

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN MANEJO SOSTENIBLE DE SUELO Y AGUA



**"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CON FINES DE RIEGO, DE LA
CUENCA DEL RÍO ACOMÉ, ESCUINTLA, GUATEMALA"**

MARVIN ROBERTO SALGUERO BARAHONA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DEL 2002

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN MANEJO SOSTENIBLE DE SUELO Y AGUA

**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CON FINES DE RIEGO, DE LA
CUENCA DEL RÍO ACOMÉ, ESCUINTLA, GUATEMALA”**

***TESIS SOMETIDA A LA CONSIDERACIÓN DE LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE
LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA, PARA OPTAR AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN MANEJO
SOSTENIBLE DE SUELO Y AGUA , CON ESPECIALIDAD EN PLANIFICACIÓN Y
MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS EN AGRONOMÍA.***

MARVIN ROBERTO SALGUERO BARAHONA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DEL 2002

ESTA TESIS FUE ACEPTADA POR EL CONSEJO ACADÉMICO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA Y APROBADA POR EL COMITÉ ASESOR DE LA INVESTIGACIÓN, COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN MANEJO SOSTENIBLE DE SUELO Y AGUA, CON ESPECIALIDAD EN PLANIFICACIÓN Y MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS EN AGRONOMÍA.



M. Sc. Erick Leonel Motta Franco
Asesor Principal



M. Sc. Edwin Guillermo Santos Mansilla
Asesor Adjunto



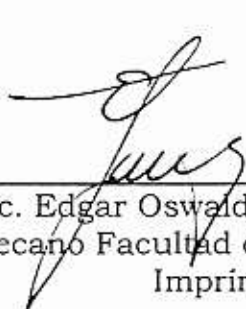
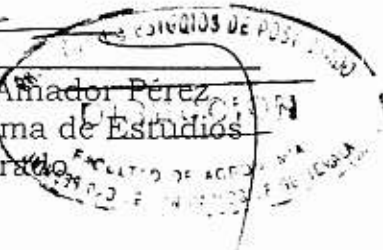
M. Sc. Jorge Luis Sánchez García
Asesor Adjunto



M. Sc. José Jesús Chonay Pantzay
Coordinador de Maestría



M. Sc. Domingo Amador Pérez
Director del Programa de Estudios
de Postgrado



M. Sc. Edgar Oswaldo Franco Rivera
Decano Facultad de Agronomía
Imprimase



Ing. Agr. Marvin Roberto Salguero Barahona
Estudiante de Maestría

Guatemala, noviembre del 2,002

DEDICATORIA

A: DIOS, ser supremo que ilumina mi camino.

MIS PADRES

Roberto Salguero Alvarado y Maria Elizabeth Barahona Cardona de Salguero
Como un reconocimiento a sus múltiples esfuerzos

MI ESPOSA

Romelia Margarita Asturias Hernández de Salguero
Con mucho amor.

MIS HIJAS

María Belén Salguero Asturias y María del Carmen Salguero Asturias
Los regalos más grandes que Dios me ha dado.

MIS HERMANAS

Maira Janeth, Lilian Maribel, Belsy Haydeé
Con amor fraternal.

MIS SOBRINOS

José Roberto y Luis Emilio
Con mucho cariño.

MIS ABUELOS

Tomás Barahona Vargas y María Concepción Cardona
Ismael Antonio Salguero (Q.E.P.D.) y María del Carmen Alvarado (Q.E.P.D.)

MIS TIOS

Armando y Liliana, Mirna y Enrique, Lilian y Oscar, Lubia y Luis
Con el cariño y respeto de siempre.

MIS PRIMOS

En especial a Rony Estuardo Barahona Vargas y a la memoria de Rudy
Rolando Salguero Barahona (Q.E.P.D.)

LA CINCUENTENARIA FACULTAD DE AGRONOMÍA

LA TRICENTENARIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

MI PATRIA, GUATEMALA

AGRADECIMIENTOS

A: MIS ASESORES, Ing. Agr. M. Sc. Erick Leonel Motta Franco, Ing. Agr. M. Sc. Edwin Guillermo Santos Mansilla, Ing. Agr. M. Sc. Jorge Luis Sánchez García, Ing. Agr. M. Sc. Oscar Gonzalez Hernández, por su valiosa colaboración en el asesoramiento y revisión del presente trabajo.

LA RED CENTROAMÉRICA PARA EL MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS (CARA), por haberme otorgado la beca para realizar los estudios de maestría, en especial al Dr. David Bethune y su esposa Dra. Kathy Ryan por el apoyo brindado.

EL INGENIO MAGDALENA, S.A., por su colaboración al proporcionar financiamiento parcial para la realización del presente trabajo.

EL PERSONAL DE LABORATORIO DE SUELO Y AGUA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA, por su ayuda en el análisis de muestras de suelo y agua.

EL PERSONAL DE LA ADMINISTRACIÓN SANTA MARIA DEL INGENIO MAGDALENA S.A., por el apoyo logístico durante el desarrollo de la etapa de campo del presente trabajo.

LOS CATEDRÁTICOS DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN MANEJO DE SUELO Y AGUA, Ing. Agr. M. Sc. Maxdelio Herrera, Ing. Agr. M. Sc. David Juárez, Ing. Agr. M. Sc. Victor Cabrera, Ing. Agr. M. Sc. Isaac Herrera, Ing. Agr. M. Sc. Hugo Tobias, Dr. Hugo Cardona, Dr. Carlos Rivera, Ing. Agr. M. Sc. Anibal Sacbaja, Ing. Agr. M. Sc. Adolfo Revolorio, por colaborar en mi formación profesional.

MIS COMPAÑEROS DE MAESTRÍA, Ing. Agr. Marvin Alfonso Romero Santizo, Ing. Agr. Carlos Wilfredo Juárez Quim, Ing. Agr. Luis Fernando Morán Palma, por su amistad y apoyo.

LA MUNICIPALIDAD DE LA GOMERA, ESCUINTLA, por la información proporcionada para la realización del presente estudio.

ESTE ESTUDIO SE HA DESARROLLADO CON EL APOYO DE LA RED CENTROAMERICANA PARA EL MANEJO DE RECURSOS HIDRICOS -CARA-, DE LA CUAL FORMAN PARTE LAS UNIVERSIDADES DE CALGARY Y WATERLOO EN CANADA, LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA Y LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.



UNIVERSITY OF
CALGARY



University of
Waterloo



RESUMEN

“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CON FINES DE RIEGO, DE LA CUENCA DEL RÍO ACOMÉ, ESCUINTLA, GUATEMALA”

“HYDROGEOLOGICAL STUDY FOR IRRIGATION PURPOSES, OF THE ACOMÉ RIVER BASIN, ESCUINTLA, GUATEMALA”

El presente estudio reúne información sobre las características generales, geología, hidrología superficial, aguas subterráneas y calidad del agua de la cuenca del río Acomé en el Departamento de Escuintla, en la Costa Sur de Guatemala, con el objetivo de caracterizar cuantitativa y cualitativamente los recursos hídricos con énfasis en las aguas subterráneas, lo que servirá para planificar el uso del recurso hídrico con fines de riego en esta zona.

La cuenca está localizada entre las cuencas de los ríos Coyolate y Achiguate, las cuales junto con esta forman un abanico aluvial de características similares. La principal unidad geológica del área, está formada por arenas y gravas de granulometría variada, las cuales han sido depositadas durante el período Cuaternario, en esta unidad se encuentra el acuífero local, dicho acuífero es más extenso que la delimitación de la cuenca hidrográfica y coincide con la forma y extensión del abanico aluvial que forman los ríos Coyolate - Acomé - Achiguate. El espesor de esta unidad alcanza más de 150 m en las partes bajas de la cuenca, separada en algunos casos por capas de arcillas cuyo funcionamiento hidráulico es el de un acuitardo. Debajo de esta unidad se encuentran rocas volcánicas oscuras, fracturadas, posiblemente andesitas, que constituyen una segunda unidad geológica, las cuales no están muy estudiadas debido a que en el área pocos pozos tienen profundidades mayores a los 180 m.

El sistema de acuíferos en el que se encuentran las aguas subterráneas de la cuenca, está formado por un acuífero superior libre o freático, debajo del cual subyace un acuífero confinado por una capa de arcilla de pocos metros de espesor, los cuales presentan porosidad primaria, un tercer acuífero más profundo, confinado y con porosidad secundaria. Este sistema de acuíferos es de muy buena calidad el cual puede ser explotado con fines agrícolas e industriales con rendimientos de hasta 100 L/s, y

rendimientos específicos altos (hasta 18 L/s/m). Con transmisividades de 900 a 2,500 m²/día. Las isofreáticas muestran un movimiento del agua de Norte a Sur con fluctuaciones de 0.3 m hasta 1 m.

Los suelos de la cuenca, tienen muy buena capacidad de infiltración que van desde 3.1 hasta 7 cm/h, lo cual se ve reflejado en un potencial de recarga de los acuíferos que alcanza 213 millones de m³ al año que equivale a 15% de la lluvia, siendo las partes altas de la cuenca las que presentan los mayores porcentajes de infiltración debido a que aquí se presentan las mayores precipitaciones. Mientras que en las partes bajas se presenta una mayor evapotranspiración potencial y precipitaciones menores principalmente en el bosque seco subtropical presente en una franja de aproximadamente 5 km a partir de la línea del mar.

Se estima que un 23.47% de esta recarga es aprovechada actualmente, por lo cual hay un excedente del 76.53%, lo que equivale a 163 millones de m³ al año que pueden ser aprovechados.

El río Acomé es influente en la parte alta y media de la cuenca, mientras que en la parte baja es efluente, lo cual se determinó con base en aforos diferenciales.

La calidad del agua para uso agrícola según la clasificación de la FAO, presenta aguas de clase C1S1, C2S1 y C3S2; por lo tanto, se deben de tomar precauciones al momento de la selección de especies vegetales, y las condiciones de drenaje y contenido de sales de las áreas a cultivar, cuando se utilicen las clases C2S1 y C3S1. La presencia de hierro y manganeso, deberá de ser estudiada más a detalle, debido a que es una limitante al utilizar sistemas presurizados con emisores de boquillas pequeñas.

El agua del acuífero superficial no es apta con fines de consumo humano, según las normas COGUANOR, debido a que existe una alta contaminación causada por la actividad humana y no recibe ningún tratamiento. En la mayoría de las muestras fue aislada la bacteria *Escherichia coli*. Se recomienda implementar sistemas de saneamiento adecuado y realizar extracciones con pozos profundos, para agua de consumo humano.

CONTENIDO

	Página
Hoja de aprobación	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	vi
CONTENIDO	viii
LISTA DE CUADROS	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS	xiv
 CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	 01
1.1 Área y localización	01
1.2 Hidrografía y relieve	04
1.3 Zonas de vida y clima	06
1.4 Suelos	07
1.5 Actividades productivas y uso de la tierra	08
1.6 Antecedentes	11
1.7 Justificación	13
1.8 Asistencia de personas e instituciones	14
1.9 Fuentes de información	15
1.10 Objetivos del estudio	16
 CAPITULO 2: MATERIALES Y METODOS	 18
2.1 Fase Preliminar	18
2.2 Fase de campo	19
2.3 Fase de procesamiento de datos y análisis	20
2.4 Elaboración de documento final	21
 CAPITULO 3: GEOLOGÍA	 22

3.1	Marco geológico regional	22
3.2	Geología superficial y subterránea	23
3.3	Estratigrafía	24
3.4	Geomorfología	24
CAPITULO 4: HIDROLOGIA SUPERFICIAL		28
4.1	Ciclo hidrológico	28
4.1.1	Precipitación Pluvial	29
4.1.2	Evapotranspiración	33
4.1.3	Escorrentía superficial	35
4.2	Recarga potencial de agua subterránea	38
4.2.1	Balance hídrico de suelos	41
4.2.2	Cálculo de la recarga.	54
4.3	Balance hidrológico	57
CAPITULO 5: AGUAS SUBTERRÁNEAS		60
5.1	Agua subterránea	60
5.2	Límites del acuífero	61
5.3	Características del acuífero	63
5.3.1	Coefficiente de almacenamiento (S).	67
5.3.2	Transmisividad (T).	69
5.4	Niveles y movimiento de las aguas subterráneas	70
5.5	Características y producciones de pozos	73
5.6	Potencial del recurso hídrico subterráneo	77
5.7	Desarrollo de las aguas subterráneas	78
5.7.1	Consideraciones sobre el manejo de la cuenca	78
5.7.2	Planificación del uso de los recursos hídricos subterráneos	79
CAPITULO 6: CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS		80
6.1	Características del agua subterránea.	80
6.2	Calidad para uso agrícola	83
6.3	Calidad para consumo humano	91

CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	99
7.1 CONCLUSIONES	99
7.2 RECOMENDACIONES	101
BIBLIOGRAFÍA	103
ANEXOS	107
Anexo 1. Pruebas de velocidad de infiltración de suelos	
Anexo 2. Informe de análisis físico de muestras de suelo (textura, densidad aparente y constantes de humedad)	
Anexo 3. Balances hídricos de suelos	
Anexo 4. Pruebas de bombeo de pozos y perfiles litológicos de pozos	
Anexo 5. Inventario de pozos de agua monitoreados	
Anexo 6. Informe de análisis físico – químico de muestras de agua.	
Anexo 7. Informes de análisis microbiológico de muestras de agua	

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1 Distribución del uso de la tierra en la cuenca del río Acomé, Escuintla	9
Cuadro 2 Datos de precipitación pluvial promedio mensual (mm) de la Estación Camantulul, INSIVUMEH, situada en la parte alta de la cuenca del río Acomé, Escuintla.	30
Cuadro 3 Datos de precipitación pluvial promedio mensual (mm), de las estaciones pluviométricas del Ingenio Magdalena, S.A., situadas en la cuenca del río Acomé.	31
Cuadro 4 Evapotranspiración potencial obtenida por los métodos de Penman - Monteith y Blanney Criddley en la cuenca del río Acomé, Escuintla.	34
Cuadro 5 Resumen de aforos diferenciales realizados en el cauce del río Acomé, Escuintla	37
Cuadro 6 Resumen de aforos de escorrentía superficial en la cuenca del río Acomé, Escuintla.	38
Cuadro 7 Características de las unidades taxonómicas de suelo seleccionadas para determinar la capacidad de infiltración de los suelos de la cuenca del río Acomé.	40
Cuadro 8 Resultados de análisis textural de las muestras obtenidas de las diferentes unidades taxonómicas de suelo seleccionadas en la cuenca del río Acomé, Escuintla.	42
Cuadro 9 Densidad aparente de los suelos de las unidades taxonómicas seleccionadas en la cuenca del río Acomé, Escuintla.	43
Cuadro 10 Constantes de humedad de los suelos de las unidades taxonómicas seleccionadas en la cuenca del río Acomé, Escuintla	45
Cuadro 11 Precipitaciones mensuales (mm), para las unidades taxonómicas de suelo analizadas en el balance hídrico de suelos de la cuenca del río Acomé, Escuintla.	47
Cuadro 12 Capacidad de infiltración de las diferentes unidades taxonómicas de suelo seleccionadas en la cuenca del río Acomé.	50
Cuadro 13 Porcentajes de infiltración de los suelos de la Cuenca del río Acomé, Escuintla.	53
Cuadro 14 Evapotranspiración promedio mensual (mm), en las unidades taxonómicas analizadas en el balance hídrico de suelos del río Acomé, Escuintla.	54

Cuadro 15	Resumen de recarga potencial por unidad de suelo, de la cuenca del río Acomé, Escuintla	55
Cuadro 16	Resumen del balance hidrológico de la cuenca del río Acomé, Escuintla.	58
Cuadro 17	Localización de los pozos a los que se les analizaron sus pruebas de bombeo, en la cuenca del río Acomé, Escuintla.	67
Cuadro 18	Coefficientes de almacenamiento obtenidos, mediante el análisis de pruebas de bombeo, en la cuenca del río Acomé, Escuintla.	68
Cuadro 19	Coefficientes de transmisividad, obtenidos mediante el análisis de pruebas de bombeo, en la cuenca del río Acomé, Escuintla.	70
Cuadro 20	Características principales del funcionamiento de los pozos analizados, para el estudio hidrogeológico de la cuenca del río Acomé, Escuintla.	76
Cuadro 21	Puntos de muestreo de agua seleccionados y las fuentes utilizadas, para la determinación de la calidad del agua en la cuenca del río Acomé, Escuintla.	87
Cuadro 22	Resultados de los análisis físico - químicos de agua realizados en el mes de abril, en la cuenca del río Acomé.	88
Cuadro 23	Resultados de los análisis químicos de agua realizados en el mes de agosto, en la cuenca del río Acomé.	89
Cuadro 24	Puntos de muestreo seleccionados para el análisis de calidad del agua con fines de consumo humano	93
Cuadro 25	Características físico - químicas de las muestras de agua analizadas en abril para la calidad con fines de consumo humano, en la cuenca del río Acomé, Escuintla	93
Cuadro 26	Características físico-químicas de las muestras de agua analizadas en agosto para la calidad con fines de consumo humano, en la cuenca del río Acomé, Escuintla.	94
Cuadro 27	Características microbiológicas de las muestras de agua analizadas en abril para la calidad con fines de consumo humano, en la cuenca del río Acomé, Escuintla.	96
Cuadro 28	Características microbiológicas de las muestras de agua analizadas en agosto para la calidad con fines de consumo humano, en la cuenca del río Acomé, Escuintla.	96

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación de la zona de estudio	02
Figura 2. Caminos y Poblados del área	03
Figura 3. Hidrografía y relieve del área	05
Figura 4. Mapa del uso de la tierra	10
Figura 5. Mapa de unidades taxónomicas de suelo	39
Figura 6. Isofréaticas de la zona de estudio	72
Figura 7. Ubicación de muestreo de agua	86

LISTA DE ABREVIATURAS

CENGICAÑA	Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación en Caña de Azúcar
COGUANOR	Comité Guatemalteco de Normas
DIRYA	Dirección General de Riego y Avenamiento
FAUSAC	Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala
IGN	Instituto Geográfico Nacional
IMSA	Ingenio Magdalena, Sociedad Anónima
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
USDA	United States Department of Agriculture

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Área y localización

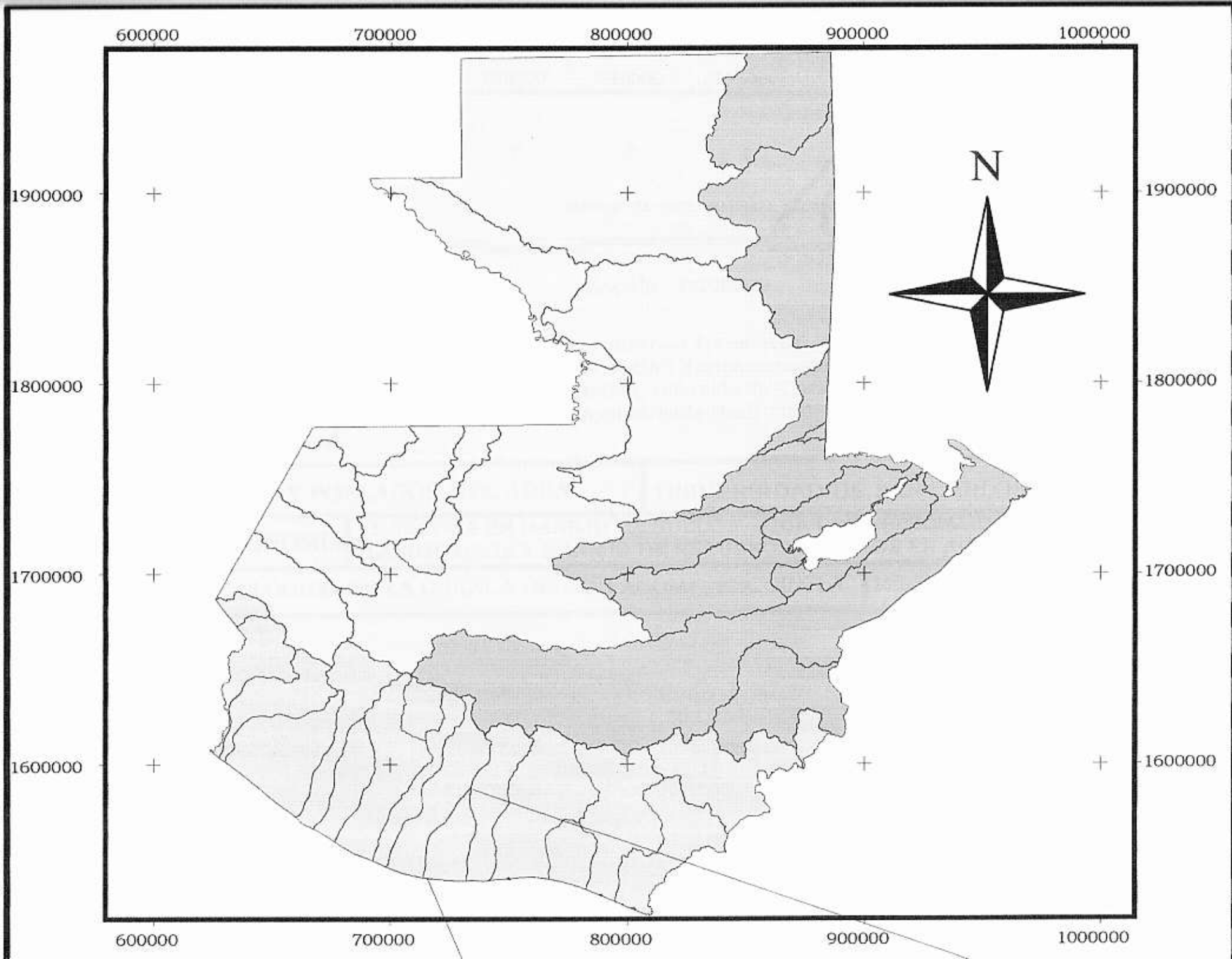
La cuenca hidrográfica del río Acomé, esta situada en jurisdicción del departamento de Escuintla. En los municipios de La Gomera, Siquinalá, Santa Lucía Cotzumalguapa y La Democracia.(IGN, 1984)

Pertenece a la vertiente del Océano Pacífico, se extiende desde la zona conocida como el pie de monte volcánico, hasta el Océano Pacífico.(Herrera, 1995)

La cuenca está delimitada por las coordenadas geográficas: $13^{\circ} 54' 00''$ y $14^{\circ} 22' 00''$ de latitud Norte; $90^{\circ} 57' 00''$ y $91^{\circ} 13' 00''$ de longitud Oeste, la altitud se encuentra entre los 0 - 625 msnm aproximadamente. El área total de la cuenca es de 821.26 km², la parte baja de la cuenca tiene como límite el Océano Pacífico.(IGN, 1984)

El área de estudio se encuentra en su totalidad en la Llanura Costera del Pacífico, siendo de topografía relativamente plana. Esta cuenca se encuentra entre las cuencas de los ríos Achiguate y Coyolate en la Costa Sur de Guatemala, como se observa en la Figura 1.

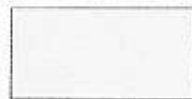
Se cuenta con una red vial que comunica las cabeceras municipales y llega hasta la localidad de Sipacate que se ubica a orilla del Océano Pacífico, la cual es asfaltada; los caminos principales a las otras comunidades son de terracería y se encuentran transitables durante todo el año, los caminos internos de las fincas, son transitables en verano en su mayoría, lo que coincide con la temporada de cosecha de la caña de azúcar, que es cuando se les da mantenimiento debido a que se utilizan para transportar la caña hacia los ingenios azucareros, mientras que en época lluviosa muchos de ellos no son transitables. Tal como se observa, en el mapa de caminos y poblados en la Figura 2.



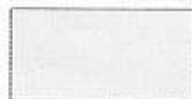
LEYENDA



Vertiente del Caribe

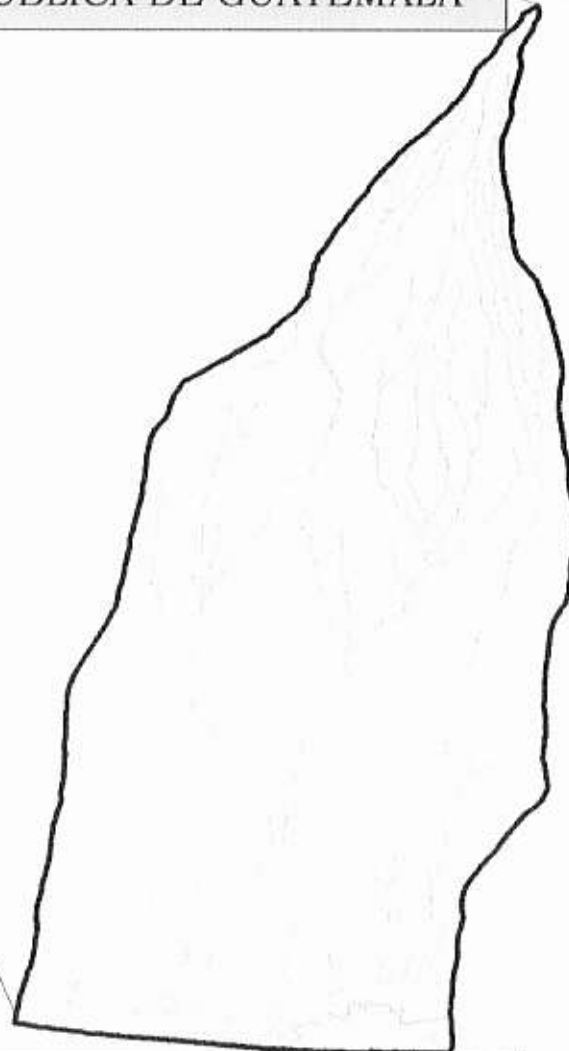


Vertiente del Golfo de México



Vertiente del Pacífico

Sin escala



CUENCA DEL RÍO ACOMÉ

Figura 1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

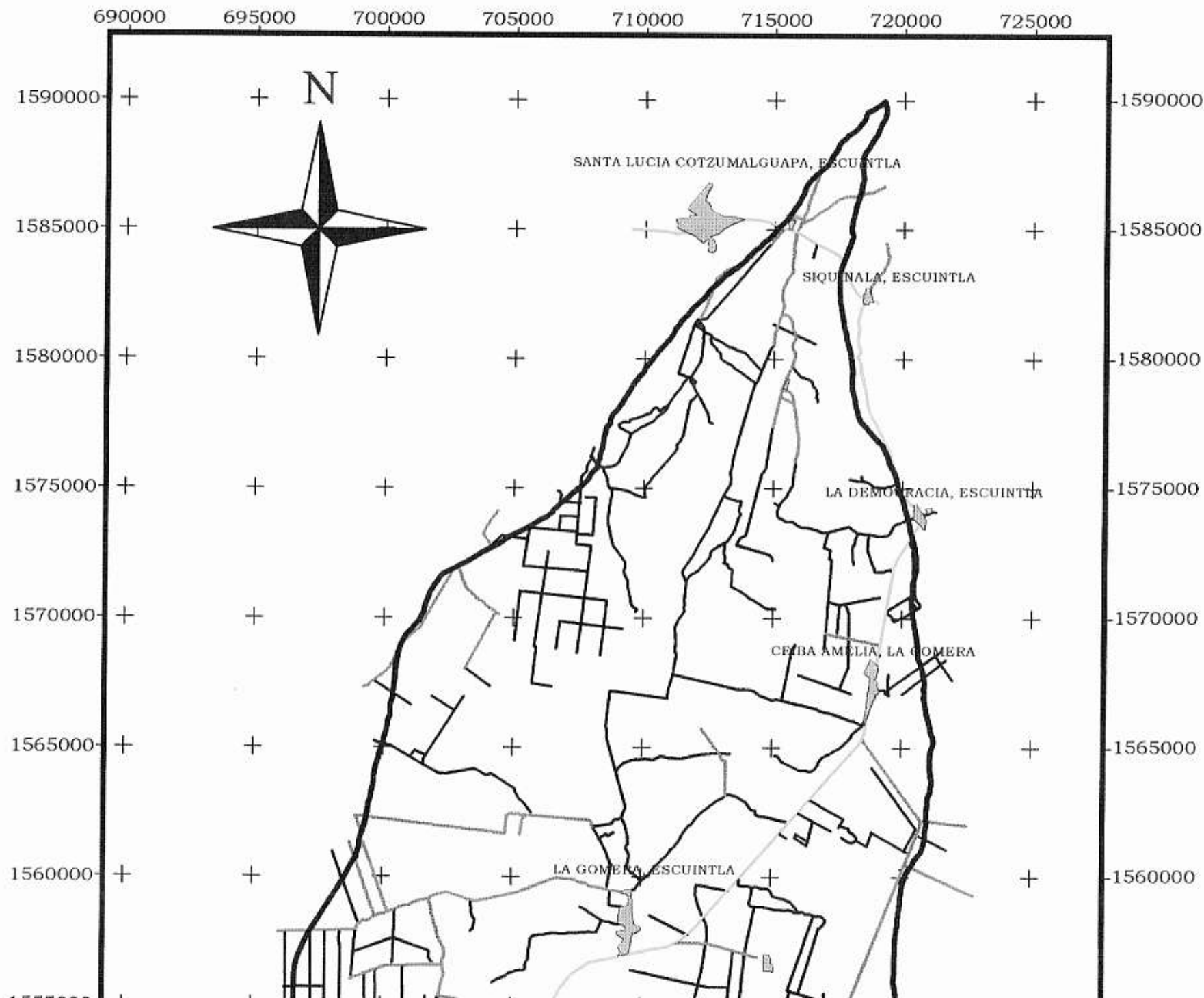
FACULTAD DE AGRONOMÍA

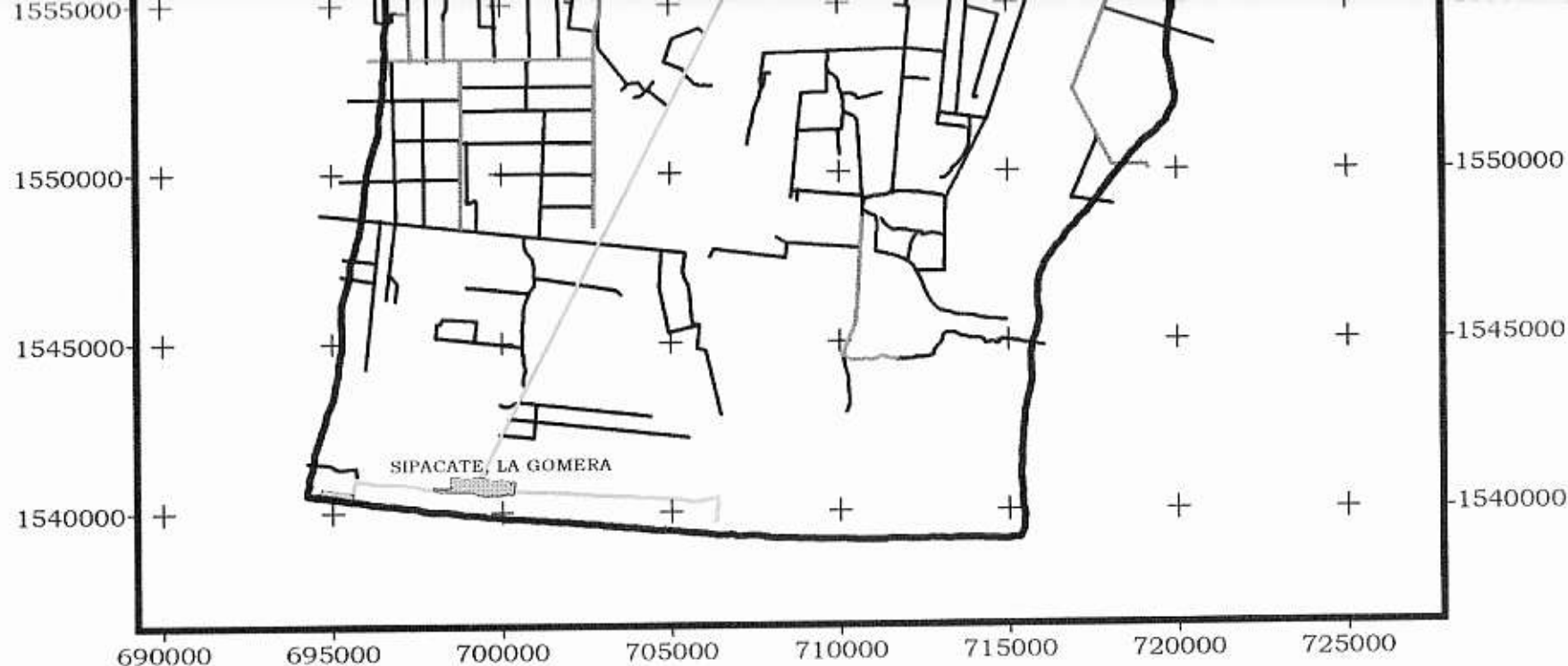
MAESTRÍA EN MANEJO DE SUELO Y AGUA CON ESPECIALIDAD EN
PLANIFICACIÓN Y MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS EN AGRONOMÍA

AÑO 2002

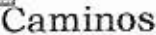
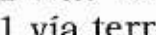
ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO ACOMÉ, ESCUINTLA

Realizó: Ing. Agr. Marvin Salguero





LEYENDA

-  Cuenca
-  Poblados
-  Caminos
-  Asfaltada
-  2 vías terracería
-  1 vía terracería



Escala 1:200000

Proyección Universal Transversal Mercator
Datum Horizontal: Norteamericano 1927
Zona 15 extendida, esferoide de Clarke de 1866
Espaciamientos de la cuadrícula Horizontal y Vertical 5,000 m

Figura 2. CAMINOS Y POBLADOS DEL ÁREA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

MAESTRÍA EN MANEJO DE SUELO Y AGUA CON ESPECIALIDAD EN
PLANIFICACIÓN Y MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS EN AGRONOMÍA

AÑO 2002

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO ACOME, ESCUINTLA

Realizó: Ing. Agr. Marvin Salguero

1.2 Hidrografía y relieve

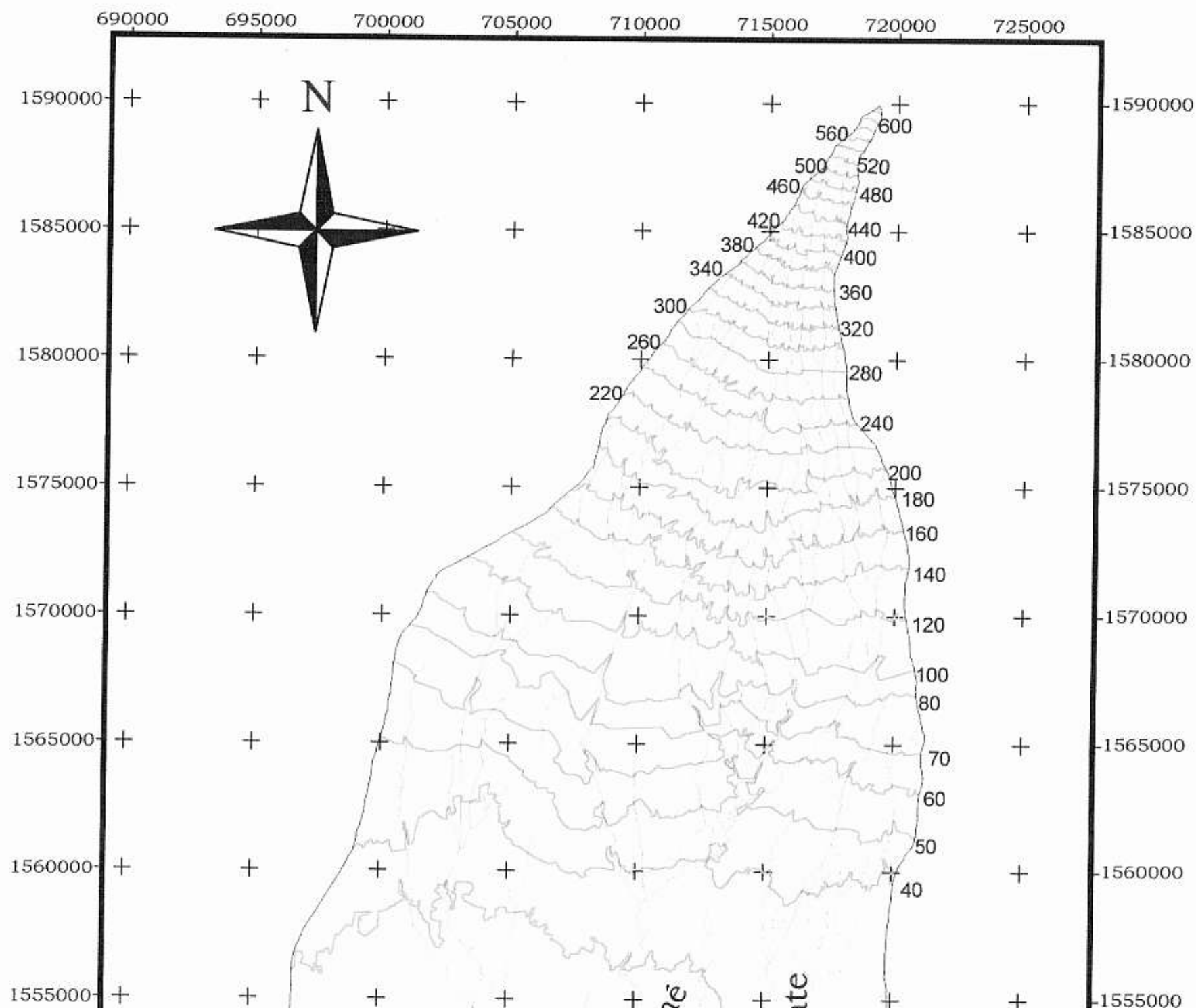
Los ríos de Guatemala forman dos grandes sistemas hidrográficos, 1) Los ríos que desembocan en el Océano Pacífico, y 2) Los ríos que desembocan en el Océano Atlántico. Esto da lugar a que se formen 3 vertientes principales. Los ríos que desembocan en Océano Pacífico forman la Vertiente del Pacífico, y los ríos que desembocan en el Océano Atlántico se dividen en dos vertientes, la vertiente del Golfo de México y la Vertiente del Caribe o del Mar de las Antillas.(MAGA, 1991)

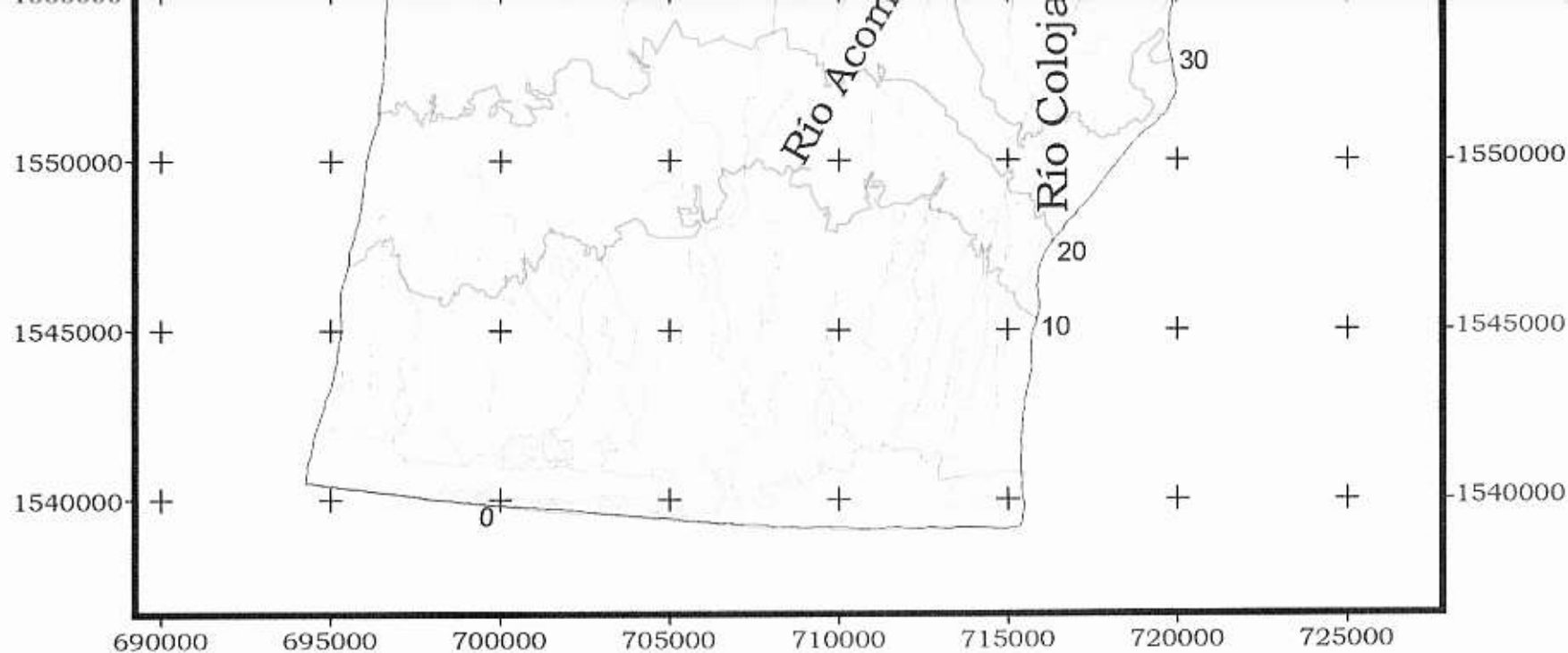
Cada una de las vertientes está formada por un número de cuencas que corresponden a un cauce principal el cual les da el nombre.

La cuenca del río Acomé está ubicada en la vertiente del Océano Pacífico y el cauce principal es el río del mismo nombre, aunque cabe mencionar que paralelo a este se ubica el río Colojate, que tiene longitud similar al Acomé, pero con menos cauces tributarios y que se une al Acomé en la parte baja de la cuenca.

La desembocadura del sistema de cauces de agua superficial de esta cuenca es en su gran mayoría, el Canal de Chiquimulilla, el cual colecta toda la escorrentía para luego desembocar en el Océano Pacífico.

Los cauces superficiales de esta cuenca, se caracterizan por desplazarse en pendientes fuertes desde su nacimiento (600 msnm), lo cual determina que en época lluviosa tomen régimen torrencial, y a la vez transporten gran cantidad de sedimentos, principalmente materiales volcánicos recientes. A una altura de 300 msnm aproximadamente, existe un cambio de pendiente donde esta pasa de fuerte a moderada, en todo este trayecto se ha producido erosión del cauce principal, con arrastre de materiales de origen volcánico de gran tamaño. A partir de la altura de 100 msnm la pendiente sufre un cambio y pasa de moderada a leve y desde este punto hasta su desembocadura el río arrastra materiales de menor tamaño y el lecho del río es preferentemente arenoso. En la Figura 3, pueden observarse los cauces de aguas superficiales de la cuenca, además del relieve del área, el cual es muy plano en la parte baja, con pendientes de 0-1% y la parte alta es de leve a moderadamente inclinado, con pendientes del 3 al 7%.





LEYENDA

-  Cuenca
- Rios**
-  Intermitentes
-  Permanentes
-  Curvas a nivel



Escala 1:200000

Proyección Universal Transversal Mercator

Datum Horizontal: Norteamericano 1927

Zona 15 extendida, esferoide de Clarke de 1866

Espaciamientos de la cuadrícula Horizontal y Vertical 5,000 m

Figura 3. HIDROGRAFÍA Y RELIEVE DEL ÁREA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

MAESTRÍA EN MANEJO DE SUELO Y AGUA CON ESPECIALIDAD EN
PLANIFICACIÓN Y MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS EN AGRONOMÍA

AÑO 2002

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO ACOME, ESCUINTLA

Realizó: Ing. Agr. Marvin Salguero

1.3 Zonas de vida y clima

En La cuenca del río Acomé se encuentran 3 zonas de vida según la clasificación del Dr. Leslie Holdridge, utilizada por De la Cruz (1982), en su trabajo de zonas de vida a nivel de reconocimiento de la República de Guatemala, estas son:

Bosque seco subtropical. (bs-S)

Abarca una faja angosta de unos 3 a 5 km en el litoral del Pacífico que va desde la frontera con México hasta la cercanía de Las Lisas, en el canal de Chiquimulilla.

Las condiciones climáticas en esta zona se caracterizan por días claros y soleados durante los meses que no llueve y parcialmente nublados durante la época de enero – abril. La época de lluvia corresponde especialmente a los meses de junio a octubre, en que llegan a ser las precipitaciones más importantes en esta región. La precipitación varía entre 500 y 1,000 mm anuales y como promedio un total de 855 mm. La biotemperatura media anual para esta zona oscila entre los 19 y los 24 °C. La relación de evapotranspiración potencial es de alrededor de 1.5.

La topografía de esta zona es plana, con suelos de buena calidad, se pueden destinar a agricultura intensiva.

Bosque húmedo subtropical (cálido). (bh-st (c))

Esta zona corresponde a una franja que va desde El Salvador hasta México en la Costa Sur.

En la Costa Sur en esta zona se tiene un patrón de lluvias que va de 1,200 a 2,000 mm anuales. La biotemperatura es de alrededor de 27 °C y se tiene una relación de evapotranspiración del 0.95

Los terrenos tienen por lo general una topografía suave, en la costa sur van desde 0 hasta 80 msnm.

Los suelos correspondientes a esta zona en la Costa sur, son los más adecuados para fitocultivos y ganadería por tener suelos fértiles, profundos y bien drenados.

Bosque muy húmedo subtropical (Cálido). (bmh-st (c))

Es la más extensa en Guatemala ocupando también el primer lugar en usos, esta zona en la Costa Sur cubre una franja de 40 a 50 km de ancho que va desde Oratorio y Santa María Ixhucatán en Santa Rosa, hasta la Frontera con México.

El patrón de lluvia varía entre 2,136 y 4,327 mm anuales, promediando 3,284 mm en la Costa Sur. Las biotemperaturas van de 21 a 25 °C en la Costa Sur y la evapotranspiración potencial puede estimarse en promedio en 0.45.

La topografía de esta zona de vida va desde plana a accidentada. La elevación varía de 80 msnm hasta 1,600 msnm.

En la costa Sur esta zona es la más indicada para dedicarla a fitocultivos pues es la que posee los mejores suelos del país.

1.4 Suelos

El material sobre el cual se han desarrollado los suelos de la zona cañera de Guatemala, está constituido principalmente por cenizas, lapilli, pómez y otros materiales piroclásticos, aportados por las erupciones volcánicas ocurridas en diferentes épocas, principalmente durante la Cuaternaria. Estos materiales de cenizas han sido transportados por el viento o removidos por las aguas de escorrentía y luego transportados por los ríos que descienden de la montaña, formando depósitos recientes o antiguos, gruesos o delgados, según como haya sido la dinámica eólica o aluvial durante el depósito y la relación con las emisiones volcánicas de los piroclastos.

Su disposición en la planicie está caracterizada por capas relativamente delgadas, de granulometría media y fina. Las capas superiores están enriquecidas de materia orgánica

humificada y son de colores siempre oscuros de espesores mayores de 2 cm, su densidad es baja (menos que 1). La mineralogía y granulometría de los materiales varían de un lugar a otro según su localización geográfica y la posición fisiográfica considerada, especialmente con relación a las distancias al cono volcánico, lo cual es un factor que incide en los tipos y granulometría del material volcánico que se observa en la región. Al pie de los conos volcánicos se observan materiales gruesos, lapilli y escorias; en los lugares más apartados son las cenizas las que dominan.

El tipo y tamaño de los materiales que forman los suelos, dependen también del origen y caudal de las corrientes de agua que remueven, acarrean y depositan estos materiales.

Los sedimentos y aluviones depositados en alguna época, en un sitio determinado, es posible que hayan sido retomados, removidos, retransportados y redepositados posteriormente en otros lugares, debido a los cambios en la dinámica fluvial, en relación con los eventos volcánicos tan activos en esta región. Es por todos estos hechos que la complejidad de la región de estudio es grande y no es fácil explicar la génesis de los suelos con exactitud.(CENGICANA, 1996)

1.5 Actividades productivas y uso de la tierra

La agricultura representa la actividad más importante del área de estudio. Las características genéticas y de fertilidad de los suelos, aunado a las condiciones de clima, favorecen de gran manera el desarrollo de esta actividad.

Los cultivos más destacados son: la caña de azúcar, el banano y la palma de aceite o africana, como cultivos agroindustriales y de exportación, entre los cultivos tradicionales se encuentra el maíz, frijol y los cultivos frutales. Todos estos constituyen la base de economía en esta región del país.

La ganadería es otra actividad de importancia en sus modalidades de engorde, leche y doble propósito, las cuales se desarrollan bajo un tipo de explotación bastante diverso existiendo explotaciones intensivas, extensivas y semi-intensivas, encontrándose áreas

de pastos en los que se encuentran pastos de los géneros *Paspalum*, *Hyparrhenia*, *Panicum*, *Brachiaria*. Las zonas ganaderas se encuentran especialmente en los lugares cercanos a la costa, a altitudes de 0 hasta 30 msnm en su mayoría.

Una parte del área de la cuenca, situada en la parte baja, es ocupada por mangle, ubicada en la zona de influencia del canal de Chiquimulilla y en esta se desarrollan actividades de pesca.

La agroindustria azucarera es la principal y más importante de esta área y de la Costa Sur de Guatemala, la cual ha tenido un crecimiento permanente en los últimos años. Dentro de la cuenca se encuentran los Ingenios Magdalena y Guadalupe, mientras que en las áreas aledañas están los Ingenios Pantaleón y La Unión. Además de esta industria destaca la de los aceites y grasas, obtención de sal marina y la pesca.

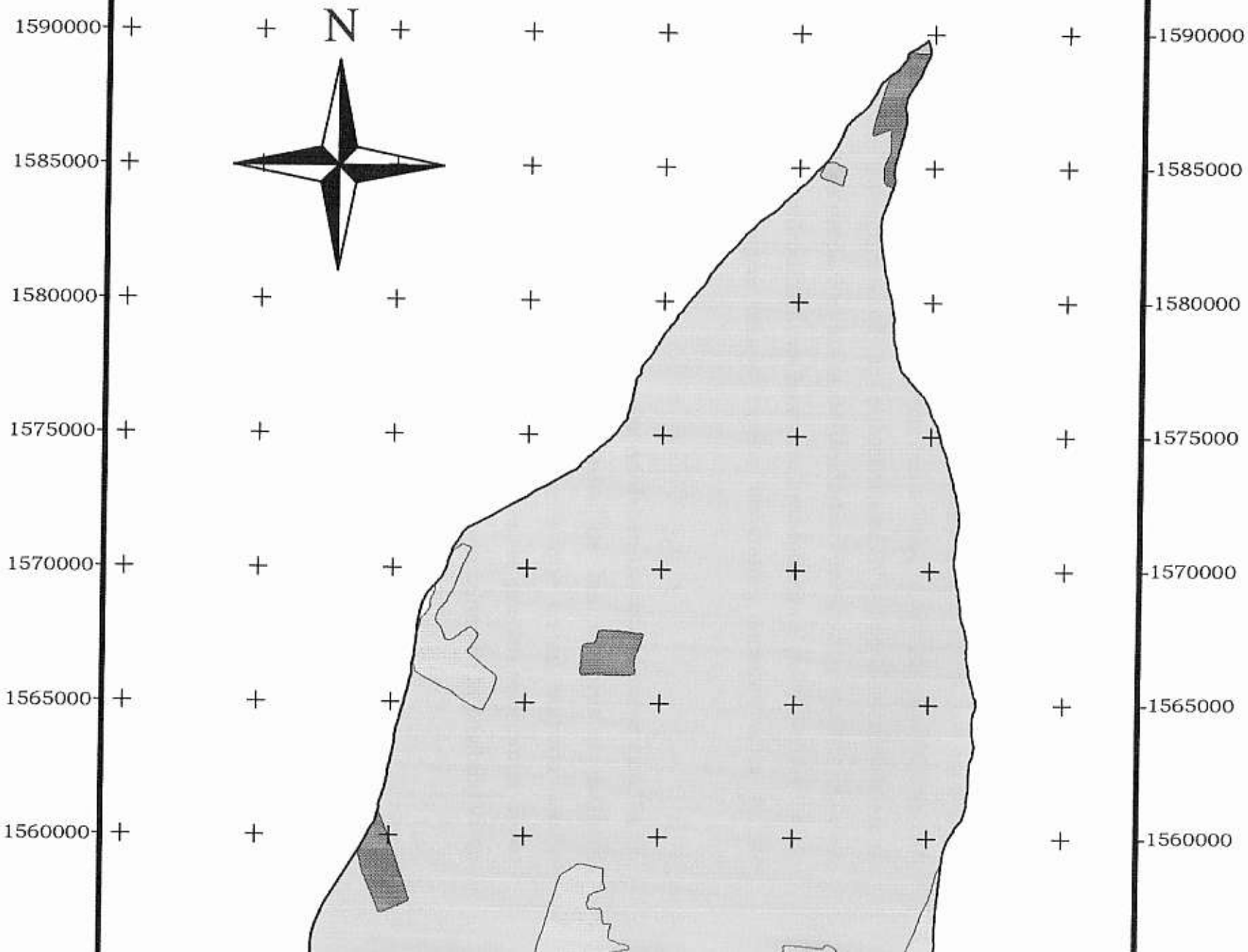
En el Cuadro 1, se observa la distribución del uso de la tierra, en el cual predomina la caña de azúcar con un 80% del área de la cuenca, seguida de agricultura limpia anual con un 9.64% y de pastos cultivados con un 7.65%, las otras actividades alcanzan a ocupar menos del 3% del área de la cuenca.

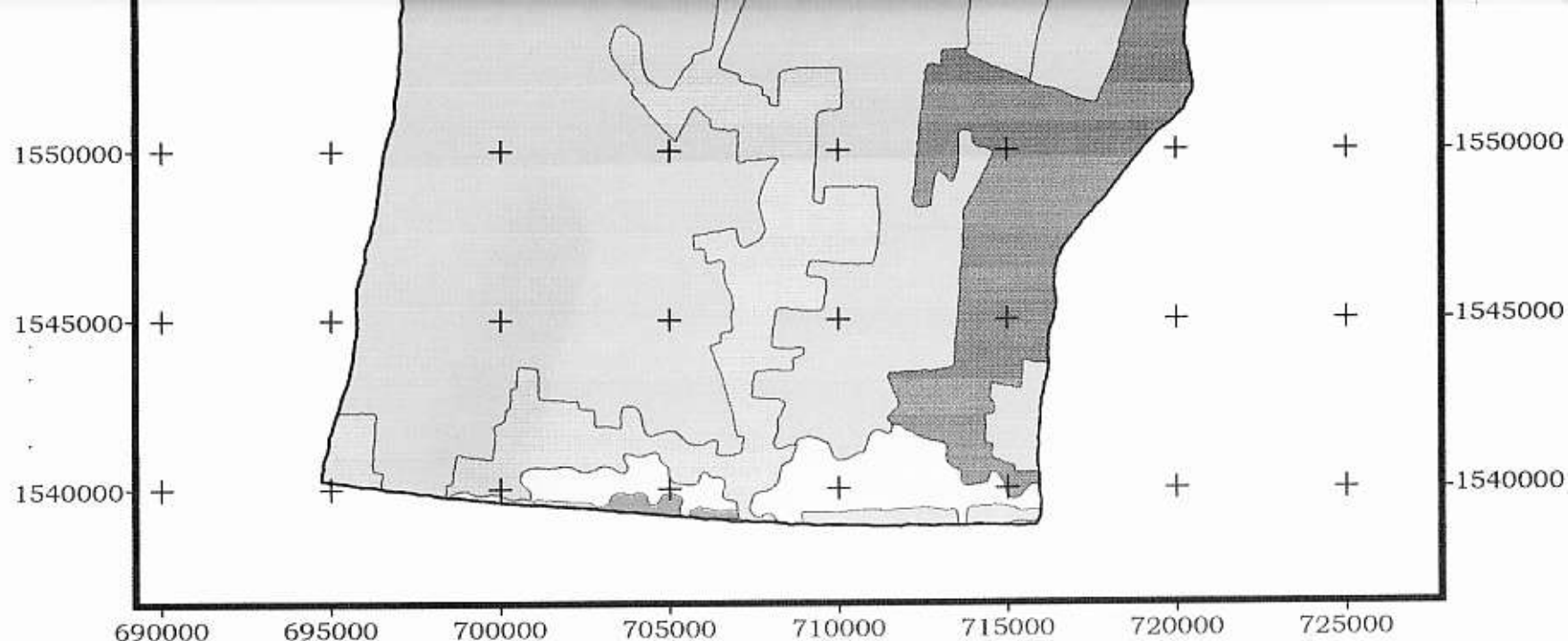
Cuadro 1. Distribución del uso de la tierra en la cuenca del río Acomé, Escuintla

USO DE LA TIERRA	AREA	
	Km ²	%
CAFÉ	0.16	0.02
CAÑA	657.35	80.05
PASTOS CULTIVADOS	62.85	7.65
ZONAS INDUSTRIALES	0.81	0.10
AGRICULTURA LIMPIA ANUAL	79.20	9.64
AREA DE PLAYA	0.25	0.03
HUMEDAL Y BOSQUE	19.13	2.33
CUERPOS DE AGUA	1.42	0.17

En la Figura 4, se observa la distribución espacial dentro de la cuenca de las diferentes actividades productivas.

690000 695000 700000 705000 710000 715000 720000 725000





LEYENDA

- Agricultura limpia anual
- Area de arena y/o playa
- Café
- Caña de azúcar
- Cuerpos de agua
- Humedal con cobertura boscosa
- Pastos cultivados
- Zonas industriales

8 0 8 16 Km

Escala 1:200000

Proyección Universal Transversal Mercator
Datum Horizontal: Norteamericano 1927
Zona 15 extendida, esferoide de Clarke de 1866
Espaciamientos de la cuadrícula Horizontal y Vertical 5,000 m

Figura 4. MAPA DE USO DE LA TIERRA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

MAESTRÍA EN MANEJO DE SUELO Y AGUA CON ESPECIALIDAD EN
PLANIFICACIÓN Y MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS EN AGRONOMÍA

AÑO 2002

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO ACOME, ESCUINTLA

Realizó: Ing. Agr. Marvin Salguero

1.6 Antecedentes

En junio de 1989, se integró un grupo de trabajo de técnicos de la Dirección Técnica de Riego y Avenamiento (DIRYA) y consultores contratados por el proyecto PNUD/OSP/GUA/88/003, para la programación y formulación del Plan Maestro de Riego y Drenaje, el cual estaba orientado a evaluar el potencial existente en el país para desarrollar agricultura bajo riego o drenaje. Este estudio fue realizado en todo el país, utilizando una base cartográfica a escala 1:250,000.

El Documento No. 2 del Plan Maestro de Riego y Drenaje (MAGA, 1991), corresponde a Hidrogeología (Disponibilidad de agua subterránea), en el cual se realizó una descripción de carácter general sobre los recursos hídricos subterráneos de Guatemala. Utilizando el mapa geológico 1:500,000 se preparó el Mapa de Unidades Hidrogeológicas del país, las cuales tienen características hidrodinámicas bastante homogéneas y permiten dentro de ellas un comportamiento del agua más o menos constante, siempre a la escala considerada.

Según lo indica este estudio, los valores obtenidos no deben de considerarse exactos en su valor absoluto, sino únicamente como indicativo de las menores o mayores posibilidades que ofrece cada cuenca, siendo resultados que en su mayoría fueron teóricos y preliminares. Sobre la base de estas evaluaciones, se pueden seleccionar áreas prioritarias para efectuar estudios detallados, para evaluar en concreto la posibilidad de utilizar las aguas subterráneas.

Se menciona en este estudio que todas las cuencas de la Costa Sur tienen características muy similares entre ellas, en todas las cuencas hay muy buena posibilidad de encontrar y desarrollar las aguas subterráneas contenidas en el acuífero aluvial, que presentan alta permeabilidad y permite la realización de pozos perforados de buena productividad con caudales de entre 20 y 50 L/s, que pueden llegar hasta los 100 L/s con niveles de bombeo menores a los 30 metros. Agua de buena calidad, exceptuando las áreas cercanas a la costa, donde puede haber contaminación por agua del mar.

Las cuencas que se consideran prioritarias por la necesidad que tienen de desarrollar al máximo el empleo de las aguas subterráneas para riego, son las de los ríos: Coyolate, Acomé, Maria Linda, Paso Hondo y Los Esclavos.

Al analizar en detalle las posibilidades de cada cuenca, en la cuenca del río Acomé, la zona con mayor necesidad de agua para riego (mayor déficit hídrico) y mayores disponibilidades de suelo, se encuentra aproximadamente entre la línea de cota 100 msnm y una línea más o menos paralela a la costa, situada 5 km tierra adentro, cubriendo una superficie de alrededor de 400 km², toda la zona está constituida exclusivamente por depósitos cuaternarios aluviales. Las precipitaciones medias anuales son de alrededor de 1800 mm. La recarga media directa del acuífero cuaternario puede ser evaluada en primera aproximación, en alrededor de 72 millones de m³, considerando una infiltración media del 10%. Además hay que considerar 8 millones m³ de recarga indirecta constituido por el flujo de aguas subterráneas que proceden de la zona más al norte, considerando una transmisividad media del acuífero de 500 m²/día, un gradiente piezométrico igual al gradiente topográfico que es de 0.003. Considerando que sea posible recuperar no más del 30% de la cantidad de recarga anual, se puede concluir que hay la posibilidad en esta zona de explotar 24 millones de m³ de agua subterránea por año.

Durante los años 1995 – 1998, Barahona (2,001) condujo estudios freaticométricos en la Finca Industrias, localizada en el municipio de Tiquisate y en la Finca Churubusco, localizada en el municipio de la Gomera, ambos en el departamento de Escuintla. El objetivo de estos estudios fue el de conocer las características principales del acuífero, tales como: profundidad de los niveles freáticos y su variación a lo largo del año, dirección del flujo, comportamiento de los niveles freáticos cuando se extrae agua del acuífero y distanciamiento entre puntos de extracción que aseguren la no interferencia de los mismos.

Para lograr los objetivos se construyó un pozo de boca ancha o aguada, se trazaron dos ejes uno en sentido norte – sur y otro en sentido este – oeste en los que se instalaron pozos de observación distanciados adecuadamente. Se bombeo durante 72 horas y se registraron las variaciones de nivel en los distintos pozos de observación. El análisis de la

información reveló que el acuífero es de excelente calidad, teniendo una capacidad específica del 37%, y que a una separación de 400 metros entre aguadas, ya no existe interferencia entre las mismas cuando se bombea permanentemente.

1.7 Justificación

El agua es un recurso sobre el cual cada vez existe mayor presión de uso, las diferentes actividades que compiten por su utilización, tienen el problema de disponibilidad del recurso en calidad y cantidad adecuada. El agua subterránea se presenta como una alternativa de solución a este problema, debido a que en estudios generales realizados en Guatemala, se ha determinado que existe buen potencial de recurso hídricos subterráneos.

Sin embargo, las aguas subterráneas han sido estudiadas en detalle solamente en áreas muy reducidas como los valles de Guatemala y Quetzaltenango, algunas áreas del Altiplano Central. La mayoría de los acuíferos existentes no están lo suficientemente estudiados para poder hacer una clara evaluación de su potencial.(MAGA, 1991)

Guatemala, es un país cuya actividad productiva principal es la agricultura, la cual genera empleos en el área rural y divisas por concepto de exportaciones. Entre los cultivos de mayor importancia en el ámbito nacional, está la caña de azúcar, con un área sembrada de 180,000 ha, las cuales se encuentran localizadas en su mayoría en la costa sur, de este total, 30% recibe por lo menos un riego al año, lo cual lo convierte en el cultivo con mayor área regada en el país.

El estudio corresponde a la cuenca del río Acomé, en la Costa Sur de Guatemala, donde se ubica gran parte del área cañera y permite realizar un análisis a nivel de cuenca, del cual se pueda extrapolar información hacia lugares de similares condiciones edafo – climáticas.

En esta cuenca existe un déficit hídrico en el balance hídrico general para la cuenca, según el trabajo realizado por el Plan Maestro de Riego y Drenaje para Guatemala

(MAGA, 1991), el cual indica que toda el área tiene necesidades de riego, que son causadas por las altas tasas de evapotranspiración y la relativa baja precipitación pluvial. En dicho trabajo se consideran 5 clases de prioridad según su déficit de lluvia y meses de déficit, de las zonas geográficas.

Para la cuenca del río Acomé, se consideran 62 km² de clase 1, en los cuales hay un déficit de lluvia mayor a 951 mm anuales, distribuidos en 9 meses, por lo cual se considera una demanda de riego durante todo el año. En la clase 2, que considera déficit de lluvia de 551 a 950 mm anuales, con 6 a 9 meses de déficit, en los cuales se necesita riego suplementario para la época lluviosa y riego para época seca, se clasifican 645 km². En la clase 3, con déficit de 351 a 550 mm anuales distribuidos en 4 a 6 meses, con necesidades de riego para época seca, se ubicaron 49.5 km². Por último en la clase 4, con déficit de lluvia de 150 a 350 mm, distribuidos en 2 a 4 meses y con necesidad de riego en época seca, se encuentran 7.5 km². No existe área que se ubique en la clase 5, para la cual no hay necesidades de riego mayores a 150 mm en menos de 2 meses del año.

La zona con mayor necesidad de agua para riego (mayor déficit hídrico) y mayores disponibilidades de suelo, se encuentra aproximadamente entre la línea de cota 100 msnm y una línea más o menos paralela a la costa unos 5 km tierra adentro, cubriendo una superficie aproximada de unos 400 km².(MAGA, 1991)

El estudio está dirigido a contribuir a la búsqueda de soluciones a problemas del agro nacional, en este caso en particular de los productores de caña de azúcar, con lo que se pretende vincular los trabajos de investigación, a los sectores productivos del país.

1.8 Asistencia de personas e instituciones

Para el desarrollo del Reconocimiento hidrogeológico con fines de riego de la cuenca del río Acomé, se contó con el apoyo de asesoría de sus profesionales expertos en el tema, apoyo logístico y financiero de las siguientes instituciones:

- Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala (FAUSAC), como parte del programa de investigación del Programa de Postgrado de la Maestría en Manejo de Suelo y Agua con especialidad en Planificación y Manejo de Recursos Hídricos en Agronomía.
- Ingenio Magdalena, S.A., debido a que la cuenca del río Acomé coincide con áreas de interés con fines agrícolas de esta empresa que está dedicada principalmente al cultivo de caña de azúcar.
- Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación en Caña de Azúcar (CENGICANÁ), debido a que el estudio está enfocado a la utilización de agua subterránea con fines agrícolas y la principal actividad agrícola de la cuenca es el cultivo de caña de azúcar.
- Red Centroamericana para el Manejo de Recursos Hídricos, formada por la Universidad de Calgary y Waterloo de Canadá, Universidad de Costa Rica (UCR), Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN) y la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), a través de la Facultad de Agronomía. Dicha institución financia parcialmente la especialidad de Planificación y Manejo de Recursos Hídricos en Agronomía de la Maestría en Manejo de Suelo y Agua.

1.9 Fuentes de información

Para la realización del presente estudio se hizo uso básicamente de las siguientes fuentes de información:

- Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala (FAUSAC), a través de su Centro de Documentación (CEDIA).
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), que cuenta con registros meteorológicos de estaciones ubicadas

dentro y fuera de la cuenca en estudio, además de estudios sobre aguas subterráneas que haya realizado.

- Ingenio Magdalena, S.A., quien proporcionó su base de datos precipitación, y de otros parámetros de clima además de información sobre otros aspectos de interés para el estudio.
- Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación en Caña de Azúcar (CENGICANÁ), que cuenta con registros de estaciones meteorológicas propias ubicadas, dentro y fuera del área de estudio, además de estudios sobre recursos naturales realizados por esa institución.
- Municipalidades, fincas privadas y pobladores del área, que tienen los registros de pozos perforados en el área de estudio, así como niveles de pozos, columnas estratigráficas y pruebas de bombeo.

1.10 Objetivos del estudio

1.10.1 Objetivo General

- Realizar un reconocimiento hidrogeológico en la cuenca del río Acomé, para generar información del recurso hídrico subterráneo, que permita la planificación y uso eficiente de este recurso con fines de riego.

1.10.2 Objetivos Específicos

- Identificar la(s) unidad(es) hidrogeológica(s), y la extensión (área) del acuífero o acuíferos y algunas de sus características como: transmisividad, coeficiente de almacenamiento.
- Caracterizar y evaluar los factores hidrometeorológicos de precipitación pluvial, temperatura, evapotranspiración y caudales de ríos, con aplicación a la hidrogeología de la cuenca.

- Realizar el balance hídrico de suelos en la cuenca, para determinar la recarga hídrica de los acuíferos.
- Determinar la calidad química y bacteriológica del agua subterránea para uso agrícola y humano.

CAPITULO 2

MATERIALES Y METODOS

En este capítulo se da a conocer de forma muy general, los materiales y métodos necesarios para llevar a cabo el estudio en cada una de sus etapas.

2.1 Fase Preliminar

Se recopiló la información existente sobre recursos naturales del área, informes de vegetación, suelo, recursos hídricos, caracterizaciones, estudios relacionados realizados con anterioridad (geología, hidrología de superficie y aguas subterráneas).

- Adquisición de 8 mapas topográficos a escala 1:50,000, que cubren el área de estudio, los cuales son:
 - Patulúl (1959 II), Alotenango (2059 II), Santa Lucía Cotzumalguapa (1958 I), Escuintla (2058 IV), La Gomera (1958 II), Obero (2058 II), Sipacate (1957 I), Puerto de San José (2057 IV).
- Adquisición de 1 mapa geológico a escala 1:250,000 el cual corresponde a:
 - Hoja Geológica Guatemala
- Se consultó mapas temáticos como el mapa de series de suelos a nivel de reconocimiento, mapas de zonas de vidas, mapa de cuencas hidrográficas, etc.
- Se recopiló información de pozos perforados en la zona, con información sobre su localización, profundidad de perforación o excavación, diseño de pozos, niveles de agua (freático y estático), caudal promedio y la descripción litológica de las formaciones geológicas encontradas, así como de los parámetros hidrogeológicos existentes.
- Se ordenó la información hidrometeorológica de las estaciones dentro y cercanas a la cuenca, tabulando principalmente los datos medios mensuales de precipitación pluvial, temperatura, humedad relativa, viento, evaporación de tanque y brillo solar, , tanto de la que se maneja a nivel nacional por el INSIVUMEH, como a nivel del área por el Ingenio Magdalena y CENGICAÑA.

2.2 Fase de campo

Consistió en la generación de información de campo, referente a geología, hidrología superficial y aguas subterráneas.

a. Geología

- Interpretación del mapa geológico del área de la cuenca para definir posibles zonas de fallas, fracturaciones y los contactos litológicos entre las unidades superficiales.
- Recorrido de caminos, veredas, cauces de ríos y quebradas. Levantamiento de columnas estratigráficas en cortes de taludes de ríos para correlacionar la litología de afloramientos con las columnas estratigráficas de pozos.

b. Hidrología de Superficie

- Ubicación, georeferenciación y revisión del funcionamiento de las estaciones meteorológicas y sus aparatos.
- Realización de aforos de ríos para conocer la descarga en época de estiaje como flujo base del mismo.
- Aforos diferenciales en algunas partes del río, para cuantificar el aporte o ganancia de las aguas del río al acuífero, y definir si este es influente o no, para determinar la existencia de recarga hídrica.
- Pruebas de infiltración para diferentes tipos de suelo, según clasificación taxonómica, utilizando el método de Porchet, para determinar la capacidad de infiltración de cada uno de ellos y las posibles zonas de recarga de la cuenca, que servirán para el balance hídrico de suelos de la cuenca.
- Toma de muestras de suelos de lugares donde efectúen pruebas de infiltración, para realizar análisis de partículas primarias del suelo, densidad aparente y constantes de humedad del suelo (Capacidad de campo y Punto de marchites permanente).

c. Agua subterráneas

- Determinación y descripción de las unidades hidrogeológicas del área, de acuerdo a la identificación de manantiales y sus correspondientes afloramientos de rocas, así como, por correlación de pozos.
- Ubicación de los pozos y nacimientos en coordenadas geográficas y coordenadas UTM, altitud en msnm y medición de niveles de pozos, con sistemas de posicionamiento global (GPS).
- Definición de la geometría del acuífero y sus límites, posible espesor promedio.
- Toma de muestras de agua de pozos, nacimientos y ríos para determinar la calidad química y bacteriológica del agua, para su clasificación con fines de utilización para riego.
- Pruebas de bombeo de pozos para determinar parámetros hidrogeológicos (transmisividad y coeficiente de almacenamiento).

2.3 Fase de procesamiento de datos y análisis

- Elaboración de una síntesis de la información obtenida de perfiles geológicos de acuerdo a los afloramientos de rocas y la litología de pozos, para definir unidades litológicas con características hidrogeológicas similares.
- Elaboración de mapas temáticos de suelos, hidrografía, curvas a nivel, poblados, acceso.
- Tabulación de los registros hidrometeorológicos, relleno de registros y análisis de la consistencia de los datos.
- Interpretación y análisis hidrológico de los datos de precipitación pluvial, temperatura, evapotranspiración, humedad relativa y caudales del río.
- Cálculo de balance hídrico de suelos de acuerdo a los resultados de precipitación pluvial, evapotranspiración, capacidad de campo y punto de marchites permanente para determinar las cantidades y zonas de recarga hídrica de la cuenca.
- Elaboración de cuadros resumen de los pozos, colocando su localización, altitud, uso, profundidad, nivel estático, caudal, diámetro de encamisado y parámetros hidrogeológicos existentes.
- Cálculo de la disponibilidad del agua subterránea del volumen total de la cuenca.

- Interpretación de las pruebas de bombeo, con el software especializado Aquifer Test versión 3.0
- Análisis de los resultados físico-químico de las aguas subterráneas (de pozos, ríos y manantiales) y la clasificación de las aguas con fines agrícolas.
- Definición de las redes de flujo subterráneo de acuerdo a las equipotenciales calculadas.
- Elaboración de mapas temáticos de relieve, suelos, hidrografía, caminos y poblados, isofreáticas, utilizando el software Arc View versión 3.1.

2.4 Elaboración de documento final

Se ordenó la información obtenida y procesada de cada uno de los diferentes temas investigados.

Se analizó los resultados en su conjunto a fin de emitir conclusiones finales de la investigación con base en los objetivos propuestos.

Se elaboró el documento final escrito

CAPITULO 3

GEOLOGÍA

En este capítulo se desarrollan conceptos básicos del contexto geológico del área, los cuales están relacionados con la evaluación de las aguas subterráneas, por ser las formaciones geológicas el lugar en el cual se encuentran dichos recursos. Se presenta un marco geológico regional, acompañado de una breve descripción de la geología superficial. Además, se describen las geoformas características del área, así como los procesos que han dado origen a ellas.

3.1 Marco geológico regional

El sistema tectónico de América Central está definido por la conjunción de las placas de Norteamérica, de Cocos y del Caribe. Las placas de Norteamérica y del Caribe que se desplazan en sentido horizontal una con respecto a la otra, los cuales definen en Guatemala dos terrenos geológicos distintos: al norte las Rocas sedimentarias del Paleozoico y Mesozoico; y al sur principalmente rocas ígneas recientes del Terciaria y Cuaternario. Estas dos placas están separadas por la ocurrencia de los principales sistemas de fallas transcurrentes con desplazamiento sinistral (con orientación aproximada, este - oeste), conocido como el sistema de fallas del Motagua, Chixoy-Polochic, Jocotán y Jalpatagua, correspondiendo esta región al cinturón plegado metamórfico (INSIVUMEH-BRGM, 1997).

En la parte sur centroamericana, la Placa de Cocos se dispone en forma paralela frente a las costas del Océano Pacífico, entre los 110 a 150 km de distancia de la línea de costa y define la Fosa Mesoamericana, conocida como la **zona de subducción**, que es el lugar de choque de una Placa Oceánica (Placa de Cocos) con una continental (porción Oeste de la Placa del Caribe), donde la placa de Cocos se introduce debajo de la Placa del Caribe, alcanzando frente a las costas de Guatemala la mayor profundidad (6,700 m) y una sismicidad intermedia. (Fisher, 1961)

3.2 Geología superficial y subterránea

La geología superficial del área esta influenciada en gran manera por la actividad de la cadena volcánica principalmente de los volcanes de Acatenango y Fuego, los cuales han depositado gran cantidad de material volcánico el cual debido a factores geomorfológicos han dado lugar a la geología superficial existente.

Todos estos materiales han sido dispuestos a lo largo de la cuenca por los agentes modificadores (relieve, topografía, viento, escorrentía), en función de su tamaño principalmente.

De manera general podemos mencionar que en la parte alta de la cuenca se encuentran abanicos laháricos y fluviales, los cuales se encuentran hasta una altura de aproximadamente 40 msnm en la cuenca y estos son el producto de series de eventos geológicos como lahares o avalanchas, los cuales se definen como flujos de escombros, rocas y materiales finos con un alto contenido de humedad, que se desplazan a altas velocidades siguiendo los valles y quebradas que drenan un edificio volcánico, los cuales tienen una alta capacidad de transporte y se extienden hasta decenas de kilómetros del volcán. Pueden ocurrir cuando un volcán está activo o inactivo. Estos procesos han dejado en los cauces de los ríos gran cantidad de rocas volcánicas, que alcanzan hasta 1.5 metros de diámetro.

Dentro de esta formación se encuentran también los aludes volcánicos situados en las cercanías de los ríos Acomé, Agüero y Cabeza de Toro. Estas formaciones se pudieron constatar mediante recorridos de campo en los cuales se encontraron en los taludes del río Acomé, materiales volcánicos como basalto en bloque de 40 a 50 cm en una matriz de ceniza volcánica con un espesor de más de 4 metros, y grandes bloques del mismo material en el lecho del río. Estos materiales han quedado al descubierto debido a que por el cambio de pendiente que se da en esta zona hay un proceso de erosión del cauce bastante marcado lo cual deja al descubierto los materiales en los taludes del río que alcanzan hasta 10 metros principalmente en el río Acomé que es de mayor caudal.

En la parte baja de la cuenca de 0 - 40 msnm aproximadamente, se encuentran los materiales típicos de aluviones fluviales, que han sido depositados a través del tiempo, corresponden a rocas de cantos rodados de no más de 30 cm de diámetro y en su mayoría de 5 a 10 cm, los cual forma un lecho graviloso en los cauces de los ríos y arenas de diferentes tamaños, los cauces de los ríos en sus taludes muestran una secuencia de deposiciones de materiales que son de diferentes tamaños, como resultado de eventos sucesivos de desbordamientos. En excavaciones de pozos se dejan ver estos materiales intercalados con capas meteorizadas por acción de la vegetación y el clima.

3.3 Estratigrafía

Las unidades litológicas presentes en el área, están compuestas básicamente por un estrato de materiales no consolidados de tipo arena y grava , lo cuales fueron depositados en el periodo cuaternario, esta unidad litológica tiene un espesor variable desde los 50 m en las partes altas, 100 m en las partes medias, hasta más de 150 m en las partes bajas cercanas al mar.

El segundo estrato corresponde a roca fracturada de color negro, de la cual no se tiene mayor información, pudiendo ser una andesita basáltica, como la encontrada en algunos lugares de la cadena volcánica y se encuentra por debajo de la capa de aluvión.

La estratigrafía no está muy clara, debido a que los registros litológicos de los pozos perforados en el área no son de buena calidad.

3.4 Geomorfología

Guatemala se encuentra dividida de forma general en cuatro unidades fisiográficas: a) La Planicie Costera del Pacifico, b) La Cadena Volcánica Reciente, c) Las Tierras Altas Cristalinas y d) La región sedimentaria Septentrional.

El área de estudio se encuentra dentro de la Planicie Costera del Pacifico, esta unidad se ubica en la Costa Sur de Guatemala y tiene una gran influencia de la cadena volcánica,

donde se ubican los principales centros eruptivos del cuaternario, entre los cuales destacan los volcanes de Fuego, Pacaya, Acatenango, Agua, Santa María y Santiaguito, siendo los más próximos al área de estudio los de Acatenango y Fuego.

El área es el producto del accionar de una serie de factores como vulcanismo, precipitación, viento, relieve y pendiente.

3.4.1 Descripción de la región fisiográfica

Para conocer este aspecto, se presenta la descripción realizada en la Memoria Técnica del Mapa Fisiográfico Geomorfológico de la República de Guatemala (MAGA, 2001). El área de estudio se ubica en su totalidad en la región fisiográfica conocida como Llanura Costera del Pacífico, la cual se ubica al sur de Guatemala.

3.4.1.1 Región fisiográfica llanura costera del pacifico

Dentro de esta provincia fisiográfica del sur, está comprendido el material aluvial cuaternario que cubre los estratos de la plataforma continental. Los ríos que corren desde el altiplano volcánico, al cambiar su pendiente, han depositado grandes cantidades de materiales que han formado esta planicie de poca ondulación y de aproximadamente unos cincuenta kilómetros de ancho a lo largo de la costa del pacífico. Por lo general, las elevaciones son menores de doscientos metros y el drenaje, en su mayor parte, es deficiente. Son comunes las extensas áreas sujetas a inundación, particularmente en el oeste. En contraste a la costa del caribe, son menos frecuentes formas de tierra tales como barras de boca de bahía, barras fuera de playa, esteros o islotes. Aquí, las playas de arena negra con áreas de pantano de mangle y algunos esteros son las características de la región.

Esta región fisiográfica comprende la serie de abanicos aluviales que se extienden desde el río Suchiate, hasta el María Linda y se divide en 2 subregiones que son, la Planicie Aluvial Costera Suchiate – Madre Vieja y la Planicie Aluvial Costera Madre Vieja –María Linda, la cuenca del río Acomé esta ubicada en la segunda subregión la cual se describe a continuación:

3.4.1.1.1 Subregión: planicie aluvial costera (Madre Vieja - María Linda)

Abarca el sur de los Departamentos de Escuintla y Santa Rosa. Su relieve va de plano a ondulado y posee alturas desde el nivel del mar hasta los 500 m. El drenaje superficial corresponde al típico de las planicies aluviales o sea el tipo trenzado y meándrico. En estos abanicos aluviales hay grandes bloques de lava, materiales laháricos y fluviales, además arenas finas compuestas de andesita y basalto del cuaternario.

Dentro de esta subregión fisiográfica se describen grandes paisajes correspondientes a abanicos aluviales individuales, la cuenca del río Acomé esta comprendida en el gran paisaje del Abanico aluvial de los ríos Coyolate – Acomé – Achiguate, el cual se describe a continuación:

a. Gran Paisaje: Abanico Aluvial de los ríos Coyolate - Acomé – Achiguate

Ubicación y localización: Se encuentra en el Departamento de Escuintla a lo largo de los ríos Coyolate, Acomé y Achiguate. Abarca las poblaciones de Siquinalá, La Democracia, La Gomera y Obero, hasta llegar a la costa del Océano Pacífico.

Morfografía: La unidad tiene una topografía plana, afectada en mayor o menor grado por un micro relieve de antiguos canales fluviales o por la erosión posterior. La geoforma se divide en tres partes: la parte del vértice (a), la parte media (b) y la parte distal (c). El vértice esta situado al Norte, con una elevación de 1,000 msnm. En parte proximal y media el abanico está formado por varios ríos: Pantaleón, Agüero, Cabeza de Toro, Acomé, Colojate, Achiguate y Ceniza. La unidad tiene una pendiente media menor al 3%.

Tipo de roca: En la parte proximal y parte media, abundan grandes bloques de lava en una matriz tobácea de abanicos laháricos y fluviales. En la sección distal, las fracciones son de arenas más finas de composición andesítica y basáltica.

Morfogénesis: El abanico es el resultado del aporte de material aluvial transportado por los ríos antes mencionados, los fragmentos rocosos provienen del macizo del volcán de Fuego y del volcán de Acatenango situados al norte de la zona.

Morfocronología: La edad de la unidad se remonta a fines del Pleistoceno y actual, lo que indica que abarcó el periodo Cuaternario.

CAPITULO 4

HIDROLOGIA SUPERFICIAL

En este capítulo se analizan los procesos propios del ciclo hidrológico de la cuenca, tales como precipitación pluvial, evapotranspiración y escorrentía superficial. Estos son los elementos fundamentales en el análisis de los cambios de almacenamiento de agua en la cuenca. Se muestra un balance hidrológico general de la cuenca para un periodo de un año, lo cual es un análisis preliminar para evaluar el potencial de aguas subterráneas de la cuenca. Además, se incluye el balance hídrico de suelos de toda la cuenca, con el fin de determinar la recarga por precipitación del acuífero.

4.1 Ciclo hidrológico

Los recursos hídricos tienen como referencia al ciclo hidrológico, el cual consiste en la continua circulación de agua sobre nuestro planeta. El ciclo no tiene principio ni fin, pero el concepto de ciclo hidrológico se origina en el agua de los océanos, los cuales cubren las tres cuartas partes de la superficie terrestre.(Johnson, 1975)

El ciclo hidrológico es un proceso continuo en el que una partícula de agua evaporada del océano vuelve al océano después de pasar por las etapas de precipitación y escorrentía superficial o subterránea. A lo largo del ciclo existen múltiples cortos circuitos o ciclos menores. También hay que tener en cuenta que el movimiento del agua en el ciclo hidrológico se caracteriza por la irregularidad, tanto en el espacio como en el tiempo.(Custodio y Llamas, 2001)

El ciclo hidrológico constituye un sistema mediante el cual la naturaleza hace circular el agua desde los océanos hasta la atmósfera y la retorna de nuevo en forma superficial y subterránea a aquellos, a través de varias rutas, cortas algunas y largas otras en términos de tiempo y espacio. Las fuerzas involucradas en este proceso comprenden radiación, fuerza gravitacional, atracción molecular y capilaridad. (Johnson, 1975)

Aunque la mayor parte de la humedad evaporada hacia la atmósfera proviene de los océanos, también contribuye al total el agua evaporada de ríos, lagos y por la capa del suelo, además de la que transpiran las hojas de las plantas.(Johnson, 1975)

4.1.1 Precipitación Pluvial

Uno de los componentes principales del ciclo hidrológico es la precipitación. Puede calificarse de factor esencial que constituye la materia prima del referido ciclo.

Cuando el agua, en estado líquido o sólido, llega a la superficie de la tierra se dice que ha precipitado. El vapor de agua contenido en la masa de aire, a consecuencia de los cambios de presión y de temperatura y del movimiento de estas masas, y ayudado, en ocasiones, por minúsculos núcleos de condensación y material sólido en suspensión, se reúne en gotas de agua o en cristales de hielo y cae venciendo la resistencia que se le oponen y alcanza la superficie de la tierra.

Según los fenómenos meteorológicos que las originan existen tres tipos de precipitaciones, convectiva, frontal o ciclónica y orográfica o lluvia de relieve.(Custodio y Llamas, 2001)

Este componente del ciclo hidrológico se evaluó, utilizando información climática histórica, se obtuvieron los archivos de lluvia de las estaciones del INSIVUMEH, localizadas en el departamento de Escuintla, de ellas se analizó la Estación Camantulul, la cual se ubica en la parte alta de la cuenca, a 280 msnm. Además, se obtuvieron los registros de lluvia del Ingenio Magdalena, los cuales han sido obtenidos con una red de pluviómetros distribuidos en la cuenca y zonas aledañas, de estos registros se analizó un total de 40 estaciones pluviométricas, las cuales se distribuyen desde la parte alta de la cuenca hasta las cercanías del nivel del mar.

En el caso de la Estación Camantulul, los registros corresponden a un periodo de 12 años (1990-2001), y en el caso de las estaciones pluviométricas del Ingenio Magdalena los registros corresponden a periodos variables de hasta 8 años (1994-2001). Cabe mencionar que las estaciones pluviométricas del Ingenio Magdalena, S.A., no tienen la

misma duración de periodo, debido a que están ubicadas en fincas, las cuales no tienen el mismo tiempo de trabajar con esta empresa. El área presenta variabilidad en cuanto a precipitación se refiere, con climas secos cercanos a la costa y muy húmedos en las partes altas como Siquinalá y Santa Lucia Cotzumalguapa, donde se da una gran cantidad de precipitación de tipo orográfico, lo cual se manifiesta en las 3 zonas de vida presentes en el área.

En el Cuadro 2, se muestran los valores mensuales de precipitación correspondientes a la estación Camantulul, localizada en Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla, para el periodo de 1990 -2001.

CUADRO 2. Datos de precipitación pluvial promedio mensual (mm) de la Estación Camantulul, INSIVUMEH, situada en la parte alta de la cuenca del río Acomé, Escuintla.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1990	13.5	104.0	67.6	408.7	482.8	652.2	360.6	324.1	687.1	721.5	219.0	28.9	4070.0
1991	25.3	0.0	6.2	105.6	321.6	567.5	263.0	301.7	427.3	521.9	108.9	115.2	2764.2
1992	1.7	0.0	99.6	115.2	329.3	536.7	554.7	461.5	787.4	324.9	281.7	0.0	3492.7
1993	8.4	21.6	90.6	137.1	339.0	733.5	291.5	704.8	496.9	679.8	40.9	0.0	3544.1
1994	17.8	2.8	33.3	76.6	262.4	409.9	388.0	529.4	365.5	590.7	186.5	17.4	2880.3
1995	0.0	11.9	77.3	288.3	182.7	418.8	478.4	1039	619.6	422.5	195.4	28.6	3762.4
1996	22.8	0.0	5.2	374.9	618.4	589.7	405.1	517.6	843.2	466.8	110.6	1.2	3955.5
1997	11.5	17.0	64.0	429.8	214.9	632.2	487.0	468.6	687.7	524.2	417.2	157.4	4111.5
1998	0.0	0.0	0.0	29.8	130.0	510.6	448.4	828.3	545.5	659.1	483.2	40.7	3675.6
1999	0.4	40.4	37.6	304.9	439.8	554.3	630.4	615.9	716.6	672.2	132.8	0.0	4145.3
2000	10.5	32.6	18.7	86.3	427.0	543.3	562.9	535.7	758.4	502.5	148.9	14.5	3641.3
2001	6.2	12.4	17.5	54.1	455.4	633.0	406.0	310.2	630.5	553.3	211.4	36.7	3326.6
PROM	9.8	20.2	43.1	200.9	350.3	565.1	439.7	553.1	630.5	553.3	211.4	36.7	3614.1

Los datos de precipitación de la red pluviométrica del Ingenio Magdalena, se muestra a continuación en el Cuadro 3, acompañados de la ubicación exacta de los pluviómetros, la cual fue obtenida con ayuda de un geoposicionador portátil.

CUADRO 3. Datos de precipitación pluvial promedio mensual (mm), de las estaciones pluviométricas del Ingenio Magdalena, S.A., situadas en la cuenca del río Acomé.

No.	Coordenadas UTM (m)		ALTITUD m.s.n.m.	FINCA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
	X	Y															
1	724688	1561262	58	BUGANVILIA	1	1	7	43	191	247	253	249	301	257	132	14	1695
2	721424	1582756	321	EL CARMEN II	0	0	8	98	442	397	412	443	315	379	35	0	2529
3	716286	1544646	15	GRANADA	0	0	1	38	111	167	235	173	444	212	200	20	1600
4	717486	1562176	62	ILUSIONES	0	0	7	42	247	199	247	167	248	198	87	5	1445
5	715105	1585536	381	ILUSIONES GONZALEZ	0	7	23	95	454	338	474	599	350	437	65	0	2841
6	726185	1551744	27	JOSEFINA	0	0	0	4	128	235	319	241	396	326	207	0	1855
7	710911	1549517	16	KENYA	0	0	1	12	96	244	242	134	367	199	117	8	1420
8	723581	1569532	108	LA CORONA I	0	27	17	50	387	272	312	216	421	198	23	0	1922
9	717885	1564245	58	LA FLOR	1	0	7	45	232	223	238	211	286	259	113	6	1621
10	723018	1571635	134	LA PROVIDENCIA	0	27	13	62	397	258	320	237	439	186	27	0	1965
11	722773	1556488	44	LA QUIJADA	0	1	8	10	178	255	254	177	279	254	141	0	1557
12	710004	1555105	26	LOURDES	0	0	5	22	137	199	232	140	288	238	84	0	1345
13	719284	1552546	32	LUCEROS	0	0	0	0	80	212	288	194	228	472	481	0	1954
14	710788	1544568	3	MANGLARES	0	0	2	22	128	124	260	170	379	268	140	0	1493
15	708248	1555899	27	MARGARITAS	0	0	5	26	139	218	235	175	329	234	101	5	1466
16	726035	1551835	27	MERIDA	0	0	0	5	167	300	276	196	472	157	57	0	1628
17	720960	1549098	26	MIRADOR	1	0	1	35	143	184	258	228	384	213	125	11	1582
18	705077	1555900	26	MURCIELAGO	0	3	3	27	144	208	199	121	358	206	104	0	1371
19	695427	1552481	21	NVA. ESPERANZA	0	0	0	16	258	328	123	132	249	171	81	0	1358
20	713913	1566818	78	PATRICIA	0	2	15	53	308	276	301	309	360	343	121	13	2101
21	705527	1557308	28	POMELAS	0	3	5	32	156	206	252	127	409	256	108	0	1552
22	706425	1556908	29	RAMA SECA	0	2	2	35	127	205	204	168	310	202	80	3	1338
23	718257	1565280	80	REYNOSA	1	1	7	44	257	238	237	248	321	267	111	4	1736
24	694276	1547972	13	SAN ANTONIO	0	1	1	30	142	245	229	193	332	205	98	18	1492
25	722239	1544444	18	SAN FELIPE	0	0	0	13	125	209	241	173	324	244	199	0	1527
26	693011	1543201	8	SAN FERNANDO	0	1	0	39	166	293	246	199	348	220	101	13	1626
27	715535	1566963	82	SAN ISIDRO	0	1	18	27	254	224	216	197	286	184	29	0	1436
28	71785	1552421	33	SAN JORGE	0	0	0	4	131	222	298	192	365	316	198	0	1725

CUADRO 3. (Cont.) Datos de precipitación pluvial promedio mensual (mm), de las estaciones pluviométricas del Ingenio Magdalena, S.A., situadas en la cuenca del río Acomé.

No.	Coordenadas UTM (m)		ALTITUD m.s.n.m.	FINCA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
	X	Y															
29	719571	1564095	65	SAN PATRICIO	1	1	5	39	221	215	226	194	285	244	102	3	1537
30	720457	1565255	84	SANTA CRISTINA	0	3	10	9	246	218	253	158	274	326	156	0	1651
31	723144	1549110	29	SANTA TERESA	0	0	1	11	136	215	302	189	367	321	206	0	1747
32	725126	1559427	54	SAPINLANDIA	0	0	5	51	184	234	257	164	318	292	175	10	1690
33	715067	1551522	26	STA. ELENA	3	0	4	19	147	209	280	206	348	226	97	9	1548
34	720316	1567325	100	STA. ELISA	2	0	14	59	296	253	261	265	370	317	124	4	1965
35	717522	1553621	34	STA. FE	3	0	2	33	119	174	273	231	360	180	49	8	1431
36	705556	1547624	10	STA. MARIA	0	0	2	24	122	237	236	228	346	202	58	14	1468
37	719190	1561062	60	STA. MONICA	0	2	5	34	170	213	238	188	275	230	95	5	1454
38	719444	1557071	46	STA. RITA	0	2	4	55	180	225	241	186	272	227	104	9	1504
39	716363	1579427	280	VELASQUEZ	1	8	15	110	301	372	327	364	459	331	145	8	2441
40	705531	1553307	20	VICTORIAS	0	4	4	10	94	223	168	109	409	212	121	4	1357

FUENTE: Ingenio Magdalena, S.A.

4.1.2 Evapotranspiración

Una gran parte del agua que llega a la tierra, vuelve a la atmósfera en forma de vapor, directamente por evaporación, ó a través de las plantas por transpiración.(Linsley, 1988)

La cantidad de agua que así escapa al posible uso por el hombre, dada la dificultad de medir por separado ambos términos, se reúne frecuentemente bajo el nombre de evapotranspiración.(Custodio y Llamas, 2001)

La influencia de estos fenómenos sobre el ciclo hidrológico, es, evidentemente importante, si se considera que en muchos lugares del mundo, el 70% de la precipitación que llega a la tierra es devuelta a la atmósfera por evapotranspiración y en algunos otros ésta alcanza el 90%. Desde el punto de vista hidrológico, la evapotranspiración entra, dentro del balance hídrico, en el considerado de pérdidas.

Evaporación. Es el resultado del proceso físico, por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso, retornando, directamente, a la atmósfera en forma de vapor. Todo tipo de agua en la superficie está expuesta a la evaporación.

Transpiración. Es el resultado del proceso físico – biológico, por el cual, el agua cambia de estado líquido a gaseoso, a través del metabolismo de las plantas, y pasa a la atmósfera. En sentido amplio, en el concepto, se incluirá, también, el agua perdida por la planta en forma (goteo o exudación), que puede alcanzar valores relativamente importantes, especialmente cuando las condiciones ambientales para que se produzca la transpiración no son favorables. Asimismo debe de incluirse el agua que la planta incorpora a su estructura en el periodo de crecimiento.(Custodio y Llamas, 2001)

Evapotranspiración. No es fenómeno distinto a los descritos anteriormente, sino la suma de la evaporación y la transpiración, el término solo es aplicado correctamente a una determinada área de terreno cubierta por vegetación. Cuando esta no exista solamente podrá hablarse de evaporación.

Desde el punto de vista práctico, dado que la evapotranspiración depende entre otros, de dos factores muy variables y difíciles de medir: el contenido de humedad del suelo y el desarrollo vegetal de la planta, Thornthwaite introduce un nuevo concepto optimizando ambos. Es la llamada *evapotranspiración potencial* o pérdidas por evapotranspiración, en el doble supuesto de un desarrollo vegetal óptimo y una capacidad de campo permanentemente completa. Será por lo tanto un límite superior de la cantidad de agua que vuelva a la atmósfera por evaporación y transpiración y que se conoce con el nombre de *evapotranspiración real*.(Linsley, 1988)

En la cuenca existen diferencias climáticas en cuanto a este aspecto, debido a la diferencia de elevación, lo cual determina variación de los factores climáticos que influyen en la evapotranspiración. Para el cálculo de la evapotranspiración se contó con registros meteorológicos de las estaciones del INSIVUMEH, para lo cual se utilizaron las estaciones de Camantulul la cual se ubica en la parte alta de la cuenca y la del Puerto de San José, la cual se encuentra fuera de la cuenca a 20 km al Este, a una altitud (6 msnm) y condiciones de zona de vida de las cuales se pueden extrapolar información la cual resulta de buena confiabilidad para el análisis, en la zona baja de la cuenca.

El método utilizado para el cálculo de la evapotranspiración fue el de Penman – Monteith y el método de Blaney – Criddle (BC-SCS), los cuales según la FAO son de los más completos y recomendados junto con el método de Radiación y el de Tanque Tipo A. Para Penman – Monteith, se utilizó la hoja de cálculo en el programa Excell. Y para Blaney – Criddle se utilizó un programa de cómputo igualmente. Los resultados obtenidos con los dos métodos se observan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Evapotranspiración potencial mensual (mm), obtenida por los métodos de Penman – Monteith y Blaney Criddle en la cuenca del río Acomé, Escuintla.

ESTACIÓN	METODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
CAMANTULUL	BLANEY CRIDDLE	155	147	176	180	191	180	184	188	164	161	156	155	2036
	PENMAN MONTEITH	111	119	141	121	126	131	135	137	109	117	109	103	1460
PUERTO DE SAN JOSÉ	BLANEY CRIDDLE	165	160	193	201	215	204	203	203	185	182	171	168	2250
	PENMAN MONTEITH	128	129	160	156	148	136	148	146	127	131	116	118	1644

Los valores de evapotranspiración obtenidos en los dos métodos se compararon, encontrando que el método de Penman Monteith subestima la magnitud de la evapotranspiración en el área, debido a que según Cabrera (1997), los valores típicos de 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. Por lo tanto, los valores deben de oscilar entre 5 a 8 mm/día, debido a las características del área, sin embargo, los valores del método de Penman - Monteith van de 4 a 4.5 mm/día, mientras que Blaney Criddle estima una evapotranspiración potencial de 5.6 a 6.1 mm/día en promedio anual.

De esta forma, el dato de evapotranspiración que se utilizó fue el obtenido por el método de Blaney Criddle, por considerarse más confiable.

4.1.3 Escurrimiento superficial

Se llama escurrimiento o aportación de un río en un determinado punto, al volumen de agua que pasa por ese punto en un determinado periodo de tiempo. (Johnson, 1975)

Se llama escurrimiento directo a la que pasa poco tiempo después de haber llovido. Se llama escurrimiento superficial a aquella que alcanza el punto considerado, habiendo circulado siempre sobre la superficie del terreno. En la práctica, es semejante a la escurrimiento directo. (Linsley, 1988)

Escurrimiento o flujo básico es aquel que pasa en los periodos en que no hay lluvias. Prácticamente es igualable a la escurrimiento subterránea, excepto en los casos de ríos con zonas pantanosas amplias, o lagos o embalses, que ejercen un efecto regulador sobre la escurrimiento directo.

El concepto de escurrimiento no exige necesariamente ir asimilado a su medida en un punto de un río. Designa también el modo general como puede circular o fluir el agua en la corteza terrestre. La escurrimiento superficial se concentra enseguida en los cursos de

agua, en cambio, la escorrentía subterránea, en ocasiones, puede hacer un lento y largo camino a través de las formaciones permeables, antes de que salga al exterior en un río o manantial. (Custodio y Llamas, 2001)

La cuenca del río Acomé no tiene una estación hidrométrica que registre las variaciones de los caudales durante el año, anteriormente existía una estación a la altura de la Gomera, Escuintla, la cual no funciona desde finales de la década de los años 80, y en la actualidad no existe ni siquiera la estructura física de aforo. Por lo tanto, se planificaron aforos en la desembocadura de los ríos en el Canal de Chiquimulilla, el cual fue elegido como punto de aforo de la cuenca debido a que en la desembocadura de todo el sistema de aguas del canal en el Océano Pacífico, ya trae caudales de las cuencas vecinas. Se eligió como punto de aforo, la entrada de los ríos en la zona de manglar propia del canal.

Al momento de realizar los aforos, se pudo constatar que en época de estiaje no existe flujo superficial en los ríos Acomé y Colojate, debido a que son utilizados con fines de riego a todo lo largo de su recorrido, por lo que ya no llegan a desembocar en el canal de Chiquimulilla y solo se encuentra el cauce de los mismos. De esta manera, la salida del flujo superficial de la cuenca se considera en este punto igual a 0 en época de estiaje. En época lluviosa los caudales oscilan, según la intensidad de las lluvias, en promedio el flujo es de 2500 L/s.

Con la finalidad de cuantificar las pérdidas por infiltración del caudal del río, se realizaron aforos diferenciales en varios puntos de la cuenca, seleccionando un punto en la parte alta, media y baja respectivamente. Para ello se seleccionaron trayectos relativamente cortos debido a que por la longitud del cauce principal no se pudo hacer un recorrido total y además existen muchas tomas de agua para riego las cuales interferían en la toma de datos para determinar las pérdidas por infiltración el cual era el objetivo. Para realizar los aforos se seleccionaron puntos sobre el cauce del río que tuvieran una sección regular, se tomó la velocidad media de secciones transversales del río, con la ayuda de un molinete hidráulico, para calcular el caudal que paso por cada sección, utilizando la fórmula, $\text{Caudal} = \text{Área} * \text{Velocidad}$. El procedimiento se repitió

aguas abajo del río a una distancia de 500 m. Dichos resultados de aforos se muestran en el Cuadro 5.

CUADRO 5. Resumen de aforos diferenciales realizados en el cauce del río Acomé, Escuintla

LUGAR	AFOROS (L/s)		BALANCE	CLASIFICACIÓN
	Punto 1	Punto 2		
Parte Alta	100.58	56.75	-43.83 (pierde)	Río influente
Parte Media	45.46	25.00	-20.46 (pierde)	Río influente
Parte baja	74.43	100.83	26.4 (gana)	Río efluente

En la primera parte de su recorrido el caudal del río se reduce, esto en gran medida a que el lecho del río está constituido por material de grava y rocas de tamaño mediano a grande, se descarta extracción de ningún tipo debido a que los sitios fueron elegidos bajo esta condición, por lo tanto las pérdidas se deben a infiltración del agua en el lecho del río. Esto se manifiesta tanto en la parte media como alta, en la parte baja a una altura de aproximadamente 30 msnm el panorama cambia y se ve que el río gana caudal en su trayecto, debido al aporte del acuífero.

Además se realizaron aforos en los nacimientos de los ríos Acomé y Colojate los cuales en época de estiaje (mes de marzo), tenían un caudal de 6.21 L/s y 3.87 L/s respectivamente.

La escorrentía superficial de esta cuenca recibe aportes superficiales de otras cuencas vecinas (Achiguate y Coyolate), de las cuales se realizan trasvases de caudal. El primer caso se da en la parte alta de la cuenca en donde un canal revestido de concreto desvía agua de los afluentes de la cuenca del río Achiguate y atraviesa toda la parte alta de la cuenca hasta el río Pantaleón en la cuenca del río Coyolate, y cuando pasa a la altura de los ríos Colojatillo y Colojate en la cuenca del Acomé, descarga parte de su caudal aumentando la escorrentía superficial de los mismos. Los aforos realizados indican que el aporte de este sistema al río Colojatillo es de 152 L/s, mientras que el aporte al río Colojate es de 421 L/s, los cuales son aportes significativos a la escorrentía de la cuenca.

El segundo caso de trasvase se da a la altura de la Hacienda La Presa, La Gomera, Escuintla, en donde un canal de tierra conduce aguas de fabrica del Ingenio Pantaleón, el aforo realizado en este lugar mostró un caudal de 520 L/s, los cuales son distribuidos por canales de riego y a través de los cauces naturales de ríos vecinos para ser aprovechados como agua de riego.

El tercer caso se presenta en el Parcelamiento El Pilar, La Democracia, Escuintla; donde ingresan a la cuenca las aguas de fabrica del Ingenio Magdalena, el aforo realizado fue de 1250 L/s. En el cuadro 6 se observa el resumen de los aforos realizados.

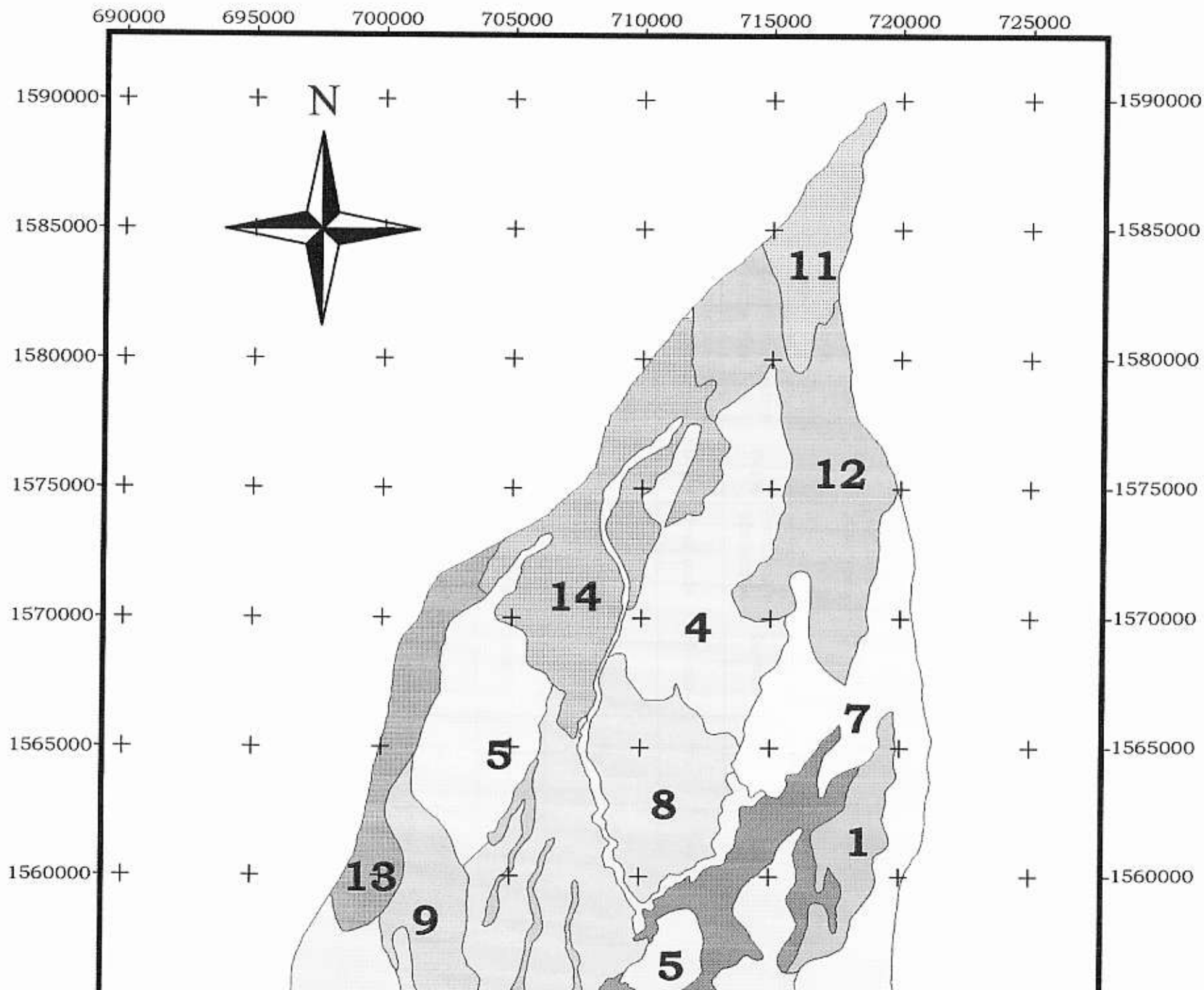
CUADRO 6. Resumen de aforos de escorrentia superficial en la cuenca del río Acomé, Escuintla.

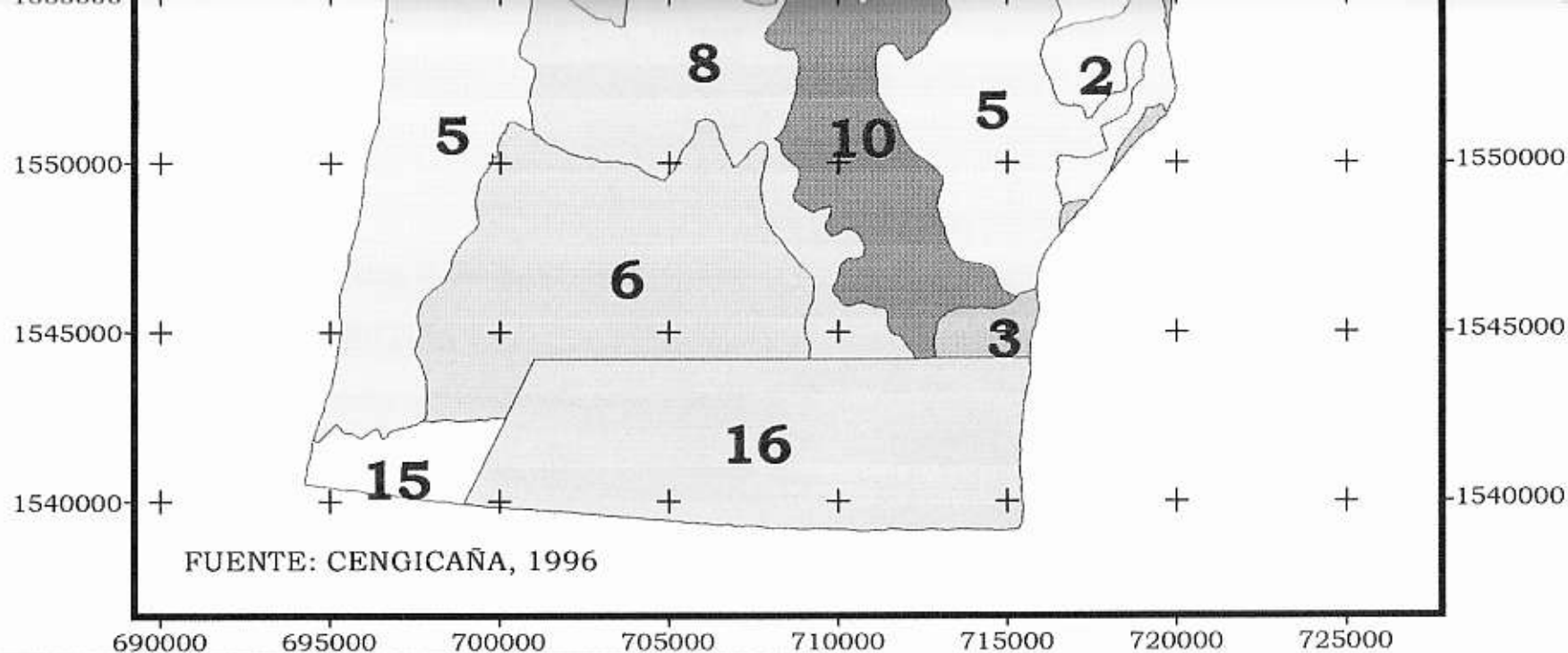
Punto de aforo	Caudal (L/s)
Nacimiento del río Acomé	6.21
Nacimiento del río Colojate	3.87
Descarga al Colojate	421
Descarga al Colojatillo	152
Hacienda La Presa (trasvase del Coyolate)	520
Parcelamiento El Pilar (trasvase del Achiguate)	1250
TOTAL	2353.8

4.2 Recarga potencial de agua subterránea

Recarga natural es el volumen de agua que entra en un embalse subterráneo durante un periodo de tiempo, a causa de la infiltración de las precipitaciones o de un curso de agua. Es equivalente a la infiltración eficaz.(Custodio y Llamas, 2001)

Para el cálculo de la recarga se realizaron balances hídricos, definiendo unidades con base en las características taxonómicas de los suelos, para lo cual se utilizó el mapa de taxonomía de suelos a escala 1:50,000 elaborado por CENGICANA (1996). Delimitando 15 unidades taxonómicas de suelo, las que se observan en la Figura 5, que comprenden la mayor parte del área de la cuenca (745.91 km²), dejando sin analizar la recarga únicamente para el área correspondiente al manglar ubicado en el Canal de Chiquimulilla (75.35 km²), la cual permanece inundado durante todo el año por lo que se considera un área de descarga. En el cuadro 7 se presentan algunas características de estas unidades taxonómicas.





Leyenda

- 1) Typic Ustipsamments
- 2) Typic Ustiluvents Arenosa
- 3) Typic Tropofluvents Franca Gruesa
- 4) Andic y Typic Humitropepts Franca Fina, Franca Fina / Arcillosa
- 5) Fluventic Hapludolls Franca Gruesa y Franca Fina
- 6) Fluventic Hapludolls Franca Gruesa y Typic Ustiluvents Arenosa
- 7) Fluventic Hapludolls, Typic Hapludands y Typic Fluvudands
- 8) Andic Hapludolls y Fluventic Hapludolls
- 9) Typic Hapludolls Franca Fina / Arenosa
- 10) Fluventic Haplustolls Franca Gruesa y Franca Fina/Arenosa
- 11) Thaptic Hapludands Medial y Lithic Hapludands Medial
- 12) Typic Hapludands Medial / Esqueletal Franca
- 13) Typic Hapludands Medial Arenosa
- 14) Pachic Melanudands Medial
- 15) Salorthidic Haplustolls Arenosa
- 16) Area de Manglar

5 0 5 Km

Escala 1:200000

Proyección Universal Transversal Mercator
Datum Horizontal: Norteamericano 1927
Zona 15 extendida, esferoide de Clarke de 1866
Espaciamientos de cuadrícula Horizontal y Vertical 5,000 m

Figura 5. MAPA DE UNIDADES TAXONOMICAS DE SUELO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

MAESTRÍA EN MANEJO DE SUELO Y AGUA CON ESPECIALIDAD EN
PLANIFICACIÓN Y MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS EN AGRONOMÍA

AÑO 2002

ESTUDIO HIDROGEOLOGÍCO DE LA CUENCA DEL RÍO ACOME, ESCUINTLA

Realizó: Ing. Agr. Marvin Salguero

CUADRO 7. Características de las unidades taxonómicas de suelo seleccionadas para determinar la capacidad de infiltración de los suelos de la cuenca del río Acomé.

Unidad	UBICACIÓN	FAMILIAS	PEND	PROFUND EFECTIVA	DRENAJE	SALI- NIDAD	EROSION
1	Finca San Patricio Los Amates	Typic Ustipsamments	0-1%	Profunda a Moderada	Bueno	No	Ligera
2	Finca Montevideo	Typic Ustifluvents Arenosa	0-1%	Profundo	Bueno	No	Sin
3	Finca La Zeta	Typic Tropofluvents Franca Gruesa	0-3%	Profundo	Bueno a Imperfecto	No	Sin
4	Finca Velásquez	Andic Humitropepts Franca Fina, Franca Gruesa, Typic Humitropepts Franca Fina/Arcillosa y Andic Humitropepts Franca Fina/Arcillosa	1-3%	Profunda a Moderada	Bueno	No	Ligera a Moderada
5	Finca Montealegre	Fluventic Hapludolls Franca Gruesa y Franca Fina	0-1%	Profunda a Moderada	Bueno	No	Ligera
6	Finca San Francisco	Fluventic Hapludolls Franca Gruesa y Typic Ustifluvents Arenosa	0-1%	Profunda	Bueno	No	Sin
7	Finca Santanderina	Fluventic Hapludolls Franca Gruesa, Typic Fluvudands Medial y Typic Hapludands Medial	1-3%	Profunda	Bueno	No	Ligera
8	Finca Margaritas	Andic Hapludolls Franca Fina y Fluventic Hapludolls Franca Gruesa	0-1%	Profunda	Bueno	No	Ligera
9	Finca San Antonio Río Seco	Typic Hapludolls Franca Fina/Arenosa	0-1%	Profunda	Bueno	No	Ligera
10	Hacienda Lourdes	Fluventic Haplustolls y Fluventic Haplustolls Franca Fina/Arenosa y Fluventic Haplustolls Franca Gruesa	0-1%	Profunda	Bueno	No	Sin
11	Finca Pantaleón	Thaptic Hapludands Medial y Lithic Hapludands Medial / Esqueletal	1-3%	Superficial	Bien	No	Ligera
12	Finca Velásquez	Typic Hapludands Medial / Esqueletal Franca	1-3%	Superficial	Bien	No	Ligera
13	Parcelamiento Las Playas	Typic Hapludands Medial Arenosa	0-1%	Profunda	Bien	No	Sin
14	Finca San Bonifacio	Pachic Melanudands Medial	1-3%	Profunda	Bien	No	Sin
15	Hacienda El Portillo	Salorthidic Haplustolls Arenosa	0-1%	Profunda	Bien	Si	Sin

Fuente: CENGICAÑA (1996)

4.2.1 Balance hídrico de suelos

Para realizar el balance hídrico de los suelos de la cuenca, fue necesario determinar las características físicas de los mismos, sus constantes de humedad, para poder determinar de esta manera el comportamiento del agua dentro de los mismos.

De esta manera, es posible estimar la cantidad de agua que luego de infiltrarse en el suelo se pierde por fuerzas gravitacionales a estratos más profundos. El agua que se pierde de esta forma es la que recarga los acuíferos. Además, el balance hídrico de suelos permite conocer las necesidades de riego del área analizada.

4.2.1.1 Características físicas del suelo

En el estudio físico de un suelo interesan dos aspectos: La textura o proporción relativa en que se presentan los distintos materiales sólidos que lo componen. Esta proporción se expresa en porcentaje del peso de materiales comprendidos en un intervalo de tamaños, respecto al peso de la muestra seca. La estructura, que es la disposición relativa de estos materiales, en las condiciones naturales de un determinado suelo. (Sandoval, 1989)

El área en estudio, tiene suelos de características variables, las cuales influyen en el balance hídrico de los suelos y por lo tanto, para determinar este aspecto, se tomaron muestras de suelo de los lugares donde se realizaron pruebas de infiltración y de esta manera se obtuvo una muestra por cada unidad de suelo analizada.

A las muestras se les efectuó en el Laboratorio de Suelo y Planta de la Facultad de Agronomía, USAC, análisis de partículas primarias de suelo (arenas, limos y arcillas), determinando su composición porcentual y clase textural. Los resultados de dichos análisis se muestran en el Cuadro 8.

CUADRO 8. Resultados de análisis textural de las muestras obtenidas de las diferentes unidades taxonómicas de suelo seleccionadas en la cuenca del río Acomé, Escuintla.

No.	Ubicación	Partículas primarias			CLASE TEXTURAL
		ARCILLA	LIMO	ARENA	
1	Finca San Patricio Los Amates	3.78	9.74	86.48	Arena
2	Finca Montevideo	14.28	43.34	42.38	Franco arenoso
3	Finca La Zeta	7.98	13.94	78.08	Arena Franca
4	Finca Velásquez	16.38	32.84	50.78	Franco
5	Finca Monte Alegre	10.08	13.94	75.98	Franco arenoso
6	Finca San Francisco	18.48	24.44	57.08	Franco arenoso
7	Finca Santanderina	14.28	30.74	54.98	Franco arenoso
8	Finca Margaritas	5.88	11.84	82.28	Arena franca
9	Finca San Antonio Río Seco	10.08	26.54	63.38	Franco arenoso
10	Hacienda Lourdes	10.08	34.94	54.98	Franco arenoso
11	Finca Pantaleón	12.18	32.84	54.98	Franco arenoso
12	Finca Velásquez	10.08	22.34	67.58	Franco arenoso
13	Parcelamiento Las Playas	14.28	37.04	48.68	Franco
14	Finca San Bonifacio	16.38	37.04	46.58	Franco
15	Finca El Portillo	20.58	37.04	42.38	Franco

El material sólido que compone un suelo tiene una densidad real del orden de 2.5. pero el volumen que ocupa realmente en el terreno es mucho mayor y surge el concepto de densidad aparente, pues el volumen aumenta debido a la cantidad de poros del suelo, los cuales están llenos de aire o de agua. (Sandoval, 1989)

La densidad aparente es de vital importancia en el análisis del balance hídrico, para el estudio del área fue determinada de las mismas muestras de suelos extraídas al momento de realizar las pruebas de infiltración, el método de laboratorio utilizado fue el volumétrico o de la probeta y los resultados se muestran en el Cuadro 9.

CUADRO 9. Densidad aparente de los suelos de las unidades taxonómicas seleccionadas en la cuenca del río Acomé, Escuintla.

No.	Ubicación	Densidad Aparente (gr/cc)
1	Finca San Patricio Los Amates	1.4286
2	Finca Montevideo	1.0000
3	Finca La Zeta	1.3793
4	Finca Velásquez	1.0256
5	Finca Monte Alegre	1.1765
6	Finca San Francisco	1.2121
7	Finca Santanderina	0.8696
8	Finca Margaritas	1.2500
9	Finca San Antonio Río Seco	1.2121
10	Hacienda Lourdes	1.1765
11	Finca Pantaleón	0.8000
12	Finca Velásquez	0.9302
13	Parcelamiento Las Playas	0.8000
14	Finca San Bonifacio	0.8000
15	Finca El Portillo	0.9302

4.2.1.2 El agua en el suelo

La componente líquida en el suelo es, generalmente, el agua, que al atravesar la superficie del terreno se distribuye por él, quedando sometida a varias fuerzas, de cuya intensidad depende el menor o mayor grado de fijación al material sólido. También existe agua formando parte de la composición química de las rocas y agua en forma de vapor.(Johnson, 1975)

Existen diferentes formas en las cuales se encuentra el agua en el suelo, debido a esto se establecen los siguientes tipos; agua retenida por no fuerzas capilares, agua retenida por fuerzas capilares y agua no retenida en el suelo.(Custodio y Llamas, 2001)

La capacidad de los suelos para retener el agua es una característica muy importante en el balance hídrico, mientras menor sea la capacidad de los suelos para retener el agua infiltrada, mayores serán las posibilidades de que esta agua pase a formar parte de la humedad de estratos inferiores, hasta alcanzar la zona saturada (acuíferos). De esta manera para el cálculo del balance hídrico de suelos se determinan las constantes de humedad de un suelo, las cuales son:

Capacidad de campo. Es el grado de humedad de una muestra que ha perdido su agua gravitacional. Este concepto es de gran importancia en agricultura pues, transcurrido un tiempo después de un riego o de una lluvia, queda en el terreno, parte de la cual podrá ser aprovechada por la vegetación para sus funciones biológicas.

Punto de marchites permanente. Es el grado de humedad de un suelo que rodea la zona radicular de la vegetación, tal que la fuerza de succión de las raíces es menor que la retención del agua por el terreno y en consecuencia las plantas no pueden extraerla. Al igual que la capacidad de campo es un concepto eminentemente agronómico, pero que juega un importante papel en los fenómenos como la evapotranspiración de indiscutible influencia sobre el ciclo hidrológico.

Agua utilizable por las plantas. Las plantas, salvo algunas excepciones precisan, para vivir, que en su zona radicular exista oxígeno libre, y por eso, esta zona no debe de estar permanentemente saturada de agua. Así el agua gravitacional o libre, puede calificarse de perjudicial. Cuando esta agua abandona la zona radicular, penetrando a otras más profundas, la planta toma del terreno el agua capilar suspendida o aislada. El máximo contenido disponible lo señala la capacidad de campo. Existe además, un límite inferior en contenido de agua, a partir del cual las raíces no tiene fuerza de succión suficiente para extraerla y es el punto de marchites permanente anteriormente definido.

Así pues, puede considerarse únicamente agua utilizable por las plantas, la diferencia entre la humedad correspondiente a la capacidad de campo y al punto de marchites permanente. (Custodio y Llamas, 2001; Sandoval, 1989)

Las constantes de humedad fueron determinadas en el Laboratorio de Suelo y Planta de la Facultad de Agronomía, por el método de la Olla de Presión. Los resultados se muestran en el Cuadro 10.

CUADRO 10. Constantes de humedad de los suelos de las unidades taxonómicas seleccionadas en la cuenca del río Acomé, Escuintla

No.	Ubicación	Constantes de Humedad (%)	
		Capacidad de Campo (1/3 de atm)	Punto de Marchites Permanente (15 atm)
1	Finca San Patricio Los Amates	9.60	4.20
2	Finca Montevideo	35.04	13.78
3	Finca La Zeta	16.04	5.80
4	Finca Velásquez	42.89	23.00
5	Finca Monte Alegre	18.82	9.57
6	Finca San Francisco	34.72	14.65
7	Finca Santanderina	40.81	20.84
8	Finca Margaritas	14.66	7.23
9	Finca San Antonio Río Seco	20.19	8.73
10	Hacienda Lourdes	24.40	8.99
11	Finca Pantaleón	48.50	24.21
12	Finca Velásquez	37.74	19.71
13	Parcelamiento Las Playas	61.53	32.19
14	Finca San Bonifacio	44.38	27.87
15	Finca El Portillo	36.63	17.28

El agua que se infiltra en el suelo se llama agua subsuperficial, pero no toda se convierte en agua subterránea. Tres son los hechos fundamentales que tienen relación con esta agua. Primero, puede ser devuelta a la superficie por fuerzas capilares y evaporada hacia la atmósfera, ahorrándose así gran parte de su recorrido dentro del ciclo hidrológico. Segundo, puede ser absorbido por las raíces de las plantas que crecen en el suelo,

ingresando de nuevo a la atmósfera a través del proceso de la transpiración. Tercero, la que se ha infiltrado profundamente en el suelo, puede ser obligada a descender por la fuerza de la gravedad hasta que alcance el nivel de la zona de saturación que constituye el depósito de agua subterránea y que abastece de la misma a los pozos. Una vez superada la capacidad de campo del suelo, el agua desciende por la acción conjunta de las fuerzas capilares y de la gravedad. Es el agua gravitacional.(Johnson, 1975)

En algunos lugares los depósitos de agua subterráneas son recargados rápidamente por la lluvia que cae en terrenos que yacen por encima de aquellos. En otros sitios en los cuales el nivel de los ríos y lagos se halla más alto que la superficie freática y sus lechos son permeables, el deposito es recargado por esos cuerpos líquidos, cuando una corriente o un tramo de esta, brinda su contribución de agua a la zona de saturación se dice que es una corriente afluyente o influente respecto del agua subterránea. Si por el contrario el agua subterránea se halla a una elevación mayor a la de un río o lago, y percola hacia este se dice que es una corriente efluente de aquella. Algunas secciones de una corriente superficial son efluentes en tanto que otras pueden ser afluentes.

La razón de recarga de un depósito de agua subterránea depende del régimen de precipitación, de la escorrentía superficial y del caudal de los ríos, asimismo varía de acuerdo con la permeabilidad del suelo y de los otros materiales a través de los cuales debe percolar para alcanzar la zona de saturación.

La oportunidad de infiltrar depende en mucho de la condición del suelo, su contenido de humedad y de la duración de la lluvia y del patrón de drenaje en la cuenca. Asimismo, la pendiente de la superficie constituye un factor importante, puesto que las muy inclinadas favorecen la escorrentía superficial y, si son menos fuertes, retienen por más tiempo el agua favoreciendo la infiltración. En algunas áreas parecieran que las pendientes moderadas ofrecen condiciones mejores para infiltración que las enteramente planas. Estas últimas desarrollan a menudo suelos herméticos. La textura del suelo juega entonces un papel muy importante en el proceso de infiltración puesto que está influida por la pendiente del terreno.

No toda la infiltración alcanza la zona saturada (agua subterránea), pues en mayor o menor proporción, una parte queda en la zona superior (agua edáfica) y vuelve a la atmósfera por los fenómenos de evapotranspiración. El volumen de agua que alcanza la zona saturada, a veces se denomina lluvia eficaz, infiltración eficaz, recarga natural o recarga profunda. (Custodio y Llamas, 2001)

4.2.1.3 Clima

Para realizar el balance hídrico de los suelos es necesario conocer básicamente dos variables climáticas, la precipitación pluvial y la evapotranspiración.

4.2.1.3.1 Precipitación pluvial

Para determinar la precipitación pluvial en cada una de las unidades taxonómicas de suelo utilizadas en el balance hídrico, se realizaron isoyetas mensuales, utilizando la información de las estaciones pluviométricas del Ingenio Magdalena, y con base en ellas se asignó una precipitación media mensual para cada una de las unidades de suelo. Los resultados se muestran en el Cuadro 11.

CUADRO 11. Precipitaciones mensuales (mm), para las unidades taxonómicas de suelo analizadas en el balance hídrico de suelos de la cuenca del río Acomé, Escuintla.

No.	Altitud msnm	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	65	1.6	2	6	30	200	225	270	210	360	240	125	7	1676.6
2	34	1.5	4	2	18	130	190	250	200	375	235	100	7	1512.5
3	24	1.2	2	3	15	135	180	235	175	360	230	98	6	1440.2
4	221	3	5.5	12	60	325	310	325	290	420	325	100	17	2192.5
5	33	1.5	2	4	30	145	200	250	235	370	275	150	14	1676.5
6	7	1	1	2	10	122	160	225	160	360	210	110	10	1371.0
7	80	2	3	10	40	250	250	275	240	390	290	160	12	1922.0
8	25	1.5	3	6	25	175	225	250	205	375	240	120	12	1637.5
9	31	1.5	2.8	6	22	152	220	250	190	375	245	120	8	1592.3
10	26	1.6	2	5	20	150	200	235	175	370	225	105	11	1499.6
11	419	10	9	22	150	475	450	475	500	500	475	175	24	3265.0
12	258	4	6.5	14	82	375	375	360	325	430	350	125	17	2463.5
13	66	1.5	3.5	8	28	220	230	260	230	380	260	100	14	1735.0
14	243	3	6	14	75	315	305	335	305	425	325	120	16	2244.0
15	3	1	1	1.5	10	100	150	175	125	300	190	185	5	1243.5

4.2.1.3.2 Precipitación efectiva

La precipitación efectiva es la porción de la precipitación que puede infiltrarse en el perfil del suelo y estar de forma disponible para ser aprovechada por las raíces de las plantas o bien alcanzar estratos más profundos como los acuíferos.(Linsley, 1988)

Esta se encuentra afectada generalmente por 4 factores:

Intensidad de la precipitación

Se sabe que al aumentar la intensidad, se reducen las posibilidades de que esta llegue a ser efectiva, hasta el punto que rebase la capacidad de infiltración de los suelos y el agua se pierde como escorrentía y no es retenida en el suelo.

Una lluvia moderada de larga duración favorece la infiltración. Las lluvias intensas saturan muy rápidamente el suelo, perdiéndose gran parte en escorrentia superficial. Estas lluvias también compactan el suelo reduciendo su habilidad para absorber el agua. (Johnson, 1975)

Capacidad de infiltración

El segundo factor corresponde a la capacidad de infiltración de los suelos, se entiende por infiltración el volumen de agua que procedente de las precipitaciones (a veces también de la recarga artificial o los ríos), en un determinado tiempo, atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo o las formaciones geológicas subyacentes. También, se entiende por infiltración el proceso, por el cual el agua penetra en el suelo, a través de la superficie de la tierra y queda retenida por él o alcanza un nivel freático incrementando el volumen acumulado anteriormente.(Custodio y Llamas, 2001)

Este proceso depende de las características físicas del suelo, tales como: Textura, Estructura, Compactación, y Contenido de humedad. En este caso los suelos con texturas gruesas, poco grado de estructuración y compactación y con una bajo contenido

de humedad, tienen una mayor capacidad de infiltración que los suelos con características diferentes.

Para estimar este aspecto se realizaron 15 pruebas de infiltración en el área de estudio, el criterio que se tomó para la elección de los lugares para efectuar las pruebas fue el de las características de los suelos, para esto se utilizó el mapa de Taxonomía de suelos de la Zona Cañera, desarrollado por CENGICANÁ, en el cual se establecen con base en la taxonomía una clasificación de los suelos de la zona cañera de la Costa Sur de Guatemala y además, cuenta con un mapa a escala 1:50,000, el cual coincide con la escala a la cual se realizó el estudio, lo cual hizo más fácil su utilización. Los sitios seleccionados se muestran en el Cuadro 6.

Las pruebas de infiltración se realizaron por el método de Porchet (Custodio y Llamas, 2001), el cual también es conocido como el Cilindro excavado en el suelo o cilindro invertido. Consiste en excavar en el suelo un hoyo cilindro de radio R , el cual se llena de agua hasta una altura h .

Por lo tanto la superficie por la cual se infiltra el agua es:

$$S = \pi R(2h + R)$$

Para un tiempo, dt , suficientemente pequeño para que pueda suponerse constante la capacidad de infiltración, f , se verificará la igualdad:

$$\pi R(2h + R)f = R^2 (dh/dt)$$

simplificando y separando variables:

$$f dt = -R (dh/(2h+R))$$

Al integrar resulta:

$$f = (R/2(t_2 - t_1)) * \ln ((2h_1 + R)/(2h_2 + R))$$

Así pues, para determinar f , basta medir pares de valores (h_1, t_1) , (h_2, t_2) , de forma que t_2 y t_1 no difieran demasiado y entrar con ellos en la expresión.

En cada una de las unidades taxonómicas se realizó una prueba de infiltración, la elección del lugar exacto se realizó al azar dentro de toda la unidad, tomando en cuenta el mapa de suelos, sobreponiéndolo en el mapa topográfico del área.

Los preparativos para la realización de la prueba consistieron en limpiar el área, hacer el agujero, aplicar agua en él hasta que se tuviera una humedad cercana a la saturación del suelo, luego se colocó un nivel de referencia para la toma de las profundidades, se aplicó agua y se tomaron los datos h y t , a intervalos pequeños. A continuación en el Cuadro 12 se muestran los valores de capacidad de infiltración obtenidos para cada unidad de suelo.

CUADRO 12. Capacidad de infiltración de las diferentes unidades taxonómicas de suelo seleccionadas en la cuenca del río Acomé.

Unidad	Lugar	Coordenadas UTM (m)		Altitud msnm	Infiltración (cm/h)
		X	Y		
1	Finca San Patricio Los Amates	719583	1564588	65	7
2	Finca Montevideo	710751	1558009	34	6.35
3	Finca La Zeta	708375	1555301	24	7.15
4	Finca Velásquez	715627	1576386	221	3.7
5	Finca Monte Alegre	712821	1557452	33	4.05
6	Finca San Francisco	702187	1545001	7	4.1
7	Finca Santanderina	717278	1566522	80	3.75
8	Finca Margaritas	708185	1555805	25	4.2
9	Finca San Antonio Río Seco	703518	1559157	31	4.25
10	Hacienda Lourdes	710061	1552472	26	3.1
11	Finca Pantaleón	717252	1584780	419	5.1
12	Finca Velásquez	716701	1578185	258	5.0
13	Parcelamiento Las Playas	701953	1569242	66	4.45
14	Finca San Bonifacio	712485	1579127	243	5.1
15	Finca El Portillo	696600	1541000	3	3.5

Las capacidades de infiltración en el área son variables y están determinadas básicamente por las características físicas de los suelos, por lo que se considera que las unidades taxonómicas seleccionadas son básicas para el análisis posterior del estudio.

Cobertura vegetal

Gran parte de lluvia que cae durante la primera parte de una tormenta es depositada en la cobertura vegetal como intercepción.

Aun cuando el efecto de la cobertura no tiene mayor importancia en las avenidas más grandes, la intercepción debida a algunos tipos de vegetación puede representar una porción considerable de la lluvia anual.

La capacidad de almacenamiento por intercepción es generalmente satisfecha en las primeras horas de una tormenta, de manera que un alto porcentaje de la lluvia durante las tormentas de corta duración es interceptada. Después de que la vegetación este saturada la intercepción cesaría a no ser porque una cantidad apreciable de agua puede evaporarse a partir de la enorme superficie mojada de la vegetación.

La capacidad de intercepción se reduce a mayor velocidad del viento, pero la tasa de evaporación aumenta. Se han encontrado que un bosque de árboles maderables de gran tamaño intercepta hasta un 20% de lluvia, en cultivos la intercepción para una lluvia de 25 mm, va desde 3.2% en maíz, 11.2% en tabaco, 16% en cereales, hasta 33% en alfalfa; en promedio se calcula un 12% de intercepción debido a cultivos agrícolas.(Linsley, 1988)

Topografía

La 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 del terreno se desplaza a mayor velocidad pasando más rápido a formar parte del agua de escorrentía.

En el caso de los suelos del área, son relativamente planos con excepción de los suelos de la parte alta que tienen hasta un 7% de pendiente como máximo.

Porcentaje de infiltración

Tomando en cuenta los factores anteriores, se calculó un porcentaje de infiltración de la precipitación, la que se considera precipitación efectiva.

Con los valores de capacidad de infiltración, se aplicó la fórmula desarrollada por Schosinsky (1997, inédita) en la Escuela de Geología de la Universidad de Costa Rica, citada por Herrera (1988), para determinar el porcentaje de infiltración de la lluvia, la cual se aplica dentro de un rango de capacidad de infiltración (fc) de 72 a 2,800 mm/día.

La expresión de la fórmula es la siguiente:

$$\% \text{ de Inf} = (-2.74 \times 10^{-5} * fc + 0.2284) * \ln(fc) + 0.000159 fc - 0.586$$

en donde: % Inf, Porcentaje de infiltración en tanto por uno

fc, Capacidad de infiltración en mm/día

ln, Logaritmo Natural

Debido a que esta fórmula no considera la intercepción por cobertura vegetal, se calcula un 12 % debido a este valor, pues es el promedio para cultivos agrícolas, los cuales cubren la mayoría del área de la cuenca. Este valor se le resta al resultado de la fórmula anterior y nos da la porción de la precipitación que debe de considerarse como efectiva.

De esta forma se calculo el porcentaje de infiltración de los suelos de cada una de las unidades taxonómicas de suelo analizadas para el estudio, los resultados se muestran en el Cuadro 13.

CUADRO 13. Porcentajes de infiltración de los suelos de la Cuenca del río Acomé, Escuintla.

Unidad	Lugar	Coordenadas UTM (m)		Altitud msnm	Capacidad de Infiltración (%)
		X	Y		
1	Finca San Patricio Los Amates	719583	1564588	65	93.54
2	Finca Montevideo	710751	1558009	34	92.42
3	Finca La Zeta	708375	1555301	24	93.77
4	Finca Velásquez	715627	1576386	221	84.06
5	Finca Monte Alegre	712821	1557452	33	85.66
6	Finca San Francisco	702187	1545001	7	85.87
7	Finca Santanderina	717278	1566522	80	84.30
8	Finca Margaritas	708185	1555805	25	86.28
9	Finca San Antonio Río Seco	703518	1559157	31	86.48
10	Hacienda Lourdes	710061	1552472	26	80.77
11	Finca Pantaleón	717252	1584780	419	89.40
12	Finca Velásquez	716701	1578185	258	89.10
13	Parcelamiento Las Playas	701953	1569242	66	87.25
14	Finca San Bonifacio	712485	1579127	243	89.40
15	Finca El Portillo	696600	1541000	3	83.05

4.2.1.3.3 Evapotranspiración

La evapotranspiración es otro factor a considerar que consiste en la demanda de la vegetación existente en el área, para lo cual se considera la evapotranspiración del cultivo de referencia como dato de evapotranspiración potencial.

Para determinar la evapotranspiración se utilizó el gradiente topográfico del área debido a que se tiene una estación en la parte alta (Camantulul) y una en la parte baja (Puerto de San José) y por lo tanto se interpoló la información para las unidades taxonómicas de suelo analizadas dentro de la cuenca, después de conocer estos extremos. A continuación se muestran los resultados en el Cuadro 14.

CUADRO 14. Evapotranspiración promedio mensual (mm), en las unidades taxonómicas analizadas en el balance hídrico de suelos del río Acomé, Escuintla.

No.	Altitud (msnm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	65	163	157	189	196	210	199	199	199	181	178	168	165	2204
2	34	164	158	191	199	213	202	201	201	183	180	170	167	2229
3	24	164	159	192	200	214	203	202	202	184	181	170	168	2236
4	221	157	150	179	185	196	185	188	191	168	191	191	190	2172
5	33	164	158	191	199	213	202	201	201	183	180	170	167	2229
6	7	165	159	193	201	215	204	203	203	185	182	171	168	2250
7	80	162	156	188	195	209	198	198	199	179	177	167	165	2193
8	25	164	159	192	199	213	203	202	202	184	181	170	167	2236
9	31	164	158	191	199	213	202	201	201	183	180	170	167	2231
10	26	164	159	192	199	213	202	202	202	184	181	170	167	2235
11	419	150	141	167	170	179	168	175	180	153	150	148	148	1927
12	258	156	148	177	182	193	182	186	189	166	163	157	156	2053
13	66	162	157	189	196	210	199	199	199	181	178	168	165	2203
14	243	156	149	178	183	194	183	187	190	167	164	158	157	2065
15	3	165	160	193	201	215	204	203	203	185	183	171	169	2253

4.2.2 Cálculo de la recarga.

Los cálculos de recarga se realizaron en una hoja de cálculo de Excell, en la cual se introducen las variables de características físicas del suelo (capacidad de infiltración, densidad), constantes de humedad (capacidad de campo y punto de marchites permanente) y clima (precipitación y evapotranspiración). Con esta información el programa calcula la recarga potencial de la unidad en lámina de agua, y también las necesidades de riego en lamina.

Los cálculos los efectuaron con un intervalo mensual, debido a que los registros históricos se encuentran de esta forma.

Los resultados de los cálculos de recarga se resumen en el Cuadro 15, la cual se presenta a continuación:

CUADRO 15. Resumen de recarga potencial por unidad de suelo, de la cuenca del río Acomé, Escuintla

UNIDAD	ORDEN DE SUELOS	RECARGA (mm)	AREA (km ²)	VOLUMEN (Millones m ³)	% RECARGA
1	Entisol	251.87	18.13	4.57	15.02
2	Entisol	176.50	22.67	4.00	11.67
3	Entisol	167.60	9.42	1.58	11.64
4	Inceptisol	430.34	53.57	23.05	19.63
5	Mollisol	186.65	146.88	27.42	11.13
6	Mollisol – Inceptisol	44.80	66.08	2.96	3.27
7	Mollisol – Andisol	228.16	59.35	13.54	11.87
8	Mollisol	157.89	122.78	19.39	9.64
9	Mollisol	153.37	21.10	3.24	9.63
10	Mollisol	67.68	63.55	4.30	4.51
11	Andisol	1459.72	18.99	27.72	44.71
12	Andisol	766.96	58.43	44.81	31.13
13	Andisol	206.78	22.98	4.75	11.92
14	Andisol	619.34	51.63	31.98	27.60
15	Mollisol	0.00	10.35	0.00	0.00

Los suelos de la cuenca del río Acomé, tienen una recarga potencial de 213.30 millones de metros cúbicos al año, con relación al área de captación total (745.91 km²). Los suelos con menor recarga son los de la unidad 15, con 0% de la precipitación que pasa a recargar los acuíferos, los suelos corresponden al orden mollisoles, que son suelos profundos y la infiltración es buena, pero la localización de la unidad es muy cercana al Océano Pacífico, donde las precipitaciones son bajas y se presentan además, las mayores tasas de evapotranspiración, cerca de 6 mm diarios.

La unidad 11, es la que tiene mayor porcentaje de recarga con relación a la precipitación y es del 44.71%, esta unidad se ubica en la parte más alta de la cuenca y es una zona en donde se presentan precipitaciones elevadas de mas de 3000 mm anuales, con las cuales

se cubre la demanda por evapotranspiración y se recargan los acuíferos considerablemente.

Al realizar el análisis por orden taxonómico de suelos vemos como el orden de los mollisoles tienen una recarga potencial desde 0 hasta 11.87% de la precipitación pluvial. Estos suelos se ubican en la zona más baja de la cuenca donde las precipitaciones son bajas y las tasas de evapotranspiración son altas.

Los suelos entisoles presentan una recarga potencial en la cuenca, de 11.64 a 15.02 % de la precipitación pluvial que recibe, estos suelos se presentan en la parte media de la cuenca.

Los inceptisoles tienen una recarga potencial de alrededor del 19.63% de la lluvia que reciben, estos suelos están ubicados en la parte media de la cuenca.

Los andisoles son los suelos que se ubican en la parte mas alta de la cuenca, reciben las precipitaciones más altas en la cuenca, y tienen un potencial de recarga del 11.92 al 44.71%.

Los porcentajes de lluvia potencialmente recargada mantienen relación con la ubicación de la unidad en la cuenca, y especialmente con la precipitación pluvial, pues la evapotranspiración y las características físicas de los suelos son variables, pero la precipitación es la que presenta mayor variabilidad con el gradiente topográfico de la cuenca.

En promedio la cuenca tiene un porcentaje de recarga de la lluvia que capta de 15%.

Las necesidades de riego en la cuenca se presentan inversas a la recarga, pues las unidades localizadas en la parte cercana al mar son las que presentan las mayores necesidades de riego, mientras que las de la parte alta presentan necesidades menores. En total las necesidades de riego de la cuenca alcanzan los 791 millones de m³ aproximadamente. Por lo tanto, si se logrará aprovechar el 100% de la recarga (lo que es

prácticamente imposible) alcanzaría para cubrir el 27% de las demandas de agua de la cuenca.

En cuanto a la cantidad exacta aprovechable de esta recarga potencial de la cuenca, es difícil de estimar, debido a que según algunos expertos se debe de dejar parte de esta agua para favorecer los ecosistemas que dependen de ella, los flujos bases de los ríos, y otros. De esta manera se llega a calcular que hasta un 25% de la recarga no debe de ser aprovechada por motivos ecológico-ambientalistas. Así, tendríamos para el caso de la cuenca que destinar un total de 53 millones de m^3 para este fin, quedando como agua aprovechable para los demás fines un total de 160 millones de m^3 al año.

El volumen de 160 millones de m^3 al año equivalen a una extracción aproximada de 5,000 L/s durante los 365 días del año, las 24 horas diarias. Equivalente a la extracción realizada por 100 equipos de bombeo con fines de riego agrícola con un caudal de 50 L/s, que funcionen de forma continua todo el año. Este volumen de agua, equivale a una lámina de 0.215 m.

4.3 Balance hidrológico

La ecuación del balance hidrológico es la misma ecuación que la de continuidad, basada en el axioma de Lavoisier de que “nada se crea ni se destruye”, y se expresa:

$$\text{Entradas} = \text{Salidas} + \text{Variación de almacenamiento}$$

Esta ecuación es aplicable a una región o unidad cualquiera y en un tiempo cualquiera. En el caso particular de la cuenca en estudio las entradas consisten en la precipitación pluvial directa, los aportes superficiales de otras regiones, los aportes de agua subterránea.

Las salidas están determinadas por el flujo de ríos en los puntos de aforo y por la evapotranspiración.

Para cuantificar cada uno de estos factores se procedió de la siguiente forma:

Precipitación pluvial. Se cálculo una precipitación media a través de isoyetas de 1826 mm anuales para la cuenca del río Acomé, esto sobre la base de la precipitación media de cada una de las unidades de análisis, que corresponden a las unidades taxonómicas de suelos seleccionadas para el estudio; y el área correspondiente, con lo cual se obtuvo el promedio ponderado de la precipitación del área.

Aportes superficiales de otras regiones. Este factor es básicamente los aforos realizados los cuales en conjunto ascienden a 2353.8 L/s, lo que equivale en lamina anual a 90.38 mm.

Evapotranspiración. Corresponde a la evapotranspiración potencial de la vegetación del área, la cual en promedio es de 2191 mm, la cual se obtuvo de la misma forma que la precipitación promedio.

Descarga de ríos. Como ya se mencionó anteriormente la descarga del sistema de agua superficiales es igual a 0 en la época de máximo estiaje que comprende los meses de enero, febrero, marzo y abril; mientras que en los meses siguientes, mantiene un caudal variable el cual es en promedio de 2,500 L/s aproximadamente, lo que equivale a una lamina de 63 mm anuales.

Por lo tanto el resumen del balance hidrológico de la cuenca del río Acomé, se observa en el Cuadro 16.

CUADRO 16. Resumen del balance hidrológico de la cuenca del río Acomé, Escuintla.

ENTRADAS	SALIDAS	ALMACENAMIENTO
Precipitación = 1826 mm	Escurrentía = 57 mm	
Aportes externos = 90.38 mm	Evapotranspiración = 2191	
Total = 1916.38	Total = 2288	Total = - 371.62

Sobre la base del balance hidrológico de la cuenca, existe un déficit de 371.62 mm de lamina a nivel general, lo que indica que la demanda (salidas) son mayores que la oferta (entradas) del sistema de la cuenca.

El balance hidrológico nos muestra que esta es una cuenca deficitaria de forma general y que aun aprovechando todos los recursos hídricos posibles disponibles no se logra cubrir las necesidades de la cuenca por concepto de evapotranspiración.

CAPITULO 5

AGUAS SUBTERRÁNEAS

En este capítulo se presentan los aspectos relacionados a las aguas subterráneas, los límites del acuífero, las unidades hidrogeológicas importantes y la determinación de los parámetros hidrogeológicos de importancia para determinar el comportamiento de las aguas subterráneas y el tipo de acuífero, como lo son la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento. Otros aspecto importante que se incluye es el comportamiento de los niveles de agua subterránea en la cuenca, para determinar las isofreáticas y las líneas de flujo del acuífero, así también, las características de las captaciones actuales.

5.1 Agua subterránea

El agua contenida en la zona de saturación es la única parte de toda el agua del subsuelo de la cual se puede hablar con propiedad como agua subterránea. La zona de saturación podría igualarse a un gran embalse natural o sistema de embalses cuya capacidad total es equivalente al volumen conjunto de los poros o aberturas de las rocas que se hallan llenas de agua. El agua se encuentra en forma de un solo estrato continuo o bien en estratos separados.

El espesor de la zona de saturación varía desde unos metros hasta varios cientos. Los factores que determinan su espesor son tales como la geología local, la presencia de poros o intersticios en las formaciones, la recarga y el movimiento o desplazamiento del agua desde las áreas de recarga hasta las de descarga.

En realidad, algo menos de un 3 por ciento de la disponibilidad del agua dulce fluida de nuestro planeta Tierra, corresponde a ríos y lagos. El 97 por ciento restante, algo así como 1230 km³ de agua se encuentra en el subsuelo.