrentía superficial sobre el suelo.
5. Infiltración, en el perfil del suelo.
6. Percolación a estratos más profundos.
7. Flujo subterráneo y retorno a la superficie (manantiales y pozos).
8. Formación de corrientes superficiales, como ríos y arroyos.
9. Descarga en lagos, océanos y mares (Cardona, 2006).

Este ciclo se compone de otros ciclos en distintos ecosistemas (continentales, regionales o locales) y aunque el total del volumen del agua en el ciclo hidrológico permanece constante, la distribución del agua cambia continuamente sobre cada región o sobre las cuencas de los ríos, de aquí que en los estudios locales sea necesario estudiar el clima durante una serie de años, y así obtener los datos medios sobre precipitaciones caídas en cada región (Cardona, 2006).

A. 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 Es la precipitación sobre el terreno

EV Es la evaporación de la superficie libre del agua sobre el terreno

q_a y q_e Son el escurrimiento afluente y efluente

I Es la infiltración en el suelo del agua sobre el terreno

A Es el cambio en el almacenamiento de detención de agua en la superficie del terreno

B. 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, 2002).

a. Determinación de la evapotranspiración potencial

Para el cálculo de la evapotranspiración puede utilizarse métodos directos e indirectos. En los métodos indirectos existen varias formulas 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 otros 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 optimo y con un determinado suministro de agua. Sin embargo existe un límite superior de la cantidad de agua que realmente vuelve a la atmosfera 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.

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 en la cual se aplica riego (Herrera, 2002).

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 la recarga potencial, el

escurrimiento superficial y la necesidad de riego de la unidad en lamina de agua, los cálculos los efectúa con un intervalo mensual (Herrera, 1995).

C. 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, 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 la 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. En virtud de que la zona intermedia no es afectada por el proceso de evaporación o absorción de la 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:

1. Clima: entre los factores del clima que influyen en la recarga hídrica natural están la precipitación y la evapotranspiración (Cardona, 2006).
2. Suelo: 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 del 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 (Cardona, 2006).

3. 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 (Cardona, 2006).
4. 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 (Cardona, 2006).
5. 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 (Cardona, 2006).
6. Esgurrimiento: 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

D. 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 y Navarro, 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 y Navarro, 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 y Navarro, 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 y Navarro, 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. 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 y Navarro, 1996).

E. 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 (Martínez y Navarro, 1996).

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 (Martínez y Navarro, 1996).

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. En caso contrario, se formará en la superficie una lámina de agua que puede

llegar a ponerse en movimiento por acción de la pendiente del terreno (Martínez y Navarro, 1996).

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 (Martínez y Navarro, 1996).

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 (Martínez y Navarro, 1996).

F. 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).

G. El proceso erosivo

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 (Asturias, 2006).

Factores determinantes del 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:

- i. Protege el suelo de la percusión de las gotas de agua.
- ii. Aumenta el poder de infiltración del suelo, disminuyendo el volumen de agua de escorrentía.
- iii. 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.
- iv. 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.

H. Historia natural de la urbanización

Tanto si se estudia la ciudad desde un punto de vista morfológico como funcional, retrocediendo incluso hasta las sociedades animales, los rasgos esenciales de lo urbano ya se pueden encontrar tanto en la forma externa como en el modelo interno de estos primitivos asentamientos (Asturias, 2006).

La tendencia a la cohabitación formal y a la residencia estable dio lugar, a una forma ancestral de ciudad: la aldea, un instrumento colectivo resultado de la nueva economía agraria. Esta aldea exhibía ya sus principales características: un perímetro definido, ya fuera por una empalizada o por un montículo de tierra, separándola de los campos circundantes; viviendas, así como vertederos y cementerios (Asturias, 2006).

La aparición de la ciudad a partir de la aldea fue posible gracias a las mejoras en la agricultura y en la conservación de los alimentos, en particular, el cultivo de cereales que podían ser producidos en abundancia y almacenados. Lo cual permitía cierta seguridad frente a los años de escasez, y permitía alimentar a un mayor número de población que no se dedicaba directamente a tareas relacionadas con la producción de alimento (Asturias, 2006).

Una tendencia que distingue a la ciudad es la pérdida de los vínculos que unen a sus habitantes con la naturaleza y la transformación, eliminación o sustitución de los elementos más condicionados por el entorno natural, cubriendo el territorio natural con un escenario artificial que ensalza la dominación del hombre y estimula la ilusión de su independencia completa respecto de la naturaleza (Asturias, 2006).

Cada uno de los elementos que caracterizaban la nueva forma urbana (la muralla, las viviendas duraderas, las arquerías, la calle pavimentada, los almacenes de provisiones, el acueducto, el alcantarillado) reducía el impacto de la naturaleza y aumentaba el dominio de la humanidad. La sustitución de la naturaleza por la ciudad descansaba, en parte, en la ilusión de autosuficiencia e independencia y la ilusión de la posibilidad de una continuidad física sin una renovación consciente (Asturias, 2006).

Esto sucede cuando la ciudad pierde su relación simbiótica con su entorno inmediato; cuando el crecimiento sobreexplota los recursos locales como el agua y pone en peligro su suministro; cuando, para proseguir su crecimiento, una ciudad se ve obligada a buscar agua, combustible o materias primas para su industria más allá de sus límites inmediatos; y, por encima de todo, cuando su tasa interna de nacimientos se hace insuficiente para mantener, si no aumentar, su población (Asturias, 2006).

Hasta este punto, cuando la ciudad alcanza los límites de sostenibilidad de su propio territorio, el crecimiento se produce a través de la colonización. Superada esta fase, el crecimiento tiene lugar, desafiando los límites naturales, a través de una ocupación intensiva del territorio y de una invasión de las áreas circundantes, y de las ciudades rivales que compiten por los mismos recursos (Asturias, 2006).

Cuanto mayor es el nivel de urbanización, más decisiva aparece la independencia respecto de las limitaciones naturales; cuanto mayor es el desarrollo de la ciudad como entidad independiente, más irreversibles resultan las consecuencias para el territorio que domina (Asturias, 2006).

Las fuerzas ciegas de la urbanización, fluyendo a lo largo de las líneas de menor resistencia, no muestran ninguna capacidad de crear un modelo urbano e industrial que sea estable, sostenible y renovable. Por el contrario, según aumenta la congestión y prosigue la expansión de la ciudad, tanto el paisaje urbano como el rural se desfiguran y se degradan, al tiempo que las inútiles inversiones para solucionar la congestión, como la construcción de nuevas autopistas o la utilización de recursos hídricos más distantes, aumentan las cargas económicas y sólo sirven para promover más ruina y desorden del que intentan paliar (Asturias, 2006).

I. Impactos ambientales de la urbanización

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. 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. 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 (OPS, 1998). 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 (Asturias, 2006).

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 (Asturias, 2006).

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?”* (Asturias, 2006).

La conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente, reunida en Estocolmo, Suecia, del 5 al 16 de junio de 1972 citado por Asturias (2006), 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

El Fondo de Población de la ONU (UNFPA), tomado de (Asturias, 2006), 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. 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.

El informe *Estado de la Población Mundial 1999*, del Fondo Poblacional de las Naciones Unidas citado por (Asturias, 2006), 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.*

Peña (2001), quien realizó un estudio de cambios del uso del suelo 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?, ¿a dónde 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. 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 cuáles 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 (Reyna, 1998)

- **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 (Reyna, 1998)
- **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 (Reyna, 1998)

J. 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.

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 y 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 almacenado sobre la superficie), las depresiones más grandes del terreno continúan llenándose y 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.

K. El valor máximo de escurrimiento

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 esorrentía. 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).

La hipótesis fundamental de esta fórmula 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 está 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.

Las limitaciones más importantes que tiene esta metodología son:

1. Proporciona solamente un caudal pico, no el hidrógrama de creciente.
2. 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.
3. 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:

- a. 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.
- b. 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.
- c. 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.
- d. 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.

- e. 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 citado por Asturias (2006); en ella los coeficientes de escorrentía variaban con el período de retorno de la tormenta.

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 = Intensidad media de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca (mm/h)

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

i. Estimación del tiempo de concentración (t_c)

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

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

Donde:

$$t_c = \text{Tiempo de concentración (minutos)}$$

$$L = \text{Longitud del cauce principal (km.)}$$

$$S = \text{pendiente media del cauce (m/m)}$$

Según Rowe:
$$t_c = (0.87 L^3 / H)^{0.385}$$

Donde:

t_c = Tiempo de concentración (horas)

L = Longitud del cauce principal (km.)

H = Diferencia de elevación entre los extremos del cauce principal (m)

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

Donde:

t_c = tiempo de concentración (horas)

L = Longitud del cauce principal (m)

S = pendiente media del cauce (%)

ii. 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 está integrada por diferentes tipos de superficie, se calcula un coeficiente de escurrimiento promedio (Asturias, 2006).

iii. 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).

iv. 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).

b. Fórmula empírica de Mac Math

La fórmula de Mac Math Calcula el caudal máximo o caudal pico de esorrentía utilizando la expresión:

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

Donde:

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

C =Factor de esorrentía de Mac Math, representa las características de la cuenca

$$C = C1 + C2 + C3$$

Donde:

C1 = Coeficiente de cobertura (ver cuadro 3)

C2 = Coeficiente de textura (ver cuadro 3)

C3 = Coeficiente de Pendiente (ver cuadro 3)

I = intensidad máxima de la lluvia, para una duración igual al tiempo de concentración t_c , y un periodo de retorno de t años (mm/h)

A = área de la cuenca (has.)

S = Pendiente media del cauce principal (m/km) (Asturias, 2006).

Cuadro 3. Valores de coeficientes de escorrentía (C)

<i>Tipo de área</i>	<i>Coficiente "C"</i>
Residencial	
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
Comercial	
Centro de la Ciudad	0.70 - 0.95
Fuera del centro de l 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
Industrial	
Ligera	0.50 - 0.80
Pesada	0.60 - 0.90
Techos	0.75 - 0.95
Calles	
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 - .060
Parques, jardines y prados	
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
Áreas Agrícolas	
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

Tomado de: Fundamentos de Hidrología de superficie. Francisco Javier Aparicio Mijares. México. 2001, Editorial Limusa (Asturias, 2006).

Cuadro 4. Valores del coeficiente C de la escorrentía

Topografía y vegetación	Textura 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

Tomado de: 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 (Asturias, 2006).

Cuadro 5. Coeficientes para formula 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) (Asturias, 2006).

2.3.2 Marco referencial

A. Generalidades

La parte sur de la subcuenca del Alto Guacalate se ubica en el altiplano central de la República de Guatemala. La subcuenca es parte de la cuenca del río Achíguate en la vertiente del pacífico. En esta 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, 2005).

La parte sur de la subcuenca del Alto Guacalate, está comprendido de las microcuencas de los ríos Nimayá, Ramuxat, Blanco, Pensativo I, Pensativo II – Pilar y Guacalate II (MAGA, 2006).

B. Localización del área de estudio

Se encuentra comprendida entre los meridianos $90^{\circ}53' 24''$ y $90^{\circ} 39'$ 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 Achíguate y al oeste la cuenca del río Coyolate. La elevación esta considerada entre los 1,380 a los 2,225 msnm (MAGA, 2006).

C. Características hidrográficas

Las microcuencas forman parte de la cuenca del río Achíguate (se localiza entre las cuencas de los ríos Motagua, Coyolate, María Linda y Achíguate). 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 son el río Itzapa, donde se origina el cauce principal de la subcuenca, los ríos Guacalate y Pensativo (MAGA, 2002).

D. Geología

Los materiales geológicos superficiales son principalmente rocas ígneas, rellenos piroclásticos y una cubierta gruesa de ceniza pómez del cuaternario (MAGA, 2006).

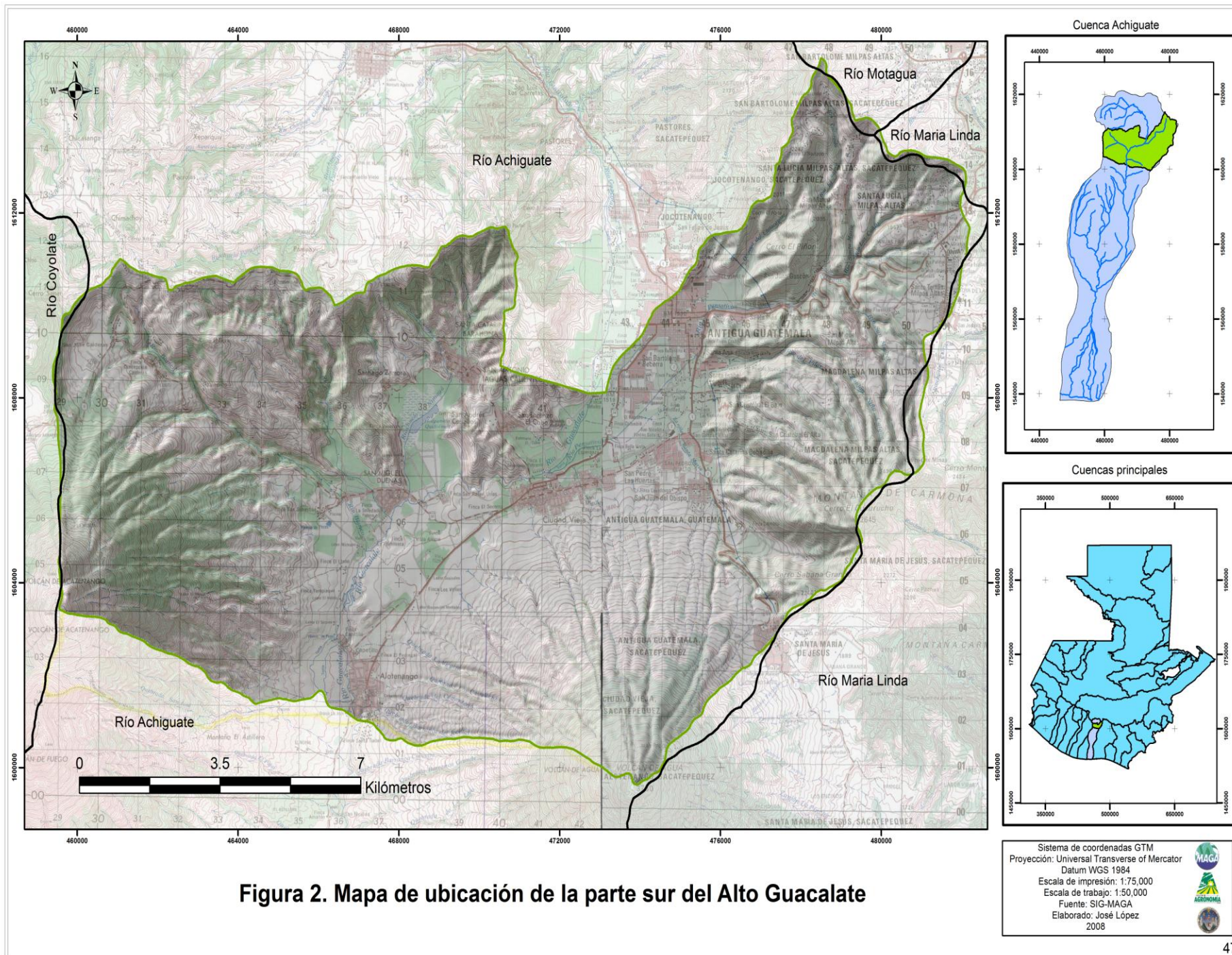


Figura 2. Mapa de ubicación de la parte sur del Alto Guacalate

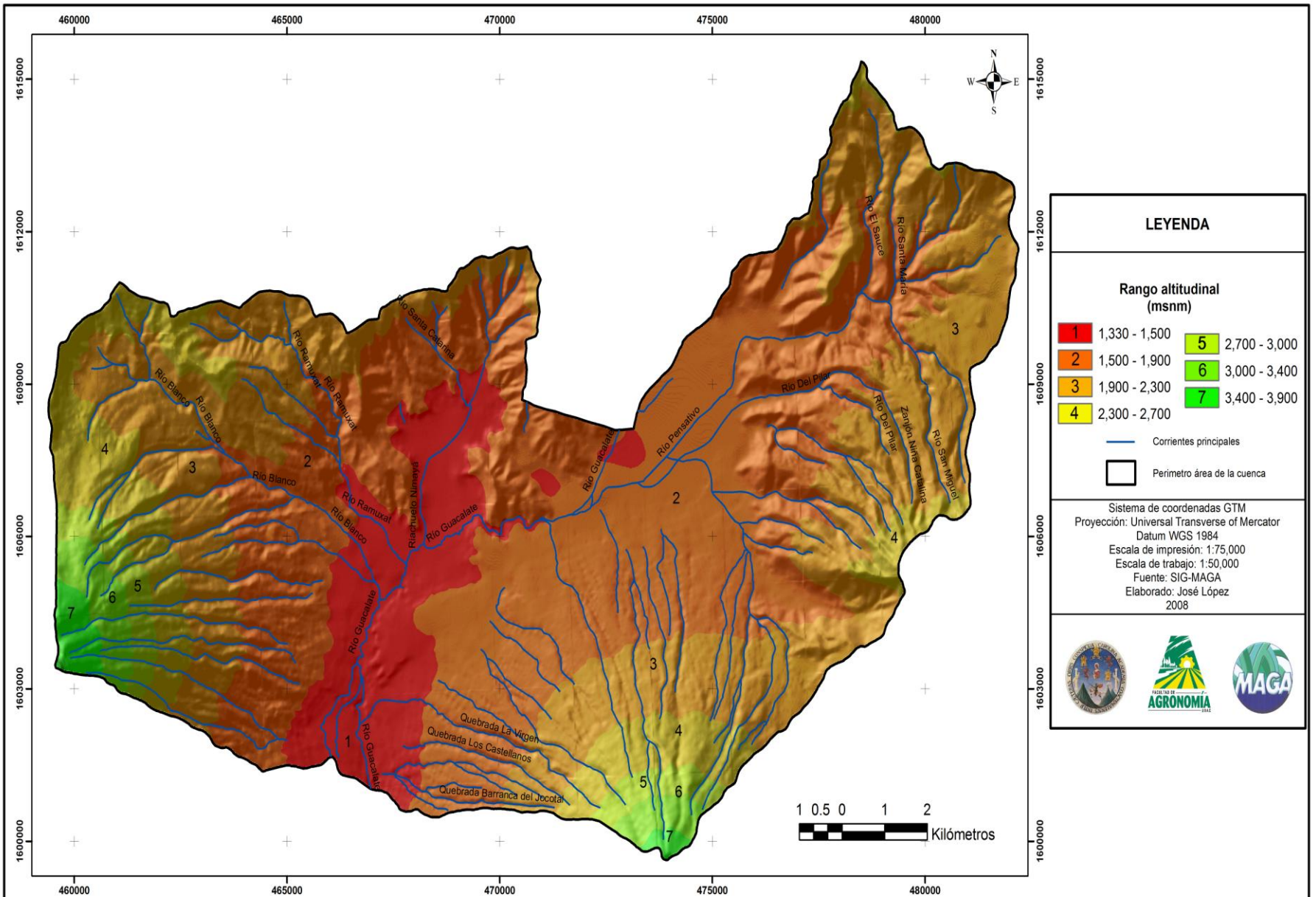


Figura 3. Mapa de hidrografía y relieve, parte sur Alto Guacalate

E. Fisiografía

La subcuenca se localiza en lo que se denomina la región fisiográfica tierras altas volcánicas, comprende principalmente lo que se conoce como altiplano (MAGA, 2005).

Existen dentro del área de estudio dos subregiones 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, 2005).

F. 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).

G. Características climáticas

Según el sistema de clasificación climática de Thornthwaite, 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 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 del área, está entre los rangos de 14 a 21 grados centígrados, con una precipitación pluvial media al año de 600 a 1000 mm. La evapotranspiración potencial es de 300 a 500 mm (MAGA, 2005).

H. Suelos

Dentro de la subcuenca se han realizado dos clasificaciones de suelos, una referida a nivel de reconocimiento, escala 1:250,000 por Simmons, Tarano y Pinto (1959) citado por

el MAGA (2002) y la clasificación taxonómica realizada a nivel general 1:100,000 por Herrera (1998) y las características de las mismas se presentan a continuación. (12 y 27) 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 Eutrands. (Fuentes, 2008)

I. Ecología

En la subcuenca Alto Guacalate, se ubican tres zonas de vida que son:

a. Bosque húmedo montano bajo (bh-MB)

La altitud va de 1,500 a 2,400 msnm. El relieve varía de ondulada a accidentada, pero presenta algunas pequeñas mesetas que constituyen las mejores áreas agrícolas de la región. El área en su mayor parte es de vocación forestal, la vegetación natural indicadora son rodales de *Quercus* spp. Asociados generalmente con *Pinus pseudostrobus* y *Pinus montezumaea*, así como *Prunus capuli*, *Arbutus xalapensis*, *Alnus jorullensis*, *Ostria* spp. Y *Carpinus* spp. El uso apropiado para esta zona es agroforestal, pero los terrenos planos se pueden utilizar para cultivos, principalmente: maíz, frijol, hortalizas y frutales. De acuerdo con Cabrera Gaillard (1985) citado por el MAGA, en esta zona de vida, en lo que respecta a la subcuenca del río Pensativo, se identifican 2 asociaciones, una asociación climática y una asociación edáfica seca (MAGA, 2002).

b. Bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB)

Se caracteriza por clima frío, relieve accidentado en las laderas de los volcanes, área de vocación estrictamente forestal, elevación de 1800 a 3000 msnsm, la precipitación total anual es variable promediando 2,730 mm la biotemperatura varía de 12.5 °C a 18.6 °C. La vegetación dominante que puede considerarse como indicadora es: *Cupressus lusitánica*, *Chyrtodendron pentadactylon*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus hartwegii*, otras que se observan son *Alnus jorullensis* y *Quercus* spp (MAGA, 2002).

c. Bosque muy húmedo subtropical cálido (bmh-S (c)).

El relieve va desde plana hasta accidentado. La vegetación natural es una de las más ricas en su composición florística; sin embargo, citan como indicadoras en la costa sur, *Scheelea preusii*, *Terminalia oblonga*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Sickingia salvadorensis*, *Cibistax donell smithii*, *Andira inermis* (MAGA, 2002).

J. Población de la subcuenca alto Guacalate

La estimación poblacional para el año 2000 dentro de la subcuenca Alto- Guacalate asciende a 195,939 habitantes (ver cuadro 4), distribuidos en 32,657 familias de 6 miembros cada una. Como se observa, Chimaltenango y la ciudad de Antigua Guatemala, por ser las cabeceras departamentales, tienen la mayor concentración de población con 11% (20,578 personas) y 20% (38,337 personas), respectivamente (INE, 2002)

Cuadro 6. Distribución de población de la subcuenca Alto Guacalate

No.	Municipio	Hombres	Mujeres	Total	%
1	Antigua Guatemala	18,785	19,552	38,337	20
2	Chimaltenango	10,083	10,495	20,578	11
3	Sumpango	9,634	10,028	19,662	10
4	Ciudad Vieja	9,760	10,158	19,918	10
5	Jocotenango	7,404	7,707	15,111	8
6	San Andrés Itzapa	7,506	7,812	15,318	8
7	Santa María de Jesús	2,903	3,021	5,924	3
8	El Tejar	4,550	4,736	9,286	5
9	Pastores	4,635	4,825	9,460	5
10	Alotenango	4,535	4,721	9,256	5
11	Santa Lucía Milpas Altas	2,121	2,208	4,329	2
12	San Antonio Aguas Calientes	3,798	3,953	7,751	4
13	San Miguel Dueñas	3,247	3,379	6,626	3
14	Magdalena Milpas Altas	2,775	2,888	5,663	3
15	Parramos	3,063	3,188	6,250	3
16	Santa Catarina Barahona	1,210	1,259	2,469	1
	TOTAL	96,010	99,929	195,939	100

Fuente: INE, censo de población de 2000.

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 sur de la subcuenca Alto-Guacalate, Guatemala.

2.4.2 Objetivos específicos

- Determinar la dinámica de los cambios de uso de la tierra de la parte sur de la subcuenca Alto-Guacalate en los años 2008, 2000 y 1980.
- Estimar la escorrentía superficial y recarga hídrica mediante balances hídricos de suelos de la parte sur de la subcuenca Alto-Guacalate, en condiciones de capacidad de uso y en condiciones de uso del año 2008, 2000 y 1980.
- Estimar y comparar la magnitud de los caudales máximos de escorrentía para la parte sur de la subcuenca Alto-Guacalate bajo condiciones de capacidad de uso y en condiciones de uso del año 2008, 2000 y 1980.
- Monitorear el caudal y calcular los sedimentos en suspensión de la parte sur del río Alto Guacalate.

2.5 Metodología

El estudio se desarrolló a una escala de semidetalle (1:50,000), debido a que es información cartográfica de fácil acceso. Para cumplir con los objetivos propuestos en la presente investigación se utilizó la siguiente metodología:

Objetivo 1: Determinar el cambio de uso de la tierra de la parte sur de la subcuenca Alto-Guacalate.

Para determinar este cambio de uso de la tierra se establecieron cuatro escenarios con las cuales se realizó la comparación e interpretación, los escenarios fueron:

1. Uso a capacidad
2. Cobertura vegetal y uso de la tierra del año 2008
3. Cobertura vegetal y uso de la tierra del año 2000
4. Cobertura vegetal y uso de la tierra del año 1980

2.5.1 Elaboración de escenarios

A. Determinación de la capacidad de uso de la tierra (escenario 1)

La elaboración del mapa de capacidad de uso fue realizado 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 con la metodología del Instituto Nacional de Bosques (INAB).

Con el mapa publicado en el año 2002 se separó el área de estudio obteniéndose así la información del escenario capacidad de uso, la capacidad de uso de la tierra en el año 2002 se considera que es el mismo en el año 2008 ya que para su determinación se utilizó la metodología del INAB donde se toman en cuenta como factores determinantes: la pendiente y la profundidad efectiva, los factores modificadores: el drenaje y la pedregosidad, que para este año no existe un cambio que provoque se modificación.

B. Mapa de uso de la tierra 2008 (escenario 2)

a. Fase de gabinete inicial

Con la ayuda de la hoja cartográfica a escala 1:50,000 se delimitó la subcuenca bajo estudio para su escaneo y digitalización en el software Arc Gis 9.2, luego se utilizaron fotografías aéreas y ortofotos digitales del año 2006 para determinar su uso, la leyenda de uso de la tierra que se utilizó es basada en el sistema de clasificación adaptada por Schaal (1983) según el MAGA, para la elaboración del mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra publicado por el –MAGA- en el año 2006 (ver anexo 2).

b. Fase de campo

Debido a que se utilizaron fotografías aéreas y/o Ortofotos del año 2006, se llevó a cabo un caminamiento en el campo del área para la verificación y modificación de los usos para el presente año.

c. Fase de gabinete final

Luego de la verificación de campo se procedió a la digitalización de los polígonos e identificación dependiendo del uso de la tierra utilizando el software Arc Gis 9.2 y con ello se obtuvo el mapa de uso del año 2008.

C. Mapa de uso de la tierra del año 2000 (escenario 3)

Con la ayuda de un mapa de uso publicado en el año 2002, elaborado por la Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo UPGGR del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación del proyecto “plan de manejo subcuenca del río Pensativo–Alto Guacalate, Guatemala”, empleando fotografías aéreas a escala aproximada 1:30,000 del año 2000. Se delimitó el área de estudio para obtener el escenario 3.

La leyenda utilizada en el proyecto fue la de Centro Internacional de Preinversión para el Desarrollo Agrícola CIPREDA para lo cual se realizó una adaptación a la leyenda de uso de la tierra basada en el sistema de clasificación adaptada por Schaal (1983), utilizada en el mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra publicado por el MAGA (2006) (ver anexo 2).

D. Mapa de uso de la tierra del año 1980 (escenario 4)

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 a escala 1:30,000 y mapas cartográficos a escala 1:50,000, se separó el área de estudio digitalizándola en ARC-GIS y se obtuvo la información del uso del suelo 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) según el MAGA (2006), para la elaboración del mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra publicado por el MAGA (2006) (ver anexo 2).

Luego de haber elaborado los mapas de uso de la tierra en diferentes épocas y capacidad de uso, se realizaron los análisis correspondientes para cumplir con el primer objetivo determinando la dinámica de los cambios en el uso de la tierra.

Objetivo 2: Determinar la escorrentía superficial y recarga hídrica mediante balances hídricos de suelos de la parte sur de la subcuenca Alto-Guacalate, en condiciones de capacidad de uso y en condiciones de uso del año 2008, 2000 y 1980.

Luego de haber elaborado los mapas de uso de la tierra en los años 2008, 2000, 1980 y capacidad de uso de la tierra, estos sirvieron de base para la realización de balances hídricos de suelos, se estimaron y analizaron principalmente la escorrentía superficial y la recarga hídrica de cada uno de los escenarios y usos, así mismo tomando en cuenta las entradas y salidas de la siguiente ecuación:

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

Donde:

P Es la precipitación sobre el terreno

EV Es la evaporación de la superficie libre del agua sobre el terreno

qa y qe Son el escurrimiento afluente y efluente

I Es la infiltración en el suelo del agua sobre el terreno

A Es el cambio en el almacenamiento de detención de agua en la superficie del terreno

Se realizaron balances hídricos de suelos para los cuatro escenarios que se identificaron anteriormente, que son:

1. Uso a capacidad
2. Cobertura vegetal y uso de la tierra del año 2008
3. Cobertura vegetal y uso de la tierra del año 2000
4. Cobertura vegetal y uso de la tierra del año 1980

Los pasos generales que se llevaron a cabo para la elaboración de balances hídricos de suelos son:

2.5.2 Caracterización del clima

Se utilizaron un total de cuatro estaciones del INSIVUMEH, las cuales fueron: el Potrero, la Antigua, Chicasanga y Santa María de Jesús, los datos climáticos utilizados fueron la precipitación y evapotranspiración mensual.

Cuadro 7. Estaciones meteorológicas que conforman la parte sur del Alto Guacalate.

Estaciones	Coordenadas GTM		Altitud (msnm)
	Longitud	Latitud	
El potrero	471386	1606756	1500
Antigua	474915	1609616	1530
Chicasanga	460166	1613676	2280
Santa María de Jesús	477132	1602095	2100

Fuente: Orozco (2004), río Guacalate desde Antigua Guatemala hasta Alotenango

2.5.3 Caracterización del suelo

Los datos de suelos se obtuvieron de investigaciones realizadas en el área como en el caso de Orozco (2004) que elaboró un modelo matemático preliminar del sistema acuífero del valle aluvial del río Guacalate. Herrera (1983) elaboró una clasificación de suelos y otros estudios principalmente de sistemas de riego. Con estas investigaciones

se logró la recopilación de información de textura de suelo, constantes de humedad (capacidad de campo y punto de marchitez permanente), densidad del suelo y pruebas de infiltración.

Cuadro 8. Puntos de muestreo e infiltraciones

Localidad	Coordenadas GTM		Altitud (mns)	Infiltración básica (mm/día)	Textura	Capacidad de campo (%)	Punto de marchitez permanente (%)	Densidad gr/cc
	Longitud	Latitud						
Finca el Recreo	467276	1604905	1440	504	Franco arenoso	22.49	10.12	1.25
El Rosario, Calderas	461804	1609064	2120	302	Franco arenoso	24.31	11.82	1.21
La Guardianía	476235	1610605	1578	1152	Franco arenoso	18.52	7.77	1.29
Buena Vista	479161	1613121	2003	576	Franco arenoso	34.96	16.60	1.11
Santa Catarina Barahona	468744	1609337	1524	288	Franco arenoso	20.74	9.97	1.21
Santa María de Jesús	476240	1602009	2260	1224	Franco arenoso	29.33	13.04	1.21
Ciudad Vieja	472466	1604199	1805	58	Franco arenoso	28.05	12.98	1.21
Finca Retana	472115	1608651	1580	187	Franco arenoso	22.18	10.76	1.21
Finca El portal	473430	1610036	1520	216	Franco arenoso	21.73	11.05	1.18

Fuente: Orozco (2004), río Guacalate desde Antigua Guatemala hasta Alotenango

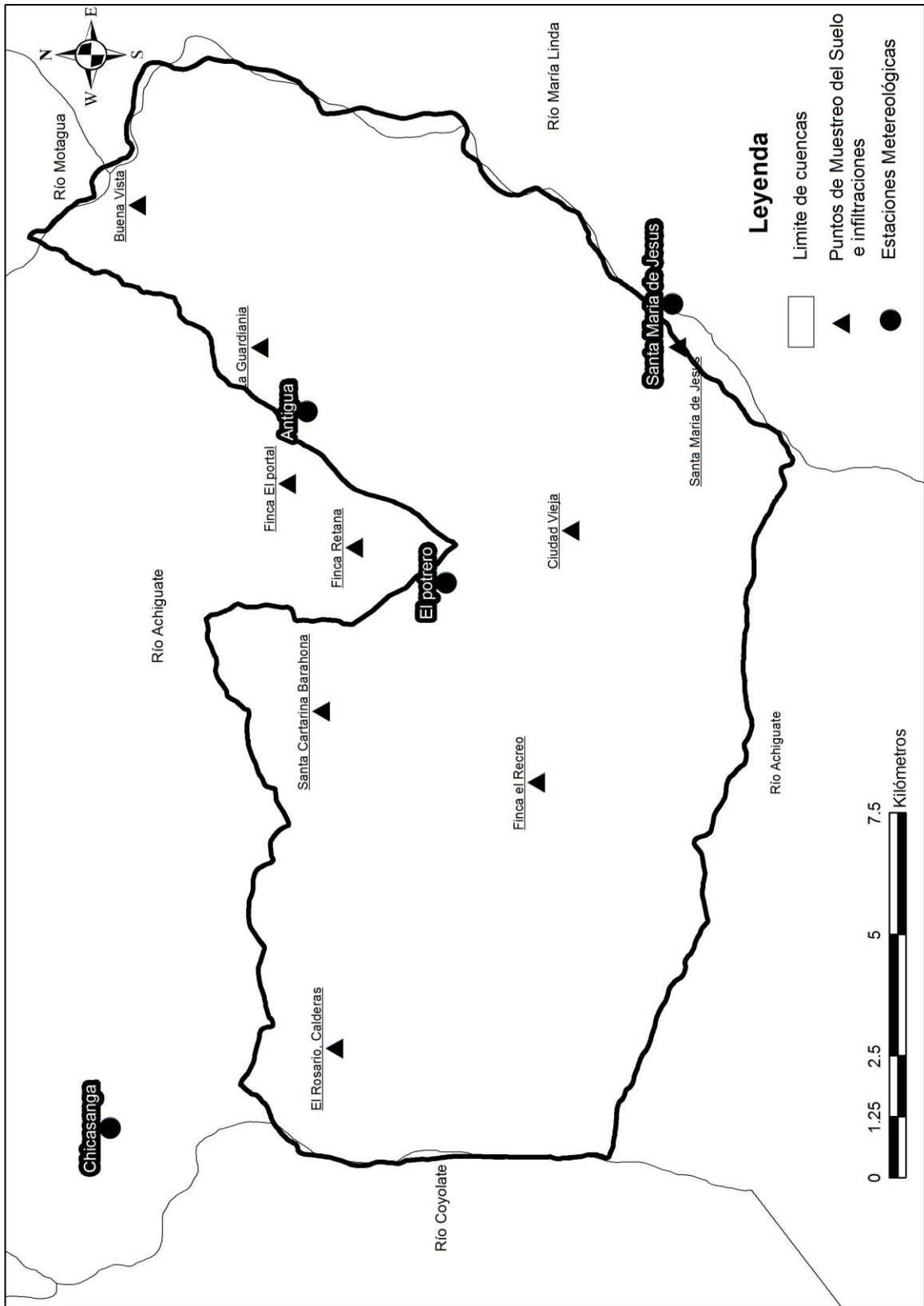


Figura 4. Ubicación de estaciones meteorológicas, muestreo de suelos e infiltraciones

2.5.4 Cálculo de balances hídricos de suelos

Se utilizaron los datos de clima, suelo y cobertura de cada una de las áreas identificadas en los cuatro escenarios, se realizó el balance hídrico en los diferentes usos, tomando en cuenta el área que abarca la estación climática, la altitud, cobertura y pendiente. Luego de determinar los balances por cada una de las áreas y escenarios se realizó un análisis en base a la escorrentía superficial y recarga hídrica.

Objetivo 3: Estimar y comparar la magnitud de los caudales máximos de escorrentía para la parte sur de la subcuenca Alto-Guacalate bajo condiciones de capacidad de uso y en condiciones de uso del año 2008, 2000 y 1980.

Para cumplir este objetivo se estimaron los caudales máximos de escorrentía los cuales se realizaron de la siguiente manera:

2.5.5 Estimación de los caudales máximos de escorrentía

Para ello se utilizaron métodos o fórmulas empíricas diseñados para estos fines, cada uno con sus ventajas y desventajas, los datos que se obtuvieron fueron estimaciones, por lo que se consideró necesario la utilización de varios métodos y al final se presentaron datos promedios, para su análisis. Los datos necesarios para su determinación fueron: el coeficiente de escorrentía, la intensidad de lluvia y el área. El resultado obtenido es principalmente el caudal máximo en m^3/s .

Los métodos que se utilizaron son: método racional y formula empírica de Mac Math

A. Método racional

Para el cálculo de caudales máximos se utilizó el método racional: $Q_p = 0.278 CiA$

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 = Área de la cuenca drenada (km²)

El área de la subcuenca y la intensidad de lluvia se consideran constantes para las 4 condiciones la única variable es el coeficiente de escurrimiento derivada de la cobertura.

a. Cálculo del tiempo de concentración

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 esté reflejando el escurrimiento del área más lejana.

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

Los resultados obtenidos son los siguientes:

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

Donde:

t_c = Tiempo de concentración (minutos)

L = Longitud del cauce principal (km.)

S = Pendiente media del cauce (m/m)

Según Rowe: $t_c = (0.87 L^3 / H)^{0.385}$

Donde:

t_c = Tiempo de concentración (horas)

L = Longitud del cauce principal (km.)

H = Diferencia de elevación entre los extremos del cauce principal (m)

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

donde:

t_c = Tiempo de concentración (horas)

L = Longitud del cauce principal (m)

S = Pendiente media del cauce (%)

b. Determinación del coeficiente de escurrimiento

Con el auxilio de tablas se determinó el coeficiente de escurrimiento tomando en cuenta la cobertura, la textura del suelo y la impermeabilidad, los valores van de 0 a 1 donde valores cercanos a 0 indican una leve escorrentía y valores cercanos a 1 escorrentías más fuertes, si el área estaba integrada por diferentes tipos de superficie, se calculó un coeficiente de escurrimiento promedio.

c. Estimación de la intensidad de la lluvia

La intensidad se logró estimar con el auxilio de una curva Intensidad-Duración-Frecuencia elaborados por el INSIVUMEH para la estación Alameda ICTA, Chimaltenango, en el año 2002.

d. Determinación del gasto pico o máximo

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.

B. Formula empírica de Mac Math

Con la fórmula de Mac Math se calculó el caudal máximo o caudal pico de escorrentía utilizando la expresión siguiente:

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

Donde:

Q = Caudal máximo con un periodo 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 (ver cuadro 3)

$C2$ = Coeficiente de textura (ver cuadro 3)

$C3$ = Coeficiente de pendiente (ver cuadro 3)

I = Intensidad máxima de la lluvia, para una duración igual al tiempo de concentración t_c ,
y un periodo de retorno de t años (mm/h)

A = Área de la cuenca (has.)

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

Para los coeficientes de cobertura, textura y pendiente se utilizaron tablas respectivas, la intensidad máxima de lluvia fue la misma que se utilizó en el método racional, la pendiente media del cauce principal se determinó con un curvímetero en la hoja topográfica.

2.5.6 Estimación del volumen de escorrentía esperado

A. Método de USSCS o 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 (ver anexo 4) Luego se estimó el número de curva promedio y se aplicaron las siguientes expresiones para calcular la lamina 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

2.5.7 Monitoreo del área

Durante el año de investigación se llevó a cabo un monitoreo determinando lo siguiente:

Caudal del río: se realizaron aforos cada quince días al final del cauce principal.

Partículas en suspensión: se extrajo muestras de 600 ml. cada mes teniendo en total 12 muestras durante el año que fueron llevadas al laboratorio de suelos de la facultad de agronomía para filtrarlas y determinar la cantidad de suelo perdido.

2.6 Resultados

2.6.1 Escenarios investigados

A. Capacidad de uso

La subcuenca en estudio comprende las microcuencas de los ríos Nimayá, Ramuxat, Blanco, Pensativo I, Pensativo II – Pilar y Guacalate II, un 40.65 % del área tiene capacidad de uso para actividades forestales, mientras que el 59.35% restante tiene capacidad para desarrollar actividades de cultivos agrícolas. (figura 3)

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

Para el año 1980, el principal uso que se dio al área fue con “actividades agrícolas” abarcando un 42.7 % del total de área en donde se incluye el cultivo de maíz, frijol, hortalizas y frutales localizadas en la parte media de las faldas del volcán de Acatenango y agua como segundo lugar los “bosques” con el 35.53%, incluyendo bosque denso coníferas, bosque denso latifoliadas, bosque denso mixto, roca descubierta o lava y bosque disperso latifoliado, tal como se muestra en la leyenda de la figura 4. Este uso se encontró principalmente en la parte media de las microcuencas del río Pensativo I, II y parte alta de los volcanes de Acatenango y agua de la cuenca, en tercer lugar el café con 17.24 % y en menor escala pastos 0.42 %.

También se encontraron centros poblados con un 4% del total de área, dentro de los cuales se encontraron las poblaciones de Santa Lucia, San Mateo y Magdalena Milpas Alta, San Felipe de Jesús parte sur de Antigua Guatemala, Ciudad Vieja, San Miguel Dueñas, Alotenango, San Antonio Aguas Calientes, Santa María de Jesús y otros.

C. Cobertura vegetal y uso de la tierra del año 2000

Para el año 2000, el principal uso fue el “bosque” con un 39 % del total del área, como segundo lugar las actividades agrícolas con un 28.87 %, tercer lugar el café con un 24.86 % los centros poblados aumentaron a 6.6 % teniendo una diferencia respecto al año

1980 de 2.6 % equivalentes a 4000 has, esto debido principalmente a la expansión de colonias aledañas a la Antigua Guatemala.

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

Para el año 2008, Los bosques ocuparon el primer lugar con un 38.21 % del área, siguiendo las actividades agrícolas con un 28.7 % y tercer lugar el cultivo de café que sigue siendo un cultivo importante del área con un 23.91 % y los centros poblados con 8.78 % de área ocupada.

En los cuadros 7, se analiza la dinámica y los cambios de uso de la tierra de los años 1980, 2000 y 2008. La clasificación de “bosque” del cual existe un aumento poco significativo ya que la diferencia es de 2.49 % entre los años 1980 a 2008, el cultivo de café entre los años 1980 al 2008 se ha vuelto un cultivo muy importante debido al éxito de las exportaciones del mismo, teniendo un aumento del 6.72 % del total del área equivalente a 1334 has. En el caso de los centros poblados entre los años 1980 al 2008 tiene un aumento de 4.81% equivalente a 955 has.

El cambio de uso indica que las tierras de cultivo agrícola han sido desplazadas por el cultivo de café y urbanización en un total de 14 % del área total. El cultivo de café en la clasificación no se considera como bosque ni cultivos agrícolas debido a su cobertura por tal razón se analiza por separado.

Cuadro 9. Dinámica del cambio de uso de la tierra de los años 1980, 2000 y 2008.

Uso	Escenarios (área en %)			Cambio de uso (%) 1980-2008
	Año 1980	Año 2003	Año 2008	
Bosque	35.72	39.23	38.21	2.49
Café	17.19	24.86	23.91	6.72
Centros poblados	3.97	6.6	8.78	4.81
Agrícola	42.7	28.87	28.7	-14
Otros	0.42	0.44	0.41	-0.02

En la siguiente figura 4 se observa como la agricultura es sustituida por los centros poblados y el cultivo de café.

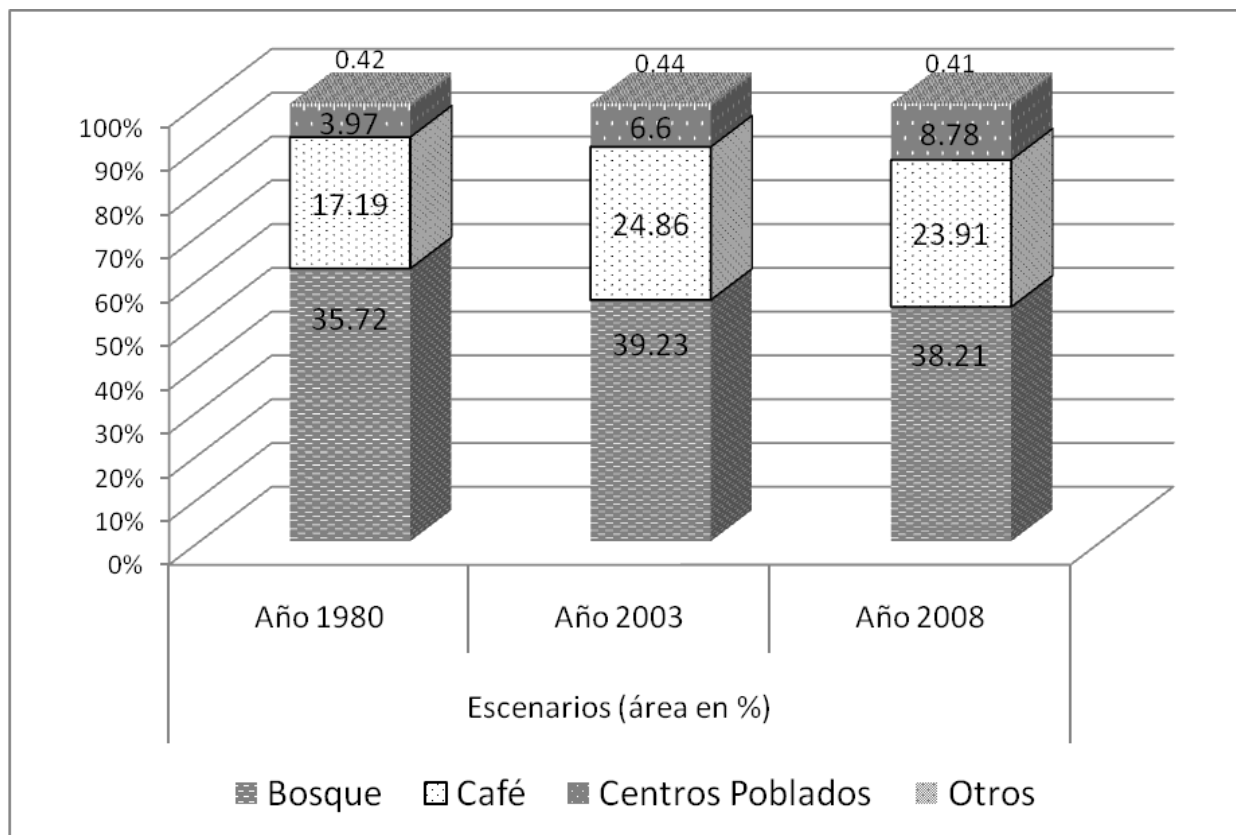


Figura 5. Dinámica del cambio de uso de la tierra periodo 1980 – 2008

2.6.2 Balances hídricos de suelos

A continuación se muestra el comportamiento de los datos climáticos de las cuatro estaciones utilizadas para la realización de los balances hídricos de suelos.

Cuadro 10. Promedios mensuales de precipitación (mm), registrados en cada una de las estaciones meteorológicas del área de estudio

Estación	Período	Meses											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
El Potrero	80-88	4.9	8.8	10.3	20.7	107.3	183.3	138.9	126.2	182.2	78.8	5.2	1.2
Antigua	80-89	3.3	2.8	14.6	11.3	103.3	223.0	155.0	159.0	222.0	83.7	11.1	0.6
Chicasanga	93-98	5.4	7.6	12.0	44.3	142.9	246.6	180.2	189.3	204.4	165.1	69.9	17.4
Santa María de Jesús	80-89	10.5	9.4	12.3	11.9	113.0	296.2	190.8	163.8	256.6	111.9	6.4	1.5

Fuente: Orozco (2004), río Guacalate desde Antigua Guatemala hasta Alotenango.

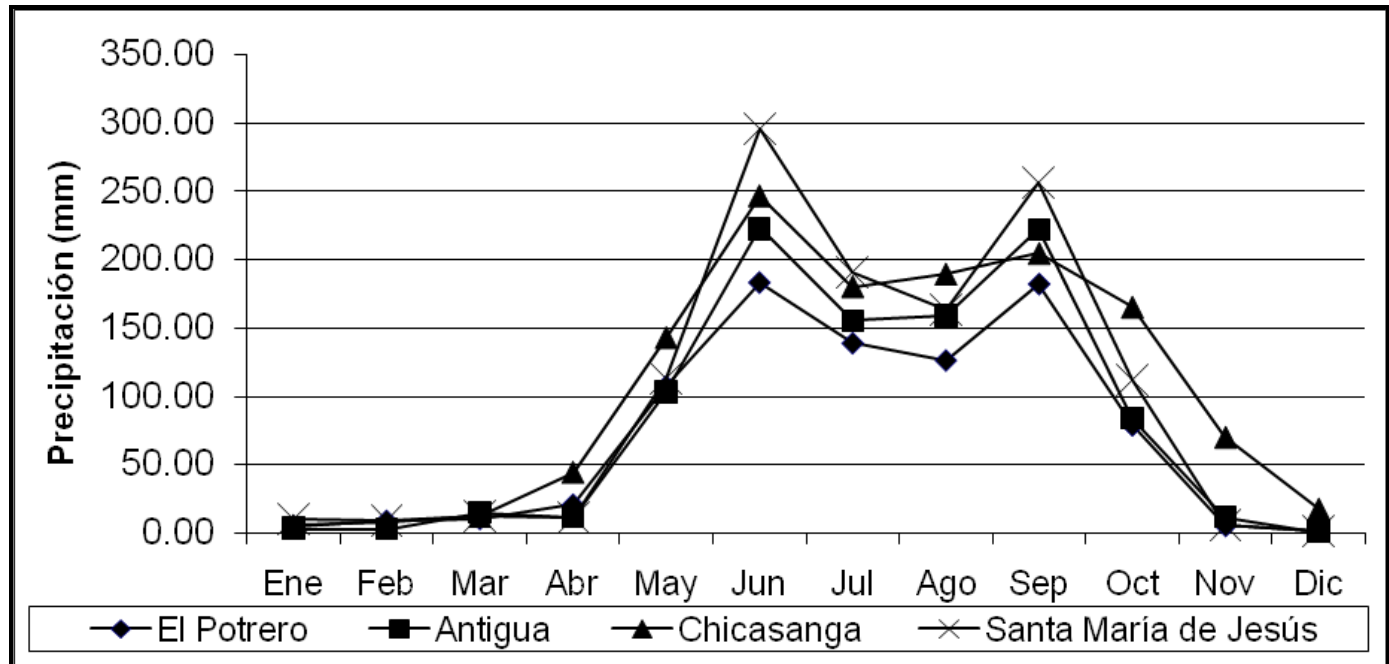


Figura 6. Comportamiento de precipitación (mm) de 4 estaciones meteorológicas

Cuadro 11. Promedios mensuales de evapotranspiración potencial (mm), registrados en cada estación del área de estudio

Estación	Período	Meses											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
El Potrero	80-88	80.0	91.3	100.6	102.4	92.4	72.3	84.0	85.52	89.8	99.2	84.3	78.2
Antigua	80-89	81.4	87.6	95.0	104.5	99.9	84.6	86.8	80.32	84.7	100.9	76.0	64.0
Chicasanga	1993-1998	67.8	79.7	86.4	95.1	90.8	92.4	79.6	73.20	77.0	92.0	73.1	58.2
Sta Maria de Jesús	80-89	67.8	79.7	86.4	95.1	90.8	92.4	79.6	73.20	77.0	90.0	69.6	58.2

Fuente: Orozco (2004), río Guacalate desde Antigua Guatemala hasta Alotenango

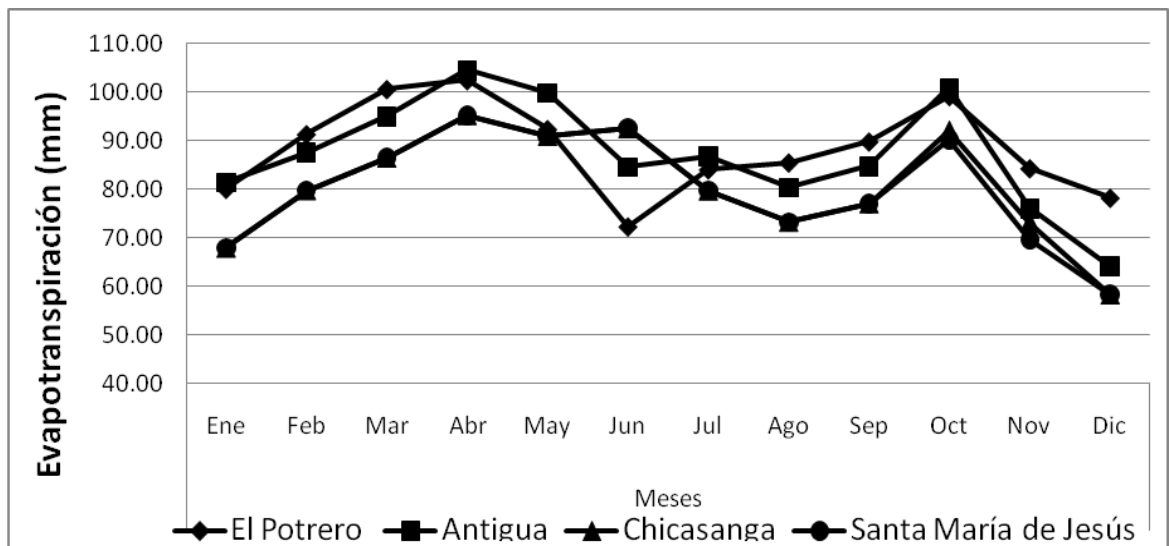


Figura 7. Comportamiento de la evapotranspiración potencial de las cuatro estaciones meteorológicas

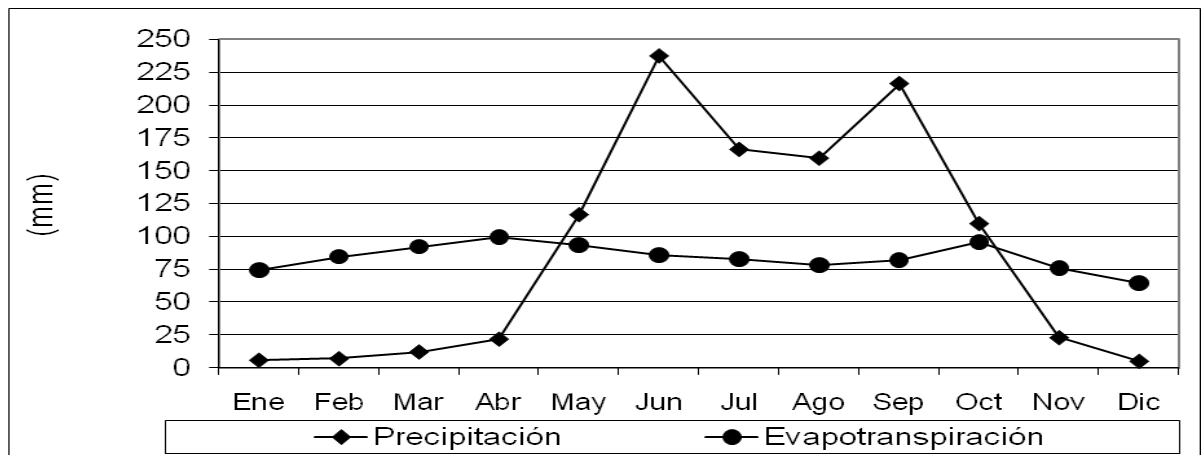


Figura 8. Climadiagrama promedio de las cuatro estaciones meteorológicas

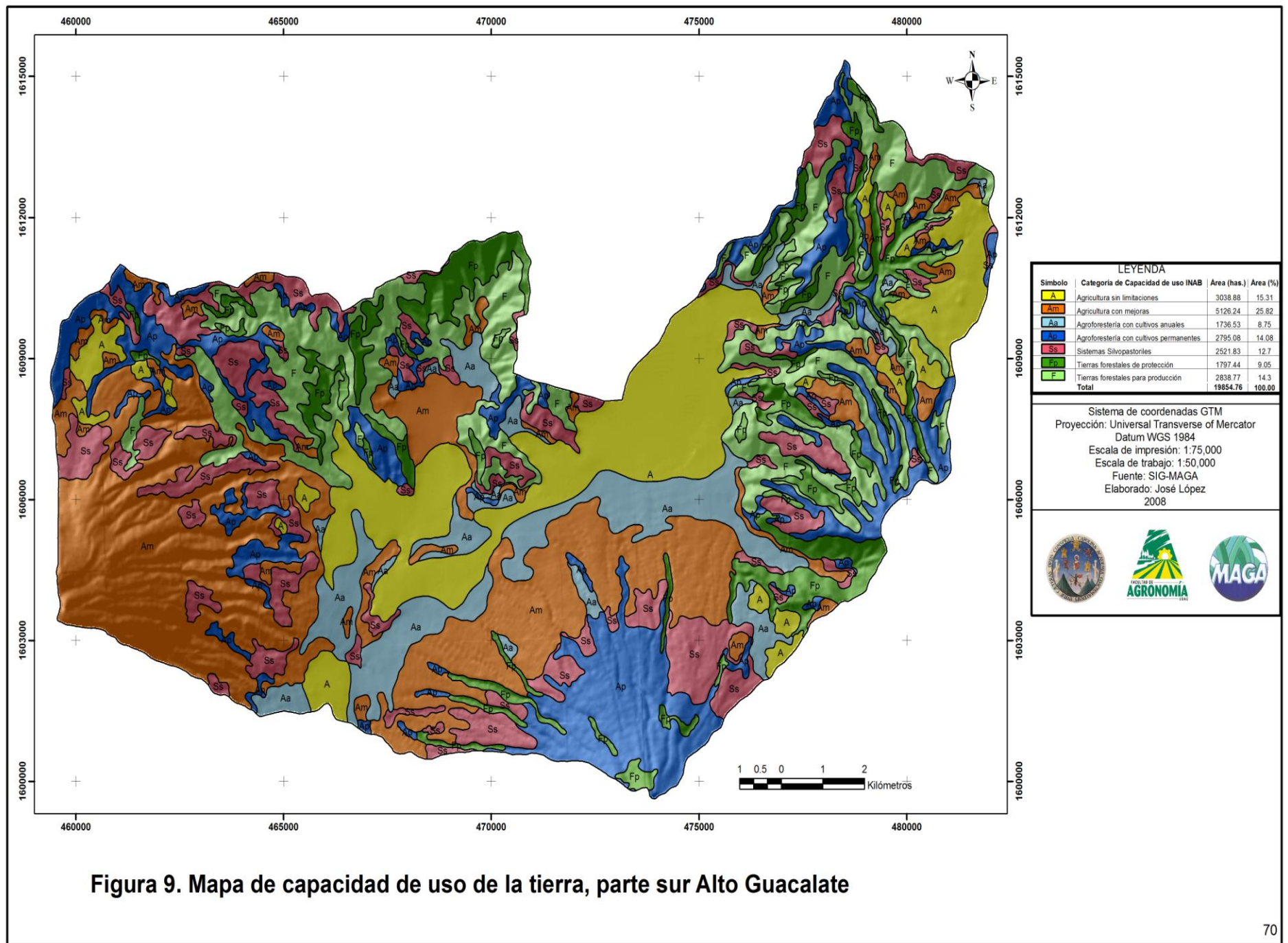


Figura 9. Mapa de capacidad de uso de la tierra, parte sur Alto Guacalate

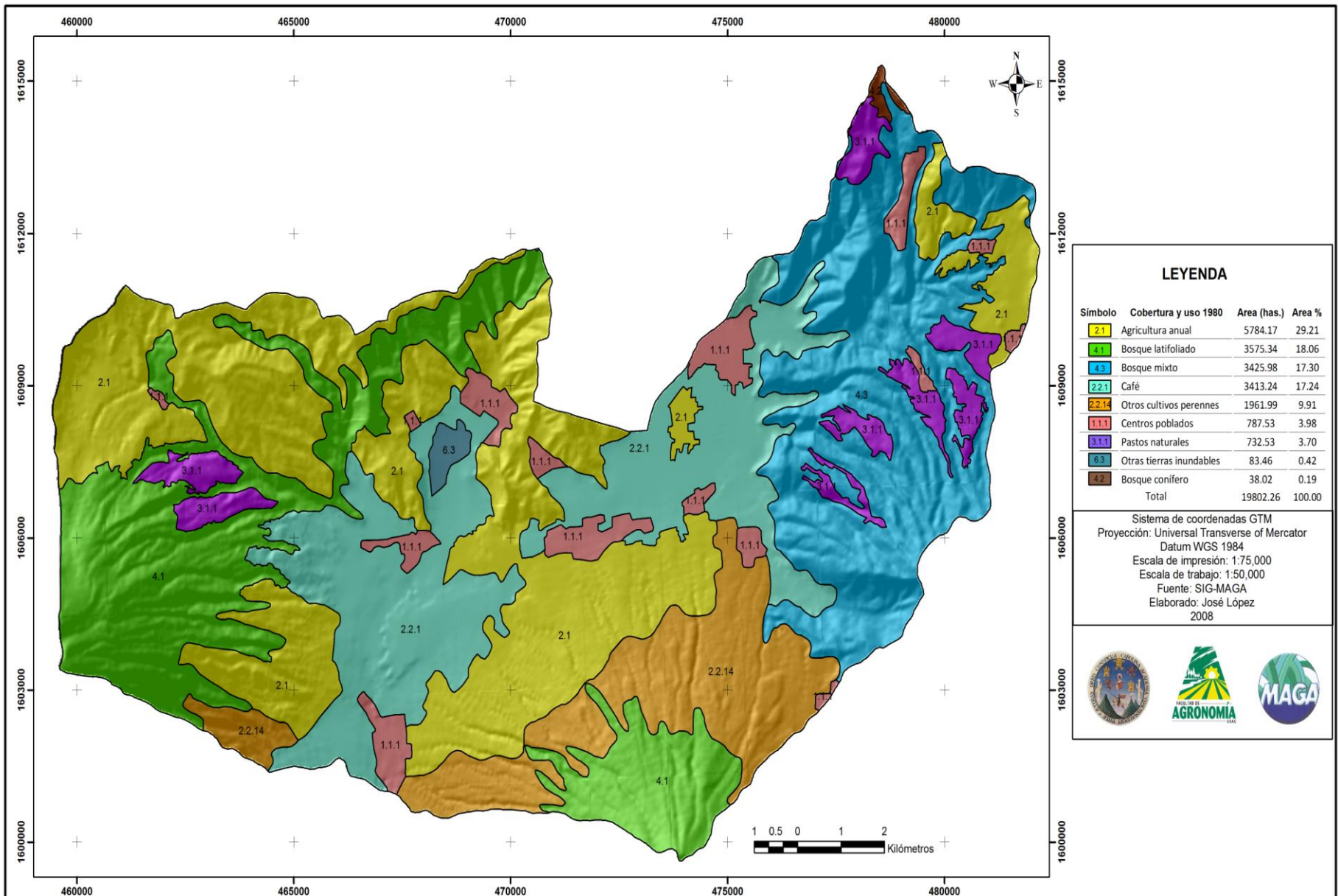


Figura 10. Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra año 1980, parte sur Alto Guacalate

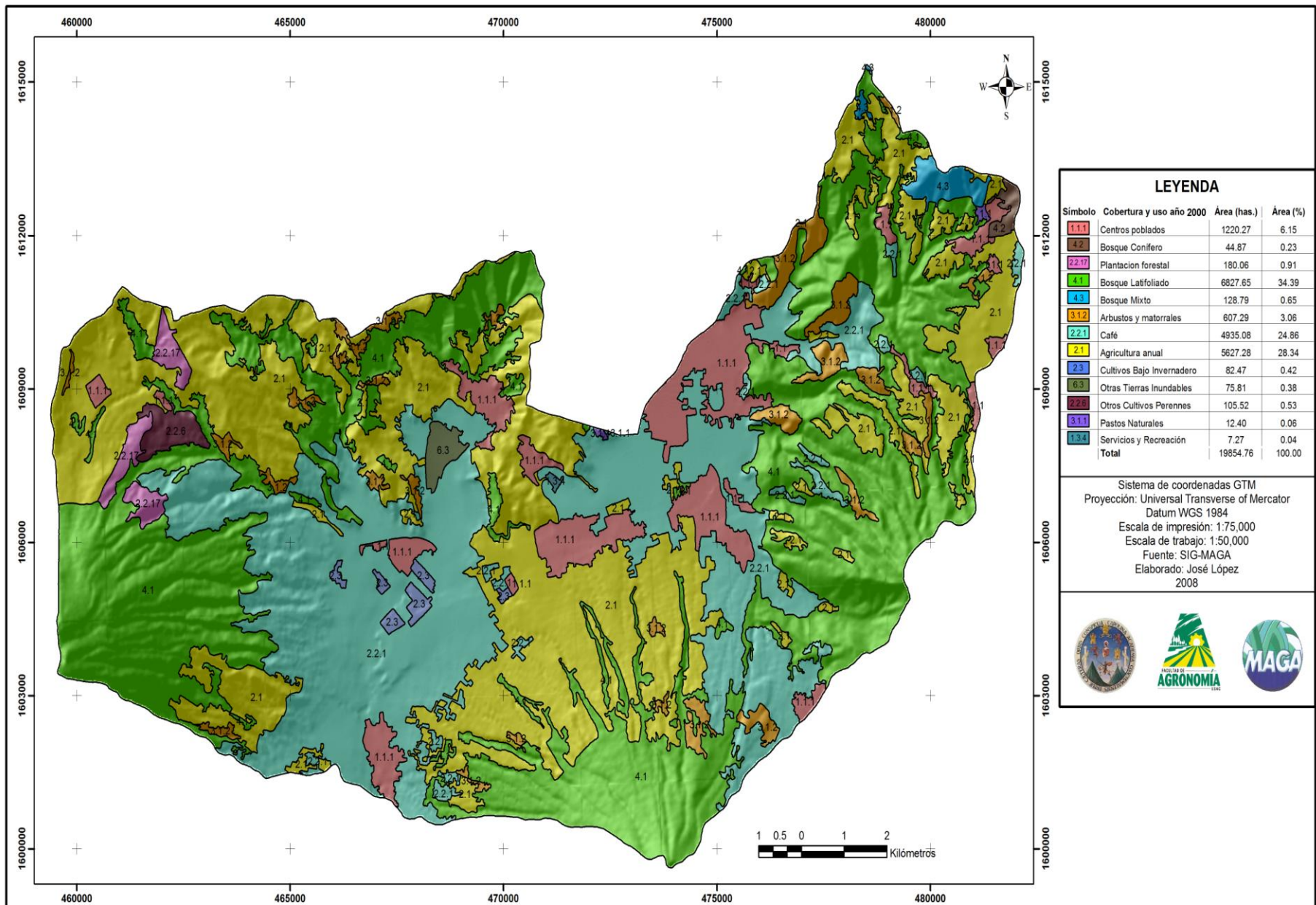


Figura 11. Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra año 2000, parte sur Alto Guacalate

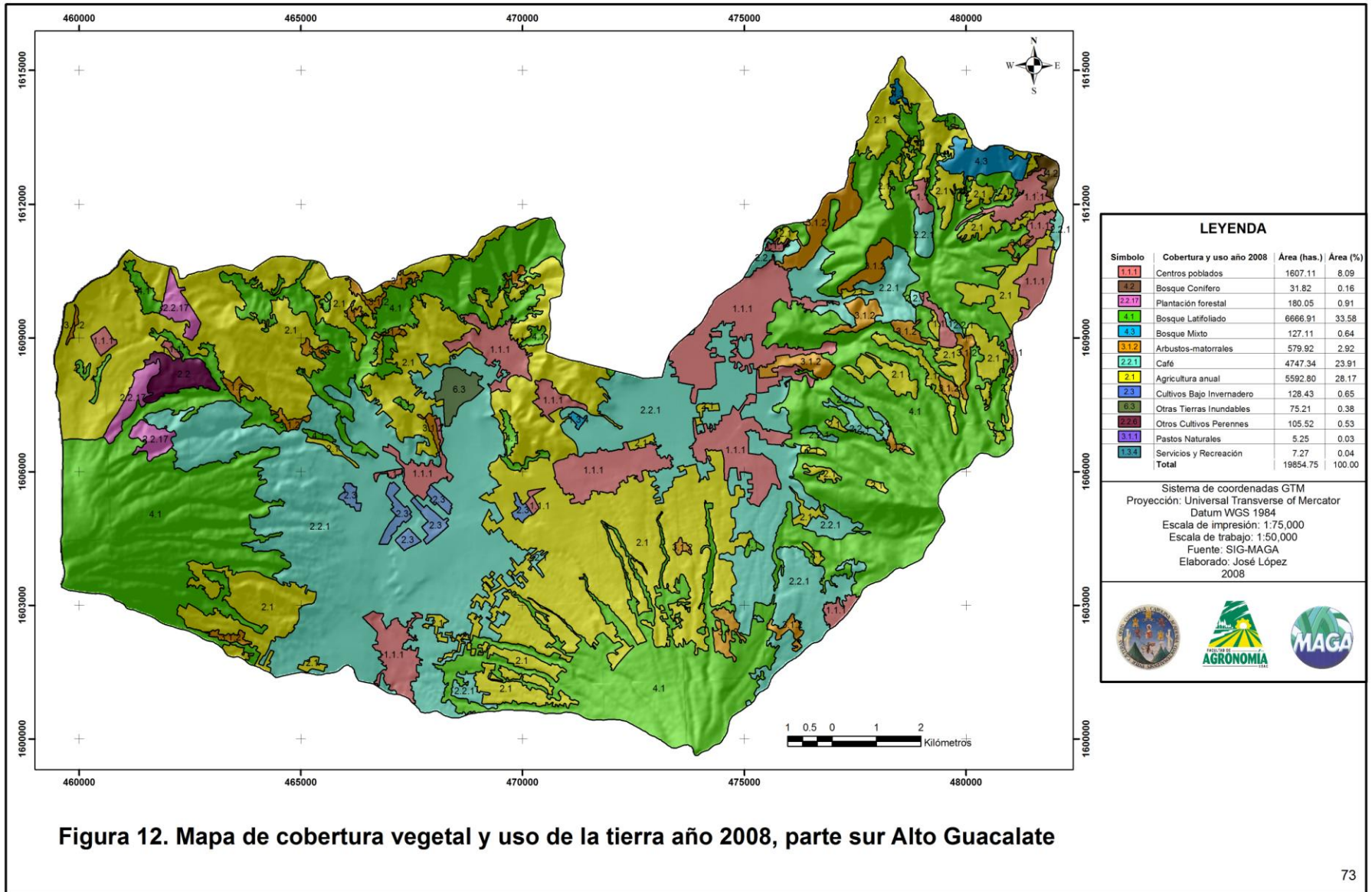


Figura 12. Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra año 2008, parte sur Alto Guacalate

A continuación se detallan y analizan los resultados de los balances hídricos de suelos para los cuatro escenarios de cobertura vegetal y uso de la tierra:

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

En condiciones de capacidad de uso de la tierra la lámina de recarga promedio es de 156 mm para el área total. La clasificación agroforestería con cultivos permanentes aporta la mayor recarga con una lámina de 248 mm debido a su cobertura siguiendo las tierras forestales de protección que aporta 213 mm el caudal medio de la cuenca bajo estas condiciones es de 0.45 m³/s como se muestra en el cuadro 10. La recarga potencial de la subcuenca bajo estas condiciones tendría que abastecer de agua a 343,440 personas (calculando un consumo per cápita de 200 litros/día y la utilización del 75% de la disponibilidad, aquí se incluyen los aprovechamientos a través de pozos o manantiales).

Respecto a la escorrentía superficial la categoría agricultura con mejoras presenta una escorrentía superficial de 408 mm anuales, esto debido a que se ubica en las faldas de los volcanes de Acatenango y agua provocando una alta escorrentía por las pendientes mayores a 50 %.

Cuadro 12. Balances hídricos en condiciones de capacidad de uso

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	147.64	70.91	30388800	4.49	0.14	0.07
Agricultura con mejoras	98.18	408.34	26923300	2.64	0.08	0.35
Agroforestería con cultivos anuales	195.51	0.00	17365300	3.40	0.11	0.00
Agroforestería con cultivos permanentes	247.62	0.00	17956600	4.45	0.14	0.00
Sistemas silvopastoriles	179.36	33.72	25217600	4.52	0.14	0.03
Tierras forestales de producción	95.75	0.00	28387700	2.72	0.09	0.00
Tierras forestales de protección	212.92	0.00	52308300	11.14	0.35	0.00
Totales			198547600	33.35	1.05	0.45
Promedio ponderado	155.65	120.57				

B. 6.2.2 Balance hídrico de suelos bajo condiciones de uso de la tierra del año 1980

En condiciones de uso del año 1980 la lámina de recarga promedio fue de 156 mm anuales para toda el área, los bosques aportaban una lámina de 232 mm anuales, los pastos 197 mm anuales, cultivos anuales 148 mm anuales, sin embargo el aporte de la recarga por los pastos es mínimo debido al bajo porcentaje de área con este uso.

Los centros poblados son zonas con alto grado de impermeabilización, el cual no aportaban recarga; lo que permitió una escorrentía de 252 mm anuales.

Los árboles frutales y hortalizas provocaban la mayor escorrentía con 419 y 408 mm anuales respectivamente, debido a la pendiente mayor a 50 % (parte media y alta de las faldas de los volcanes de Acatenango y Agua), ver cuadro 11.

El caudal de escorrentía fue de 0.93 m³/s y la recarga potencial pudo abastecer de agua a 304,560 personas (calculando un consumo per cápita de 200 litros/día y la utilización del 75% de la disponibilidad, incluyendo los aprovechamientos a través de pozos o manantiales).

Cuadro 13. Balances hídricos en condiciones de uso de la tierra para el año 1980

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)
Centros poblados	0.00	252.04	7875319	0.00	0.00	0.06
Café	133.43	0.00	34132422	4.55	0.14	0.00
Cultivos anuales	147.64	70.91	21716330	3.21	0.10	0.05
Pastos	196.87	11.41	834613	0.16	0.01	0.00
Bosques	232.07	0.00	70918351	16.46	0.52	0.00
Árboles frutales deciduos	44.39	418.56	19619947	0.87	0.03	0.26
Hortalizas	98.14	408.34	43450618	4.26	0.14	0.56
Totales			198547600	29.52	0.94	0.93
Promedios ponderados	148.67	148.52				

C. 6.2.3 Balance hídrico de suelos bajo condiciones de uso de la tierra del año 2000

En el cuadro 12, la lámina de recarga promedio fue de 144 mm anuales para toda el área, el pasto aportaba una lamina 278 mm anuales lo cual es insignificante como aporte de la recarga, debido a que ocupa únicamente el 0.59 % del área total, los bosques ocupaban el 39 % del área aportando una lámina de 244 mm anuales.

Respecto a la escorrentía los cultivos anuales y las hortalizas aportaban una lámina de 500 mm. anuales provocando un gran impacto en la subcuenca debido al 28 % de área que ocupaba y por ubicarse en las faldas de los volcanes donde la pendiente es mayor a 50 %.

El caudal medio de escorrentía de la subcuenca bajo estas condiciones fue de 1.03 m³/s y la recarga potencial pudo abastecer de agua a 294,840 personas (calculando un consumo per cápita de 200 litros/día y la utilización del 75% de la disponibilidad, aquí se incluyen los aprovechamientos a través de pozos o manantiales).

Cuadro 14. Balances hídricos de las categorías de uso en condiciones de uso de la tierra del año 2000, para la parte sur 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)
Centros poblados	0.00	289.00	13100087	0.00	0.00	0.12
Café	141.78	11.41	49350806	7.00	0.22	0.02
Cultivos anuales (maíz, frijol y hortalizas)	36.65	500.31	56272795	2.06	0.07	0.89
Pastos	278.55	0.00	124025	0.03	0.00	0.00
Bosques	243.71	0.00	77886530	18.98	0.60	0.00
Cultivos perenne	356.02	5.35	1055220	0.38	0.01	0.00
Tierra inundables	195.51	0.00	758137	0.15	0.00	0.00
Totales			198547600	28.60	0.90	1.03
Promedios ponderados	144.05	163.73				

D. 6.2.4 Balance hídrico de suelos bajo condiciones de uso de la tierra del año 2008

La lámina de recarga promedio del año 2008 es de 140 mm anuales para toda el área, el aporte de recarga y escorrentía superficial similar del año 2000 debido a las mismas características de suelo y las condiciones climáticas.

El caudal medio de escorrentía es de 1.07 m³/s y la recarga potencial es capaz de abastecer de agua a 285,120 personas (calculando un consumo per cápita de 200 litros/día y la utilización del 75% de la disponibilidad, aquí se incluyen los aprovechamientos a través de pozos o manantiales).

Cuadro 15. Balances hídricos de las categorías de uso en condiciones de uso de la tierra del año 2008, para la parte sur 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)
Centros poblados	0.00	289.00	17428153	0.00	0.00	0.16
Café	141.78	11.41	47473365	6.73	0.21	0.02
Cultivos anuales (maíz, frijol y hort.)	36.65	500.31	55927997	2.05	0.06	0.89
Pastos	278.55	0.00	52506	0.01	0.00	0.00
Bosques	243.71	0.00	75858147	18.49	0.59	0.00
Cultivos perenne	356.02	5.35	1055287	0.38	0.01	0.00
Tierra inundables	195.51	0.00	752143	0.15	0.00	0.00
Totales			198547600	27.81	0.87	1.07
Promedios ponderados	140.04	169.06				

Los impactos del cambio de uso del suelo son considerables en la recarga potencial y en la escorrentía, los principales factores responsables son la impermeabilización de las áreas debido a la urbanización de centros poblados, la expansión y la siembra de cultivos anuales (hortalizas, maíz y frijol) en áreas con pendientes entre 50 – 75 % (faldas de los volcanes de Agua y Acatenango) según el aporte de la lámina de recarga y escorrentía.

La escorrentía esperada se duplica al comparar las condiciones de capacidad de uso de la tierra y el uso del año 1980, con una diferencia de 113 % y se triplica al comparar las condiciones de capacidad de uso de la tierra con las de uso del año 2008 con una diferencia de 140 %, es decir, existe una incompatibilidad entre la capacidad de uso y el uso de la tierra provocando el aumento de la escorrentía y disminución de la recarga. Además, los volúmenes de recarga entre capacidad de uso y el uso del año 1980 disminuye un 11.32% al igual entre capacidad de uso y el uso del año 2008 disminuye un 16.98 %. Los cambios entre 1980 y 2008, presentan una disminución del 6.38 % de recarga hídrica, durante 28 años.

En resumen, el uso de la tierra a capacidad favorece la infiltración y por ende la recarga profunda y disminuye la escorrentía; mientras que los usos de los años 1980 y 2008, al contrario aumentan la escorrentía superficial y van en detrimento de la recarga potencial a los acuíferos del área.

Cuadro 16. Resumen de los balances hídricos de suelos para las diferentes condiciones de uso de la tierra en la parte sur de la subcuenca del Alto Guacalate

Categoría de uso	Recarga potencial (mm)	Escorrentía superficial (mm)	Volumen de recarga potencial Mm³	Caudal potencial de recarga (m³/s)	Caudal potencial de escorrentía superficial (m³/s)
Capacidad de uso	155.65	120.57	33.35	1.05	0.45
Uso de la tierra año 1980	148.67	148.52	29.52	0.94	0.93
Uso de la tierra año 2000	144.05	163.73	28.60	0.90	1.03
Uso de la tierra año 2008	140.04	169.06	27.81	0.87	1.07

En la figura 12 se observa una menor escorrentía superficial a capacidad de uso en los años 2000 y 2008 y la recarga es mayor teniendo un equilibrio en el año 1980, es decir

que para el año 1980 la tierra pudo tener un uso adecuado para equilibrar la escorrentía y recarga.

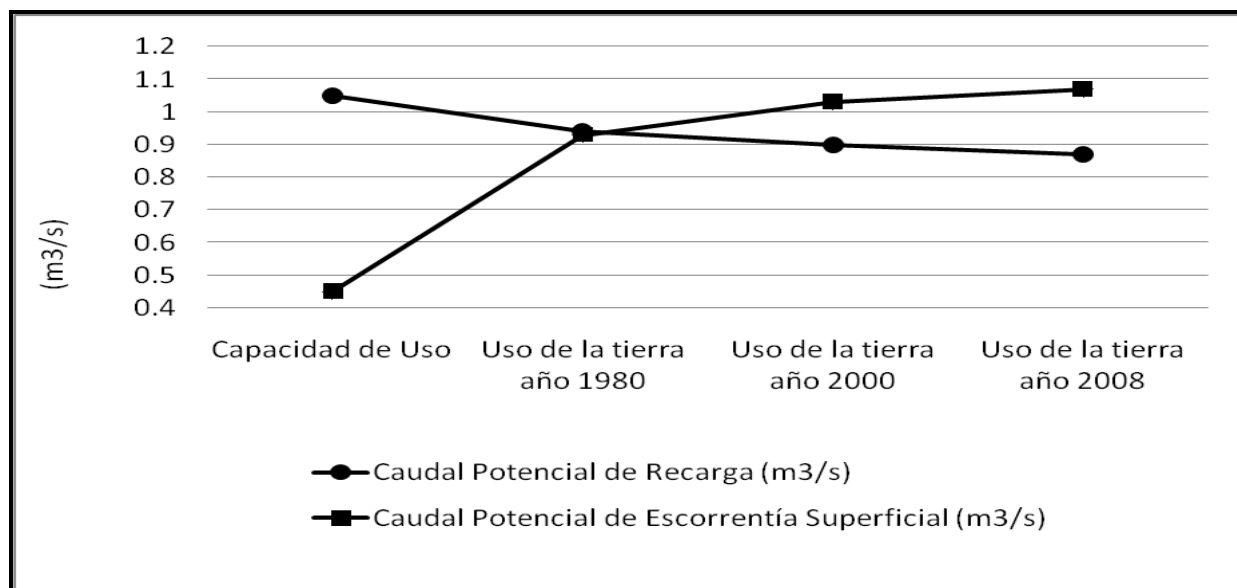


Figura 13. Comportamiento de la recarga hídrica y escorrentía superficial m^3/s

2.6.3 Estimación de los caudales máximos de escorrentía

A. Método racional

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

a. Capacidad de uso de la tierra según el INAB

La agricultura sin limitaciones se considera como una agricultura limpia asignándole coeficientes medios (0.40), la agricultura con mejoras con un valor de 0.50 por las prácticas de conservación de suelo que mejoran las condiciones de absorción y retardan el escurrimiento, la agroforestería con cultivos anuales y permanentes un coeficiente mayor a 0.50 por ser un sistema de combinación de especies forestales y cultivos, las tierras forestales de producción el coeficiente está por encima de las tierras forestales de protección debido a la densidad y sotobosques.

Cuadro 17. Coeficientes de escurrimiento según la categoría de capacidad de uso

Categoría de capacidad de uso INAB	Coeficiente de escurrimiento	Área %	Coeficiente ponderado
Agricultura con mejoras	0.5	13.56	0.0678
Agricultura sin limitaciones	0.4	15.31	0.0612
Agroforestería con cultivos anuales	0.62	8.75	0.0542
Agroforestería con cultivos permanentes	0.65	9.04	0.0588
Sistemas silvopastoriles	0.32	12.70	0.0406
Tierras forestales de protección	0.4	26.35	0.1054
Tierras forestales para producción	0.3	14.30	0.0429
Promedio ponderado			0.4310

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

Para el año 1980 los bosques en su mayoría presentaban una gran cantidad de sotobosques que aumentan la retención de la humedad por ende disminuye la escorrentía aumentando la recarga hídrica asignándole un coeficiente de 0.3, el café es un cultivo importante en el área y presenta una característica similar a la de bosque de protección en todo el valle de Antigua Guatemala debido a la sombra y el sotobosque en su interior por tal razón le es asignado un coeficiente 0.5. Los centros poblados por los techos impermeables, calles de asfalto y/o concreto se le asigna un coeficiente de 0.85.

Cuadro 18. Coeficientes de escurrimiento de las coberturas de uso de la tierra, bajo condiciones de uso de la tierra del año 1980

Cobertura y uso 1973	Coeficiente de escurrimiento	Área %	Coeficiente ponderado
Bosque denso coníferas	0.3	0.19	0.0006
Bosque denso latifoliadas	0.3	2.37	0.0071
Bosque denso mixto	0.4	17.28	0.0691
Bosque denso mixto, roca descubierta o lava	0.4	13.13	0.0525
Bosque disperso latifoliadas	0.4	2.56	0.0102
Café	0.5	17.24	0.0862
Centros poblados	0.85	4.00	0.0340
Cultivos anuales maíz y frijol	0.4	7.27	0.0291
Cultivos anuales maíz y frijol, árboles frutales deciduos	0.5	9.91	0.0495
Cultivos anuales maíz y frijol, pastos en tierras altas	0.5	3.70	0.0185
Cultivos anuales maíz-frijol, hortalizas	0.4	21.94	0.0878
Pantanos con pastos	0.2	0.42	0.0008
Promedio ponderado			0.4454

c. Cobertura Vegetal y Uso de la tierra del año 2000

Para el año 2000, el coeficiente de los centros poblados se obtiene de un promedio, tomando en consideración las calles, techo de las casas y el aumento de la urbanización. Los cultivos bajo invernaderos el valor de coeficiente es ligeramente bajo en comparación a los centros poblados debido que se considera un área impermeable, los centros de servicios y recreación también son considerados como un área altamente urbanizada por tal razón el valor de coeficiente es similar a la de los centros poblados, las plantaciones forestales se consideran que son áreas de protección las cuales presentan un valor menor que los bosques naturales. Para los demás usos su coeficiente es similar al del año 1980, esto debido que no existe una variación en la cobertura.

Cuadro 19. Coeficientes de escurrimiento de las coberturas de uso de la tierra, bajo condiciones de uso de la tierra del año 2000

Cobertura y uso de la tierra	Coeficiente de escurrimiento	Área %	Coeficiente ponderado
Asentamientos rurales	0.85	0.27	0.0023
Asentamientos urbanos	0.9	5.88	0.0529
Bosque conífero	0.4	0.23	0.0009
Bosque conífero plantado	0.3	0.91	0.0027
Bosque latifoliado	0.43	34.39	0.1479
Bosque mixto	0.4	0.65	0.0026
Bosque secundario	0.43	3.06	0.0132
Cafetales	0.5	24.86	0.1243
Cultivos anuales	0.53	28.34	0.1502
Cultivos bajo invernadero	0.85	0.42	0.0035
Otras tierras inundables	0.1	0.38	0.0004
Otros cultivos perennes	0.5	0.53	0.0027
Pastos naturales	0.2	0.06	0.0001
Servicios y recreación	0.85	0.04	0.0003
Promedio ponderado			0.5039

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

Los coeficientes de este año son similares a los del año 2000 variando ligeramente en los bosques mixtos y cafetales debido a las podas y/o cortes que provocan la disminución de la cobertura.

Cuadro 20. Coeficientes de escurrimiento de las coberturas de uso de la tierra, bajo condiciones de uso de la tierra del año 2008

Cobertura y uso 2008	Coeficiente de escurrimiento	Área %	Coeficiente ponderado
Asentamientos rurales	0.85	0.38	0.0033
Asentamientos urbanos	0.9	7.47	0.0672
Bosque conífero	0.30	0.16	0.0005
Bosque latifoliado	0.43	33.67	0.1448
Bosque mixto	0.30	0.64	0.0019
Bosque secundario	0.43	2.93	0.0126
Cafetales	0.53	23.97	0.1271
Cultivos anuales	0.53	28.24	0.1497
Cultivos bajo invernadero	0.85	0.65	0.0055
Otras tierras inundables	0.10	0.38	0.0004
Otros cultivos perennes	0.50	0.53	0.0027
Pastos naturales	0.20	0.03	0.0001
Servicios y recreación	0.85	0.04	0.0003
Promedio Ponderado			0.5186

i. Cálculo del tiempo de concentración

Utilizando una pendiente del cauce de 3.48 %, calculada por el método analítico, una longitud del cauce principal de 24.7 km, una diferencia de elevación entre los extremos del cauce principal de 862 m y un área de 198.54 km², se obtienen los siguientes resultados: Kirpich 170.86, Rowe 171.104, Chow 260.71 minutos con un promedio de 200.897 minutos.

ii. Cálculo de la intensidad de lluvia

Para el cálculo se utilizó un tiempo de concentración de 200 minutos, en diferentes periodos de retorno 2, 5, 10, 25 y 100 años.

Cuadro 21. Intensidades de lluvia (mm/h), para el tiempo de concentración promedio de la parte sur de la subcuenca Alto Guacalate.

Período de retorno (Años)	Ecuación de intensidad de lluvia	Tiempo de concentración (min)	Intensidad (mm/h)
2	$i=21810/(t+35)^{1.451}$	200.897	7.87
5	$i=105300/(t+45)^{1.701}$	200.897	9.03
10	$i=639800/(t+70)^{1.954}$	200.897	11.28
25	$i=311660/(t+65)^{1.812}$	200.897	12.59
100	$i=283480/(t+65)^{1.787}$	200.897	13.17

iii. Cálculo de caudales máximos ($Q_p = 0.278 CiA$)

En el cuadro 20, el escenario de uso del año 1980 muestra valores bajos de escorrentía máxima esperada para los diferentes períodos de retorno, los caudales van desde 193.42 a 323.76 m³/s.

El escenario de capacidad de uso muestra un ligero incremento con relación al uso del año 1980 de 2.34 %, la relación que existe entre el año 1980 y 2000 es 13.13 % de incremento. Los cambios más grandes se observan entre el año 1980 y 2008 con 16.43% de incremento, es decir, el caudal máximo esperado va incrementándose conforme aumentan los años provocando impactos negativos a los recursos naturales.

Cuadro 22. Caudales máximos esperados, bajo diferentes escenarios de uso de la tierra, calculados por el método racional.

Escenario	Período de retorno (años)	Coefficiente de escorrentía (C)	Intensidad de lluvia (mm/h)	Area de la cuenca (Km2)	Caudal máximo (m3/s)
Capacidad de uso de la tierra	2	0.46	7.87	198.54	197.95
	5	0.46	9.03	198.54	227.23
	10	0.46	11.28	198.54	283.83
	25	0.46	12.59	198.54	316.82
	100	0.46	13.17	198.54	331.34
Cobertura y uso año 1980	2	0.45	7.87	198.54	193.42
	5	0.45	9.03	198.54	222.04
	10	0.45	11.28	198.54	277.34
	25	0.45	12.59	198.54	309.58
	100	0.45	13.17	198.54	323.76
Cobertura y uso año 2000	2	0.50	7.87	198.54	218.82
	5	0.50	9.03	198.54	251.19
	10	0.50	11.28	198.54	313.76
	25	0.50	12.59	198.54	350.23
	100	0.50	13.17	198.54	366.28
Cobertura y uso año 2008	2	0.52	7.87	198.54	225.21
	5	0.52	9.03	198.54	258.52
	10	0.52	11.28	198.54	322.92
	25	0.52	12.59	198.54	360.45
	100	0.52	13.17	198.54	376.97

B. Fórmula de Mac Math

Los coeficientes de escorrentías son valores medios para cada una de las categorías de uso en los escenarios identificados, como se observa en el cuadro 21.

Los valores de pendientes tienen rangos muy pequeños, por lo cual no fue posible asignar un valor adecuado a 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.

Cuadro 23. Coeficientes de escorrentía promedio para cada escenario por el método Mac Math

Escenario	Categorías de Uso	Coeficiente de cobertura (C1)	Coeficiente de textura (C2)	Coeficiente pendiente (C3)	Coeficiente promedio	Coeficiente promedio ©	Coeficiente ponderado (C)
Capacidad de uso	Agricultura con mejoras	0.12	0.12	0.08	0.32	25.82	0.0826
	Agricultura sin limitaciones	0.22	0.12	0.06	0.40	15.31	0.0612
	Agroforestería con cultivos anuales	0.16	0.12	0.08	0.36	8.75	0.0315
	Agroforestería con cultivos permanentes	0.12	0.12	0.1	0.34	14.08	0.0479
	Sistemas silvopastoriles	0.16	0.12	0.08	0.36	12.7	0.0457
	Tierras forestales de protección	0.08	0.12	0.15	0.35	9.05	0.0317
	Tierras forestales para producción	0.08	0.12	0.15	0.35	14.3	0.0501
	Coeficiente ponderado por escenario						
Cobertura vegetal y uso año 1980	Bosque	0.10	0.12	0.15	0.37	22.4030033	0.0829
	Bosque denso mixto, roca descubierta o lava	0.12	0.30	0.15	0.57	13.1250788	0.0748
	Café	0.08	0.12	0.10	0.30	17.2366649	0.0517
	Centros poblados	0.22	0.10	0.10	0.42	3.99711541	0.0168
	Cultivos anuales	0.08	0.12	0.06	0.26	42.8166633	0.1113
	Coeficiente ponderado por escenario						

Cobertura vegetal y uso año 2000	Centros poblados	0.12	0.10	0.10	0.32	6.1460	0.0197
	Bosque	0.08	0.12	0.15	0.35	39.2281	0.1373
	Cafetales	0.12	0.12	0.10	0.34	24.8559	0.0845
	Cultivos anuales y perennes	0.12	0.12	0.10	0.34	28.8737	0.0982
	Cultivos bajo invernadero	0.22	0.12	0.08	0.42	0.4154	0.0017
	Otras tierras inundables	0.08	0.08	0.04	0.20	0.3818	0.0008
	Pastos naturales	0.08	0.12	0.06	0.26	0.0625	0.0002
	Servicios y recreación	0.12	0.12	0.15	0.39	0.0366	0.0001
	Coeficiente ponderado por escenario						
Cobertura vegetal y uso año 2008	Centros poblados	0.30	0.10	0.10	0.50	7.8479	0.0392
	Bosque	0.08	0.12	0.15	0.35	38.3090	0.1341
	Cafetales	0.12	0.12	0.10	0.34	23.9745	0.0815
	Cultivos anuales y perennes	0.12	0.12	0.08	0.32	28.7770	0.0921
	Cultivos bajo invernadero	0.16	0.12	0.08	0.36	0.6486	0.0023
	Otras tierras inundables	0.08	0.08	0.04	0.20	0.3798	0.0008
	Pastos naturales	0.08	0.12	0.04	0.24	0.0265	0.0001
	Servicios y recreación	0.12	0.12	0.06	0.30	0.0367	0.0001
	Coeficiente ponderado por escenario						

En el cuadro 22, el escenario de uso del año 1980 muestra valores bajos de escorrentía máxima esperada para los diferentes períodos de retorno, los caudales van desde 134.83 a 225.68 m³/s. El escenario de capacidad de uso muestra un ligero incremento con relación al uso del año 1980 de 3.89 %, la relación que existe entre el año 1980 y 2000 es 1.43 % de incremento y entre el año 1980 y 2008 con 3.9 % de incremento, es decir, el caudal máximo esperado va incrementándose conforme aumenten los años provocando impactos negativos a los recursos naturales.

Cuadro 24. Caudales máximos esperados, bajo los escenarios de uso de la tierra, calculados por el método de Mac Math

Escenario	Período de retorno (años)	Coefficiente 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	0.3507	7.87	19854	34.8	140.08
	5	0.3507	9.03	19854	34.8	160.81
	10	0.3507	11.28	19854	34.8	200.86
	25	0.3507	12.59	19854	34.8	224.21
	100	0.3507	13.17	19854	34.8	234.48
Cobertura y uso año 1980	2	0.3375	7.87	19854	34.8	134.83
	5	0.3375	9.03	19854	34.8	154.77
	10	0.3375	11.28	19854	34.8	193.32
	25	0.3375	12.59	19854	34.8	215.80
	100	0.3375	13.17	19854	34.8	225.68
Cobertura y uso año 2000	2	0.3424	7.87	19854	34.8	136.79
	5	0.3424	9.03	19854	34.8	157.03
	10	0.3424	11.28	19854	34.8	196.14
	25	0.3424	12.59	19854	34.8	218.94
	100	0.3424	13.17	19854	34.8	228.97
Cobertura y uso año 2008	2	0.3507	7.87	19854	34.8	140.09
	5	0.3507	9.03	19854	34.8	160.81
	10	0.3507	11.28	19854	34.8	200.87
	25	0.3507	12.59	19854	34.8	224.22
	100	0.3507	13.17	19854	34.8	234.49

Los caudales máximos de escorrentía calculados por el método racional fueron mayores que los caudales de escorrentía calculados por el método Mac Math, como se observa en el cuadro 23. Las diferencias fue de 41.30% de aumento del método racional. Por lo tanto, se consideró adecuado realizar un promedio de los métodos para presentar valores medios de caudales máximos de escorrentía. 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 182.65 m³/s para un período de retorno de 2 años, hasta 305.73 m³/s para un período de retorno de 100 años. Mientras que con las condiciones de uso del año 1980 los caudales oscilaron entre 164.12 hasta 274.72 m³/s.

Cuadro 25. Comparación de los caudales máximos calculados por el método racional y Mac Math para la parte sur de la subcuenca Alto Guacalate

Escenario	Periodo de retorno (años)	Intensidad de lluvia (mm/h)	Caudales máximos método racional (m ³ /s)	Caudales máximos Mac Math (m ³ /s)	Caudales máximos calculados promedio (m ³ /s)
Capacidad de uso de la tierra	2	7.87	197.95	140.08	169.01
	5	9.03	227.23	160.81	194.02
	10	11.28	283.83	200.86	242.35
	25	12.59	316.82	224.21	270.51
	100	13.17	331.34	234.48	282.91
Cobertura y uso año 1980	2	7.87	193.42	134.83	164.12
	5	9.03	222.04	154.77	188.41
	10	11.28	277.34	193.32	235.33
	25	12.59	309.58	215.80	262.69
	100	13.17	323.76	225.68	274.72
Cobertura y uso año 2000	2	7.87	218.82	136.79	177.81
	5	9.03	251.19	157.03	204.11
	10	11.28	313.76	196.14	254.95
	25	12.59	350.23	218.94	284.58
	100	13.17	366.28	228.97	297.62
Cobertura y uso año 2008	2	7.87	225.21	140.09	182.65
	5	9.03	258.52	160.81	209.67
	10	11.28	322.92	200.87	261.89
	25	12.59	360.45	224.22	292.33
	100	13.17	376.97	234.49	305.73

a. Estimación del volumen de escorrentía esperado

Cuadro 26. Comparación de los caudales máximos calculados por el método racional y Mac Math para la parte sur de la subcuenca Alto Guacalate

Meses	CN	Capacidad máxima de retención en mm (S) $S=(25400/CN)-254$	Lluvia (mm)	Profundidad acumulada de la escorrentía (mm) $Q=(P-0.2S)^2/(P+0.8S)$	Caudal estimado método CN (m ³ /s)	Caudal medido (m ³ /s)
Enero	69.48	111.58	6.03	2.79	0.21	0.66
Febrero	69.48	111.58	7.16	2.38	0.19	0.60
Marzo	69.48	111.58	12.30	0.99	0.07	0.48
Abril	69.48	111.58	22.05	0.00	0.00	0.43
Mayo	69.48	111.58	116.63	43.20	3.20	0.53
Junio	69.48	111.58	237.28	141.51	10.84	3.39
Julio	69.48	111.58	166.23	81.06	6.01	3.99
Agosto	69.48	111.58	159.59	75.72	5.61	4.12
Septiembre	69.48	111.58	216.30	123.15	9.43	1.20
Octubre	69.48	111.58	109.88	38.50	2.85	1.01
Noviembre	69.48	111.58	23.15	0.01	0.00	0.66
Diciembre	69.48	111.58	5.19	3.11	0.23	0.62

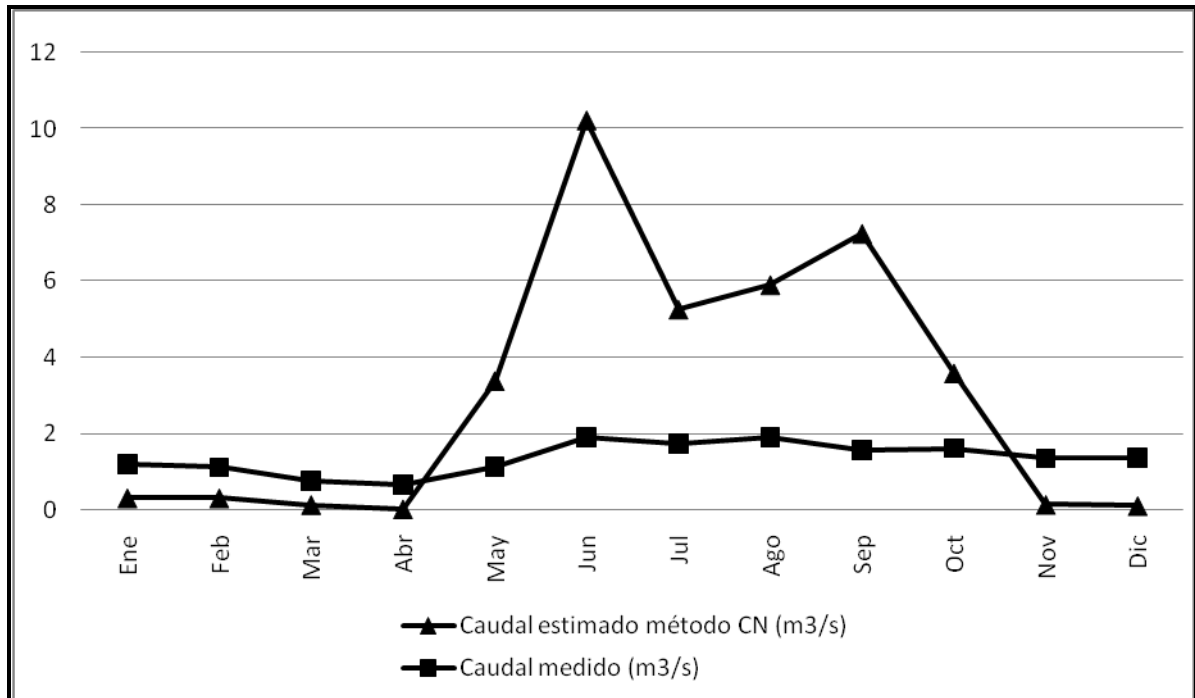


Figura 14. Caudal estimado por CN y caudal medido de los años 2007- 2008

La figura 13 y el cuadro 24 muestran la comparación del caudal estimado por el método de curva número y el caudal medido durante un año hidrológico, del mes noviembre al mes de abril se puede observar como el caudal medido es mayor que el caudal estimado, esto debido a que el caudal estimado no toma en cuenta la escorrentía subterránea, la escorrentía subterránea en el lugar según la diferencia es $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Del mes de mayo a octubre presenta una tendencia similar a la precipitación (figura 7) presentando en los meses de julio y agosto un descenso por el fenómeno de la canícula. En promedio se espera un caudal de $3.22 \text{ m}^3/\text{s}$.

2.6.5 Monitoreo de caudales y sedimentos en suspensión

Durante la realización de la investigación, a nivel de campo se llevó a cabo un monitoreo en el área de estudio con respecto a caudales de escorrentía superficial y sedimentos en suspensión partiendo desde el mes de septiembre del año 2007 hasta agosto del año 2008 el cual es representativo para el comportamiento del ciclo hidrológico.

El sedimento en suspensión promedio del año fue de 335.32 miligramos de suelo por litro y el caudal de 1.24 m³/s. con estos resultados tomando en cuenta el área de la subcuenca 19,854 hectáreas y una densidad del suelo de 1.21 gr/cc, se estimo que la cantidad de suelo que se pierde es de 0.65 ton/ha/año.

Cuadro 27. Sedimentos en suspensión y caudales determinados en la parte sur del Alto Guacalate

Año	Mes	Sedimento en suspensión mg/l	Caudal m³/s
2007	septiembre	557.76	1.20
	Octubre	692.22	1.01
	Noviembre	33.20	0.66
	Diciembre	83.00	0.62
2008	Enero	166.00	0.66
	Febrero	199.20	0.60
	Marzo	249.00	0.48
	Abril	348.60	0.43
	Mayo	350.26	0.53
	Junio	454.84	3.39
	Julio	554.44	3.99
	Promedio	335.32	1.24

2.7 Conclusiones

- Del año 1980 al año 2008 la categoría de uso bosque ha aumentado 2.49 % del total de área (19,854 ha) y el cultivo de café presenta un aumento de 6.72 % (1334 has), los centros poblados han aumentado un 4.81 % (955 has), el aumento de los centros poblados se ha dado principalmente en el área sur de la Antigua Guatemala y algunas otras colonias aledañas. Para el caso de los cultivos agrícolas como hortalizas, frutales y granos básicos han disminuido un 14 % (2,780 has) por el aumento del cultivo de café, bosque y centros poblados.
- Los volúmenes de recarga entre capacidad de uso y el uso del año 1980 disminuye un 11.32% al igual que la capacidad de uso y el uso del año 2008 disminuye un 16.98 %. Los cambios entre 1980 y 2008, presentan una disminución del 6.38 % de recarga hídrica, mientras que la escorrentía esperada se duplica al comparar las condiciones de capacidad de uso de la tierra y el uso del año 1980 con una diferencia de 113 % y se triplica al comparar las condiciones de capacidad de uso de la tierra con las de uso del año 2008 con una diferencia de 140 %, es decir, existe una incompatibilidad entre la capacidad de uso y el uso de la tierra provocando el aumento de la escorrentía y disminución de la recarga. El volumen de escorrentía esperado es de 3.22 m³/s.
- El caudal máximo que se esperaría para el año 2008 es de 182.65 m³/s para un período de retorno de 2 años, hasta 305.73 m³/s para un período de retorno de 100 años. Mientras que con las condiciones de uso del año 1980 los caudales oscilaron entre 164.12 hasta 274.72 m³/s.
- Como complemento a la investigación se realizó un monitoreo de los sedimentos en suspensión y caudales de escorrentía superficial teniendo como resultado 335.32 mg/l y 1.24 m³/s respectivamente. Con estos resultados tomando en cuenta el área de la subcuenca 19,854 has y una densidad del suelo de 1.21 gr/cc, se determinó que la cantidad promedio de suelo que se pierde es de 0.65 ton/ha/año.

2.8 Recomendaciones

- Una de las formas de concebir el comportamiento de las tierras es por la dinámica del cambio de uso de la tierra por tal razón se recomienda implementar la metodología utilizada en la investigación en otras cuencas prioritarias que contengan información comparativa en un período determinado de tiempo y así establecer principalmente el impacto en el comportamiento del ciclo hidrológico.
- Los desastres urbanos no son fenómenos naturales, son el resultado de la interacción entre los asentamientos urbanos y los riesgos que se deben principalmente al crecimiento explosivo de poblaciones en áreas de alto riesgo, concentración de industrias y actividades comerciales en áreas vulnerables, por tal razón se recomienda a la Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo del Ministerio de Agricultura elaborar un plan del uso de la tierra basado en el proyecto mapa de taxonomía del suelo a escala 1:50,000 y a las empresas e industrias elaborar construcciones de estructuras resistentes a las fuerzas naturales así mismo el manejo de aguas residuales.
- Formular e implementar talleres y capacitaciones de prácticas de conservación de suelo y conservación de recursos hídricos subterráneos y superficiales a los líderes comunitarios por las autoridades municipales para evitar el aumento de la erosión del suelo.
- Seguimiento de monitoreo de sedimentos por la autoridad del manejo de la cuenca del río Pensativo utilizando métodos de mayor precisión para dar a conocer la cantidad de suelo que se pierde por la acción de las fuertes lluvias.

2.9 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 rio 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 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, EI. 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).

2.10 Apéndice

Anexo 1. Balance hídrico de suelos

Simbología Utilizada

fc: Capacidad de infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de campo.

PM: Punto de marchitez.

PR: Profundidad de raíces.

(CC-PM): Rango de agua disponible.

DS: Densidad de suelo.

C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación media mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía superficial

ETP: Evapotranspiración potencial.

ETR: Evapotranspiración real.

HSi: Humedad de suelo inicial.

HD: Humedad disponible

HSf: Humedad de suelo final.

DCC: Déficit de capacidad de campo.

Rp: Recarga potencial

NR: Necesidad de riego.

Ret: Retención de lluvia

Cuadro 28 A. Balance hídrico de suelos de bosques del año 1980

Zona de Estudio: Bosques
Estacion: Antigua
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)	582.00		
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20		
		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)	111.90	6.40	1.50	10.50	9.40	12.30	11.90	113.00	296.20	190.80	163.80	256.60	1184.30
Ret [mm]	22.38	5.00	1.50	5.00	5.00	5.00	5.00	22.60	59.24	38.16	32.76	51.32	252.96
Pi (mm)	89.52	1.40	0.00	5.50	4.40	7.30	6.90	90.40	236.96	152.64	131.04	205.28	931.34
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)	90.05	69.63	58.26	67.88	79.71	86.40	95.14	90.89	92.47	79.68	73.20	77.00	960.32
HSi (mm)	582.00	581.65	521.29	479.15	443.63	409.20	382.59	359.86	406.36	555.65	582.66	582.66	
HD (mm)	394.86	306.38	244.63	207.99	171.36	139.84	112.83	173.60	366.66	431.63	437.04	511.28	
ETR (mm)	89.87	61.75	42.14	41.02	38.83	33.91	29.63	43.91	87.66	79.68	73.20	77.00	698.61
HSf (mm)	581.65	521.29	479.15	443.63	409.20	382.59	359.86	406.36	555.65	582.66	582.66	582.66	
DCC (mm)	1.01	61.37	103.51	139.03	173.46	200.07	222.80	176.30	27.01	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	45.95	57.84	128.28	232.07
NR (mm)	1.19	69.25	119.63	165.89	214.34	252.56	288.31	223.28	31.81	0.00	0.00	0.00	1366.27

Cuadro 29 A. Balance hídrico de suelos del cultivo de café del año 1980

Zona de Estudio: Café
Estacion El Potrero
Textura de Suelo: Franco Arenoso

fc [mm/d]	504.00		
Kp [0.01%]	0.06		
Kv [0.01%]	0.18		
Kfc [0.01%]	0.86081		Por peso
I [0.01%]	1		(%) (mm)
DS (g/cm ³):	1.25		CC 22.49 281.13
PR (mm)	1000.00		PM 10.12 126.50
HSi (mm)	281.00		(CC-PM) 12.37 154.63
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12		

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	78.80	5.20	1.20	4.90	8.85	10.30	20.70	107.30	183.30	138.90	126.25	182.20	867.90
Ret [mm]	9.46	5.00	1.20	4.90	5.00	5.00	5.00	12.88	22.00	16.67	15.15	21.86	124.11
Pi (mm)	69.34	0.20	0.00	0.00	3.85	5.30	15.70	94.42	161.30	122.23	111.10	160.34	743.79
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)	99.20	84.32	78.24	80.08	91.36	100.64	102.48	92.40	72.32	84.08	85.52	89.84	1060.48
HSi (mm)	281.00	260.76	207.63	176.96	157.60	146.90	140.92	143.27	191.10	280.33	281.13	281.13	281.13
HD (mm)	223.84	134.46	81.13	50.46	34.95	25.70	30.12	111.19	225.90	276.06	265.73	314.96	
ETR (mm)	89.58	53.33	30.67	19.37	14.55	11.28	13.35	46.59	72.08	84.08	85.52	89.84	610.23
HSf (mm)	260.76	207.63	176.96	157.60	146.90	140.92	143.27	191.10	280.33	281.13	281.13	281.13	
DCC (mm)	20.36	73.50	104.16	123.53	134.23	140.21	137.85	90.02	0.80	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.36	25.58	70.50	133.43
NR (mm)	29.98	104.48	151.74	184.24	211.04	229.57	226.99	135.83	1.04	0.00	0.00	0.00	1274.91

Cuadro 30 A. Balance hídrico de suelos de los centros poblados del año 1980

Zona de Estudio: Centros Poblados
Estacion El Potreros
Textura de Suelo: Franco Arenoso

fc [mm/d]	0.00		
Kp [0.01%]	0.01		
Kv [0.01%]	0.01		
Kfc [0.01%]	0		Por peso
I [0.01%]	0.02		(%) (mm)
DS (g/cm ³):	1.30		CC 22.49 584.74
PR (mm)	2000.00		PM 10.12 263.12
HSi (mm)	584.00		(CC-PM) 12.37 321.62
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.70		

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	78.80	5.20	1.20	4.90	8.85	10.30	20.70	107.30	183.30	138.90	126.25	182.20	867.90
Ret [mm]	55.16	5.00	1.20	4.90	6.20	7.21	14.49	75.11	128.31	97.23	88.38	127.54	610.72
Pi (mm)	0.47	0.00	0.00	0.00	0.05	0.06	0.12	0.64	1.10	0.83	0.76	1.09	5.14
ESC (mm)	23.17	0.20	0.00	0.00	2.60	3.03	6.09	31.55	53.89	40.84	37.12	53.57	252.04
ETP (mm)	99.20	84.32	78.24	80.08	91.36	100.64	102.48	92.40	72.32	84.08	85.52	89.84	1060.48
HSi (mm)	584.00	500.64	446.54	407.34	375.90	348.46	325.98	309.23	298.37	292.22	286.25	281.50	
HD (mm)	321.35	237.53	183.42	144.22	112.84	85.40	62.98	46.75	36.35	29.93	23.89	19.47	
ETR (mm)	83.83	54.11	39.19	31.44	27.50	22.54	16.87	11.50	7.25	6.80	5.51	4.68	311.23
HSf (mm)	500.64	446.54	407.34	375.90	348.46	325.98	309.23	298.37	292.22	286.25	281.50	277.91	
DCC (mm)	84.10	138.20	177.40	208.84	236.28	258.76	275.51	286.37	292.52	298.49	303.24	306.83	
Rp (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
NR (mm)	99.47	168.41	216.44	257.48	300.14	336.86	361.12	367.27	357.59	375.77	383.25	391.99	3615.79

Cuadro 31 A. Balance hídrico de suelos de los cultivos anuales del año 1980

Zona de Estudio: Cultivos Anuales
Estacion: El Potrero
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		Por peso
l [0.01%]	0.90466		(%) (mm)
DS (g/cm ³):	1.21	CC	20.74 125.69
PR (mm)	500.00	PM	9.97 60.42
HSi (mm)	125.00	(CC-PM)	10.77 65.27
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12		

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	78.80	5.20	1.20	4.90	8.85	10.30	20.70	107.30	183.30	138.90	126.25	182.20	867.90
Ret [mm]	9.46	5.00	1.20	4.90	5.00	5.00	5.00	12.88	22.00	16.67	15.15	21.86	124.11
Pi (mm)	62.73	0.18	0.00	0.00	3.48	4.79	14.20	85.42	145.93	110.58	100.51	145.05	672.88
ESC (mm)	6.61	0.02	0.00	0.00	0.37	0.51	1.50	9.00	15.38	11.65	10.59	15.29	70.91
ETP (mm)	99.20	84.32	78.24	80.08	91.36	100.64	102.48	92.40	72.32	84.08	85.52	89.84	1060.48
HSi (mm)	125.00	116.77	80.44	68.44	63.52	62.40	61.97	63.81	103.03	125.69	125.69	125.69	
HD (mm)	127.31	56.53	20.02	8.02	6.58	6.77	15.75	88.81	188.53	175.85	165.78	210.32	
ETR (mm)	70.96	36.51	12.00	4.92	4.61	5.22	12.37	46.20	72.32	84.08	85.52	89.84	524.54
HSf (mm)	116.77	80.44	68.44	63.52	62.40	61.97	63.81	103.03	125.69	125.69	125.69	125.69	
DCC (mm)	8.92	45.26	57.25	62.17	63.30	63.72	61.88	22.66	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.94	26.50	14.99	55.21	147.64
NR (mm)	37.16	93.06	123.50	137.33	150.05	159.14	152.00	68.86	0.00	0.00	0.00	0.00	921.10

Cuadro 32 A. Balance hídrico de suelos de los frutales del año 1980

Zona de Estudio: Frutales
Estacion: Antigua
Textura de Suelo: Franco Arenoso

fc [mm/d]	57.60		
Kp [0.01%]	0.06		
Kv [0.01%]	0.18		
Kfc [0.01%]	0.35042		Por peso
l [0.01%]	0.59042		(%) (mm)
DS (g/cm ³):	1.21	CC	28.05 339.99
PR (mm)	1000.00	PM	12.98 157.33
HSi (mm)	339.00	(CC-PM)	15.07 182.66
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12		

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	111.90	6.40	1.50	10.50	9.40	12.30	11.90	113.00	296.20	190.80	163.80	256.60	1184.30
Ret [mm]	13.43	5.00	1.50	5.00	5.00	5.00	5.00	13.56	35.54	22.90	19.66	30.79	162.38
Pi (mm)	58.14	0.83	0.00	3.25	2.60	4.31	4.07	58.71	153.90	99.13	85.11	133.32	603.36
ESC (mm)	40.33	0.57	0.00	2.25	1.80	2.99	2.83	40.73	106.76	68.77	59.04	92.49	418.56
ETP (mm)	90.05	69.63	58.26	67.88	79.71	86.40	95.14	90.89	92.47	79.68	73.20	77.00	960.32
HSi (mm)	339.00	315.20	267.06	237.64	215.61	197.44	185.71	177.28	206.59	286.23	313.17	328.06	
HD (mm)	239.81	158.70	109.73	83.56	60.88	44.42	32.45	78.66	203.16	228.04	240.95	304.06	
ETR (mm)	81.94	48.97	29.42	25.28	20.77	16.04	12.50	29.40	74.25	72.20	70.21	77.00	557.98
HSf (mm)	315.20	267.06	237.64	215.61	197.44	185.71	177.28	206.59	286.23	313.17	328.06	339.99	
DCC (mm)	24.79	72.93	102.35	124.39	142.56	154.29	162.71	133.40	53.76	26.82	11.93	0.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44.39	44.39
NR (mm)	32.90	93.60	131.20	166.98	201.50	224.65	245.36	194.89	71.98	34.31	14.92	0.00	1412.28

Cuadro 33 A. Balance hídrico de suelos de hortalizas del año 1980

Zona de Estudio: Hortalizas
Estacion Santa Maria de Jesus
Textura de Suelo: Franco Arenoso

fc [mm/d] 57.60
 Kp [0.01%] 0.06
 Kv [0.01%] 0.10
 Kfc [0.01%] 0.35042
 I [0.01%] 0.51042
 DS (g/cm³): 1.21
 PR (mm) 500.00
 HSi (mm) 169.00
 Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12? 1
 Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12 0.12

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	28.05	170.00
PM	12.98	78.67
(CC-PM)	15.07	91.33

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	111.90	6.40	1.50	10.50	9.40	12.30	11.90	113.00	296.20	190.80	163.80	256.60	1184.30
Ret [mm]	13.43	5.00	1.50	5.00	5.00	5.00	5.00	13.56	35.54	22.90	19.66	30.79	162.38
Pi (mm)	50.26	0.71	0.00	2.81	2.25	3.73	3.52	50.76	133.04	85.70	73.57	115.26	521.61
ESC (mm)	48.21	0.69	0.00	2.69	2.15	3.57	3.38	48.68	127.61	82.20	70.57	110.55	500.31
ETP (mm)	90.05	69.63	58.26	67.88	79.71	86.40	95.14	90.89	92.47	79.68	73.20	77.00	960.32
HSi (mm)	169.00	149.32	116.36	99.99	91.52	86.34	84.38	83.09	106.26	158.56	166.94	168.39	
HD (mm)	140.60	71.37	37.70	24.13	15.10	11.40	9.24	55.18	160.64	165.59	161.85	204.98	
ETR (mm)	69.94	33.67	16.38	11.27	7.43	5.68	4.81	27.59	80.74	77.32	72.13	77.00	483.96
HSf (mm)	149.32	116.36	99.99	91.52	86.34	84.38	83.09	106.26	158.56	166.94	168.39	170.00	
DCC (mm)	20.68	53.63	70.01	78.47	83.66	85.61	86.91	63.74	11.44	3.05	1.61	0.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.65	36.65
NR (mm)	40.78	89.60	111.90	135.08	155.94	166.33	177.24	127.04	23.17	5.42	2.68	0.00	1035.17

Cuadro 34 A. Balance hídrico de suelos de pastos del año 1980

Zona de Estudio: Pantanos Con Pastos
Estacion Santa Maria de Jesus
Textura de Suelo: Franco Arenoso

fc [mm/d] 288.00
 Kp [0.01%] 0.06
 Kv [0.01%] 0.18
 Kfc [0.01%] 0.74466
 I [0.01%] 0.98466
 DS (g/cm³): 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

	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)	78.80	5.20	1.20	4.90	8.85	10.30	20.70	107.30	183.30	138.90	126.25	182.20	867.90
Ret [mm]	9.46	5.00	1.20	4.90	5.00	5.00	5.00	12.88	22.00	16.67	15.15	21.86	124.11
Pi (mm)	68.28	0.20	0.00	0.00	3.79	5.22	15.46	92.98	158.83	120.36	109.40	157.88	732.38
ESC (mm)	1.06	0.00	0.00	0.00	0.06	0.08	0.24	1.45	2.47	1.88	1.70	2.46	11.41
ETP (mm)	99.20	84.32	78.24	80.08	91.36	100.64	102.48	92.40	72.32	84.08	85.52	89.84	1060.48
HSi (mm)	125.00	118.10	80.92	68.63	63.60	62.51	62.10	64.11	107.87	125.69	125.69	125.69	
HD (mm)	132.86	57.88	20.49	8.21	6.96	7.31	17.13	96.66	206.27	185.63	174.67	223.15	
ETR (mm)	75.18	37.38	12.28	5.04	4.87	5.63	13.45	49.21	72.32	84.08	85.52	89.84	534.81
HSf (mm)	118.10	80.92	68.63	63.60	62.51	62.10	64.11	107.87	125.69	125.69	125.69	125.69	
DCC (mm)	7.59	44.78	57.06	62.10	63.18	63.60	61.59	17.83	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	68.68	36.28	23.88	68.04	196.87
NR (mm)	31.61	91.71	123.02	137.14	149.67	158.60	150.62	61.01	0.00	0.00	0.00	0.00	903.39

Cuadro 35 A. Balance hídrico de suelos de bosques del año 2000 y 2008

Zona de Estudio: Bosques
Estacion: Santa Maria de Jesus
Textura de Suelo: Franco Arenoso

fc [mm/d] 1152.00
 Kp [0.01%] 0.06
 Kv [0.01%] 0.20
 Kfc [0.01%] 0.98174
 I [0.01%] 1
 DS (g/cm³): 1.29
 PR (mm) 2000.00
 HSi (mm) 477.00
 Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12? 1
 Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12 0.20

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	18.52	477.82
PM	7.77	200.47
(CC-PM)	10.75	277.35

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	111.90	6.40	1.50	10.50	9.40	12.30	11.90	113.00	296.20	190.80	163.80	256.60	1184.30
Ret [mm]	22.38	5.00	1.50	5.00	5.00	5.00	5.00	22.60	59.24	38.16	32.76	51.32	252.96
Pi (mm)	89.52	1.40	0.00	5.50	4.40	7.30	6.90	90.40	236.96	152.64	131.04	205.28	931.34
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)	90.05	69.63	58.26	67.88	79.71	86.40	95.14	90.89	92.47	79.68	73.20	77.00	960.32
HSi (mm)	477.00	476.69	417.16	376.42	342.95	311.20	287.46	267.67	314.89	462.45	477.82	477.82	
HD (mm)	366.05	277.62	216.70	181.46	146.88	118.03	93.89	157.61	351.38	414.62	408.39	482.63	
ETR (mm)	89.83	60.93	40.74	38.98	36.15	31.04	26.68	43.19	89.40	79.68	73.20	77.00	686.81
HSf (mm)	476.69	417.16	376.42	342.95	311.20	287.46	267.67	314.89	462.45	477.82	477.82	477.82	
DCC (mm)	1.13	60.65	101.39	134.87	166.62	190.36	210.14	162.93	15.37	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	57.59	57.84	128.28	243.71
NR (mm)	1.34	69.36	118.92	163.77	210.18	245.72	278.60	210.63	18.44	0.00	0.00	0.00	1316.96

Cuadro 36 A. Balance hídrico de suelos del cultivo de café del año 2000 y 2008

Zona de Estudio: Café
Estacion: El Potrero
Textura de Suelo: Franco Arenoso

fc [mm/d] 288.00
 Kp [0.01%] 0.06
 Kv [0.01%] 0.18
 Kfc [0.01%] 0.74466
 I [0.01%] 0.98466
 DS (g/cm³): 1.21
 PR (mm) 1000.00
 HSi (mm) 250.00
 Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12? 1
 Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12 0.12

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	20.74	251.39
PM	9.97	120.85
(CC-PM)	10.77	130.54

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	78.80	5.20	1.20	4.90	8.85	10.30	20.70	107.30	183.30	138.90	126.25	182.20	867.90
Ret [mm]	9.46	5.00	1.20	4.90	5.00	5.00	5.00	12.88	22.00	16.67	15.15	21.86	124.11
Pi (mm)	68.28	0.20	0.00	0.00	3.79	5.22	15.46	92.98	158.83	120.36	109.40	157.88	732.38
ESC (mm)	1.06	0.00	0.00	0.00	0.06	0.08	0.24	1.45	2.47	1.88	1.70	2.46	11.41
ETP (mm)	99.20	84.32	78.24	80.08	91.36	100.64	102.48	92.40	72.32	84.08	85.52	89.84	1060.48
HSi (mm)	250.00	231.36	183.14	156.99	141.62	134.24	130.64	134.06	178.47	251.39	251.39	251.39	
HD (mm)	197.43	110.71	62.29	36.15	24.56	18.61	25.25	106.18	216.45	250.90	239.94	288.42	
ETR (mm)	86.92	48.41	26.15	15.37	11.18	8.82	12.04	48.56	72.32	84.08	85.52	89.84	589.21
HSf (mm)	231.36	183.14	156.99	141.62	134.24	130.64	134.06	178.47	251.39	251.39	251.39	251.39	
DCC (mm)	20.03	68.25	94.40	109.77	117.15	120.75	117.33	72.92	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.59	36.28	23.88	68.04	141.78
NR (mm)	32.31	104.16	146.49	174.48	197.34	212.58	207.77	116.76	0.00	0.00	0.00	0.00	1191.88

Cuadro 37 A. Balance hídrico de suelos de los centros poblados del año 2000 y 2008

Zona de Estudio: Centros Poblados
Estacion La Antigua
Textura de Suelo: Franco

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/cm³): 1.21
 PR (mm) 2000.00
 HSi (mm) 536.00
 N° de mes con que inicia HSi;1,2,3...12? 1
 Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12 0.70

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	22.18	536.53
PM	10.76	260.28
(CC-PM)	11.42	276.25

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	83.70	11.10	0.65	3.30	2.80	14.60	11.30	103.30	223.00	155.00	159.00	222.00	989.75
Ret [mm]	58.59	7.77	0.65	3.30	2.80	10.22	7.91	72.31	156.10	108.50	111.30	155.40	694.85
Pi (mm)	0.50	0.07	0.00	0.00	0.00	0.09	0.07	0.62	1.34	0.93	0.95	1.33	5.90
ESC (mm)	24.61	3.26	0.00	0.00	0.00	4.29	3.32	30.37	65.56	45.57	46.75	65.27	289.00
ETP (mm)	100.96	76.08	64.08	81.44	87.60	95.04	104.56	99.92	84.64	86.80	80.32	84.72	1046.16
HSi (mm)	536.00	454.00	408.05	377.75	348.22	324.76	306.46	292.33	283.27	278.30	274.21	271.47	
HD (mm)	276.22	193.78	147.76	117.46	87.94	64.56	46.24	32.67	24.33	18.95	14.88	12.52	
ETR (mm)	82.50	46.02	30.30	29.52	23.46	18.39	14.19	9.68	6.31	5.02	3.70	3.25	272.35
HSf (mm)	454.00	408.05	377.75	348.22	324.76	306.46	292.33	283.27	278.30	274.21	271.47	269.55	
DCC (mm)	82.53	128.49	158.79	188.31	211.78	230.08	244.20	253.26	258.23	262.32	265.07	266.98	
Rp (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
NR (mm)	100.99	158.55	192.57	240.23	275.91	306.73	334.57	343.50	336.56	344.10	341.69	348.45	3323.85

Cuadro 38 A. Balance hídrico de suelos de cultivos anuales del año 2000 y 2008

Zona de Estudio: Cultivos Anuales
Estacion El Potrero
Textura de Suelo: Franco Arenoso

fc [mm/d] 57.60
 Kp [0.01%] 0.06
 Kv [0.01%] 0.10
 Kfc [0.01%] 0.35042
 I [0.01%] 0.51042
 DS (g/cm³): 1.21
 PR (mm) 500.00
 HSi (mm) 169.00
 N° de mes con que inicia HSi;1,2,3...12? 1
 Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12 0.12

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	28.05	170.00
PM	12.98	78.67
(CC-PM)	15.07	91.33

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	111.90	6.40	1.50	10.50	9.40	12.30	11.90	113.00	296.20	190.80	163.80	256.60	1184.30
Ret [mm]	13.43	5.00	1.50	5.00	5.00	5.00	5.00	13.56	35.54	22.90	19.66	30.79	162.38
Pi (mm)	50.26	0.71	0.00	2.81	2.25	3.73	3.52	50.76	133.04	85.70	73.57	115.26	521.61
ESC (mm)	48.21	0.69	0.00	2.69	2.15	3.57	3.38	48.68	127.61	82.20	70.57	110.55	500.31
ETP (mm)	90.05	69.63	58.26	67.88	79.71	86.40	95.14	90.89	92.47	79.68	73.20	77.00	960.32
HSi (mm)	169.00	149.32	116.36	99.99	91.52	86.34	84.38	83.09	106.26	158.56	166.94	168.39	
HD (mm)	140.60	71.37	37.70	24.13	15.10	11.40	9.24	55.18	160.64	165.59	161.85	204.98	
ETR (mm)	69.94	33.67	16.38	11.27	7.43	5.68	4.81	27.59	80.74	77.32	72.13	77.00	483.96
HSf (mm)	149.32	116.36	99.99	91.52	86.34	84.38	83.09	106.26	158.56	166.94	168.39	170.00	
DCC (mm)	20.68	53.63	70.01	78.47	83.66	85.61	86.91	63.74	11.44	3.05	1.61	0.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.65	36.65
NR (mm)	40.78	89.60	111.90	135.08	155.94	166.33	177.24	127.04	23.17	5.42	2.68	0.00	1035.17

Cuadro 39 A. Balance hídrico de suelos de cultivos perennes del año 2000 y 2008

Zona de Estudio: Cultivos Perennes
Estacion: Chicasanga
Textura de Suelo: Franco Arenoso

fc [mm/d] 302.04
 Kp [0.01%] 0.06
 Kv [0.01%] 0.18
 Kfc [0.01%] 0.75521
 I [0.01%] 0.99521
 DS (g/cm³): 1.21
 PR (mm) 1500.00
 HSi (mm) 441.00
 Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12? 1
 Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12 0.12

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	24.31	441.99
PM	11.82	214.91
(CC-PM)	12.49	227.09

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	165.10	69.91	17.40	5.40	7.60	12.00	44.30	142.90	246.60	180.20	189.30	204.40	1285.11
Ret [mm]	19.81	8.39	5.00	5.00	5.00	5.00	5.32	17.15	29.59	21.62	22.72	24.53	169.13
Pi (mm)	144.59	61.23	12.34	0.40	2.59	6.97	38.80	125.15	215.97	157.82	165.79	179.01	1110.63
ESC (mm)	0.70	0.29	0.06	0.00	0.01	0.03	0.19	0.60	1.04	0.76	0.80	0.86	5.35
ETP (mm)	92.04	73.10	58.27	67.89	79.71	86.40	95.14	90.88	92.47	79.66	73.20	77.00	965.75
HSi (mm)	441.00	441.99	432.03	393.27	348.22	311.47	286.54	288.76	350.21	441.99	441.99	441.99	441.99
HD (mm)	370.69	288.31	229.47	178.76	135.90	103.53	110.43	199.01	351.27	384.90	392.87	406.10	
ETR (mm)	92.04	71.19	51.10	45.45	39.33	31.90	36.57	63.71	92.47	79.66	73.20	77.00	753.62
HSf (mm)	441.99	432.03	393.27	348.22	311.47	286.54	288.76	350.21	441.99	441.99	441.99	441.99	
DCC (mm)	0.00	9.96	48.72	93.78	130.52	155.45	153.23	91.78	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	51.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.71	78.16	92.59	102.01	356.02
NR (mm)	0.00	11.87	55.89	116.21	170.90	209.95	211.79	118.96	0.00	0.00	0.00	0.00	895.57

Cuadro 40 A. Balance hídrico de suelos de pastos del año 2000 y 2008

Zona de Estudio: Pastos
Estacion: La Antigua
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/cm³): 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

	Por peso	
	(%)	(mm)
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)	83.70	11.10	0.65	3.30	2.80	14.60	11.30	103.30	223.00	155.00	159.00	222.00	989.75
Ret [mm]	10.04	5.00	0.65	3.30	2.80	5.00	5.00	12.40	26.76	18.60	19.08	26.64	135.27
Pi (mm)	73.66	6.10	0.00	0.00	0.00	9.60	6.30	90.90	196.24	136.40	139.92	195.36	854.48
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)	100.96	76.08	64.08	81.44	87.60	95.04	104.56	99.92	84.64	86.80	80.32	84.72	1046.16
HSi (mm)	194.00	180.32	142.36	120.76	107.07	99.79	100.85	99.50	141.33	194.22	194.22	194.22	194.22
HD (mm)	175.43	94.20	50.14	28.53	14.85	17.17	14.93	98.18	245.35	238.40	241.92	297.36	
ETR (mm)	87.34	44.06	21.61	13.69	7.28	8.55	7.65	49.07	84.64	86.80	80.32	84.72	575.71
HSf (mm)	180.32	142.36	120.76	107.07	99.79	100.85	99.50	141.33	194.22	194.22	194.22	194.22	
DCC (mm)	13.90	51.86	73.46	87.15	94.43	93.37	94.72	52.89	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	58.71	49.60	59.60	110.64	278.55
NR (mm)	27.52	83.88	115.94	154.90	174.75	179.87	191.63	103.74	0.00	0.00	0.00	0.00	1032.24

Cuadro 41 A. Balance hídrico de suelos para tierras inundables del año 2000 y 2008

Zona de Estudio: Agricultura con mejoras
Estacion: Santa Maria de Jesus
Textura de Suelo: Franco Arenoso

fc [mm/d] 57.60
 Kp [0.01%] 0.10
 Kv [0.01%] 0.15
 Kfc [0.01%] 0.35042
 I [0.01%] 0.60042
 DS (g/cm³): 1.21
 PR (mm) 500.00
 HSi (mm) 169.00
 Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12? 1
 Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12 0.12

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	28.05	169.91
PM	12.98	78.63
(CC-PM)	15.07	91.29

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	111.90	6.40	1.50	10.50	9.40	12.30	11.90	113.00	296.20	190.80	163.80	256.60	1184.30
Ret [mm]	13.43	5.00	1.50	5.00	5.00	5.00	5.00	13.56	35.54	22.90	19.66	30.79	162.38
Pi (mm)	59.12	0.84	0.00	3.30	2.64	4.38	4.14	59.71	156.50	100.81	86.55	135.58	613.58
ESC (mm)	39.35	0.56	0.00	2.20	1.76	2.92	2.76	39.73	104.15	67.09	57.60	90.23	408.34
ETP (mm)	90.05	69.63	58.26	67.88	79.71	86.40	95.14	90.89	92.47	79.68	73.20	77.00	960.32
HSi (mm)	169.00	153.78	118.76	101.32	92.48	87.01	85.03	83.67	111.00	169.91	169.91	169.91	
HD (mm)	149.50	75.99	40.13	26.00	16.49	12.76	10.54	64.75	188.88	192.10	177.83	226.87	
ETR (mm)	74.35	35.86	17.44	12.14	8.11	6.36	5.49	32.38	92.47	79.68	73.20	77.00	514.49
HSf (mm)	153.78	118.76	101.32	92.48	87.01	85.03	83.67	111.00	169.91	169.91	169.91	169.91	
DCC (mm)	16.13	51.15	68.59	77.43	82.91	84.89	86.24	58.91	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.12	21.13	13.35	58.58	98.18
NR (mm)	31.84	84.93	109.42	133.17	154.50	164.92	175.89	117.42	0.00	0.00	0.00	0.00	972.08

Cuadro 42 A. Balance hídrico de suelos de agricultura con mejoras (CUT)

Zona de Estudio: Tierras Inundables
Estacion: El Potrero
Textura de Suelo: Franco Arenoso

fc [mm/d] 504.00
 Kp [0.01%] 0.06
 Kv [0.01%] 0.18
 Kfc [0.01%] 0.86081
 I [0.01%] 1
 DS (g/cm³): 1.25
 PR (mm) 500.00
 HSi (mm) 140.00
 Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12? 1
 Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12 0.12

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	22.49	140.56
PM	10.12	63.25
(CC-PM)	12.37	77.31

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	78.80	5.20	1.20	4.90	8.85	10.30	20.70	107.30	183.30	138.90	126.25	182.20	867.90
Ret [mm]	9.46	5.00	1.20	4.90	5.00	5.00	5.00	12.88	22.00	16.67	15.15	21.86	124.11
Pi (mm)	69.34	0.20	0.00	0.00	3.85	5.30	15.70	94.42	161.30	122.23	111.10	160.34	743.79
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)	99.20	84.32	78.24	80.08	91.36	100.64	102.48	92.40	72.32	84.08	85.52	89.84	1060.48
HSi (mm)	140.00	129.66	93.54	78.21	70.46	67.78	66.68	69.70	112.86	140.56	140.56	140.56	
HD (mm)	146.09	66.61	30.29	14.96	11.06	9.83	19.13	100.88	210.91	199.54	188.41	237.65	
ETR (mm)	79.68	36.32	15.32	7.75	6.54	6.40	12.68	51.26	72.32	84.08	85.52	89.84	547.72
HSf (mm)	129.66	93.54	78.21	70.46	67.78	66.68	69.70	112.86	140.56	140.56	140.56	140.56	
DCC (mm)	10.90	47.03	62.35	70.10	72.79	73.88	70.86	27.70	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	61.28	38.15	25.58	70.50	195.51
NR (mm)	30.42	95.02	125.27	142.43	157.61	168.13	160.66	68.84	0.00	0.00	0.00	0.00	948.37

Cuadro 43 A. Balance hídrico de suelos de agricultura sin limitaciones (CUT)

Zona de Estudio: Agricultura sin Limitaciones
Estacion El Potrero
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/cm³): 1.21
 PR (mm) 500.00
 HSi (mm) 125.00
 N° de mes con que inicia HSi;1,2,3...12? 1
 Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12 0.12

	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)	78.80	5.20	1.20	4.90	8.85	10.30	20.70	107.30	183.30	138.90	126.25	182.20	867.90
Ret [mm]	9.46	5.00	1.20	4.90	5.00	5.00	5.00	12.88	22.00	16.67	15.15	21.86	124.11
Pi (mm)	62.73	0.18	0.00	0.00	3.48	4.79	14.20	85.42	145.93	110.58	100.51	145.05	672.88
ESC (mm)	6.61	0.02	0.00	0.00	0.37	0.51	1.50	9.00	15.38	11.65	10.59	15.29	70.91
ETP (mm)	99.20	84.32	78.24	80.08	91.36	100.64	102.48	92.40	72.32	84.08	85.52	89.84	1060.48
HSi (mm)	125.00	116.77	80.44	68.44	63.52	62.40	61.97	63.81	103.03	125.69	125.69	125.69	
HD (mm)	127.31	56.53	20.02	8.02	6.58	6.77	15.75	88.81	188.53	175.85	165.78	210.32	
ETR (mm)	70.96	36.51	12.00	4.92	4.61	5.22	12.37	46.20	72.32	84.08	85.52	89.84	524.54
HSf (mm)	116.77	80.44	68.44	63.52	62.40	61.97	63.81	103.03	125.69	125.69	125.69	125.69	
DCC (mm)	8.92	45.26	57.25	62.17	63.30	63.72	61.88	22.66	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.94	26.50	14.99	55.21	147.64
NR (mm)	37.16	93.06	123.50	137.33	150.05	159.14	152.00	68.86	0.00	0.00	0.00	0.00	921.10

Cuadro 44 A. Balance hídrico de suelos de agroforestería con cultivos anuales (CUT)

Zona de Estudio: Agroforestería con cultivos anuales
Estacion El Potrero
Textura de Suelo: Franco Arenoso

fc [mm/d] 504.00
 Kp [0.01%] 0.06
 Kv [0.01%] 0.10
 Kfc [0.01%] 0.86081
 I [0.01%] 1
 DS (g/cm³): 1.25
 PR (mm) 500.00
 HSi (mm) 140.00
 N° de mes con que inicia HSi;1,2,3...12? 1
 Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12 0.12

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	22.49	140.56
PM	10.12	63.25
(CC-PM)	12.37	77.31

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	78.80	5.20	1.20	4.90	8.85	10.30	20.70	107.30	183.30	138.90	126.25	182.20	867.90
Ret [mm]	9.46	5.00	1.20	4.90	5.00	5.00	5.00	12.88	22.00	16.67	15.15	21.86	124.11
Pi (mm)	69.34	0.20	0.00	0.00	3.85	5.30	15.70	94.42	161.30	122.23	111.10	160.34	743.79
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)	99.20	84.32	78.24	80.08	91.36	100.64	102.48	92.40	72.32	84.08	85.52	89.84	1060.48
HSi (mm)	140.00	129.66	93.54	78.21	70.46	67.78	66.68	69.70	112.86	140.56	140.56	140.56	
HD (mm)	146.09	66.61	30.29	14.96	11.06	9.83	19.13	100.88	210.91	199.54	188.41	237.65	
ETR (mm)	79.68	36.32	15.32	7.75	6.54	6.40	12.68	51.26	72.32	84.08	85.52	89.84	547.72
HSf (mm)	129.66	93.54	78.21	70.46	67.78	66.68	69.70	112.86	140.56	140.56	140.56	140.56	
DCC (mm)	10.90	47.03	62.35	70.10	72.79	73.88	70.86	27.70	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	61.28	38.15	25.58	70.50	195.51
NR (mm)	30.42	95.02	125.27	142.43	157.61	168.13	160.66	68.84	0.00	0.00	0.00	0.00	948.37

Cuadro 45 A. Balance hídrico de suelos de agroforestería con cultivos permanentes (CUT)

Zona de Estudio: Agroforestería con cultivos permanentes
Estacion: Antigua
Textura de Suelo: Franco Arcillo Arenoso

fc [mm/d] 1152.00

Kp [0.01%] 0.06

Kv [0.01%] 0.18

Kfc [0.01%] 0.98174

I [0.01%] 1.00000

DS (g/cm³): 1.29

PR (mm) 1000.00

HSi (mm) 238.00

Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12? 1

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12 0.12

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	18.52	238.96
PM	7.77	100.26
(CC-PM)	10.75	138.71

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	83.70	11.10	0.65	3.30	2.80	14.60	11.30	103.30	223.00	155.00	159.00	222.00	989.75
Ret [mm]	10.04	5.00	0.65	3.30	2.80	5.00	5.00	12.40	26.76	18.60	19.08	26.64	135.27
Pi (mm)	73.66	6.10	0.00	0.00	0.00	9.60	6.30	90.90	196.24	136.40	139.92	195.36	854.48
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)	100.96	76.08	64.08	81.44	87.60	95.04	104.56	99.92	84.64	86.80	80.32	84.72	1046.16
HSi (mm)	238.00	220.98	176.60	149.48	129.06	116.61	114.52	111.16	155.14	238.96	238.96	238.96	
HD (mm)	211.40	126.83	76.34	49.22	28.80	25.96	20.57	101.81	251.13	275.11	278.63	334.07	
ETR (mm)	90.67	50.49	27.12	20.41	12.45	11.69	9.66	46.92	84.64	86.80	80.32	84.72	605.90
HSf (mm)	220.98	176.60	149.48	129.06	116.61	114.52	111.16	155.14	238.96	238.96	238.96	238.96	
DCC (mm)	17.98	62.37	89.49	109.90	122.35	124.44	127.80	83.82	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.78	49.60	59.60	110.64	247.62
NR (mm)	28.27	87.96	126.45	170.93	197.50	207.79	222.70	136.82	0.00	0.00	0.00	0.00	1178.41

Cuadro 46 A. Balance hídrico de suelos de sistemas silvopastoriles (CUT)

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/cm³): 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

	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)	78.80	5.20	1.20	4.90	8.85	10.30	20.70	107.30	183.30	138.90	126.25	182.20	867.90
Ret [mm]	9.46	5.00	1.20	4.90	5.00	5.00	5.00	12.88	22.00	16.67	15.15	21.86	124.11
Pi (mm)	66.20	0.19	0.00	0.00	3.68	5.06	14.99	90.14	153.99	116.69	106.06	153.07	710.07
ESC (mm)	3.14	0.01	0.00	0.00	0.17	0.24	0.71	4.28	7.31	5.54	5.04	7.27	33.72
ETP (mm)	99.20	84.32	78.24	80.08	91.36	100.64	102.48	92.40	72.32	84.08	85.52	89.84	1060.48
HSi (mm)	124.00	117.36	80.65	68.53	63.56	62.47	62.05	64.00	107.01	125.69	125.69	125.69	
HD (mm)	129.78	57.13	20.23	8.11	6.81	7.10	16.62	93.71	200.57	181.96	171.33	218.34	
ETR (mm)	72.84	36.90	12.12	4.97	4.76	5.48	13.04	47.13	72.32	84.08	85.52	89.84	529.01
HSf (mm)	117.36	80.65	68.53	63.56	62.47	62.05	64.00	107.01	125.69	125.69	125.69	125.69	
DCC (mm)	8.33	45.04	57.17	62.14	63.23	63.64	61.70	18.69	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	62.98	32.61	20.54	63.23	179.36
NR (mm)	34.69	92.46	123.28	137.25	149.82	158.81	151.14	63.96	0.00	0.00	0.00	0.00	911.41

Cuadro 47 A. Balance hídrico de suelos de tierras forestales de producción (CUT)

Zona de Estudio: Tierras forestales de produccion
Estacion Antigua
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/cm³): 1.11
 PR (mm) 1500.00
 HSi (mm) 582.00
 Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12? 1
 Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12 0.20

	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)	83.70	11.10	0.65	3.30	2.80	14.60	11.30	103.30	223.00	155.00	159.00	222.00	989.75
Ret [mm]	16.74	5.00	0.65	3.30	2.80	5.00	5.00	20.66	44.60	31.00	31.80	44.40	210.95
Pi (mm)	66.96	6.10	0.00	0.00	0.00	9.60	6.30	82.64	178.40	124.00	127.20	177.60	778.80
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)	100.96	76.08	64.08	81.44	87.60	95.04	104.56	99.92	84.64	86.80	80.32	84.72	1046.16
HSi (mm)	582.00	553.72	498.17	456.64	415.11	381.15	360.82	341.49	383.84	494.17	538.65	582.66	
HD (mm)	372.30	283.15	221.51	179.98	138.45	114.09	90.46	147.47	285.58	341.51	389.18	483.60	
ETR (mm)	95.24	61.65	41.53	41.53	33.96	29.93	25.63	40.29	68.07	79.53	80.32	84.72	682.39
HSf (mm)	553.72	498.17	456.64	415.11	381.15	360.82	341.49	383.84	494.17	538.65	582.66	582.66	
DCC (mm)	28.94	84.49	126.02	167.55	201.51	221.84	241.17	198.82	88.49	44.01	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.87	92.88	95.75
NR (mm)	34.66	98.92	148.57	207.46	255.15	286.95	320.10	258.45	105.06	51.29	0.00	0.00	1766.61

Cuadro 48 A. Balance hídrico de suelos de tierras forestales de producción (CUT)

Zona de Estudio: Tierras forestales de Protección
Estacion Santa Maria de Jesus
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/cm³): 1.11
 PR (mm) 1750.00
 HSi (mm) 679.00
 Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12? 1
 Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12 0.20

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	34.96	679.77
PM	16.60	322.77
(CC-PM)	18.36	357.00

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	111.90	6.40	1.50	10.50	9.40	12.30	11.90	113.00	296.20	190.80	163.80	256.60	1184.30
Ret [mm]	22.38	5.00	1.50	5.00	5.00	5.00	5.00	22.60	59.24	38.16	32.76	51.32	252.96
Pi (mm)	89.52	1.40	0.00	5.50	4.40	7.30	6.90	90.40	236.96	152.64	131.04	205.28	931.34
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)	90.05	69.63	58.26	67.88	79.71	86.40	95.14	90.89	92.47	79.68	73.20	77.00	960.32
HSi (mm)	679.00	678.64	617.17	573.04	534.53	496.06	464.94	437.41	482.25	633.61	679.77	679.77	
HD (mm)	445.75	357.26	294.39	255.77	216.16	180.58	149.07	205.03	396.44	463.47	488.04	562.28	
ETR (mm)	89.88	62.87	44.13	44.01	42.88	38.42	34.43	45.55	85.60	79.68	73.20	77.00	717.65
HSf (mm)	678.64	617.17	573.04	534.53	496.06	464.94	437.41	482.25	633.61	679.77	679.77	679.77	
DCC (mm)	1.14	62.60	106.73	145.24	183.71	214.83	242.36	197.52	46.16	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.80	57.84	128.28	212.92
NR (mm)	1.30	69.37	120.87	169.11	220.55	262.81	303.07	242.85	53.03	0.00	0.00	0.00	1442.96

Anexo 2. Leyenda del mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra a escala 1:50,000

Cuadro 49 A. Leyenda utilizada de los mapas

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 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		

Anexo 3. Curva intensidad- duración - frecuencia

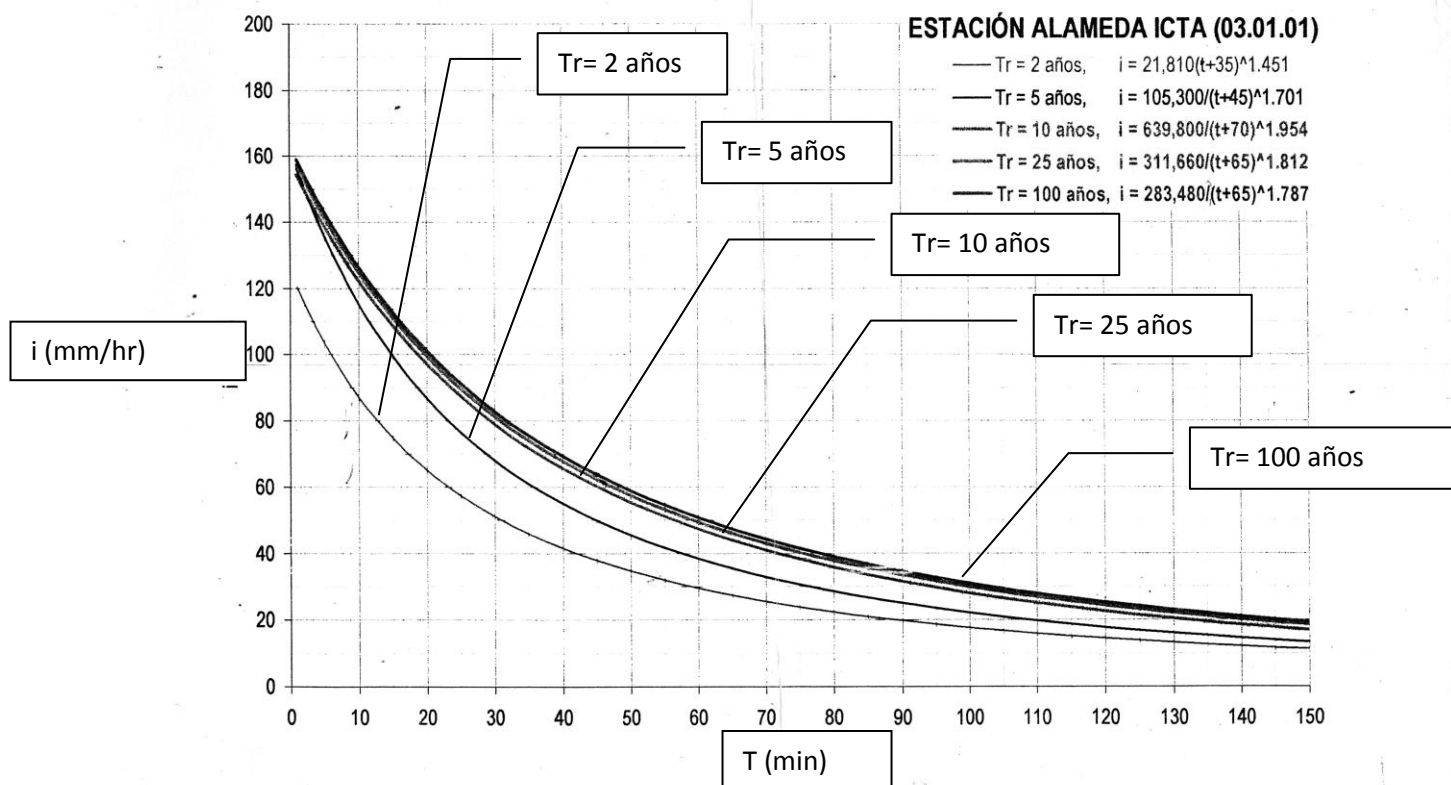


Figura 15 A. Curva intensidad- duración – frecuencia de la estación meteorológica Alameda ICTA, Chimaltenango

Anexo 4. Cuadros para el cálculo de CN

Cuadro 50 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

Tomado de: Tesis de impacto del cambio de uso del suelo. Asturias Hernández. Guatemala, USAC. 102 p
 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.

Cuadro 51 A Número de curva de esorrentía para áreas urbanas

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
¼ acre	38	57	72	81	86
1/3 acre	30	54	70	80	85
½ 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

Tomado de: Tesis de impacto del cambio de uso del suelo. Asturias Hernández. Guatemala, USAC. 102 p

- ¹ Promedio de la condición de humedad antecedente AMC II e $I_a = 0.25$
- 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.

Cuadro 52 A. Número de curva de escorrentía para tierras agrícolas cultivadas

Uso de la tierra	COBERTURA		GRUPO DE SUELOS			
	Tratamiento ó práctica	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
Patios	Hileras rectas		59	74	82	86
Caminos de tierra ²	Hileras rectas		72	82	87	89
Pavimentos	Hileras rectas		71	84	90	92

Tomado de: Tesis de impacto del cambio de uso del suelo. Asturias Hernández. Guatemala, USAC. 102 p

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

Cuadro 53 A. Número de curva de escorrentía de otras tierras agrícolas

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

Tomado de: Tesis de impacto del cambio de uso del suelo. Asturias Hernández. Guatemala, USAC. 102 p

- ¹ Condición de humedad antecedente promedio AMC II e I_a 0.0.25
- 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 quemas 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.

Cuadro 54 A. Número 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			

Tomado de: Tesis de impacto del cambio de uso del suelo. Asturias Hernández. Guatemala, USAC. 102 p

CAPITULO III

SERVICIOS PRESTADOS EN LA UNIDAD DE PLANIFICACIÓN GEOGRÁFICA Y GESTIÓN DE RIESGO -UPGGR- DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN –MAGA-

3.1 Presentación

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.

Durante el desarrollo del Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía (EPSA) se llevaron a cabo los servicios siguientes: el principal servicio fue lo planificado, que es el apoyo a los edafólogos en la clasificación de los suelos de Guatemala en los departamentos de Chimaltenango, Sacatepéquez, Guatemala y Sololá, para la elaboración del mapa de taxonomía de suelos y capacidad de uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala, el cual al final solo se llevó a cabo para los departamentos de Chimaltenango y Sacatepéquez, debido a la falta de fondos en el Ministerio de Agricultura. El otro servicio no fue planificado por haber nacido durante el desarrollo del Ejercicio Profesional Supervisado, fue el apoyo en el laboratorio de sistemas de información geográfica el cual surge por la falta de personal técnico en el mismo.

Dentro del servicio planificado se llevaron a cabo actividades como socialización, divulgación del proyecto, descripción de suelos en el campo y elaboración de informes de la información recopilada en el campo. El servicio no planificado se llevó a cabo actividades como digitalización de delineaciones de las unidades geográficas de suelos y cuantificación de las áreas útiles y comunes en las fotografías aéreas digitales.

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

3.2 Servicio I

Apoyo a los edafólogos, en el proyecto de taxonomía de suelos y capacidad de uso de la tierra a escala 1:50,000 de los departamentos de Chimaltenango y Sacatepéquez

3.2.1 objetivos

- Socializar y divulgar el proyecto Mapa de Taxonomía de Suelos y Capacidad de Uso de la República de Guatemala en el departamento de Sacatepéquez.
- Describir las unidades cartográficas de suelos, elaborando cajuelas, barrenajes y calicatas en el departamento de Sacatepéquez.
- Elaborar los informes de recopilación de información de campo de cada uno de los municipios del departamento de Sacatepéquez y Chimaltenango.

3.2.2 Metodología

A. Actividad 1. Recopilación de información para la clasificación de los suelos del departamento de Sacatepéquez.

a. Metodología:

Recopilación y adaptación de información: se llevó a cabo la recopilación de datos naturales, culturales y socioeconómicos del municipio en estudio, en forma documental y electrónica lo cual permitió el establecimiento de la información climática, geológica, geomorfológico de los suelos y otras características importantes para la ubicación y descripción de las unidades geográficas de suelo.

Preparación del material 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 1:20,000 fotointerpretadas sobre acetatos para ubicar los puntos de muestreo en cada unidad cartográfica de suelos.
- Leyenda geomorfológica que incluye 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.
- Mapas: se incluyeron 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 y Mapa geológico.
- Preparación de reactivos químicos y otros materiales necesarios.
- Uniformes e identificación personal
- Material y equipos necesarios para la descripción del perfil de los suelos.

B. Actividad 2. Socialización y divulgación el proyecto mapa de taxonomía de suelos y capacidad de uso a escala 1:50,000 de la República de Guatemala en el departamento de Sacatepéquez.

a. Metodología

Se visitó la sede departamental del MAGA de Sacatepéquez en donde se llevó a cabo la presentación del trabajo de campo del proyecto con lo cual se logró la asignación de un facilitador para la planificación de las visitas a las corporaciones municipales.

Con el facilitador se procedió a visitar las corporaciones municipales logrando presentar el trabajo de campo del proyecto, la aprobación para el ingreso hacia las comunidades de los municipios y obtención de un espacio en las reuniones de alcaldes auxiliares, Consejo Comunitario de Desarrollo –COCODES- y Consejo Municipal de Desarrollo –COMUDES- COCODES y COMUDES para la presentación del trabajo de campo del proyecto.

En la reunión de los alcaldes auxiliares, Consejo Comunitario de Desarrollo –COCODES- y Consejo Municipal de Desarrollo –COMUDES- se llevo a cabo la planificación de las visitas de campo para la elaboración de barrenajes, cajuelas y calicatas, así mismo la asignación de auxiliares para facilitar el acceso hacia los puntos de muestreos (fincas, comunidades y propietarios de terrenos).

C. Describir las unidades cartográficas de suelos elaborando cajuelas, barrenajes y calicatas en el departamento de Sacatepéquez.

a. Metodología:

- Luego de la socialización se procedió al reconocimiento de los límites del municipio desde los cuatro puntos cardinales.
- Después del reconocimiento de campo se llevó a cabo la determinación del número de observaciones en base al área y la ubicación de los puntos de observación.
- Se definió el tipo de observación a realizar de acuerdo a la siguiente clasificación:
De verificación: se realizó por medio de barrenajes los cuales se realizaron a 1.30 m. de profundidad, estos con el fin de verificar un cambio de unidad geomorfología que no puede ser detectada a simple vista.
De identificación: se realizó por medio de cajuelas, sus dimensiones fueron de 50 cm de cada lado y 50 cm de profundidad; en las que se realizó la descripción del perfil.
Calicatas: también conocido como perfil modelo o modal, sus dimensiones fueron de 1.20 m de cada lado y 1.20 m de profundidad.

La descripción de los suelos consistió en la determinación de características físicas y químicas dentro de cajuelas y calicatas, las cuales 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.

D. Actividad 4. Elaboración de los informes de recopilación de información de campo de cada uno de los municipios del departamento de Sacatepéquez

a. Metodología

Actividad que se llevó a cabo al finalizar la fase de campo del proyecto mapa de taxonomía de suelos.

El informe final fue recopilado en un archivo, que contiene la estructura siguiente:

- Carátula
- Planificación
- Leyenda Geomorfológica Preliminar
- Descripción de observaciones de campo
- Solicitud de análisis de laboratorio
 - a. Los análisis físicos
 - b. Los análisis químicos
 - c. Análisis Específicos
- 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
- Personal de las comunidades que ha prestado su colaboración en el proyecto

3.2.3 Resultados

Socialización y divulgación del Proyecto Mapa de Taxonomía de Suelos y Capacidad de Uso a escala 1:50,000 de la República de Guatemala en 7 municipios del departamento de Sacatepéquez.

Cuadro 55. Extensión de cada municipio socializado

Departamento	Municipio	Extensión (hectáreas)
Sacatepéquez	Santa Lucia Milpas Altas	1,019
Sacatepéquez	San Bartolomé Milpas Altas	834
Sacatepéquez	Magdalena Milpas Altas	1,355
Sacatepéquez	San Lucas Sacatepéquez	2,434
Sacatepéquez	Santiago Sacatepéquez	3,762
Sacatepéquez	Santo Domingo Xenacoj	2,106
Sacatepéquez	Sumpango Sacatepéquez	5,523

Ubicación y descripción de cajuelas, barrenajes y calicatas, así mismo la extracción de muestras para los análisis de laboratorio, elaboración de pruebas de infiltración y conductividad hidráulica de los siguientes municipios.

Cuadro 56: Descripciones y pruebas realizadas por municipio

Municipio	No. Cajuelas	No. Barrenajes	No. Calicatas	Monolito	Prueba de Infiltración	Prueba de Conductividad
Santa Lucia M. A.	40	0	2	0	1	2
San Bartolomé M. A.	41	0	2	0	2	2
Magdalena M. A.	45	0	3	0	0	0
San Lucas	47	0	0	0	2	2
Santiago	90	0	0	1	2	2
Sto. Domingo Xenacoj	0	0	0	0	0	0
Sumpango	0	0	0	0	0	0

3.2.4 Evaluación

Se logro la recopilación de información para la clasificación de los suelos de 7 municipios del departamento de Sacatepéquez, socialización y divulgación del Proyecto Mapa de Taxonomía de Suelos y Capacidad de Uso a escala 1:50,000 de la República de Guatemala en 7 municipios del departamento de Sacatepéquez. Se logró reportar la ubicación y descripción de 4 observaciones por cada 100 hectáreas (incluye cajuelas y barrenajes) el área total de los municipios es de 17,033 hectáreas, 1 calicata por cada unidad cartográfica de suelos, 1 monolito por cada municipio, una prueba de infiltración y una prueba de conductividad hidráulica por municipio y se elaboró 23 informes finales de la información recopilada en el campo de los 7 municipios del departamento de Sacatepéquez y 16 municipios del departamento de Chimaltenango.

3.3 Servicio 2

Apoyo en el laboratorio de sistemas de información geográfico

3.3.1 Objetivos

- Digitalizar el mapa de unidades cartográficas de suelos del departamento de Chimaltenango.
- Apoyar en la capacitación de los directores departamentales del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.

3.3.2 Metodología

A. Actividad 1: Digitalización de mapas

- Primero se procedió al escaneo de todos los acetatos de cada una de las fotografías aéreas que fue fotointerpretado por el Dr. Raúl Álvarez Director Técnico del Proyecto Mapa de Taxonomía desde Colombia.
- Luego se procedió a la rectificación, utilizando las ortofotos ya rectificadas ubicando los puntos de control para la ubicación de la imagen en la ortofoto.
- Se limpio la imagen en el programa fotoshop.

- Al final se digitalizó en el software Arcgis en su extensión ArcMap utilizando la herramienta de edición.

B. Actividad 2: Capacitaciones

- Elaboración de los manuales análoga y digitalmente
- Recopilación y grabado en un CD de la información del departamento
- Instalación del software en las máquinas de los capacitados
- Apoyo en la capacitación de los directores o representantes.

3.3.3 Resultados

- Apoyó en la edición impresión de 50 manuales de casos prácticos para la utilización del software ArcView 3.3.
- Se apoyo en la digitalización de la información para el taller, se distribuyeron 3 discos compactos por cada coordinación, el contenido de cada disco es el siguiente:
 - 2 discos del software de instalación ArcView 3.3
 - 1 disco con el contenido del taller el cual se estructuró de la siguiente manera:
 1. Información general: contiene las bases de datos de los shaples contenidos, el manual digital, en imágenes contiene las ortofotografías 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 republica para que sean llevados a nivel departamental.
 3. Res_shapes: esta carpeta fue creada para guardar cada capa que se va creando.
 4. Proyectos: esta carpeta se creo para 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.

3.3.4 Evaluación

- Se logró la digitalización del mapa de unidades cartográficas de suelos de los 16 municipios del departamento de Chimaltenango y el apoyo en la capacitación de los directores departamentales del ministerio en los 23 departamentos de la república.
- Se logró la capacitación de un total de 21 coordinadoras departamentales del –MAGA-, los asistentes fueron los coordinadores departamentales y los técnicos de información estratégica.

3.3.4 Bibliografía

1. Duro Tamásiunas, 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). 2006. Mapas temáticos de la república de Guatemala a escala 1:250,000. Guatemala. 1 CD.
3. _____, 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.
4. _____, 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.