



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS
HIDRÁULICOS**

**EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA
PARA INUNDACIONES EN LA PARTE BAJA DE LA
CUENCA DEL RÍO ACHIGUATE**

INGA. ERICKA PATRICIA ZAMORA LEANDRO

**ASESORADA POR: ING. ELFEGO ODVIN OROZCO
FUENTES**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRÁULICOS -ERIS-
A NIVEL DE POSGRADO**

**EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA
PARA INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL RÍO ACHIGUATE**

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRÁULICOS -ERIS-

POR:

INGA. ERICKA PATRICIA ZAMORA LEANDRO

ASESORADO POR EL ING. M.Sc. ELFEGO ODVIN OROZCO FUENTES

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAGISTER SCIENTIFICAE / MAESTRO EN CIENCIAS
EN RECURSOS HIDRÁULICOS, OPCIÓN HIDROLOGÍA**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2008

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DIRECTOR ERIS	M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Elfego Odvin Orozco Fuentes
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Joram Matías Gil Larroj
EXAMINADOR	Esp. Ing. Teófilo Álvarez Marroquín
SECRETARIO	Esp. Ing. Teófilo Álvarez Marroquín

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA INUNDACIONES EN LA PARTE BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO ACHIGUATE

Tema que me fuera aprobado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, el 14 de octubre de 2008.

Atentamente,

INGA. ERICKA PATRICIA ZAMORA LEANDRO

DEDICATORIA

Primero, a Dios:

Que ha guiado mis pasos hasta llegar a mi meta y me ha dado la paciencia, tenacidad y estímulos necesarios para continuar.

Segundo, a mis padres:

Gilberth Zamora Barrantes y Lilliana Leandro Jiménez quienes me enseñaron que viviendo un día a la vez todo se puede alcanzar y que a pesar de la distancia todos los días sentía su apoyo incondicional gracias a sus oraciones.

Tercero, al resto de mi familia:

En especial, a mi hermana Adriana Zamora Leandro y a mi sobrina Juliana Zamora Leandro, quienes con su cariño y oraciones me dieron una razón más para continuar; a mi hermano Marco Zamora Leandro, a mi sobrino Diego Zamora Tobar y a Sylvia Tobar por su apoyo a pesar de todo, y por último, a mi abuelita Lourdes Zamora Barrantes de quien aprendí, desde niña, que con esfuerzo se pueden alcanzar todos los sueños.

Cuarto, a mis amigos:

Al Lic. Gustavo Rubén Villalta Alas, quien durante mi primer año de estancia en Guatemala me dedicó su tiempo, cariño, alegría para que nunca me rindiera y a pesar de haber dejado esta tierra, desde el cielo me siguió apoyando y permanece a mi lado hasta la fecha.

A la Inga. Alma Luna Sagastume y a su familia porque me brindaron una familia con la que pude contar todo este tiempo, me dieron su amistad desinteresada y siempre estuvieron a mi lado para lo que necesité.

A la Arqta. Etsia Mejía y a su familia, quienes a pesar de la distancia cada minuto de mi maestría me apoyaron y me dieron razones para continuar a pesar de los problemas.

Todos son coparticipes de mi triunfo.

AGRADECIMIENTOS

Primero, al DAAD:

Que me dio la oportunidad de venir a esta tierra bendecida por Dios y lograr alcanzar mis metas.

Segundo, al personal administrativo y profesorado de la ERIS:

A la Lida. Samayoa, Licda. Dora María Cardoza, Sra. Frida Faggioly de Cáceres, Sra. Jeannette Alegría de Mejía y Br. César Rojas.

Al Ing. M.Sc. Juan José Sandoval quien me motivo a querer superarme, al Ing. M.Sc. Pedro Saravia que me apoyo durante toda la maestría, al Ing. Teófilo Álvarez que siempre tuvo una palabra de ánimo, Ing. M.Sc. Zenón Múch que me enseñó el valor que tiene un buen profesor en la vida, M.Sc. Jorám Gil que me instruyo y me motivo a buscar el conocimiento, al Ing. M.Sc. Julián Duarte que con sus clases y sus palabras me inspiró para buscar respuestas de todas las cosas y en especial al Ing. Elfego Orozco porque gracias a su apoyo aprendí a disfrutar cada trabajo que se me encomendaba.

Tercero, a mis compañeros y amigos:

Al Ing. Juan Carlos Fuentes, por su apoyo incondicional y por brindarme su tiempo para ayudarme; a la Inga. Elizabeth Pérez, por hacerme reír a pesar de todo y brindarme su amistad y su ayuda incondicional; Inga. Sthefany Fuentes, por su calidez; Ing. Luis Sandoval, porque siempre estuvo dispuesto a ayudar; Ing. Claudio Castañón, por brindar siempre sus conocimientos y ayudarme siempre que lo necesité; Ing. Sergio Pacajoj, por su amistad y su ayuda; Ing. Rodolfo Zúñiga, por sus consejos un poco locos y a: Inga. Janania Viana, Ing. Ricardo Reyes, Ing. Carlos Boburg, Ing. Estuardo Caballeros e Ing. Jorge Rivera, por su apoyo y por convertirse en buenos amigos.

Cuarto, a mis amigos chapines:

Al Ing. Renato de León Ruiz, por su ayuda, paciencia y apoyo para lograr terminar este documento.

Al Ing. Roberto Pérez, por brindarme su apoyo, tener paciencia y darme su tiempo dejando de lado sus compromisos.

Al Ing. Omar Flores, por sus consejos, por su amistad y su apoyo en los momentos difíciles.

Quinto, a mis amigos a la distancia:

A los que siempre tuvieron una palabra de aliento, de apoyo y sus muestras de aprecio que me motivaron a seguir adelante, gracias a: Br. José Miguel Hernández, Ing. Minor Cordero, Ing. Gerardo Vargas, Ing. Minor Monge e Ing. Francisco González.

Sexto, a Guatemala:

A este país que me recibió con los brazos abiertos y me hizo sentir como en casa.

Gracias a todos, mil gracias y siempre estarán en mi corazón.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1	1
ASPECTOS INTRODUCTORIOS.....	1
1.1 GENERALIDADES	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	4
1.4 OBJETIVOS	5
1.4.1 General	5
1.4.2 Específicos	5
1.5 ALCANCE.....	5
CAPÍTULO 2.....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 EL CICLO HIDROLÓGICO	8
2.2 ANÁLISIS DE EVENTOS EXTREMOS	9
2.2.1 Conceptos básicos	9
2.3 DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIA PARA EVENTOS EXTREMOS.....	15
2.4 COMPONENTES BÁSICOS DEL RIESGO	15
2.4.1 Alerta temprana.....	15
2.4.2 Amenaza.....	15
2.4.3 Amenazas hidrometeorológicas.....	16
2.4.4 Amenazas geológicas.....	16
2.4.5 Degradación ambiental.....	16
2.4.6 Capacidad de un sistema	16
2.4.7 Capacidad de superación	17
2.4.8 Desastre.....	17
2.4.9 Evaluación del riesgo / análisis	17
2.4.10 Gestión del riesgo de desastres	18
2.4.11 Mitigación.....	18
2.4.12 Preparación.....	18
2.4.13 Prevención	18
2.4.14 Reducción del riesgo de desastres	18
2.4.15 Resiliencia / resiliente	19
2.4.16 Riesgo.....	19
2.4.17 Vulnerabilidad.....	20
2.4.18 Inundaciones.....	20
2.5 SIMULACIONES.....	25
2.5.1 Conceptos básicos	25
2.6 HEC-RAS	29
2.6.1 Características técnicas.....	30
2.6.2 Aplicaciones	30
2.7 SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA –SAT–	31
2.7.1 DEFINICIONES.....	31
2.8 TIPOS DE SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA.....	34
2.8.1 SAT Comunitario	34
2.8.2 SAT nacional o SAT centralizado.....	35
2.9 APLICABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA	36

CAPITULO 3 CARACTERIZACION DE LA CUENCA DEL RÍO ACHIGUATE	37
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO ACHIGUATE	38
3.1.1 Aspectos biofísicos.....	38
3.1.2 Región fisiográfica.....	38
3.1.3 Hidrografía	39
3.1.4 Sistema fluvial.....	42
3.1.6 Estimación del tiempo de concentración (tc).....	45
3.1.7 Suelos.....	46
3.1.8 Infraestructura vial.....	47
3.1.9 Hidrología.....	48
CAPITULO 4 Régimen de crecidas	59
4.1 Régimen de crecidas	60
4.1.1 Generalidades.....	60
4.1.2 Estaciones hidrométricas.....	60
4.1.3 Análisis regional de crecidas	61
4.1.4 Ajuste de curvas teóricas de distribución de frecuencia a series estandarizadas.....	63
4.2 Simulación hidráulica.....	69
4.2.1 Generalidades.....	69
4.2.2 Secciones representativas y datos geométricos e hidráulicos	70
4.3 Análisis de inundación en la parte baja de la cuenca del río Achiguate.....	75
4.4 Descripción y análisis del ciclón tropical Stan.....	89
4.4.1 Antecedentes	89
4.4.2 Características	89
4.4.3 Efectos.....	90
4.4.4 Comportamiento de la lluvia	91
CAPÍTULO 5 Propuesta del sistema de alerta temprana	59
5.1 Antecedentes	98
5.2 Estudio de caso	99
5.2.1 SATs a nivel nacional	99
5.2.2 SAT comunitarios.....	99
5.2.3 Descripción de los SATs operados en Guatemala	100
5.2.4 Sistema Nacional de Alerta Temprana.....	100
5.2.5 Sistemas de difusión usados por los SATs	101
5.2.6 INVOLUCRAMIENTO DE AUTORIDADES MUNICIPALES	101
5.2.7 INVOLUCRAMIENTO DE OTRAS INSTITUCIONES	102
5.2.8 Normas de difusión de alertas	102
5.3 CASOS DE SISTEMAS COMUNITARIOS OPERADOS EN CUENCAS.....	103
5.3.1 SAT de la cuenca del Coyolate.....	103
5.3.2 SAT en la cuenca del Samalá.....	104
5.3.3 SAT en la cuenca del María Linda	104
5.3.4 SAT en la cuenca del Polochic	104
5.3.5 SAT del río Motagua.....	105
5.3.6 SAT de la cuenca del río Achiguate.....	105
5.4 Propuesta.....	110
5.4.1 Tipo de instrumentación y mantenimiento.....	110
5.4.2 Registro de datos	113
5.4.3 Capacitación	117
5.4.4 Medidas de conservación del cauce	118

CAPÍTULO 6.....	119
CONCLUSIONES Y.....	119
RECOMENDACIONES	119
6.1 Conclusiones.....	120
6.2 Recomendaciones	122
BIBLIOGRAFÍA	124
APENDICES	131

INDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1	Orden, número y longitud de corrientes en la cuenca del río Achiguate	40
Cuadro 3.2	Aspectos de superficie de la cuenca del río Achiguate	41
Cuadro 3.3	Tiempos de concentración para diversos tramos de interés en la cuenca del Achiguate.....	45
Cuadro 3.4	Longitud de la infraestructura vial según su clasificación	47
Figura 3.5	Curvas duración-intensidad-frecuencia en la estación climática Sabana Grande.....	55
Cuadro 3.5	Posición relativa del ajuste de doce distribuciones teóricas de frecuencias utilizadas en el análisis de caudales máximos anuales, en la estación hidrométrica Sabana Grande.....	58
Cuadro 4.1	Características de las estaciones hidrométricas de la cuenca del río Guacalate .	61
Cuadro 4.2	Características de las estaciones hidrométricas utilizadas en el análisis regional de crecidas.....	63
Cuadro 4.3	Factores de frecuencia (K_{TR}) de distribuciones teóricas, donde los parámetros se estimaron con momentos convencionales.....	65
Cuadro 4.4	Factores de frecuencia (K_{TR}) de distribuciones teóricas, donde los parámetros se estimaron con momentos lineales	66
Cuadro 4.5	Caudales máximos anuales (m^3/s) estimados en diversos sitios de interés en la cuenca del río Achiguate	68
Cuadro 4.6	Secciones representativas en el cauce principal de la cuenca del río Achiguate .	70
Cuadro 4.7	Valores de velocidad, profundidad y tiempo de viaje para un período de retorno de dos años de la parte media de la cuenca del río Achiguate	71
Cuadro 4.8	Valores de velocidad, profundidad y tiempo de viaje para un período de retorno de 10 años de la parte media de la cuenca del río Achiguate.....	71
Cuadro 4.9	Valores de velocidad, profundidad y tiempo de viaje para un período de retorno de 50 años de la parte media de la cuenca del río Achiguate.....	72
Cuadro 4.10	Valores de velocidad, profundidad y tiempo de viaje para un período de retorno de 100 años de la parte media de la cuenca del río Achiguate.....	72
Cuadro 4.11	Tabla de detalle de desbordamiento en período de retorno de diez años.....	73
Cuadro 4.12	Tabla de detalle de desbordamiento en período de retorno de cincuenta años	73
Cuadro 4.13	Tabla de detalle de desbordamiento en período de retorno de cien años.....	74
Cuadro 4.14	Tabla de detalle de desbordamiento en período de retorno de mil años.....	74
Cuadro 4.15	Tabla de detalle de caudal, altura del agua y tiempo de viaje en cada sección para un período de retorno de dos años.....	85
Cuadro 4.16	Tabla de detalle de caudal, altura del agua y tiempo de viaje en cada sección para un período de retorno de 10 años.....	86
Cuadro 4.17	Tabla de detalle de caudal, altura del agua y tiempo de viaje en cada sección para un período de retorno de 50 años.....	86
Cuadro 4.18	Tabla de detalle de caudal, altura del agua y tiempo de viaje en cada sección para un período de retorno de 100 años	87
Cuadro 4.19	Tabla de detalle de tiempos para respuesta en cada una de las localidades en mayor riesgo, tomando en cuenta que el nivel se encuentre en el puente del río Guacalate.....	88
Cuadro 4.20	Tabla de detalle de tiempos para respuesta en cada una de las localidades en mayor riesgo, tomando en cuenta que el nivel se encuentre en el puente del río Masagua .	88
Cuadro 4.21	Información relevante del ciclón tropical Stan.....	90

Cuadro 5.1	Detalle de SAT Comunitarios	99
Cuadro 5.2	Estaciones que conforman el sistema de alerta temprana para inundaciones en la cuenca del río Achiguate	107
Cuadro 5.3	Instrumentación mínima requerida para conforman el sistema de alerta temprana para inundaciones en la cuenca del río Achiguate.....	111
Cuadro 5.4	Niveles de alerta tomando como referencia el puente sobre el río Guacalate	117
Cuadro A.1	Boleta de toma de datos de niveles de río.....	142
Cuadro A.2	Boleta de toma de datos de lluvia diaria.....	143
Cuadro A.3	Tabla de perfiles uno cuenca río Achiguate (datos generales de las secciones) HEC-RAS.....	144
Cuadro A.4	Tabla de perfiles dos cuenca río Achiguate (datos específicos de las secciones) HEC-RAS	146
Cuadro A.5	Tabla de datos específicos para período de retorno de 50 años en cada tramo. HEC-RAS	148
Cuadro A.6	Tabla de datos específicos para período de retorno de 100 años en cada tramo. HEC-RAS	151

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Estructura básica de un sistema de alerta temprana	32
Figura 2.2	Esquema operativo del SAT	33
Figura 3.1	Planta – perfil de los principales afluentes de la cuenca.....	44
Figura 3.2	Lluvia anual de tres estaciones climatológicas con influencia en la cuenca del río Achiguate.....	52
Figura 3.3	Lluvia media mensual de tres estaciones climáticas con influencia en la cuenca del río Achiguate.....	53
Figura 3.4	Lluvia máxima diaria en tres estaciones climáticas con influencia en la cuenca del río Achiguate.....	54
Figura 3.6	Ajuste de curvas teóricas de frecuencia a registros máximos de lluvia de la estación climatológica Sabana Grande.....	57
Figura 4.1	Ajuste de series estandarizadas de caudales máximos anuales a curvas teóricas de distribución de frecuencia.....	64
Figura 4.2	Sección 0, finca el Cobano con $Tr = 2, 10$	75
Figura 4.3	Sección 0, finca el Cobano con $Tr = 50, 100$	75
Figura 4.4	Sección 0, curva de caudal contra altura en la finca el Cobano	76
Figura 4.5	Sección 1, finca San Rafael con $Tr = 2, 10$	76
Figura 4.6	Sección 1, finca San Rafael con $Tr = 50, 100$	77
Figura 4.7	Sección 1, curva de caudal contra altura en la finca San Rafael.....	77
Figura 4.8	Sección 2, puente Masagua con $Tr = 2, 10$	78
Figura 4.9	Sección 2, puente Masagua con $Tr = 50, 100$	78
Figura 4.10	Sección 2, curva de caudal contra altura en el puente Masagua	79
Figura 4.11	Sección 3, finca San Juan Mixtán con $Tr = 2, 10$	79
Figura 4.12	Sección 3, finca San Juan Mixtán con $Tr = 50, 100$	80
Figura 4.13	Sección 3, curva de caudal contra altura en la finca San Juan Mixtán	80
Figura 4.14	Sección 4, finca San Juan con $Tr = 2, 10$	81
Figura 4.15	Sección 4, finca San Juan con $Tr = 50, 100$	81
Figura 4.16	Sección 4, curva de caudal contra altura en la finca San Juan	82
Figura 4.17	Sección 5, finca Santa Elena con $Tr = 2, 10$	82
Figura 4.18	Sección 5, finca Santa Elena con $Tr = 50, 100$	83

Figura 4.19 Sección 5, curva de caudal contra altura en la finca Santa Elena.....	83
Figura 4.20 Sección 6, puente Guacalate con $Tr = 2, 10$	84
Figura 4.21 Sección 6, puente Guacalate con $Tr = 50, 100$	84
Figura 4.22 Sección 6, curva de caudal contra altura en el puente Guacalate.....	85
Figura 4.23 Lluvia diaria durante el ciclón tropical Stan del 1 al 10 de octubre del año 2005, en la estación climática Sabana Grande.....	92
Figura 4.24 Hietograma con intervalos de 60 minutos los días 4 y 5 de octubre del año 2005, en la estación climática Sabana Grande.....	93
Figura 4.25 Hietograma con intervalos de 15 minutos los días 4 y 5 de octubre del año 2005, en la estación climática Sabana Grande.....	94
Figura 5.1 Evolución de las emergencias	98
Figura 5.2 Propuesta de SAT	112
Figura A.1 Ubicación geográfica de la cuenca.....	132
Figura A.2 Zonas de vida presentes en la cuenca	133
Figura A.3 Ubicación de las estaciones del INSIVUMEH	134
Figura A.4 Ubicación de las secciones para toma de datos	135
Figura A.5 Ubicación de las bases de CONRED	136
Figura A.6 Propuesta de SAT.....	137
Figura A.7 Sección 0, finca el Cobano.....	138
Figura A.8 Sección 1, finca San Rafael	138
Figura A.9 Sección 2, puente Masagua.....	139
Figura A.10 Sección 3, finca San Juan Mixtán.....	139
Figura A.11 Sección 4, finca San Juan.....	140
Figura A.12 Sección 5, finca Santa Elena.....	140
Figura A.13 Sección 6, puente Guacalate	141

CAPÍTULO 1

ASPECTOS INTRODUCTORIOS

1.1 GENERALIDADES

Guatemala tiene una extensión superficial aproximada de 108 889 km², y se encuentra localizada casi en el centro geográfico de América, entre los paralelos 13° 44' a 18° 30' latitud Norte y meridianos 87° 30' a 92° 13' al Oeste de Greenwich. La más septentrional de las repúblicas de América Central, limita al Oeste y al Norte con México; al Este, con el océano Atlántico, Honduras y El Salvador y al Sur, con el océano Pacífico (IGN, 1975).

Guatemala posee cambios variados en cuanto al clima se refiere, con temperaturas medias que oscilan entre 8 y 28 °C. El régimen de lluvias también es muy variado, con precipitaciones medias anuales en zonas áridas de 400 mm/año hasta 6 000 mm/año en las zonas muy húmedas. Observándose gran diversidad de microclimas, y por lo tanto, de vegetación en todo el país. Con una precipitación media anual de 2 000 mm, la cual genera un caudal medio anual de 3 207 m³/s, de los cuales el 22% drena hacia el océano Pacífico; el 31%, hacia el mar de las Antillas y el 47%, hacia el golfo de México (NOVIB, 2001).

La divisoria de las aguas lo constituye un sistema montañoso que atraviesa el país de Oeste hacia Este, con alturas hasta de 5 000 metros sobre el nivel del mar, lo cual da lugar a múltiples microclimas e imprime rasgos especiales a las cuencas y subcuencas y al comportamiento de las aguas superficiales y subterráneas (NOVIB, 2001).

La respuesta de las cuencas a eventos climáticos e integrando las características biofísicas de Guatemala hacen del país una zona muy vulnerable a desastres naturales. Los desastres comunes en la región son terremotos y/o huracanes. Éstos están acompañados por fenómenos como erupciones volcánicas, deslizamientos, derrumbes e inundaciones, los cuales son los fenómenos más letales de los desastres naturales (Santos, 2006).

Por otra parte la cuenca del río Achiguate, es una de las 18 cuencas que conforman la vertiente del océano Pacífico. Los ríos de esta vertiente nacen en la parte alta de las montañas y recorren, a través de pendientes pronunciadas de terreno, distancias comprendidas entre 40 y 60 km antes de desembocar en el mar (NOVIB, 2001).

En la cuenca del río Achiguate, año con año se producen inundaciones en la planicie costera, cuyas causas se atribuyen, en parte, a la falta de un manejo integrado de la cuenca, principalmente, en las partes alta y media. La deforestación es la principal causa de esto con la consecuente pérdida de suelo y alteración del ciclo hidrológico, ocasionando que la mayor parte de la precipitación pluvial se constituya en escorrentía directa, disminuyendo la infiltración y, por ende, la recarga hídrica.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Guatemala, como el resto de la región centroamericana, constantemente es afectada por diferentes fenómenos naturales como depresiones, tormentas tropicales y huracanes, que provocan crecidas y crecidas máximas en los ríos, que causan daños al ambiente, la infraestructura y la economía del país y, además, provocan pérdida de vidas humanas.

Debido al alto costo que estos fenómenos generan sobre el ambiente, la vida y la economía del país el análisis de este tipo de eventos es de gran importancia para determinar el futuro de la nación. Es importante, por otra parte, hacer notar que sí se da un adecuado manejo de los diferentes escenarios presentes en el país y que se ven influidos para acentuar las vulnerabilidades presentes, se pueden reducir, en gran parte, los riesgos presentes.

De acuerdo con ERIS (2006), el huracán Mitch en el año de 1998, tuvo características de inusitada fuerza en la región centroamericana, causó desolación, pérdida de vidas humanas y daños económicos, sociales y ambientales de enorme magnitud. Éste ha sido calificado como el desastre de origen hidrometeorológico más grave que haya afectado a la región en muchos años. No fue solamente la excepcional fuerza que alcanzó el evento al tocar nuestras costas, sino también la extensión de su diámetro, la acumulación de humedad y lluvias que acarreo y la errática trayectoria que mantuvo durante varios días. Durante 1999, los efectos de los huracanes ya han sido sentidos en el Caribe y el Sureste de los Estados Unidos. Los daños ocasionados por el huracán Mitch se estiman en 202 muertes y pérdidas económicas por \$748 millones (CEPAL & SEGEPLAN, 2007).

En el año 2005 el huracán Stan ocasionó en varios poblados una ruptura extrema del funcionamiento de la sociedad, originó pérdidas de vidas humanas, materiales y daños medioambientales a gran escala, superando la capacidad de la sociedad afectada para hacer frente a la situación utilizando únicamente sus propios recursos. Los sucesos acontecidos por el huracán Stan, tales como desbordamientos de ríos, derrumbes y deslizamientos de tierra no se consideran, por sí mismos, como desastres, pero como afectaron de forma adversa y gravemente a vidas humanas, así como sus bases de subsistencia (agricultura) y pertenencias (ERIS, 2006).

Durante el huracán Stan, la vertiente más afectada fue la del océano Pacífico, entre ellas la cuenca del río Achiguate la cual es objeto de estudio de la presente investigación. En dicha cuenca, los efectos fueron la inundación de comunidades, esto trajo consigo daños irreversibles a la economía de la región. Las pérdidas económicas ocasionadas por este fenómeno de acuerdo con CEPAL & SEGEPLAN (2007), son muy cuantiosas.

Por otra parte, analizando el “sistema de alerta temprana” existente para esta cuenca se puede determinar que no tiene fundamento técnico, sino que la realización se basó en las experiencias que se han dado en los últimos años en la cuenca, además, lo que actualmente existe es un sistema de radios de comunicación, que son empleados dependiendo de las necesidades, para diferentes tipos de emergencias. Sin embargo, es importante hacer notar que el sistema contribuyó a realizar movilizaciones de personas a sitios seguros durante la tormenta del Stan en el año 2005 cuando ya se encontraba en funcionamiento.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En la república de Guatemala, como en el resto de Centroamérica, el manejo de los recursos estimula la vulnerabilidad de diferentes zonas ante los desastres Guatemala, por su parte y de acuerdo con Revolorio (2003), que ocupa el tercer lugar a nivel latinoamericano con un 72% de suelos que presentan degradación severa y muy severa. Es, por tanto, que el manejo inadecuado de los recursos naturales del país, es de vital importancia para que el progreso del país continúe y los efectos que se esperan debido al cambio climático no afecten, en tanto, el territorio.

De acuerdo con NOBIV (2002), en Guatemala, en la vertiente del océano Pacífico, año con año suceden inundaciones cuyas causas se atribuyen en parte a la erosión causada por la deforestación en la parte alta de las cuencas y a la deposición de cenizas por actividad volcánica.

Además, menciona que tampoco se ha formulado un plan general de prevención de desastres por crecidas e inundaciones en dicha vertiente.

La cuenca del río Achiguate, forma parte de la vertiente del océano Pacífico de Guatemala, inunda constantemente las comunidades de las partes bajas de dicha cuenca y provoca durante cada evento pérdidas económicas y de vidas humanas.

Los estudios hidrológicos de la cuenca del río Achiguate y las implementaciones de los sistemas de alerta temprana contribuyen a la reducción de las pérdidas que se pueden dar durante un evento determinado. Además, tal como se indicó anteriormente, estas medidas deben ir ligadas a un manejo integral de los recursos naturales, tomando como unidad de gestión y planificación la cuenca hidrográfica y considerando todos los actores involucrados.

Se debe resaltar el hecho de que el diseño de los sistemas de alerta temprana deben tener un fundamento técnico y científico, tomando en cuenta, por tanto, las variables hidráulicas e hidrológicas relevantes de la zona, analizando registros históricos y condiciones actuales.

Es importante hacer notar, por otra parte que durante la tormenta del Stan se probó la efectividad del sistema puesto que, a pesar de que el evento provocó daños materiales y pérdidas humanas, las diferentes comunidades se encontraban al tanto del acontecimiento y muchos tomaron medidas para minimizar los daños y, en especial, la pérdida de vidas humanas.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 General

1. Analizar la situación de inundaciones en la parte media de la cuenca del río Achiguate y del Sistema de Alerta Temprana existente, para proponer un nuevo Sistema de Alerta Temprana.

1.4.2 Específicos

1. Identificar y evaluar la información hidrometeorológica disponible en la cuenca y área de influencia hidrológica.
2. Identificar los sitios con problemas frecuentes de inundaciones.
3. Estudio de crecidas en la parte media de la cuenca del río Achiguate.
4. Evaluar el sistema de alerta temprana existente en la cuenca del río Achiguate.
5. Proponer las actualizaciones en el sistema de alerta temprana en la parte baja de la cuenca del río Achiguate.

1.5 ALCANCE

Debido a la escasa información hidrológica y meteorológica de la cuenca, los parámetros hidrológicos deben ser asumidos, lo que agrega grados de libertad e incertidumbre a los cálculos.

Se requiere de información topográfica de las diferentes secciones, sin embargo, debido a los altos costos de esta las secciones se realizarán por métodos manuales, no obstante, para mejorar la simulación hidráulica se deben realizar tomas de secciones por medio de topografía con la finalidad de mejorar los cálculos con el programa HEC-RAS.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 EL CICLO HIDROLÓGICO

Se puede admitir que la cantidad total de agua que existe en la tierra, en sus tres fases: sólida, líquida y gaseosa, se ha mantenido constante desde la aparición de la humanidad. El agua de la tierra - que constituye la hidrósfera - se distribuye en tres reservorios principales: los océanos, los continentes y la atmósfera, entre los cuales existe una circulación continua - el ciclo del agua o ciclo hidrológico. El movimiento del agua en el ciclo hidrológico es mantenido por la energía radiante del sol y por la fuerza de la gravedad.

El ciclo hidrológico se define como la secuencia de fenómenos por medio de los cuales el agua pasa de la superficie terrestre, en la fase de vapor, a la atmósfera y regresa en sus fases líquida y sólida. La transferencia de agua desde la superficie de la Tierra hacia la atmósfera, en forma de vapor de agua, se debe a la evaporación directa, a la transpiración por las plantas y animales y por sublimación (paso directo del agua sólida a vapor de agua).

El vapor de agua es transportado por la circulación atmosférica y se condensa luego de haber recorrido distancias que pueden sobrepasar los 1 000 km. El agua condensada da lugar a la formación de nieblas y nubes y, posteriormente, a precipitación. La precipitación puede ocurrir en la fase líquida (*lluvia*) o en la fase sólida (*granizo*). El agua precipitada en la fase sólida se presenta con una estructura granular, regular en capas, en el caso del granizo. La precipitación incluye también incluye el agua que pasa de la atmósfera a la superficie terrestre por condensación del vapor de agua (rocío) o por congelación del vapor (helada) y por intercepción de las gotas de agua de las nieblas (nubes que tocan el suelo o el mar).

El agua que precipita en tierra puede tener varios destinos. Una parte es devuelta directamente a la atmósfera por evaporación; otra parte escurre por la superficie del terreno, escorrentía superficial, que se concentra en surcos y va a originar las líneas de agua. El agua restante se infiltra, esto es que penetra en el interior del suelo; esta agua infiltrada puede volver a la atmósfera por evapotranspiración o profundizarse hasta alcanzar las capas freáticas.

Tanto el escurrimiento superficial como el subterráneo van a alimentar los cursos de agua que desaguan en lagos y en océanos.

La escorrentía superficial se presenta siempre que hay precipitación y termina poco después de haber terminado la precipitación. Por otro lado, el escurrimiento subterráneo, especialmente cuando se da a través de medios porosos, ocurre con gran lentitud y sigue

alimentando los cursos de agua mucho después de haber terminado la precipitación que le dio origen. Así, los cursos de agua alimentados por capas freáticas presentan unos caudales más regulares.

El agua que precipita sobre los suelos va a repartirse, a su vez, en tres grupos: una que es devuelta a la atmósfera por evapotranspiración y dos que producen escurrimiento superficial y subterráneo. Esta división está condicionada por varios factores, unos de orden climático y otros dependientes de las características físicas del lugar donde ocurre la precipitación.

Así, la precipitación, al encontrar una zona impermeable, origina escurrimiento superficial o escorrentía que es el agente que durante los eventos intensos y/o duraderos provoca mayores complicaciones debido a los daños que el mismo puede provocar. Si ocurre en un suelo permeable, poco espeso y localizado sobre una formación geológica impermeable, se produce entonces escurrimiento superficial, evaporación del agua que permanece en la superficie y aún evapotranspiración del agua que fue retenida por la cubierta vegetal. En ambos casos, no hay escurrimiento subterráneo; éste ocurre en el caso de una formación geológica subyacente permeable y espesa.

La fuerza de gravedad da lugar a la precipitación y al escurrimiento. El ciclo hidrológico es un agente modelador de la corteza terrestre debido a la erosión y al transporte y deposición de sedimentos por vía hidráulica. Condiciona la cobertura vegetal y, de una forma más general, la vida en la Tierra.

Por tanto, se debe dar por entendido que las crecidas han existido desde que existe el ciclo hidrológico en la tierra, pero que el impacto de las mismas en las comunidades ha aumentado con el paso del tiempo debido al deterioro ambiental y a las variaciones en las condiciones propias de los cauces de los ríos, entre otras.

2.2 ANÁLISIS DE EVENTOS EXTREMOS

2.2.1 Conceptos básicos

2.2.1.1 Eventos extremos

Se llama evento extremo, en el ámbito de las ciencias de la tierra, a eventos que, por su magnitud, no se repiten con frecuencia. En otras palabras, son eventos que tienen períodos de retorno elevados.

Tal como lo indica el Ing. Orozco (2002), los principales eventos extremos de interés para el hidrólogo son las crecidas y lluvias extremas (precipitaciones intensas).

2.2.1.2 Frecuencia y probabilidad

Uno de los problemas más importantes en hidrología es la interpretación de registros pasados de eventos hidrológicos, en términos de obtener probabilidades de ocurrencia futuras. Este problema se extiende a la estimación de frecuencias de crecidas, sequías, precipitación, calidad de agua y oleajes, entre otros.

La frecuencia es el número de casos en una clase cuando los eventos son clasificados de acuerdo con diferencias en uno o más atributos (Linsley, 1988).

Según Linsley (1988), la probabilidad es una base matemática para la predicción, la cual, para un conjunto exhaustivo de resultados, es la relación entre el número de resultados que produce un evento particular y el número posible de resultados. Orozco (2006), la define como la frecuencia de su ocurrencia durante la repetición de un número de observaciones. Eventos hidrológicos de poca magnitud tienen mayor probabilidad de ocurrencia que eventos con mayor magnitud, por ejemplo, pequeñas lloviznas son más frecuentes que precipitaciones intensas.

2.2.1.3 Período de retorno

El período de retorno es uno de los parámetros más significativos que debe ser tomado en cuenta al momento de dimensionar una obra hidráulica destinada a soportar crecidas, como por ejemplo: el vertedero de una presa, los diques para control de inundaciones; o una obra que requiera cruzar un río o arroyo con seguridad, por ejemplo un puente.

El período de retorno, generalmente expresado en años, puede ser entendido como el número de años en que se espera que mediamente se repita un cierto caudal, o un caudal mayor. Así podemos decir que el período de retorno de un caudal de $100 \text{ m}^3/\text{s}$, para una sección específica de un río determinado, es de 20 años, si, caudales iguales o mayores de $100 \text{ m}^3/\text{s}$ se producen, en media a cada 20 años.

Por otro lado, si un evento tiene un período de retorno real de t_p años, la probabilidad P de que dicho evento se presente o sea superado en un año determinado es:

$$P = 1/t_p \dots \dots \dots \text{Ecuación 2.1}$$

El período de retorno, para lo cual se debe dimensionar una obra, varía en función de la importancia de la obra (interés económico, socio-económico, estratégico, turístico), de la existencia de otras vías alternativas capaces de remplazarla y de los daños que implicaría su ruptura: pérdida de vidas humanas, costo y duración de la reconstrucción, costo del no funcionamiento de la obra, etc.

Por otra parte, de acuerdo con los conceptos descritos anteriormente, existen dos términos que son de importancia en el análisis de eventos extremos:

Probabilidad de excedencia $P(Q \geq q_0)$: es la probabilidad de que un evento sea igualado o excedido.

Probabilidad de no excedencia $P(Q < q)$: probabilidad de que un evento no sea igualado ni excedido.

Estadísticamente, a mayor magnitud de una crecida, mayor es el período de retorno y menor es la probabilidad de que ese evento ocurra en cualquier año.

2.2.1.4 Riesgo y confiabilidad

El riesgo es la posibilidad de ocurrencia de un desastre en el futuro; quiere decir que existe la posibilidad de un fenómeno o suceso peligroso se manifieste y que existe una predisposición en los elementos expuestos a ser afectados.

Por otra, parte el riesgo (R) de un diseño en ingeniería se define como la probabilidad de que la estructura u obra sea afectada por una crecida, es decir que la obra sea excedida. Se entiende que ésta es una situación de riesgo, pues la obra se diseña para soportar cierta crecida máxima y crecidas mayores le podrían hacer daño o incluso destruirla. El riesgo se denota matemáticamente como:

$$R = 1 - (1 - 1/Tr)^n \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.2}$$

Siendo n la vida útil de la obra. Por lo tanto, la confiabilidad (C) se define como el complemento del riesgo ($C = 1 - R$). Monsalve (1999), menciona que el riesgo es equivalente a la probabilidad de excedencia.

2.2.1.5 Tiempo de concentración

Monsalve (1999), define el tiempo de concentración (t_c) como el tiempo que la lluvia, que cae en el punto más distante de la corriente de una cuenca, toma para llegar a una sección determinada de dicha corriente. El tiempo de concentración mide el tiempo que se necesita para que toda la cuenca contribuya con escorrentía superficial en una sección considerada, se mide en minutos u horas. El tiempo de concentración es función de ciertas características geográficas y topográficas de la cuenca, debe incluir los escurrimientos sobre terrenos, canales y los recorridos sobre la misma estructura que se diseña (Villón, 2004).

2.2.1.6 Crecidas

Una crecida es un aumento del caudal de agua, significativamente mayor que el flujo medio de éste. Durante la crecida, el caudal de un curso de agua aumenta en tales proporciones que el lecho del río puede resultar insuficiente para contenerlo. Entonces, el agua lo desborda e invade el lecho mayor, también llamado llanura aluvial.

Una crecida elemental sólo afecta a uno o varios afluentes y puede tener causas muy diferentes: pluvial, debido a las lluvias continuas sobre una cuenca poco permeable o que ya se ha empapado de agua; provocada por la fusión de las nieves, el deshielo que provoca la ruptura del obstáculo congelado que retenía las aguas, etc. Muchas veces dos o más de estas causas simples suman sus efectos y el río, sobre todo, después de haber recibido las aguas de varios afluentes importantes, experimenta una crecida compleja.

Por otra parte, las crecidas se pueden caracterizar según su variabilidad en el tiempo, así se pueden distinguir:

2.2.1.6.1 Crecidas periódicas

Que, generalmente, no causan daños, e incluso son benéficas, como por ejemplo las del río Nilo previo a la construcción de la presa de Asuán, donde contribuían a la fertilidad del valle bajo del río. Este tipo de crecidas es de larga duración, pueden durar semanas o meses. Son causadas por las variaciones climáticas de vastas regiones de la cuenca hidrográfica. Son previsibles, pudiéndose tomar medidas de protección para evitar o minimizar los daños.

2.2.1.6.2 Crecidas excepcionales

Estas son causadas por precipitaciones intensas sobre toda la cuenca o parte de ésta. Son difícilmente previsible, para ello se requiere de una red de monitoreo operada en tiempo real. Generalmente, causan daños a las poblaciones y a la infraestructura económica.

2.2.1.6.3 Combinación de ambas

Generalmente, causan daños, son difícilmente previsible si no se cuenta con una red de monitoreo en tiempo real.

2.2.1.6.4 Características de una crecida

Las principales características de una crecida son:

- Su caudal máximo, o pico, fundamental para el dimensionamiento de las obras de protección lineares o defensas ribereñas;
- El volumen de la crecida;
- La velocidad con que aumenta su caudal.

Estas características, para un mismo tipo de precipitación (es decir, misma intensidad y tiempo de aguacero), varían en función de características intrínsecas de la cuenca: su extensión, la pendiente y tipo del terreno, etc., y también de características modificables por las actividades antrópicas: la cobertura vegetal, los tipos de preparación del suelo para la agricultura, las áreas impermeabilizadas como áreas urbanas, etc.

2.2.1.6.5 Agravantes para su formación

Entre las causas que agravan la importancia de las crecidas se encuentran:

La impermeabilidad del suelo de la cuenca, además de su excesiva pendiente y falta de vegetación que hacen que el agua discurra velozmente y no se infiltre.

Los lechos estrechos y con pendientes muy acentuadas, que no pueden conservar volúmenes suficientes de agua suplementaria.

La existencia de confluencias muy próximas de unas a otras.

Las crecidas más importantes no se deben a la intensidad de las lluvias que le dan origen, sino a la persistencia y a la repetición de lluvias muy intensas durante varios días. El suelo se halla entonces saturado y no puede absorber mucha más agua, y al disminuir la radiación solar, la evaporación es poco relevante. En todo caso, ello no excluye la existencia de crecidas devastadoras debidas a la onda potente formada en un río secundario por lluvias de gran intensidad.

2.2.1.6.6 Coeficiente de escorrentía

Cada tipo de terreno, debido a los factores anteriormente reseñados, retendrá una mayor o menor cantidad de agua de forma superficial, por infiltración al terreno, por retención en la vegetación o por evaporación directa. La relación entre el agua evacuada por un río y el agua caída en forma de lluvia, constituye el *coeficiente de escorrentía*. Con el conocimiento de los caudales que llegan en función del tiempo, se construirá el hidrograma de la crecida, que será el gráfico que indique dicha relación.

En invierno, el coeficiente de escorrentía rara vez es menor de 0,4, porque una gran parte del agua no es absorbida por el suelo seco. En verano, la influencia de esos dos factores es mínima, y el río puede llevarse hasta más del 80% del agua recibida por la cuenca.

2.2.1.6.7 Daños causados por las crecidas

Durante las crecidas, el caudal y la velocidad de la masa líquida aumentan en forma considerable la fuerza erosiva del agua y su capacidad de transporte. Así, un corto período de tiempo basta para provocar cambios sensibles en la morfología de los márgenes y del lecho del río, ocasionando desbordes significativos.

2.3 DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIA PARA EVENTOS EXTREMOS

Orozco (2002), menciona que existe una gama de distribuciones teóricas de frecuencias que pueden utilizarse para el análisis de frecuencia de crecidas, entre las que se pueden mencionar: Distribución Pearson tipo III, Distribución Gumbel (valor extremo tipo I), Log-Normal, Log-Gumbel, Log-Pearson tipo III, Log-normal con tres parámetros, valor extremo generalizado, distribución logística, distribución Weibull (valor extremo tipo III), Wakeby, valor extremo de dos componentes, Distribución Gama y Pareto.

Es importante mencionar que, a mayor cantidad de información se obtendrá más precisión en el análisis de eventos extremos, por lo que es necesario e indispensable recurrir a información histórica.

2.4 COMPONENTES BÁSICOS DEL RIESGO

2.4.1 Alerta temprana

Provisión de información oportuna y eficaz a través de instituciones identificadas, que permiten a individuos expuestos a una amenaza, la toma de acciones para evitar o reducir su riesgo y su preparación para una respuesta efectiva.

Los sistemas de alerta temprana incluyen tres elementos, que se deben considerar: conocimiento y mapeo de amenazas; monitoreo y pronóstico de eventos inminentes; proceso y difusión de alertas comprensibles a las autoridades políticas y población; así como adopción de medidas apropiadas y oportunas en respuesta a tales alertas.

2.4.2 Amenaza

Evento físico, potencialmente perjudicial, fenómeno y/o actividad humana que puede causar la muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental.

Incluye condiciones latentes que pueden derivar en futuras amenazas/peligros, que pueden tener diferentes orígenes: natural (geológico, hidrometeorológico y biológico) o antrópico (degradación ambiental y amenazas tecnológicas). Las amenazas pueden ser individuales, combinadas o secuenciales en su origen y efectos. Cada una de ellas se caracteriza por su localización, magnitud o intensidad, frecuencia y probabilidad.

2.4.3 Amenazas hidrometeorológicas

Procesos o fenómenos naturales de origen atmosférico, hidrológico u oceanográfico, que pueden causar la muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental.

2.4.4 Amenazas geológicas

Procesos o fenómenos naturales terrestres, que puedan causar pérdida de vida o daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental.

2.4.5 Degradación ambiental

La disminución de la capacidad del ambiente para responder a las necesidades y objetivos sociales y ecológicos.

Los efectos potenciales son variados y pueden contribuir al incremento de la vulnerabilidad, frecuencia e intensidad de las amenazas naturales.

Algunos ejemplos: degradación del suelo, deforestación, desertificación, incendios forestales, pérdida de la biodiversidad, contaminación atmosférica, terrestre y acuática, cambio climático, aumento del nivel del mar, pérdida de la capa de ozono.

2.4.6 Capacidad de un sistema

Combinación de todas las fortalezas y recursos disponibles dentro de una comunidad, sociedad u organización que puedan reducir el nivel de riesgo, o los efectos de un evento o desastre. El concepto de capacidad puede incluir medios físicos, institucionales, sociales o económicos así como cualidades personales o colectivas tales como liderazgo y gestión. La capacidad puede también ser descrita como aptitud.

2.4.7 Capacidad de superación

Medios por los cuales la población u organizaciones utilizan habilidades y recursos disponibles para enfrentar consecuencias adversas que puedan conducir a un desastre. En general, esto implica la gestión de recursos, tanto en períodos normales como durante tiempos de crisis o condiciones adversas. El fortalecimiento de las capacidades de enfrentar a menudo comprende una mejor resiliencia para hacer frente a los efectos de amenazas naturales y antropogénicas.

2.4.8 Desastre

Interrupción seria del funcionamiento de una comunidad o sociedad que causa pérdidas humanas y/o importantes pérdidas materiales, económicas o ambientales; que exceden la capacidad de la comunidad o sociedad afectada para hacer frente a la situación utilizando sus propios recursos. Un desastre es función del proceso de riesgo. Resulta de la combinación de amenazas, condiciones de vulnerabilidad e insuficiente capacidad o medidas para reducir las consecuencias negativas y potenciales del riesgo.

2.4.9 Evaluación del riesgo / análisis

Metodología para determinar la naturaleza y el grado de riesgo a través del análisis de amenazas potenciales y evaluación de condiciones existentes de vulnerabilidad que pudieran representar una amenaza potencial o daño a la población, propiedades, medios de subsistencia y al ambiente del cual dependen.

El proceso de evaluación de riesgos se basa en una revisión, tanto de las características técnicas de amenazas (su ubicación, magnitud o intensidad, frecuencia y probabilidad); así como en el análisis de las dimensiones físicas, sociales, económicas y ambientales de la vulnerabilidad y exposición; con especial consideración a la capacidad de enfrentar los diferentes escenarios del riesgo.

2.4.10 Gestión del riesgo de desastres

Conjunto de decisiones administrativas, de organización y conocimientos operacionales desarrollados por sociedades y comunidades para implementar políticas, estrategias y fortalecer sus capacidades a fin de reducir el impacto de amenazas naturales y de desastres ambientales y tecnológicos consecuentes. Esto involucra todo tipo de actividades, incluyendo medidas estructurales y no- estructurales para evitar (prevención) o limitar (mitigación y preparación) los efectos adversos de los desastres.

2.4.11 Mitigación

Medidas estructurales y no-estructurales emprendidas para limitar el impacto adverso de las amenazas naturales y tecnológicas y de la degradación ambiental.

2.4.12 Preparación

Actividades y medidas tomadas anticipadamente para asegurar una respuesta eficaz ante el impacto de amenazas, incluyendo la emisión oportuna y efectiva de sistemas de alerta temprana y la evacuación temporal de población y propiedades del área amenazada.

2.4.13 Prevención

Actividades tendentes a evitar el impacto adverso de amenazas y medios empleados para minimizar los desastres ambientales, tecnológicos y biológicos relacionados con dichas amenazas. Dependiendo de la viabilidad social y técnica y de consideraciones de costo/beneficio, la inversión en medidas preventivas se justifica en áreas afectadas frecuentemente por desastres. En este contexto, la concientización y educación pública relacionadas con la reducción del riesgo de desastres, contribuyen a cambiar la actitud y los comportamientos sociales, así como a promover una “cultura de prevención”.

2.4.14 Reducción del riesgo de desastres

Marco conceptual de elementos que tienen la función de minimizar vulnerabilidades y riesgos en una sociedad, para evitar (prevención) o limitar (mitigación y preparación) el impacto adverso de amenazas, dentro del amplio contexto del desarrollo sostenible.

El marco conceptual referente a la reducción del riesgo de desastres se compone de los siguientes campos de acción, según lo descrito en la publicación de la EIRD:

“Vivir con el riesgo: informe mundial sobre iniciativas de reducción de desastres”, Ginebra 2002.

- Evaluación del riesgo, incluyendo análisis de vulnerabilidad, así como análisis y monitoreo de amenazas;
- Concientización para modificar el comportamiento
- Desarrollo del conocimiento, incluyendo información, educación y capacitación e investigación;
- Compromiso político y estructuras institucionales, incluyendo organización, política, legislación y acción comunitaria;
- Aplicación de medidas incluyendo gestión ambiental, prácticas para el desarrollo social y económico, medidas físicas y tecnológicas, ordenamiento territorial y urbano, protección de servicios vitales y formación de redes y alianzas.
- Sistemas de detección y alerta temprana incluyendo pronóstico, predicción, difusión de alertas, medidas de preparación y capacidad de enfrentar.

2.4.15 Resiliencia / resiliente

Capacidad de un sistema, comunidad o sociedad potencialmente expuesta a amenazas para adaptarse, resistiendo o cambiando con el fin de alcanzar y mantener un nivel aceptable en su funcionamiento y estructura. Se determina por el grado en el cual el sistema social es capaz de auto-organizarse para incrementar su capacidad de aprendizaje sobre desastres pasados con el fin de lograr una mejor protección futura y mejorar las medidas de reducción de riesgo de desastres.

2.4.16 Riesgo

Probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas (muertes, lesiones, propiedad, medios de subsistencia, interrupción de actividad económica o deterioro ambiente) resultado de interacciones entre amenazas naturales o antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad.

Convencionalmente el riesgo es expresado por la expresión riesgo = amenazas x vulnerabilidad.

Algunas disciplinas también incluyen el concepto de exposición para referirse, principalmente, a los aspectos físicos de la vulnerabilidad.

Más allá de expresar una posibilidad de daño físico, es crucial reconocer que los riesgos pueden ser inherentes, aparecen o existen dentro de sistemas sociales. Igualmente, es importante considerar los contextos sociales en los cuales los riesgos ocurren, por consiguiente, la población no necesariamente comparte las mismas percepciones sobre el riesgo y sus causas subyacentes.

2.4.17 Vulnerabilidad

Condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos, y ambientales, que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de amenazas. Para factores positivos que aumentan la habilidad de las personas o comunidad para hacer frente con eficacia a las amenazas, véase la definición de capacidad.

2.4.18 Inundaciones

Una inundación puede definirse como la ocupación por el agua de zonas o áreas que en condiciones normales se encuentran secas. Se producen debido al efecto del ascenso temporal del nivel del río, lago u otro. En cierta medida, las inundaciones pueden ser eventos controlables por el hombre, dependiendo del uso de la tierra cercana a los cauces de los ríos.

Las inundaciones se producen principalmente en las corrientes de agua, por la ocurrencia de lluvias intensas prolongadas, como sucede durante las tormentas tropicales y el paso de huracanes, unido a dificultades locales en el drenaje provocado por diferentes causas, principalmente, por la acción negligente de las personas, esto hace que durante una inundación se sobrepase la capacidad de absorción del terreno.

2.4.18.1 Tipos de Inundaciones

Existen varios tipos de inundaciones, sin embargo, una de las clasificaciones más empleados en nuestro medio por su amplitud y certeza es la siguiente:

2.4.18.1.1 Inundación de tipo aluvial o lenta

Se produce cuando tienen lugar lluvias persistentes y generalizadas dentro de una extensa zona de terreno, generando un paulatino incremento de los caudales de los ríos hasta superar la capacidad máxima de almacenamiento.

2.4.18.1.2 Inundación de tipo torrencial o súbita

Producida en ríos de montaña y originada por lluvias torrenciales. El agua pluvial caída en la montaña fluye hacia la zona baja con gran fuerza, desbordándose e inundando cuanto encuentra a su paso.

2.4.18.2 Caracterización de una inundación

En el programa de entrenamiento para el manejo de desastres (1992), los aspectos que describen a una inundación se hacen según los siguientes parámetros:

2.4.18.2.1 Fenómenos causales

Inundaciones repentinas naturales, inundación de ríos y costas a causa de lluvias intensas o inundaciones asociadas con patrones climáticos estacionales. Manipulación por parte del hombre de las cuencas, canales de drenaje y terrenos aluviales.

2.4.18.2.2 Características generales y efectos

- Inundaciones repentinas: afluencia acelerada y falla de represas.
- Inundación de río: acumulación lenta, usualmente estacional en los sistemas fluviales.
- Inundación de la costa: asociada con ciclones tropicales, olas de tsunami y oleaje de borrasca.

2.4.18.2.3 Factores que afectan el grado de peligro

Profundidad del agua, duración, velocidad de elevación, frecuencia del suceso y condición estacional.

2.4.18.2.4 Posibilidad de pronóstico

El pronóstico de las inundaciones depende de patrones estacionales, capacidad de drenaje de la cuenca, cartografía de inundación, reconocimientos aéreos y terrestres.

2.4.18.2.5 Factores que contribuyen a la vulnerabilidad

Ubicación de asentamientos en terrenos de aluvión, falta de conocimiento de la amenaza de inundación, reducción de la capacidad de absorción de la tierra, construcciones y cimientos no resistentes, elementos de infraestructura de alto riesgo, barcas de pesca y la industria marítima.

2.4.18.2.6 Medidas posibles para la reducción del riesgo

Control de la inundación, como canales, represas, embalses, manejo y conservación de suelos.

2.4.18.2.7 Medidas específicas de preparativos

Sistemas de detección y alerta de inundación, participación y educación de la comunidad, desarrollo de planes maestros para manejo del terreno de aluvión, cartografía de terreno de aluvión y control del uso de la tierra.

2.4.18.2.8 Necesidades típicas posteriores al rescate

Búsqueda y rescate, asistencia médica, evaluación del desastre, abastecimiento de alimento y agua a corto plazo, purificación del agua, supervisión epidemiológica y albergue temporal.

2.4.18.2.9 Herramientas para evaluar el impacto

Formularios de estudio del daño y reconocimiento aéreo.

Por otra parte, el PNUD (1 995), indica que la inundaciones pueden evaluarse y estudiarse tomando en cuenta una serie de criterios que son:

2.4.18.2.10 Profundidad del agua

Los cimientos de las edificaciones y la vegetación tendrán distintos grados de tolerancia al ser inundados.

2.4.18.2.11 Duración

El daño o la gravedad del daño a estructuras, infraestructura y vegetación a menudo están asociados con el tiempo que permanecieron inundados.

2.4.18.2.12 Velocidad

Las velocidades de flujo peligrosamente altas pueden crear fuerzas erosivas y presión hidrodinámica que puede destruir o debilitar los cimientos.

2.4.18.2.13 Tasa de ascenso

La estimación de la tasa de ascenso y de la capacidad de descarga del río son bases importantes para decidir sobre la emisión de advertencias de inundación, la creación de planes de evacuación y códigos de reglamentación.

2.4.18.2.14 Frecuencia de ocurrencia

Un registro de los efectos acumulados y la frecuencia con la que han ocurrido las inundaciones en un período largo determinará qué tipos de construcción o actividades agrícolas pueden permitirse en la tierra de aluvión.

2.4.18.2.15 Estacionalidad

Las inundaciones que ocurren durante la temporada de cultivo pueden destruir completamente las cosechas.

Es importante hacer notar que existe una serie de acciones que puede realizar el hombre por medio de las cuales se incrementa el riesgo de inundación, entre las más significativas están:

Deforestación y prácticas de cultivo erróneo: aumenta el tamaño, frecuencia y gravedad de las inundaciones, al retener el suelo menos agua y aumentar la carga sólida.

Extracción de áridos en los cauces: provoca alteraciones en el curso natural, ya que los materiales estériles pueden provocar tapones totales o parciales del río, aumentando, además, la carga sólida durante la crecida.

Invasión del dominio público hidráulico: construcción en cauces de ríos de viviendas, industrias, infraestructura de comunicaciones, asentamientos humanos, etc., en cauces de ríos; obstaculizando el curso natural de las aguas.

Incorrecta gestión y rotura de presas: aunque la construcción de presas se hace siguiendo unas normativas y especificaciones técnicas estrictas y rigurosas, nunca puede afirmarse que una presa sea absolutamente segura, por lo que todas ellas constituyen un riesgo potencial. De igual forma, una incorrecta gestión en los embalses puede dar lugar a la elevación del nivel de agua en los cauces, provocando inundaciones en lugar de laminación de la crecida, como debieran ser.

Canalizaciones en los cauces: aumentan el caudal punta en las crecidas y, por tanto, el riesgo de inundación aguas abajo de las mismas.

Urbanización de extensas áreas de terreno, con la consiguiente disminución de la capacidad de infiltración del suelo, aumenta el caudal de descarga, disminuye el tiempo de concentración de la crecida y; por tanto; reduce el tiempo de respuesta.

2.5 SIMULACIONES

2.5.1 Conceptos básicos

2.5.1.1 Simulación

Es la experimentación con un modelo de una hipótesis o un conjunto de hipótesis de trabajo. Además, se puede definir como el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos para el funcionamiento del sistema.

Linsley (1988), indica que es una representación de un sistema (hidrológico, o hidráulico) por otro matemático que pueda reproducir el comportamiento del sistema natural. Las aplicaciones de la simulación en hidrología son, principalmente, drenaje urbano, planicies de inundación, embalses, pronósticos, crecidas, etc.

2.5.1.2 Modelo

Es una representación matemática o grafica de la realidad utilizada para plantear un problema, normalmente de manera simplificada en términos relativos y planteados desde un punto de vista matemático, además, puede ser también un modelo físico. Es una representación conceptual o física a escala de un proceso o sistema cuya finalidad es analizar su naturaleza, desarrollar o comprobar hipótesis o supuestos y permitir una mejor comprensión del fenómeno real al cual el modelo representa.

Para hacer un modelo es necesario plantear una serie de hipótesis, de manera que lo que se quiere representar esté suficientemente plasmado en la idealización, aunque también se busca, normalmente, que sea lo bastante sencillo como para poder ser manipulado y estudiado.

Se define como la representación matemática de un evento de la vida real, producto de un algoritmo que permite simular la realidad. Es una herramienta matemática que simula un fenómeno visto en la naturaleza.

2.5.1.2.1 Tipos de modelos

Por otra parte, los modelos de mayor aplicación en el campo son los siguientes:

2.5.1.2.1.1 Modelo hidrológico

Herramienta matemática que permite simular el comportamiento de la esorrentía en distintas condiciones de precipitación y evaporación.

2.5.1.2.1.2 Modelo hidráulico

Modelo de procesos biofísicos que describen el flujo en ríos, inundaciones, entre otros.

2.5.1.2.1.3 Modelo de erosión

Simula producción de sedimentos en distintas condiciones de clima, relieve, suelos, vegetación y contenido de humedad.

2.5.1.2.2 Clasificación de los modelos

Los modelos se pueden clasificar de la siguiente forma:

2.5.1.2.2.1 En base al tiempo

Continuos (existe información continua) y discretos (solo existen información puntual).

2.5.1.2.2.2 En base al espacio

Puntual o agregado (el flujo se estima como función del tiempo únicamente) y distribuido (el flujo se calcula como función del tiempo y el espacio a través del sistema).

2.5.1.2.2.3 En base a la información disponible

Caja blanca (se conoce el algoritmo y se tiene toda la información), caja gris (se conoce el algoritmo pero no en su totalidad) y caja negra (no se conoce el algoritmo).

2.5.1.2.2.4 En base al grado de precisión

Determinísticos (se conoce el algoritmo con sus funciones y únicamente existe un resultado posible) y estocásticos (basados en la teoría probabilística y asumen que cada realización es igualmente probable.)

2.5.1.2.2.5 En base a su análisis

Analíticos (incluyen ecuaciones simples, solución exacta en el punto de cálculo y no admite heterogeneidades) y numéricos (requiere discretización espacial y temporal, solución aproximada y soporta heterogeneidades).

2.5.1.3 Simulación hidrológica

Empleada para estudiar situaciones extremas, difícilmente observables en la realidad por ejemplo, los efectos de precipitaciones muy intensas y prolongadas en cuencas hidrográficas, en su estado natural, o en las que se ha intervenido con obras como canales, represas, diques de contención, puentes, etc.

La cuenca hidrográfica es dividida en sub-cuencas consideradas homogéneas desde el punto de vista del tipo de suelo, de la declividad, de su cobertura vegetal. El número y tipo de las variables hidrológicas que intervienen en el modelo son función de objetivo específico para el cual se elabora el mismo.

Los modelos más conocidos asocian las variables hidrológicas a pequeños reservorios elementales que se van llenando en la medida que se produce la precipitación, la cual puede ser diferente en las varias partes de la cuenca.

Los modelos matemáticos de simulación de procesos hidráulicos consisten; generalmente; en sistemas de ecuaciones diferenciales que describen el fenómeno hidráulico, casi siempre en regímenes transitorios, que son resueltos por métodos numéricos con el auxilio de computadoras. La simulación hidrológica simula el escurrimiento superficial como una respuesta de la cuenca a la precipitación, la cuenca se representa como un sistema de componentes hidrológicos e hidráulicos. Cada componente modela el proceso lluvia-escurrimiento dentro de una porción de la cuenca llamado subcuenca.

Un componente representa una entidad de escurrimiento, un tramo del cauce de un río o una presa, el mismo requiere un conjunto de parámetros los cuales especifican las características particulares del componente y relaciones matemáticas que describen el proceso físico.

2.5.1.4 Simulación hidráulica

La simulación es una representación matemática de un evento por medio de la cual se pretende aumentar su comprensión, hacer predicciones y; posiblemente; ayudar a controlar el sistema utilizándose como la base en el cálculo hidráulico para simular los diferentes estados que se producen a lo largo de la cuenca.

La mayoría de los fenómenos que ocurren en la naturaleza y que involucran el campo de la hidráulica son tan complejos que no es fácil tratarlos únicamente con métodos matemáticos.

Debido a lo anterior, es beneficioso recurrir al empleo de técnicas experimentales, para la solución de lagunas problemáticas frecuentes en el campo de la ingeniería hidráulica.

Los modelos hidráulicos requieren como principales variables de entrada caudales de diseño para diversos períodos de retorno, levantamientos topográficos de varias secciones transversales del cauce, tipo y usos del suelo en la cuenca. Teniendo diversas aplicaciones, como lo son: delimitación de áreas inundables, niveles de inundación, tránsito de crecidas, control de crecidas, sedimentación, protección de obras, entre otras.

2.6 HEC-RAS

HEC-RAS, modelo de dominio público desarrollado del Centro de Ingeniería Hidrológica (*Hydrologic Engineering Center*) del cuerpo de ingenieros de la armada de los EE.UU. (*US Army Corps of Engineers*), surge como evolución del conocido y ampliamente utilizado HEC-2, con varias mejoras con respecto a éste, entre las que destaca la interfase gráfica de usuario que facilita las labores de preproceso y postproceso, así como la posibilidad de intercambio de datos con el sistema de información geográfica ArcGIS mediante HEC-GeoRAS. El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis del flujo permanente unidimensional, gradualmente variado en lámina libre.

Fue desarrollado como parte de los programas de la próxima generación, (“Next Generation”) del Centro de Ingeniería Hidrológica. Este programa abarca varios aspectos de ingeniería hidrológica, que incluyen: análisis de lluvia – escorrentía, hidráulica de ríos, simulaciones, análisis de daños por inundación, y pronósticos de flujo de ríos en tiempo real.

HEC – RAS es un sistema integrado de programas, diseñado para uso interactivo en un ambiente de varias áreas. Está compuesto de una interfase gráfica de usuario (GUI, siglas en inglés), componentes para análisis hidráulico, almacenamiento de datos y capacidad de manejo, gráficas y facilidad de reportes.

Este sistema contiene tres componentes de análisis hidráulico que son: cálculo de perfiles con flujo constante, simulaciones de flujo variable y cálculo de transporte de sedimentos. El elemento clave que relaciona estos tres componentes es que utilizará una representación de datos geométricos y rutinas comunes de geometría e hidráulica. Además de los tres componentes, el programa cuenta con varias funciones de diseño hidráulico que pueden ser utilizadas cuando los perfiles de superficie de agua han sido generados.

El HEC – RAS, ha sido diseñado para realizar el cálculo hidráulico unidimensional para una red de canales, tanto naturales como construidos. El usuario interactúa con el programa a través de una interfase gráfica, la cual cuenta con las siguientes funciones:

- Manejo de archivos
- Ingreso de datos y edición
- Análisis hidráulico
- Muestra la información de entrada y salida, por medio de tabulaciones y gráficas

- Facilidad para generar reportes
- Ayuda en línea

2.6.1 Características técnicas

- Cálculo hidráulico de estructuras (puentes, aliviaderos, alcantarillas, etc.)
- Visualización gráfica de datos y resultados
- Edición gráfica de secciones
- Ejecutable en entorno Microsoft Windows

2.6.2 Aplicaciones

Modelación hidráulica en régimen permanente de cauces abiertos, ríos y canales artificiales.

2.7 SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA –SAT–

2.7.1 DEFINICIONES

2.7.1.1 Alerta

Es el período anterior a la ocurrencia de un desastre, declarado con el fin de tomar precauciones específicas, activar los procedimientos de acción con la finalidad de que la comunidad evite la existencia de posibles desgracias personales.

Segundo de los tres posibles estados de conducción que se producen en la fase de emergencia (pre-alerta, alerta, alarma).

Se avisa de la aproximación de un peligro, pero que es menos inminente que lo que implicaría un mensaje de advertencia.

2.7.1.2 Sistema de alerta temprana

Los sistemas de alerta temprana son estructuras operativas que permiten reducir los impactos de los fenómenos mediante la implementación de medidas de respuesta ante un inminente desastre.

Es un instrumento diseñado para monitorear y advertir las situaciones de riesgo de la población en general por evento determinado.

En desarrollo de su misión el SAT acopia, verifica y analiza información de diferentes fuentes, identifica y valora las amenazas y situaciones de vulnerabilidad que afectan los derechos fundamentales de las comunidades, elabora documentos de análisis estructural y emite informes de riesgo sobre factibles violaciones masivas de los derechos humanos, con el fin de que las autoridades competentes coordinen sus acciones y brinden una atención integral y oportuna a la población afectada.

Por tanto, la finalidad primordial de un SAT es la provisión de información oportuna y eficaz a través de instituciones identificadas, que permiten a individuos expuestos a una amenaza, la toma de acciones para evitar o reducir su riesgo y su preparación para una respuesta efectiva.

Los sistemas de alerta temprana incluyen tres elementos, que se deben saber: conocimiento y mapeo de amenazas; monitoreo y pronóstico de eventos inminentes; proceso y difusión de alertas comprensibles a las autoridades políticas y población; así como adopción de medidas apropiadas y oportunas en respuesta a tales alertas. (ver figura 2.1)

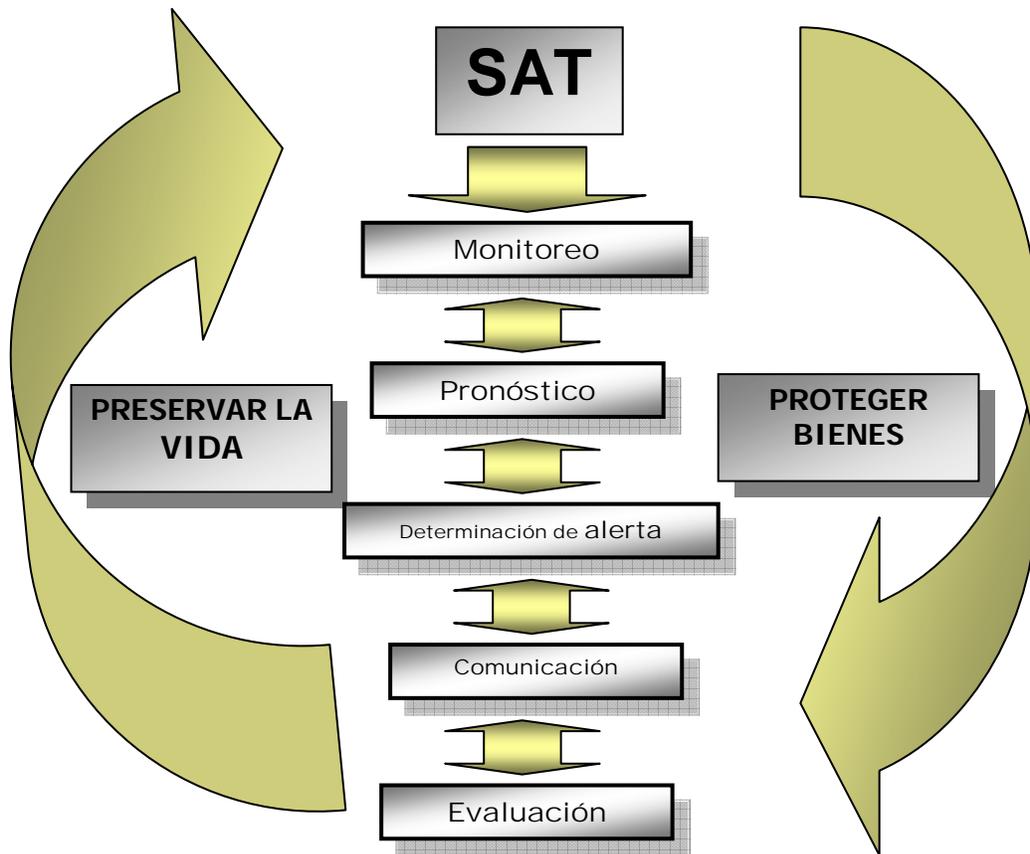


Figura 2.1 Estructura básica de un sistema de alerta temprana

Un SAT debe satisfacer el criterio operativo de brindar una alerta con suficiente anticipación para que la población pueda tomar las precauciones mínimas necesarias en relación con el fenómeno que se aproxima. Estos sistemas se integran en base a tres componentes: monitoreo de condiciones relacionadas al fenómeno en cuestión, pronóstico de eventos y alerta. Dicha integración operativa de los sistemas se muestra en la figura 2.2.

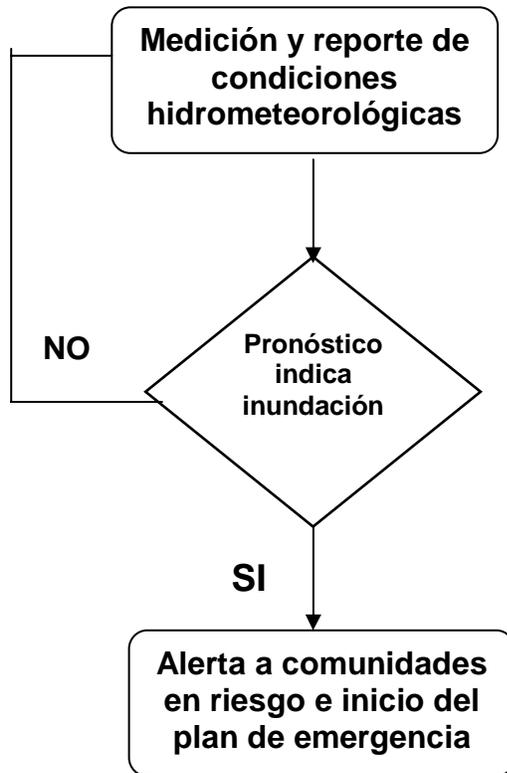


Figura 2.2 Esquema operativo del SAT

Se debe hacer notar que el monitoreo de condiciones hidrometeorológicas se puede realizar de dos formas, la primera telemétrica, utilizando un sistema de medición automático que se encuentra conectado a un sistema de radio comunicación y la segunda, monitorea en tiempo real y son transmitidas con el propósito de ser analizadas en el momento necesario.

2.8 TIPOS DE SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA

Existen diferentes tipos que por su funcionalidad han sido clasificados, sin embargo, los más utilizados son los sistemas comunitarios y sistemas nacionales.

2.8.1 SAT Comunitario

La demanda de los sistemas comunitarios está creciendo en la región, por la necesidad de pronosticar inundaciones localmente para múltiples sitios.

Entre las mayores ventajas aportadas por los sistemas comunitarios de alerta temprana se mencionan las siguientes:

Dichos sistemas ayudan a las entidades nacionales de protección civil a crear conciencia entre las poblaciones rurales en riesgo sobre las necesidades de iniciar actividades en el tema de reducción de desastres naturales.

Dichos sistemas incorporan una red de comunicaciones vía radio que permiten a los miembros de las comunidades intercambiar información de carácter social o legal, además de la información hidrometeorológica.

Dichos sistemas tienen un costo de operación muy reducido, ya que el equipo de monitoreo es muy simple y el sistema es operado por un conjunto de voluntarios en forma permanente.

Los sistemas de alerta temprana de tipo comunitario se deben diseñar tomando en cuenta las condiciones típicas en las cuales se hará la implementación. Entre los factores por considerar para la implementación de este tipo de sistemas en las comunidades rurales se mencionan:

Capacidad de la población para operar y darle mantenimiento a la instrumentación que va a ser implementada.

Capacidad económica de la comunidad para poder adquirir instrumentación de repuesto para mantener en funcionamiento el sistema.

Voluntad de la población para operar el sistema.

Tomando en cuenta la forma de propagación el sistema comunitarios puede ser:

2.8.1.1 Alerta local usando instrumentos rústicos tales como rieles, campanas y aros

Difusión masiva, con un aro cada cuadra, con coordinación y operación de voluntarios.

- Ventajas: funciona a toda hora, sin baterías y sin fuente adicional de energía.
- Desventajas: alcance limitado, pero se puede extender poniendo más instrumentos para difundir la alerta a mayor cobertura. Limitado en la medida en la cual la alerta no llega de un poblado a otro.

2.8.1.2 Alerta local usando emisora de radiodifusión de tipo local

- Ventajas: funciona a toda hora, pero requiere voluntad de la emisora y control. Abarca múltiples comunidades simultáneamente.
- Desventajas: se debe estar en sintonía de la emisora para escuchar alertas. Si no se está atento a la radio (de noche por ejemplo), pueden pasar inadvertidos los mensajes.

2.8.2 SAT nacional o SAT centralizado

Cuando se trata de sistemas nacionales, los mismos emplean los métodos telemétricos. La experiencia demuestra que se requerirá de un programa de mantenimiento preventivo y de recursos, tanto materiales, como humanos, para su operación rutinaria. Por una parte, lo costoso de los aparatos debe inducir a las autoridades ministeriales y nacionales a asignar una partida para mantener la red en operación, lo que debe incluir, en todo caso tanto, la reparación, como el reemplazo por daños y desperfectos mayores.

Adicionalmente, estos sistemas requieren de personal capacitado a un mayor nivel, con conocimientos de informática suficientes para operar programas de cómputos especializados e INTERNET y en el futuro cercano, la capacidad para generar y mantener la información en línea en páginas tipo web de carácter institucional.

Las alerta se dan usando medios masivos de información.

- Ventajas: cobertura nacional con múltiples medios (radio, prensa y TV).
- Desventajas: por lo general, no promueven la difusión de alertas locales, sino mayormente a nivel nacional. No se concibe para eventos o fenómenos locales, sino para eventos que pueden abarcar varios departamentos o regiones simultáneamente.

2.9 APLICABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA

Aprender de las experiencias en la aplicación de un proceso de alerta temprana situacional es particularmente útil cuando éste no descubrió una situación o la acción tomada no fue la apropiada. La meta de cualquier sistema de alerta temprana debe ser no sólo evitar las sorpresas, sino también tomar decisiones eficaces y accionar apropiadamente. La puesta en marcha de sistemas de alerta temprana ha brindado una oportunidad para introducir los conceptos relacionados con riesgos y manejo de desastres.

En el caso de sistemas de alerta temprana operados por la comunidad, especialmente en pueblos rurales en áreas remotas, la red de radios del cual dependen estos SATs para comunicaciones acerca del clima está resolviendo muchos problemas sociales locales, tales como la coordinación y provisión de asistencia médica, al igual que suministra información importante localmente, como el estado de un camino rural que cruza ríos para comunicar varias comunidades.

En el caso de Centroamérica, redes de radio local están ayudando a instituciones de defensa civil a localizar epicentros de terremotos y los impactos de otros fenómenos tales como erupciones volcánicas. A este respecto, el hecho de que la transmisión de radio es llevada a cabo por personas, ofrece grandes ventajas en relación con la información que puede ser transmitida por sistemas telemétricos, donde la unidad de radio solo puede transmitir uno o unos cuantos parámetros climatológicos.

Finalmente, el intercambio de información técnica que considera temas específicos relacionados con SATs está abriendo ventanas para expansiones de estos sistemas a lo largo del hemisferio.

CAPÍTULO 3
CARACTERIZACIÓN DE LA
CUENCA
DEL RÍO ACHIGUATE

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO ACHIGUATE

3.1.1 Aspectos biofísicos

3.1.1.1 Ubicación geográfica

La cuenca del río Achiguate está conformada por tres departamentos del área central y sur de Guatemala, siendo: Escuintla con cerca del 60 % del total del territorio de la cuenca, Sacatepéquez que ocupa el 30% y Chimaltenango con el 10% aproximadamente.

La cuenca del río Achiguate ocupa un área de 1 313,23 km². Está conformada por veintitrés municipios, pertenecientes a los mencionados departamentos. En la parte alta de la cuenca se ubican dieciocho municipios, de los cuales cinco pertenecen al departamento de Chimaltenango y trece a Sacatepéquez.

Los municipios más propensos a sufrir inundaciones se encuentran en la parte baja de la cuenca y son San José, Masagua y la Democracia, de los cuales el que cuenta con mayor número de población es San José, con un porcentaje de población cercano al 45% del total de los tres municipios, seguido de Masagua el cual tiene el 35%, mientras que La Democracia es el que tiene el menor número de habitantes, con un porcentaje de población del 20%. En el área baja de la cuenca se ha determinado que el 76% del total de población de los tres departamentos es alfabeta, mientras que el 24% es analfabeta. Un tanto más de la tercera parte de la población alfabeta se localiza en el departamento de Escuintla, seguida por la población alfabeta localizada en el departamento de Chimaltenango y, por último, aquellos asentados en Sacatepéquez.

La longitud total que tiene la red de carreteras y caminos de los tres departamentos es de 1 728,34 Km., de éstos el 42% se encuentra asfaltado, 37% es de terracería y el 21% son caminos rurales.

3.1.2 Región fisiográfica

3.1.2.1 Región

Dentro de esta provincia fisiográfica del sur, está comprendido el material aluvial cuaternario que cubre los estratos de la plataforma continental. Los flujos 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 con 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.

3.1.2.2 Subregión

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 trezado 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.

3.1.3 Hidrografía

Se ha identificado cuatro subcuencas dentro de la cuenca del río Achiguate, éstas son: Achiguate, Cenizas, Guacalate y la Democracia. El cauce principal de la cuenca tiene una longitud de 116,20 km.

3.1.3.1 Perímetro

Consiste en establecer la longitud del perímetro de la cuenca delimitada, para la cuenca es un total de 223,86 Km.

3.1.3.2 Orden de corrientes

La cuenca posee una alta cantidad de corrientes de orden, uno lo que evidencia que la misma cuenta con sistema de drenaje altamente ramificado. En el cuadro 3.1 se muestran las corrientes en cada uno de los órdenes, así como su longitud:

Cuadro 3.1 Orden, número y longitud de corrientes en la cuenca del río Achiguate

Orden de corrientes U	Número de corrientes Un	Longitud de corrientes Lu (km)	Longitud media
1	900	407,84	0,45
2	200	444,39	2,22
3	46	162,45	3,53
4	9	51,21	5,69
5	2	76,29	38,15
6	1	32,41	32,41

Fuente: Facultad de Agronomía, USAC (2005).

La cuenca del río Achiguate, tal como se deduce del cuadro, es de orden seis. Como se mencionó posee alta bifurcación dado al número de corrientes de orden uno y dos. El cauce principal posee una longitud de 32,41 km a partir de la confluencia con el río Guacalate hacia el océano Pacífico. Dicha confluencia corresponde al sitio donde regularmente inician las inundaciones.

La longitud media de las corrientes de orden uno y dos son de baja magnitud evidenciando relieve abrupto y escarpado, dado precisamente a que son cauces ubicados en la parte alta y media de la cuenca. A medida que aumenta el orden de corrientes, también aumenta la longitud media, observándose que para el caso del cauce principal la longitud media es de 32,41 km; está influido por una pendiente regional suave (< 1%).

3.1.3.3 Aspectos de superficie

El área de la cuenca del río Achiguate se estima en 1313,23 km². Los principales aspectos de superficie de la cuenca del río Achiguate se muestran en el cuadro 3.2.

Cuadro 3.2 Aspectos de superficie de la cuenca del río Achiguate

Aspecto	Valor	Dimensión
Área	1313,23	km ²
Relación de forma	0,1	Adimensional
Relación circular	0,33	Adimensional
Radio de elongación	0,14	Adimensional
Coefficiente de compacidad	1,73	Adimensional
Frecuencia de corrientes	0,88	cauces/ km ²
Densidad de corrientes	0,89	longitud cauce/ km ²

Fuente: Elaboración propia (2008)

Los aspectos de superficie de la cuenca indican que la misma tiende a ser de forma alargada, alejándose, en la mayoría de los casos, su valor de uno; una cuenca redonda posee valores cercanos a la unidad. El coeficiente de compacidad también se aleja de la unidad confirmando por tanto, la forma alargada de la cuenca.

En lo referente al drenaje de la cuenca, los resultados obtenidos indican que la misma posee un drenaje pobre, reflejándose en la frecuencia y densidad de las corrientes presentes, y repercute en una baja eficiencia hidrológica. De acuerdo con Monsalve (2001), cuencas excepcionalmente bien drenadas poseen valores de densidad de corrientes hasta de 3,5 cauces / km².

3.1.4 Sistema fluvial

3.1.4.1 Patrón de drenaje

La cuenca del Achiguate se caracteriza por poseer patrones de drenajes dendríticos, radiales y paralelos. El patrón de drenaje dendrítico se da, precisamente, en la parte alta de la cuenca, en menor proporción se da el drenaje radial en las áreas cercanas a los volcanes de Agua, Fuego y Acatenango, y el drenaje paralelo se da en la parte baja de la misma, influido principalmente por la pendiente dominante regional. En el caso de la parte dendrítica los materiales son aproximadamente homogéneos en composición, sin control estructural. Constituye uno de los patrones más comunes y se presenta en muchos ambientes. Por otra parte, los de tipo paralelo tienen como característica principal el terreno dominado por una pendiente regional, lo cual le impone una dirección predominante con cauces paralelos. Este patrón es común en algunos piedemontes y laderas estructurales plegadas y, por último, el sistema de drenaje asociado a un domo o cono volcánico erosionado. Si el patrón es muy nítido, esto sugiere un volcán activo.

Los caudales máximos de crecida están influidos por la topografía accidentada y empinada de la parte media de la cuenca (donde ocurren las lluvias máximas), que influye en el tiempo de concentración de los flujos de agua.

Además, hay que resaltar el hecho de otro factor que magnifica el efecto de las crecidas en las partes bajas, el arrastre de material sólido de diferente tamaño. Debido a que en la parte media de la cuenca se da una influencia directa de los volcanes de Fuego, Agua, y Acatenango, donde se originan cantidades importantes de material volcánico y en las partes altas material sólido como resultado de la erosión de los terrenos, durante las lluvias.

Este material es transportado por las crecidas y se va depositando a lo largo del cauce, lo que provoca que los ríos tengan un cauce divergente, es decir se mueve dentro de la planicie de inundación el cauce principal, ocasiona por tanto, un aumento de esta zona inundable. Debido a lo anterior la pendiente longitudinal del cauce de los ríos decrece, mientras se acerca más a la costa.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la desembocadura del río Achiguate tiene interacción directa con el canal de Chiquimulilla que, a su vez, tiene influencia directa del aporte de caudales de agua y sólidos de otros ríos que corren paralelos al Achiguate, y de las condiciones de las bocabarras y la marea del océano Pacífico.

3.1.4.2 Tipo de cauce y transporte de sedimentos

Schumm, citado por Marín (2000), clasifica los cauces por su naturaleza en dos tipos: cauces de lechos rocosos y cauces aluviales. En el caso del río Achiguate, éste se clasifica como cauce aluvial, en donde el río fluye en un canal, cuyo fondo y márgenes están constituidos por material transportado por el río, en las condiciones actuales de flujo. En este caso, hay libertad para ajustar dimensiones, forma, patrón y pendiente del cauce en respuesta a cambios.

De acuerdo con Méndez (2004), la función principal de este tipo de ríos es el transporte de agua y sedimentos, con un rango amplio de tamaño y distribución de los mismos, siendo los modos principales de transporte en suspensión y de fondo. El principal origen del sedimento es el lecho del río, aunque en el caso del río Achiguate, tienen significativa influencia los materiales geológicos derivados de la actividad volcánica en la región. Taboada (2003), menciona que los sedimentos en suspensión son transportados sin tocar fondo y los de fondo son los que se transportan deslizándose o rodando sobre el lecho del cauce.

El drenaje superficial corresponde al típico de las planicies aluviales o sea el tipo trezado y meándrico, esto según la clasificación del cauce por su forma en planta. De acuerdo con Martínez (2001), el cauce trezado está formado por varios cauces que se cruzan entre sí, este tipo se presenta cuando el caudal sólido que lleva el río es superior al que este puede transportar. Mientras que el cauce meándrico caracteriza las zonas bajas de los ríos, estos cauces en forma de "S" tienden a erosionar las orillas en la parte externa, lo cual produce un fenómeno muy característico de avance de los meandros, mientras que en su parte interna, al reducirse la velocidad, se da sedimentación.

3.1.5 Relieve

3.1.5.1 Pendientes y elevaciones dentro de la cuenca

En relación a las elevaciones que existen dentro del territorio de la cuenca del río Achiguate, el valor mínimo de elevación es de menos de 50 m, mientras que el máximo encontrado en la cuenca es de 3 472 m. (Ver figura 3.1)

Las elevaciones más altas se observan en la parte alta de la cuenca, con rangos entre 905 m a 3 044 m, excepto por la zona de la cima de los volcanes y una pequeña zona al noroeste de la cuenca, donde existen rangos entre 3 045 hasta 3 472 m, éste último es el valor máximo alcanzado en toda la cuenca.

Sobre la parte media se encuentran elevaciones entre 50 y 1 333 m. El rango entre 905 y 477 m se encuentra en la zona que forma una barrera topográfica entre el área de montaña y la planicie aluvial existente en la cuenca, valores entre 476 y 50 m ocupan la mayoría de la parte media de la cuenca, formando una gran planicie que se extiende hacia el sur.

La parte baja de la cuenca, está compuesta por elevaciones menores a los 50 m, y forman parte de la planicie que se extiende hacia el sur y que limita con el océano Pacífico.

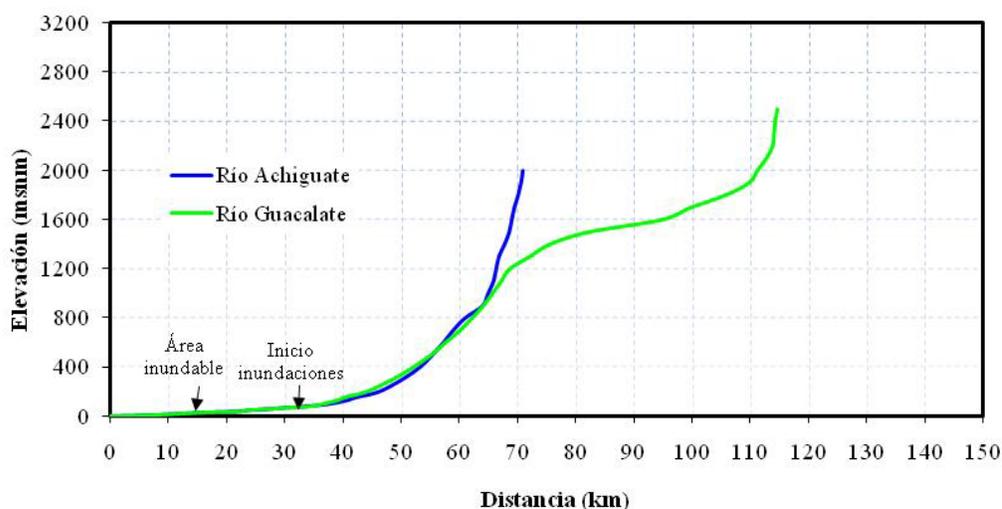


Figura 3.1 Planta – perfil de los principales afluentes de la cuenca

3.1.6 Estimación del tiempo de concentración (tc)

De acuerdo con Monsalve (1999), el tiempo de concentración es el tiempo que le toma a una gota de lluvia que cae en el punto más distante de la corriente de una cuenca para llegar a una sección determinada de dicha corriente, es decir, mide el tiempo que se necesita para que toda la cuenca contribuya con escorrentía superficial. De acuerdo con el INSIVUMEH (2004), en nuestro medio se recomienda utilizar la ecuación de Kirpich, expresada como:

$$t_c = 3 L^{1.15} / 154 H^{0.38} \dots\dots\dots\text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

t_c = Tiempo de concentración (min). L = Longitud del cauce (m).

H = Diferencia de nivel. (m).

Utilizando la ecuación de Kirpich para diversos tramos en la cuenca del río Achiguate, se obtienen los siguientes resultados: (ver cuadro 3.3)

Cuadro 3.3 Tiempos de concentración para diversos tramos de interés en la cuenca del Achiguate

Tramo	Longitud	Diferencia	Tiempo de concentración		Velocidad
	M	Nivel (m)	min	horas	m/s
Toda la cuenca	114680	2500	655,83	10,93	2,91
Puente Achiguate a confluencia con Guacalate	11450	86	166,77	2,78	1,14
Puente Guacalate a confluencia con Achiguate	16625	208	183,07	3,05	1,51
Confluencia a litoral	3103	72	39,75	0,66	1,30

Fuente: Elaboración propia (2008)

Es evidente que cuando se analiza la totalidad de la cuenca el tiempo de concentración aumenta ocasionando una velocidad del flujo de 2,91 m/s, esto se presume debido al relieve que existe en la parte alta de la cuenca, por otra parte después de superados los puentes, las pendientes disminuyen y, por tanto, la velocidad del flujo es menor.

De cualquier manera se debe resaltar el hecho de que la estimación es un valor aproximado, puede variar, tanto en el tiempo como en el espacio. Lo ideal, es realizar una simulación hidráulica detallada donde se estimen los tiempos de viaje para diversos caudales de diseño en los tramos de interés.

3.1.7 Suelos

De manera general, la geología de la cuenca del río Achiguate está comprendida básicamente de rocas volcánicas y aluviones, y se distribuye de la siguiente manera: la parte alta de la cuenca se encuentra conformada por las siguientes unidades: unidad de rocas volcánicas terciarias, unidad de pómez (cuaternario) la cual está directamente asociada con la unidad de aluvión que se localiza en todo el cauce principal del río Achiguate y algunos de sus afluentes. En la zona de los conos volcánicos de Acatenango y Santa María (volcán de Agua) se encuentra la unidad de rocas volcánicas cuaternarias, la cual tiene una relación directa con la unidad de abanicos laháricos y fluviales localizados en las laderas de estos volcanes.

Sobre la parte media aflora la unidad de rocas volcánicas terciarias que se localizan al este de la cuenca, la unidad de aluvión descrita con anterioridad continúa sobre el cauce principal de la cuenca, y una amplia zona de abanicos laháricos y fluviales.

En la parte baja de la cuenca continúan aflorando dos unidades de roca que cubren la zona: la unidad de abanicos laháricos y fluviales, y la unidad de aluvión que se extiende cubriendo una amplia zona de la costa del Pacífico en la región.

Los diferentes tipos de suelos que se observan a lo largo de la cuenca, por tanto, contribuyen al comportamiento propio de la cuenca, por ejemplo, en el caso de la estructura volcánica en la parte alta contribuye a que en la misma se dé un arrastre significativo de sedimentos los que ocasiona que se produzcan a lo largo del cauce, mayor cantidad de meandros y se reduzca la capacidad hidráulica del mismo.

3.1.8 Infraestructura vial

La infraestructura vial dentro de la cuenca del río Achiguate está compuesta de carreteras asfaltadas y de terracería y una serie de veredas, entre las principales se encuentran la carretera Internacional del Pacífico CA-2 que comunica las comunidades de la cuenca en dirección Este-Oeste; la carretera Interoceánica CA-9 que se localiza al Oriente de la cuenca y va en dirección Noreste-Sur; la carretera nacional 14 y las carreteras departamentales 10, 9 y 6.

En el cuadro 3.4 se muestra la longitud de la red vial que posee cada uno de los departamentos que tienen jurisdicción dentro de la cuenca.

Cuadro 3.4 Longitud de la infraestructura vial según su clasificación

Fuente: Conservación Vial (2003)

Departamento	Tipo de rodadura		Según clasificación (km)						Caminos rurales*	Total (Km)
	Rodadura (km)		Centroamericanas*		Nacionales*		Departamentales*			
	Asfalto	Terracería	Asfalto	Terracería	Asfalto	Terracería	Asfalto	Terracería		
Sacatepéquez	121	35	32	0	48	26	41	9	0	156
Chimaltenango	176	212	63	0	42	34	71	178	363.34	751.34
Escuintla	436	385	258	0	54	6	124	379	0	821
Total	733	632	353	0	144	66	236	566	363.34	1728.34

La longitud total que tiene la red de carreteras y caminos de los tres departamentos es de 1728,34 Km., de éstos el 42% se encuentra asfaltado, 37% es de terracería y el 21% son caminos rurales.

Es importante hacer notar que, debido a los diferentes fenómenos que ocurren todos los años, existe un mayor deterioro de la red vial de la zona en especial en la zona de Escuintla, que es la zona que tiene más infraestructura vial.

El cuadro 3.4 muestra que el departamento de Escuintla es quien posee mayor cobertura de carreteras en relación a los restantes dos departamentos, seguido de Chimaltenango y, por último, Sacatepéquez. Hasta el año 2003, poco más de la mitad de la red vial se encuentra asfaltado; tiene una longitud total de los tres departamentos de 733 Km., mientras que las vías de terracería poseen una extensión total de 632 Km.

3.1.9 Hidrología

3.1.9.1 Subcuencas y red fluvial

La cuenca del río Achiguate comprende un área de 1 313,23 Km² y es alimentada por una serie de corrientes fluviales permanentes, intermitentes y efímeras, las cuales drenan la cuenca en dirección Norte-Sur y desembocan en el océano Pacífico. Se han identificado cuatro subcuencas dentro de la cuenca del río Achiguate, éstas son: Achiguate, Cenizas, Guacalate y la Democracia.

3.1.9.1.1 Subcuenca Achiguate

Esta subcuenca abarca 562,4 Km² con un perímetro de 173,3 Km., y se localiza al Centro y Sur de la cuenca, es la más grande dentro de la cuenca. Está conformada por una serie de corrientes, permanentes, intermitentes y efímeras, que muestran un patrón de drenaje que va de red en abanico sobre la parte superior de la subcuenca, a subparalelo en la parte baja de ésta. Tiene su origen en el flanco sureste del volcán de Fuego y drena la cuenca sobre la parte central de Norte a Sur hasta llegar al océano Pacífico, donde el río Achiguate se subdivide en algunas ramificaciones entre las cuales se encuentran el río Limón y lo que forma el Zanjón Las Marucas.

3.1.9.1.2 Subcuenca Cenizas

Tiene una extensión de 104,6 Km² y un perímetro de 54,9 Km., ubicada al oeste de la cuenca, limitada al Oeste por la subcuenca la Democracia, y al Este por la subcuenca Achiguate. Está compuesta por un número escaso de corrientes permanentes, intermitentes y efímeras las cuales tienen un patrón de drenaje subparalelo a subrectangular. Su corriente principal es el río Cenizas del cual deriva su nombre.

3.1.9.1.3 Subcuenca Guacalate

La subcuenca Guacalate ocupa 555,73 Km² de área, segunda en extensión dentro de la cuenca del río Achiguate y tiene un perímetro de 148,2 Km. Está ubicada al norte y este de la cuenca, y está compuesta de un conjunto de corrientes permanentes de mayor longitud en comparación con las subcuencas antes descritas, intermitentes y

efímeras, que muestran una red de drenaje subdendrítica (al norte de la subcuenca) y radial (en los alrededores de los volcanes).

Esta subcuenca tiene su origen en las montañas del municipio de San Andrés Itzapa, Chimaltenango, donde inicia el río la Virgen el cual a inmediaciones de Ciudad Vieja (Sacatepéquez), pasa a formar parte del río Guacalate, que drena la cuenca sobre el lado este y es alimentado, además, por corrientes que provienen de los volcanes de Acatenango, Fuego (sobre sus flancos este) y volcán de Agua (sobre su flanco oeste). Este río pasa a formar parte del Achiguate a inmediaciones del municipio de Masagua, Escuintla.

3.1.9.1.4 Subcuenca La Democracia

Ocupa un área de 90,5 Km² y un perímetro de 80,4 Km. Se encuentra al oeste de la cuenca, limitada por este por la subcuenca Cenizas, al sur y oeste por el límite de la cuenca del río Achiguate y al norte por el volcán de Fuego. Está compuesta por una única corriente permanente y escasas corrientes efímeras que la alimentan, con un patrón de drenaje que tiende a ser paralelo. Esta subcuenca drena la cuenca sobre el oeste.

3.1.9.2 Red de monitoreo hidrológico

3.1.9.2.1 Estaciones hidrométricas

De acuerdo con el mapa de estaciones hidrométricas de INSIVUMEH, originalmente existían siete estaciones hidrométricas en la cuenca, de las cuales una ha quedado fuera de servicio. Según dicho mapa la cuenca cuenta con cinco estaciones operando en forma normal y una estación operando en forma automática digital. Sin embargo, se indica en el reporte de actividad por cuenca que las estaciones puente de Iztapa y San Luis Las Carretas no pertenecen al sistema de alerta temprana y, por lo consiguiente, no se cuenta con información específica que pueda ayudar al sistema. Las estaciones Alotenango, El Pino, Puerto Quetzal y Amatillo reportan operación adecuada de niveles así como comunicación adecuada con INSIVUMEH. La frecuencia de monitoreo de niveles es cada hora y el tiempo que toma en transmitir las observaciones desde la estación al INSIVUMEH es hora y media, por lo que la información está disponible casi en tiempo real para los tomadores de decisiones. La información de las estaciones es archivada para uso futuro y cuenta con equipo de mantenimiento y calibración adecuada.

La información disponible abarca un período de 1973 a 2007 para la estación Alotenango, 1962-2007 para la estación el Pino, 2001-2007 para la estación Quetzal y 2000-2007 para la estación Amatillo. Estas dos últimas estaciones presentan limitantes para la elaboración de modelos hidrológicos y predicción de crecidas debido al corto tiempo de disponibilidad de datos.

3.1.9.2.2 Estaciones meteorológicas

De las nueve estaciones existentes en la cuenca, siete han sido canceladas y dos reportan actividad: Sabana Grande y Suiza Contenta. En Sabana Grande se reporta una operación parcial de niveles y comunicación adecuada con el INSIVUMEH. El monitoreo de niveles es cada 24 horas y el tiempo que toma en transmitir las observaciones desde la estación al INSIVUMEH es de una semana. Cuenta con archivo de datos, aunque no con equipo de mantenimiento y calibración adecuada. No se conocen sus costos de mantenimiento y el período de observaciones con que se cuenta es desde 1964 hasta 2007.

En la estación Suiza Contenta se reporta una operación adecuada de niveles y comunicación adecuada con el INSIVUMEH cada semana. La frecuencia de monitoreo es cada 24 horas. Se archiva sus datos para uso futuro y se cuenta con equipo de mantenimiento y calibración adecuada. No se presentan sus costos, de mantenimiento. Cuenta con un período de observaciones desde 1975 hasta 2007. El diagnóstico refleja que la información de ambas estaciones no está disponible en tiempo real para los tomadores de decisiones. (ver apéndice 3)

3.1.9.2.2.1 Antecedentes

Se cuenta con información acerca de dos estudios llevados a cabo en la cuenca Achiguate, el primero por Waldemar, Nufío Reyes, que realizó la caracterización preliminar de la cuenca del río Achiguate, 1982, y el segundo por parte de Juan Carlos Villagrán de León, que elaboró el registro de sistema de alerta temprana: SAT-Río Achiguate: Guatemala, como parte del estudio llevado a cabo por el Centro de Investigación y Mitigación de Desastres Naturales (CIMDEN), en el 2003.

3.1.9.3 Régimen de Lluvias

3.1.9.3.1 Generalidades

Según lo analizado, la cuenca del río Achiguate posee un régimen de Lluvias tipo orográfico. La lluvia; a la altura de la costa, es de aproximadamente 1 600 mm anuales, mientras que en la boca costa, aguas arriba del municipio de Escuintla, es superior a los 3 000 mm anuales y en la parte alta, a la altura del departamento de Chimaltenango, es del orden de los 800 mm anuales.

En cuanto a lluvias intensas pueden esperarse lluvias arriba de los 100 mm en 24 horas. Durante los días del paso del ciclón tropical Stan, en octubre del año 2005, se registraron lluvias de 441,2 mm durante el período comprendido del 01 al 10 de octubre, en Sabana Grande, con lluvia máxima registrada en 24 horas, de 157,9 mm. Los días 04 y 05 es cuando se produjo la mayor acumulación de lluvia.

3.1.9.3.2 Lluvia multi-anual

Para los fines del estudio, se consideraron las estaciones climáticas monitoreadas por el INVISUMEH ubicadas en el puerto de San José, Sabana Grande y Alameda Icta, representando las partes baja, media y alta de la cuenca respectivamente. En las tres estaciones se cuentan con registros históricos continuos de 20 años. En la figura 4.1 se muestra el comportamiento anual de la lluvia, donde se observa claramente la diferencia significativa entre la parte media de la cuenca, correspondiente a la estación climática Sabana Grande, con las partes baja y alta de la misma, donde la lluvia disminuye drásticamente, en especial en la parte alta.

La lluvia media anual durante el período mencionado, para las tres estaciones climáticas se estima en 1 601,4 mm, 3 149,0 mm y 867,7 mm, correspondientes a las partes baja, media y alta respectivamente. Custodio & Llamas (2001), mencionan que este valor se conoce como módulo pluviométrico anual medio, estimado como la media aritmética de la lluvia anual durante una serie de años.

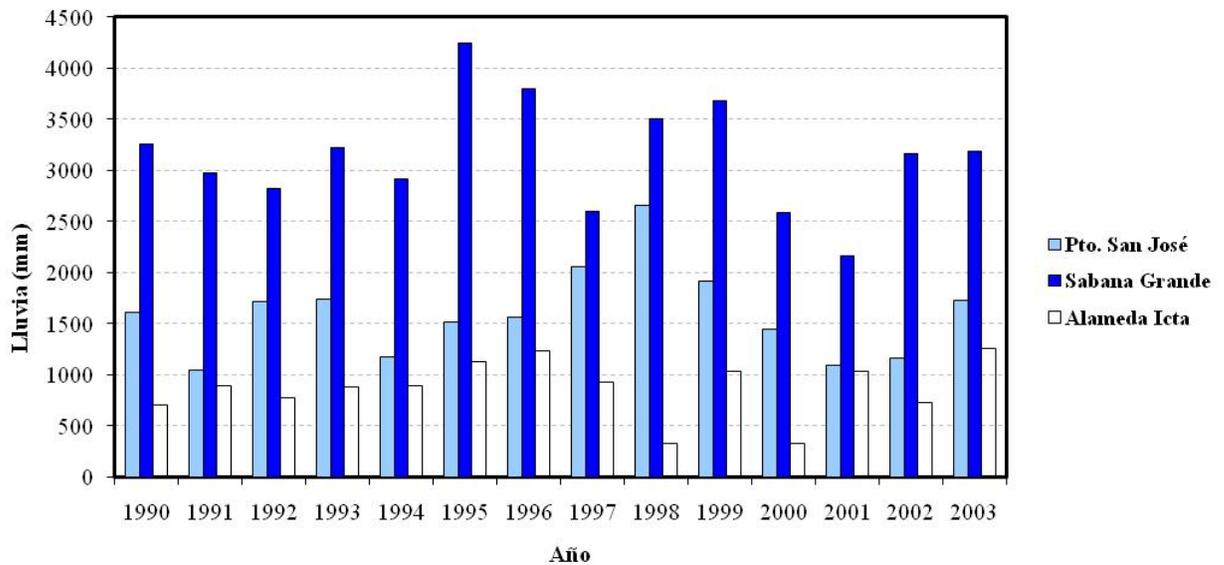


Figura 3.2 Lluvia anual de tres estaciones climatológicas con influencia en la cuenca del río Achiguate

3.1.9.3.3 Lluvia mensual

Esta consiste en la suma de las alturas de precipitación ocurridas durante un mes, por el contrario el promedio de los valores registrados para cada mes durante una serie de tiempo sería la lluvia media mensual.

Al observar la figura 3.2 se aprecia que el comportamiento en las tres estaciones climáticas en mención es similar, los meses de mayor acumulación de lámina de lluvia son los de julio y lo que se visualiza con mayor facilidad en la estación climática Sabana Grande. Se debe enfatizar que, tanto para la lluvia media anual como para la lluvia media mensual, existe mayor dispersión de los datos en la estación Sabana Grande, debido a que son lluvias de tipo orográfico que; de acuerdo con Monsalve (1999), son el resultado de la ascensión mecánica de corrientes de aire húmedo con movimiento horizontal cuando chocan sobre barreras naturales. Este tipo de lluvias sobre la parte media de la cuenca del río Achiguate, se caracterizan por ser de alta intensidad y, normalmente, de moderada duración, propician la formación de crecidas, esto aunado al efecto del relieve y a la deforestación existente.

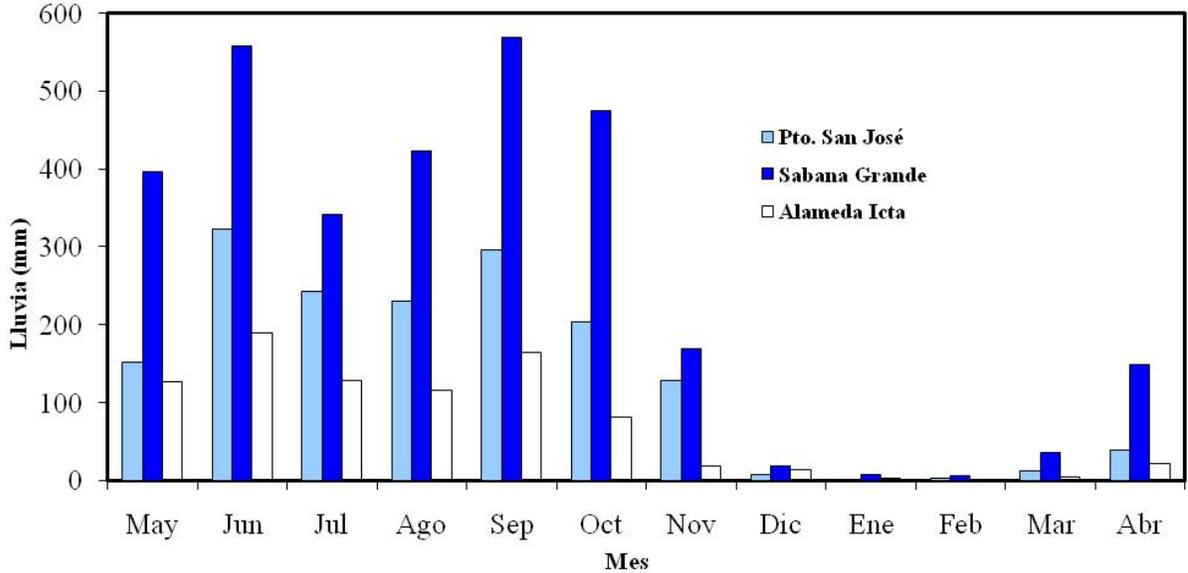


Figura 3.3 Lluvia media mensual de tres estaciones climáticas con influencia en la cuenca del río Achiguaté

3.1.9.3.4 Lluvia diaria

Es la cantidad total de lámina llovida durante un día, que va desde las 7:00 a.m. del día actual y las 7:00 a.m. del día posterior. Cabe mencionar que en los años de 1982 y 1998, para el caso de la estación climática Sabana Grande, se registraron eventos de 263,00 y 219,00 mm de lluvia diaria máxima anual respectivamente, fueron mayores a lo observado durante el ciclón tropical Stan, que fue de 157,9 mm. Este tipo de eventos es de relevancia en la formación de crecidas que posteriormente, propician inundaciones, debido a que son eventos de intensidad moderada y duración prolongada, saturan el suelo y, con esto, acercan o igualan el coeficiente de escorrentía a uno, o sea que del porcentaje de lluvia que cae sobre el suelo, aproximadamente, el 100% se convierte en escorrentía directa. Lo anterior si se toma en cuenta que el suelo se encuentra con un alto contenido de humedad. Además, es conveniente hacer la aclaración entre lluvia máxima diaria y lluvia máxima en 24 horas, ya que no son lo mismo, la lluvia máxima diaria es la registrada durante un día y la lluvia máxima en 24 horas es la máxima registrada durante un período continuo de 24 horas; esta última causa más daño, puesto que no permite al suelo disminuir su contenido de agua y; por ende; aumentar su capacidad de almacenamiento.

Para estimar la lluvia máxima en 24 horas es necesario contar con un pluviógrafo para, posteriormente, analizar la banda y obtener el registro continuo.

En Guatemala se han realizado estudios que sugieren que la magnitud de la lluvia de 24 horas de duración es; aproximadamente; 13% mayor que la magnitud de la lluvia diaria. Por lo tanto, conociendo las magnitudes de lluvia diaria máxima, se pueden inferir lluvias máximas de 24 horas de duración y; posteriormente; inferir para períodos más cortos (INSIVUMEH, 2004). El caso de las estaciones climáticas con influencia en la cuenca del río Achiguate, la lluvia máxima diaria durante el registro considerado es el siguiente: (ver figura 3.3)

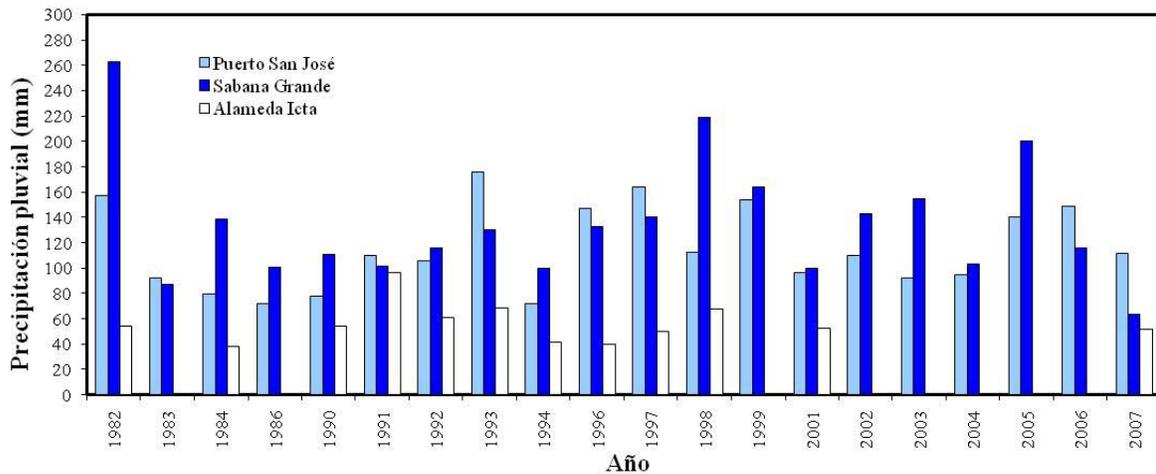


Figura 3.4 Lluvia máxima diaria en tres estaciones climáticas con influencia en la cuenca del río Achiguate

3.1.9.3.5 Intensidad de lluvias

Éste es uno de los aspectos más importantes que se debe considerar de un evento de precipitación.

Las lluvias de moderada duración contribuyen a que se dé una infiltración correcta, por otra parte; las lluvias intensas saturan los terrenos a gran velocidad, ocasionan que se dé escorrentía superficial. La intensidad es directamente proporcional a la magnitud de la crecida derivada de una tormenta, por lo tanto, a mayor intensidad de lluvias, mayor es la magnitud de las crecidas y el riesgo de inundaciones. Esto es de gran relevancia si se toma en cuenta el tiempo de la tormenta y las condiciones propias del suelo en el momento en el que se da la misma.

De acuerdo con el INSIVUMEH (2004), la caracterización de lluvias en cuanto a intensidades es importante en varias aplicaciones, específicamente en relación con la evaluación de eventos extremos máximos. Normalmente, en hidrología, existen ciertos tipos de aplicaciones que requiere de eventos de lluvias intensas asociadas a una duración y una frecuencia de ocurrencia; las curvas duración-intensidad-frecuencia (DIF) con las que ofrecen dicha relación. Para el caso de la estación climática Sabana Grande, las curvas DIF se muestran en la figura 3.4:

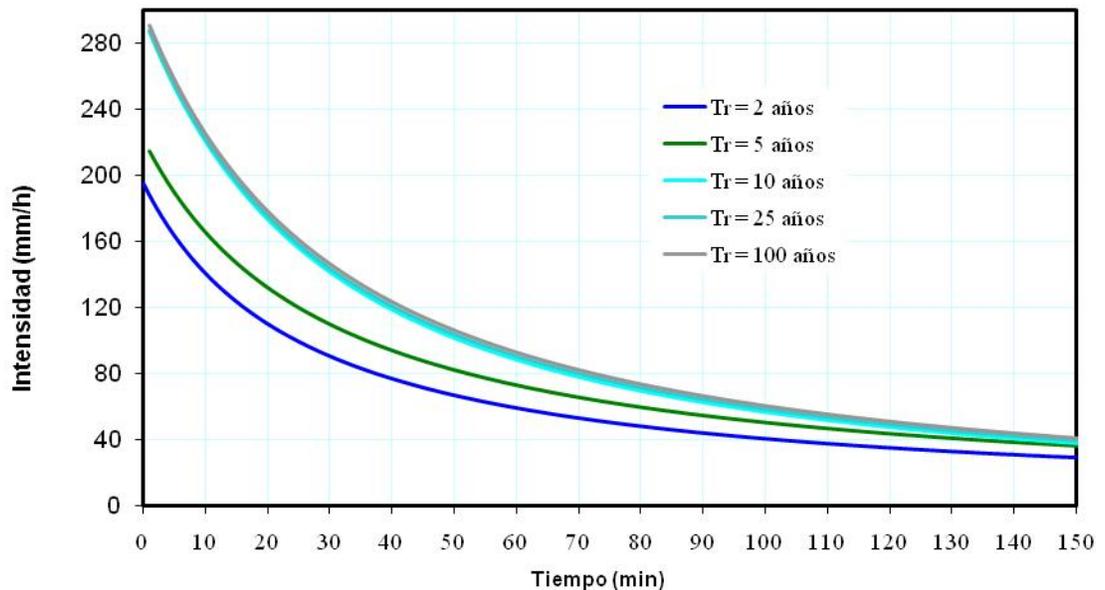


Figura 3.5 Curvas duración-intensidad-frecuencia en la estación climática Sabana Grande

Se debe hacer notar el hecho de que eventos como el ciclón tropical Stan, se caracterizaron por ser de intensidad moderada, sin embargo, de larga duración, saturan completamente los suelos y ocasionan crecidas. Así, se estima que la mayor concentración de lluvia en la estación climática Sabana Grande, se dio de las 09:45 horas del día 4 de octubre a las 19:45 horas del día 5 de octubre, donde el total de la precipitación en este período fue de 253.80 mm.

Es; por tanto, que se considera que la parte media de la cuenca se caracteriza por ser de alta intensidad y de baja a moderada duración, por lo que un factor de vital importancia en el sistema de alerta temprana es considerar la duración del evento.

3.1.9.3.6 Análisis estadístico de la lluvia diaria máxima anual

Para determinar una distribución teórica de frecuencia que se ajuste a una serie de datos de la serie de lluvia diaria máxima anual correspondiente a 30 años de registros de la estación climática Sabana Grande, se realizó el análisis estadístico. Las distribuciones teóricas de distribución de frecuencia empleadas en el mismo fueron: Gumbel, Gama, Pearson III, Log Normal, Log Normal de tres parámetros, Log Gumbel y Log Pearson III, estimando los parámetros con momentos convencionales y lineales, a excepción de las distribuciones Log Normal de tres parámetros, Pearson III y Log Pearson III (únicamente con momentos convencionales).

Como es de esperarse en este tipo de eventos extremos, el coeficiente de sesgo de los datos es positivo, en este caso es de 1,41. Los datos presentan una ligera dispersión, reflejándose en el coeficiente de variación que es de 0.31. El ajuste de los datos considerados de lluvia diaria máxima a las curvas teóricas de distribución de frecuencia se muestra en la figura 3.5:

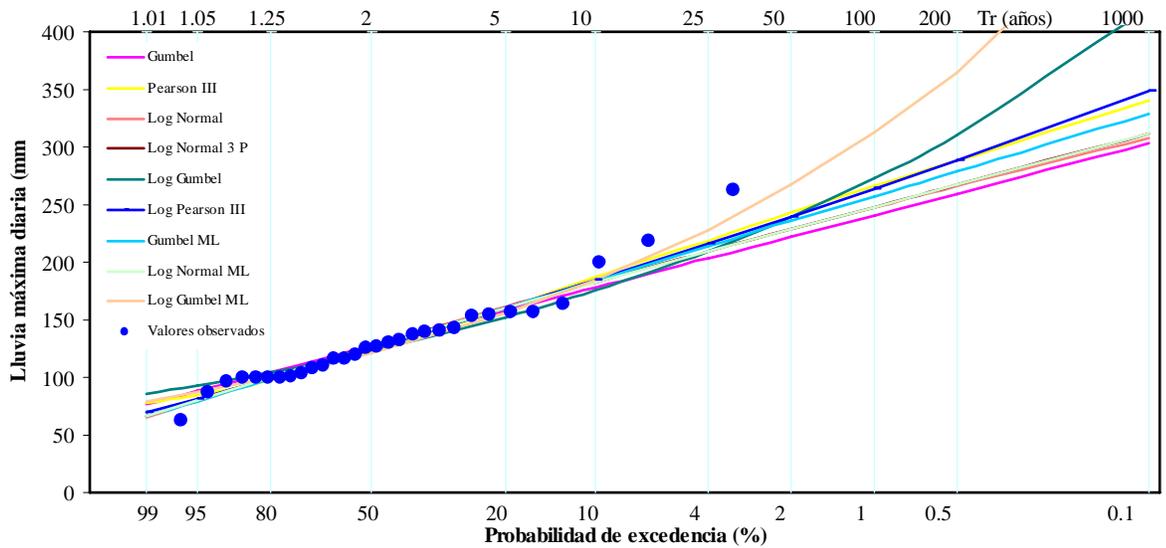


Figura 3.6 Ajuste de curvas teóricas de frecuencia a registros máximos de lluvia de la estación climatológica Sabana Grande

Se debe hacer notar que resulta difícil estimar de forma visual la distribución teórica de frecuencia a la que mejor se ajustan los datos; los datos se ajustan a la mayoría de distribuciones a partir de períodos de retorno desde 1.01 hasta 10 años, a excepción de la distribución Gama MO,ML que no se ajustan. Por lo que para poder tener un panorama más claro se aplicó la prueba estadística del error cuadrático y se tienen los datos mostrados en el cuadro 4.1, que se muestra a continuación:

Cuadro 3.5 Posición relativa del ajuste de doce distribuciones teóricas de frecuencias utilizadas en el análisis de caudales máximos anuales, en la estación hidrométrica Sabana Grande

Distribución teórica de frecuencia	Error cuadrático mínimo	Posición relativa
Gumbel	71.51	6
Pearson III	86.33	7
Gama	756.33	No se ajusta
Log-Normal	61.61	4
Log-Normal 3 P	61.41	3
Log-Gumbel	68.22	5
Log-Pearson III	200.56	9
Gumbel ML	55.97	2
Gama ML	756.33	No se ajusta
Log-Normal ML	117.58	8
Log-Gumbel ML	39.87	1

Fuente: Elaboración propia (2008)

Por tanto, del cuadro 4.1 se puede determinar que los datos se ajustan mejor a las distribuciones Log Gumbel, Gumbel ML, Log Normal tres parámetros, Log Normal ML, Log Gumbel, Gumbel. Coincidiendo en el caso de las distribuciones Log Normal ML y Gumbel, con lo que recomienda el INSIVUMEH (2004), para la región donde se localiza la estación climática mencionada.

CAPÍTULO 4

Régimen de crecidas

4.1 Régimen de crecidas

4.1.1 Generalidades

Se debe hacer notar que a continuación se emplean los datos obtenidos en el estudio regional de crecidas, Fuentes (2008), esto debido a la inexistencia de datos en la estación de la cuenca del río Achiguate y tomando en cuenta que ambas cuencas pertenecen a la misma región hidrométrica y, por tanto, al mismo régimen de lluvias se tomó la decisión de emplearla.

Los caudales máximos de crecida están, obviamente, condicionados por el aporte de las lluvias y su distribución en el tiempo. Además de la magnitud de las lluvias, los caudales máximos están influidos por la topografía accidentada y empinada de la parte media de la cuenca que influye en el tiempo de concentración. Puede agregarse otro factor que magnifica el efecto de las crecidas en la parte baja, y es el arrastre de material sólido. Es la parte media de la cuenca, en las faldas de los volcanes de Fuego y Acatenango, se originan cantidades apreciables de material volcánico y en la parte alta, material sólido como resultado de la erosión hídrica. El material transportado por las crecidas se va depositando a lo largo del cauce, a medida que la pendiente longitudinal del cauce de los ríos decrece, mientras se acerca a la costa (Orozco & Flores, 2006).

De acuerdo con ERIS (2006), la crecida del río Coyolate durante el ciclón tropical Mitch, en la estación hidrométrica localizada en el puente del mismo nombre se estimó en 122.60 m³/s, con una altura limnimétrica de 2.55 m. A manera de comparador también se menciona la crecida histórica en el mismo punto, en el año 1974, en donde se estimó un caudal de 156.70 m³/s, con una altura limnimétrica de 3.08 m. Según el mapa de cuencas priorizadas la probabilidad de ocurrencia de inundaciones (MAGA *et al.* 2002), en la cuenca del río Coyolate es muy alta, oscilan entre 59.50 y 100%. Lo cual se comprueba con las frecuentes inundaciones suscitadas en la cuenca.

4.1.2 Estaciones hidrométricas

Actualmente, se cuenta con dos estaciones hidrométricas en la parte media de la cuenca, sin embargo, las mismas están ubicadas en un cauce secundario por lo que no representan la realidad de la cuenca, en este caso lo recomendable sería contar con estaciones hidrométricas en el puente sobre el río Achiguate y en el puente sobre el río Guacalate.

De las dos estaciones hidrométricas ubicadas en la cuenca del río Achiguate solo se encuentra operando la conocida con el nombre de San Luis las Carretas, ubicada en jurisdicción del municipio de Alotenango, mientras que la conocida con el nombre de Alotenango se encuentra inactiva. Algunas características de las mismas se muestran a continuación en el cuadro 4.1:

Cuadro 4.1 Características de las estaciones hidrométricas de la cuenca del río Guacalate

Estación	Río	Estrato	Elevación (msnm)	Área (km ²)	Estado actual
Alotenango	Guacalate	Medio	1 350	328	No opera
San Luis las Carretas	Guacalate	Medio	1 580	145	En operación

Fuente: Departamento de Investigación y Servicios Hídricos, INSIVUMEH (2007)

Como puede observarse, la estación hidrométrica San Luis las Carretas, es la única en la cuenca que actualmente está operación y que, además, está monitoreada convencionalmente por medio de un operador, recopilando información puntual del río. Es importante hacer mención que; a pesar de que esta estación se encuentra actualmente en operación no es la de mayor relevancia en el estudio, ya que se encuentra ubicada en una zona donde no es representativa de la cuenca en general.

Debido a que dado que la estación existente en la cuenca del Achiguate no es representativa de la cuenca en general, se emplearán los datos obtenidos para la cuenca del río Coyolate.

4.1.3 Análisis regional de crecidas

En general, es un fenómeno de ocurrencia de caudales relativamente grandes. Lluvias muy intensas provocan crecidas en pequeñas cuencas, las lluvias de menor intensidad pero de duración y cubrimiento grande provocan crecidas en grandes cuencas. Actualmente; un factor de gran importancia que influye en la formación de crecidas es el cambio del uso de la tierra, principalmente; la deforestación en las partes altas de las cuencas, y en menor proporción la impermeabilización del suelo por áreas urbanas.

Para fines de análisis de crecidas, interesa la crecida máxima instantánea anual registrada en un determinado río, o sea el máximo nivel instantáneo alcanzado en el cauce durante el año. Generalmente, este máximo nivel se registra durante los meses de septiembre y/o octubre, donde existe mayor precipitación y; por ende; mayor escurrimiento. El análisis regional de crecidas es un procedimiento donde se utilizan series anuales (crecidas máximas instantáneas), de varias estaciones hidrométricas con un determinado número de registro, obviamente, a mayor cantidad de datos y estaciones se obtiene mayor confiabilidad en los resultados (Fuentes, 2008).

El objetivo de dicho análisis consiste en estimar factores de frecuencia para ciertos períodos de retorno y aplicarlos para estimar el caudal en cualquier punto de la cuenca en función del área de la misma.

Es importante en el análisis regional de crecidas seleccionar series de registros de caudales máximos instantáneos anuales que sean confiables y con determinada longitud. Sin embargo, en nuestro medio existe el inconveniente que no se cuenta con suficiente información disponible, además; hay que hacer notar que las estimaciones de caudales máximos son realizadas con base a ecuaciones calibradas para caudales menores, por lo que en la mayoría de los casos; dichos valores de crecidas poseen significativos márgenes de error (Fuentes, 2008).

También hay que hacer notar que el análisis regional de crecidas se realiza para áreas geográficas donde los fenómenos que producen la lluvia y, por lo tanto, la escorrentía son homogéneos, en base a lo anterior, Guatemala está dividida en ocho regiones hidrológicas, nominadas de I a VIII. Para el caso de la cuenca del río Coyolate, en lo que concierne al estrato medio y bajo, se localiza en la región hidrológica II. Lo que concierne a la parte alta de la vertiente del océano Pacífico, corresponde a la región hidrológica I, caracterizada por una disminución significativa de la lluvia (INSIVUMEH, 2004). Algunas de las características de las estaciones hidrométricas utilizadas en el análisis se muestran a continuación:

Cuadro 4.2 Características de las estaciones hidrométricas utilizadas en el análisis regional de crecidas

Estación	Río	Cuenca	Elevación (msnm)	Área (km ²)	Años de registros	Estado actual
Cabúz	Malacatán	Suchiate	360	395	30	En operación
Coatepeque	Naranjo	Naranjo	291	501	10	No opera
Meléndrez II	Meléndrez	Naranjo	20	149	12	No opera
Pajapita	Nahuatán	Naranjo	40	185	23	No opera
Caballo Blanco	Ocosito	Ocosito	48	462	32	No opera
La Máquina	Sis	Sis-Icán	28	156	25	No opera
San Miguel Moca	Nahualate	Nahualate	176	620	30	No opera
San Mauricio	Nahualate	Nahualate	30	1 191	10	No opera
Montecristo	Cutzán	Nahualate	229	129	31	No opera
Barriles	Siguacán	Nahualate	67	154	6	No opera
Puente Coyolate	Coyolate	Coyolate	213	512	32	En operación
Cerro Colorado	Coyolate	Coyolate	42	1 154	6	No opera

Fuente: Departamento de Investigación y Servicios Hídricos, INSIVUMEH (2007).

Actualmente, solo operan las estaciones hidrométricas Cabúz y Puente Coyolate, por lo que existe una tendencia a la disminución en el monitoreo de los principales ríos de la república.

Es importante destacar que las elevaciones de las estaciones hidrométricas se ubican en las partes medias y bajas de las respectivas cuencas ya que la parte alta, como se mencionó, corresponde a otra región hidrológica (Fuentes, 2008).

4.1.4 Ajuste de curvas teóricas de distribución de frecuencia a series estandarizadas

Para el ajuste de las series estandarizadas de los datos a curvas teóricas de distribución de frecuencia, se utilizaron las distribuciones Gumbel, Pearson III, Gama, Log Normal, Log Normal de tres parámetros, Log-Gumbel y Log Pearson III, estimando los parámetros con momentos convencionales. Además, se estimaron los parámetros con momentos lineales para las distribuciones Gumbel, Gama, Log Normal, Log Gumbel y Log Pearson III, para lo cual se utilizó el software hidrológico HidroEsta. El ajuste de las series estandarizadas a las curvas teóricas de distribución de frecuencia se muestra en la siguiente figura 4.1:

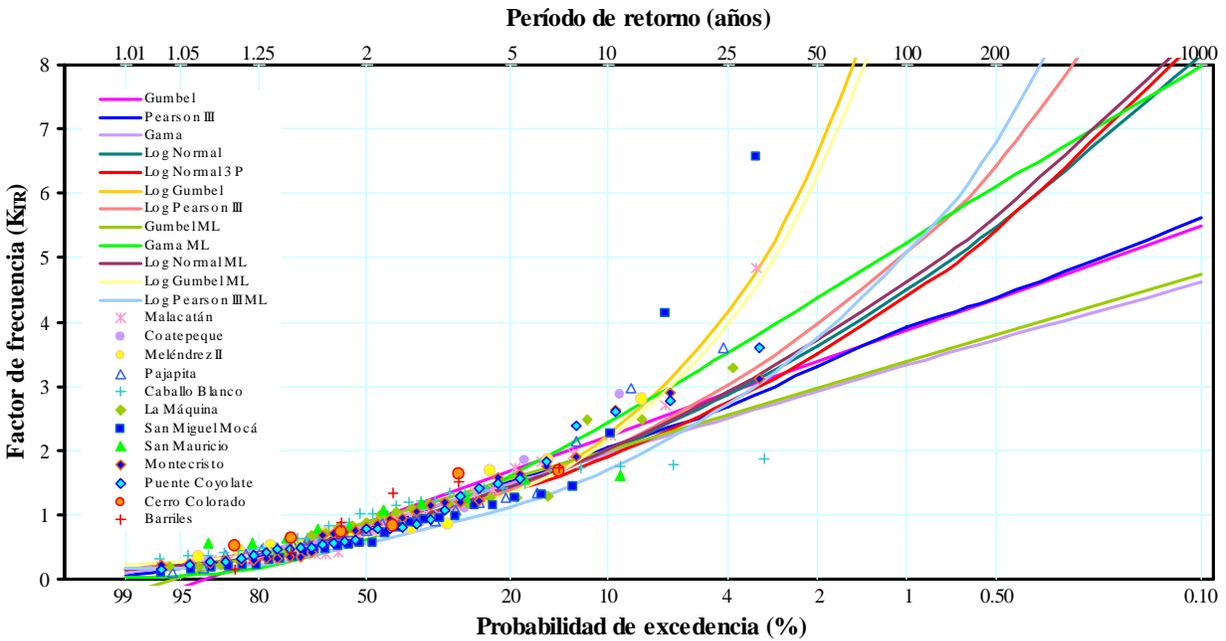


Figura 4.1 Ajuste de series estandarizadas de caudales máximos anuales a curvas teóricas de distribución de frecuencia

Como puede observarse, para períodos de retorno menores de 10 años, los datos estandarizados parecen presentar buen ajuste a la mayoría de distribuciones teóricas de frecuencia, sin embargo, para valores más altos de períodos de retorno, los datos se dispersan. Cabe mencionar que algunos datos de la estación hidrométrica San Miguel Mocá, tienden a ajustarse a distribuciones teóricas de frecuencia que estimarían valores demasiado altos, mientras que los datos de la estación hidrométrica Caballo Blanco, se sitúan por debajo de la distribución teórica de frecuencia que estimaría valores relativamente bajos. Lo anterior, puede deberse a cierta inconsistencia en los registros históricos de ambas estaciones hidrométricas. Como se mencionó con anterioridad, el objetivo del análisis regional de crecidas, es estimar un factor de frecuencia (K_{TR}), de un sitio de la cuenca donde no se dispone de información, para sustituirlo en la siguiente ecuación: (Fuentes, 2008)

$$Q_{TR} = K_{TR} * Q_i \dots \dots \dots \text{Ecuación: 5.1}$$

Los factores de frecuencia que se deducen del análisis regional de crecidas en la vertiente del océano Pacífico son los siguientes:

Cuadro 4.3 Factores de frecuencia (K_{TR}) de distribuciones teóricas, donde los parámetros se estimaron con momentos convencionales

Período de Retorno (años)	Probabilidad de excedencia (%)	Distribución teórica de frecuencia						
		Gumbel	Pearson III	Gama	Log Normal	Log Normal 3 parámetros	Log Gumbel	Log Pearson III
2	50	0,89	0,78	0,84	0,76	0,74	0,67	0,73
5	20	1,69	1,51	1,49	1,43	1,36	1,37	1,38
10	10	2,22	2,05	1,94	2,00	1,90	2,23	2,02
25	4	2,88	2,68	2,50	2,87	2,75	4,15	3,02
50	2	3,38	3,30	2,92	3,63	3,51	661	3,96
100	1	3,87	3,92	3,33	4,50	4,39	10,53	5,09
200	0.50	4,36	4,37	3,73	5,48	5,42	16,82	6,43
1,000	0.10	5,50	5,61	4,63	8,14	8,45	50,42	10,77

Fuente: Ing. Juan Carlos Fuentes (2008)

Tal como indica Fuentes (2008); son notorios los factores de frecuencia estimados con la distribución de Gumbel, resultan significativamente mayores que al resto de las demás distribuciones, debido a que la transformación logarítmica de Gumbel tiende a sobreestimar los valores, principalmente, para eventos con períodos de retorno mayores a 25 años. Dado a lo anterior, en nuestro medio la distribución de Gumbel con transformación logarítmica no es de aplicabilidad, son más aplicables las distribuciones Pearson III, Gumbel y Normal (con transformación logarítmica en el caso de las distribuciones Pearson III y Normal). Para el caso de los factores de frecuencia estimados con momentos lineales, los resultados son los siguientes:

Cuadro 4.4 Factores de frecuencia (K_{TR}) de distribuciones teóricas, donde los parámetros se estimaron con momentos lineales

Período de retorno (años)	Probabilidad de excedencia (%)	Distribución teórica de frecuencia				
		Gumbel	Gama	Log Normal	Log Gumbel	Log Pearson III
2	50	0,88	0,62	0,76	0,67	0,57
5	20	1,54	1,61	1,44	1,35	1,13
10	10	1,99	2,42	2,03	2,16	1,70
25	4	2,55	3,53	2,93	3,97	2,71
50	2	2,96	4,38	3,72	6,27	3,75
100	1	3,37	5,24	4,63	9,93	5,08
200	0,50	3,78	6,10	5,65	15,76	6,79
1 000	0,10	4,73	7,98	8,55	46,77	12,72

Fuente: Ing. Juan Carlos Fuentes (2007)

De igual manera; Fuentes (2008) la distribución Log Gumbel (estimando los parámetros con momentos lineales), presenta valores demasiado altos, contrarios con los valores de K_{TR} de las distribuciones Gumbel y Gama. De acuerdo con el análisis realizado aplicando el método del error cuadrático mínimo, se deduce que las distribuciones teóricas de frecuencia a la que se ajustan los datos de mejor manera son; en orden de prioridad; Log Pearson III ML, Log Normal ML, Log Normal, Log Pearson III y Log Normal de tres parámetros. De cualquier manera, es importante mencionar, que todo lo anterior son técnicas estadísticas que ayudan a comprender mejor el comportamiento de las crecidas. Su interpretación dependerá del criterio que se tenga acerca de la hidrología, de las condiciones del área y del tipo de proyecto que se esté realizando. Además hay que recordar, que en el medio guatemalteco la principal limitante es la carencia de información, por lo que en la mayoría de los casos hay que recurrir a hacer estimaciones de este tipo.

Se debe recalcar el hecho que; actualmente para el caso de la cuenca del río Achiguate, no se cuenta con una estación hidrométrica en operación que sea representativa de la cuenca en general, por lo que se empleó el estudio regional de crecidas (Fuentes 2008).

Sin embargo, se ha determinado que los sitios prioritarios en la cuenca para los fines del estudio son los ríos Achiguate y Guacalate, en los puentes del mismo nombre. De lo anterior, resulta vital monitorear el nivel del río en los dos sitios mencionados, ya que son puntos donde existe las facilidades para tener la instrumentación necesaria para el monitoreo de las zonas propensas a inundaciones antes de que las mismas se den.

Por otra parte, se debe indicar que en este caso lo ideal era contar con una estación en la cuenca del río Achiguate que fuera representativa de toda la cuenca en sí y que la misma contara con un registro histórico de datos, uno de los puntos más representativos podría ubicarse en la confluencia de los ríos Achiguate y Guacalate, para comprender y estimar la respuestas aguas abajo, en las zonas donde se dan las inundaciones. En el cuadro 4.5 se estiman algunos caudales de diseño para diversos períodos de retorno, tomando en consideración las áreas de la cuenca del río Achiguate:

Cuadro 4.5 Caudales máximos anuales (m³/s) estimados en diversos sitios de interés en la cuenca del río Achiguate

Sitio	Tr	Gumbel	Pearson	Log	Log	Log Normal	Log Pearson
	(años)		III	Normal	Pearson III	ML	III ML
Puente Guacalate	2	317	279	271	262	271	203
	5	602	539	510	491	515	404
	10	791	733	713	723	725	607
	25	1030	959	1025	1080	1047	969
	50	1208	1179	1298	1414	1330	1338
	100	1384	1402	1608	1818	1653	1816
	200	1559	1560	1958	2296	2018	2427
	1000	1965	2003	2908	3847	3054	4545
Puente Achiguate	2	318	279	272	263	272	204
	5	604	541	511	492	516	405
	10	793	735	715	725	726	608
	25	1033	961	1027	1082	1049	971
	50	1210	1182	1301	1417	1333	1341
	100	1387	1405	1611	1822	1657	1820
	200	1562	1564	1962	2301	2023	2432
	1000	1969	2008	2914	3856	3061	4555
Confluencia	2	353	310	302	292	302	226
	5	671	601	568	547	573	450
	10	882	816	794	805	807	676
	25	1148	1068	1141	1203	1166	1080
	50	1345	1313	1446	1575	1482	1491
	100	1541	1561	1791	2024	1841	2023
	200	1736	1738	2180	2557	2248	2703
	1000	2188	2231	3239	4285	3401	5062

Fuente: Elaboración propia (2008) (Basados en el estudio regional de crecidas (Fuentes 2008))

De acuerdo con Fuentes (2008), quien realizó el análisis regional de crecidas en el área donde se ubica la cuenca del río Achiguate, se recomienda utilizar los valores de caudales máximos anuales instantáneos obtenidos con la distribución teórica de frecuencia Log Pearson III ML, debido a que dicha distribución presenta el error cuadrático mínimo.

4.2 Simulación hidráulica

4.2.1 Generalidades

El objetivo primordial; al realizar la simulación del tramo del río; fue estimar las planicies de inundación, esto tomando en cuenta diferentes caudales de diseño, con la finalidad de determinar las velocidades del flujo en cada uno de los tramos que se contemplan para el análisis.

Como primer paso se procedió a estimar las áreas susceptibles a inundación tomando en cuenta todos los afluentes, esto por medio de la información existente en la cual se encuentran bien definidas estas áreas, lo anterior con el propósito de buscar las herramientas necesarias para planificar con la finalidad de mitigar o prevenir futuros daños causados por las inundaciones y; de esta manera; reducir las pérdidas económicas que se dan en la zona y tratar de eliminar la pérdida de vidas humanas.

Se debe hacer notar el hecho de que la determinación de las velocidades del flujo es uno de los pasos principales, ya que por medio de esta estimación se pueden determinar los tiempos de viaje de las ondas de un punto a otro de interés y; de esta forma; alertar a las comunidades en el momento en el que sea inminente la inundación, estos tiempos de viaje son vitales para poner en marcha el sistema de alerta temprana.

La simulación hidráulica se realizó por medio del programa HEC - RAS, software que fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros Hidrólogos del Ejército de los Estados Unidos (*Hidrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineering*). Éste permite el cálculo en régimen permanente de la superficie del agua en cauces naturales y canales, tanto en régimen subcrítico, supercrítico y mixto. Se realizó el cálculo de tramos con un solo remanso, así como con varios remansos dentro del mismo cálculo.

Por medio de este modelo se marcan diferentes secciones transversales; ya sea en los cauces principales o en un canal. En éste se dibuja una sección en planta, se determinan las distancias entre las secciones, tanto en el centro como en los extremos. Además; el modelo incluye las estructuras hidráulicas como puentes, diques, presas, etc.

Los efectos se calculan incluyendo la definición de la superficie libre, las velocidades y energías en cada una de las secciones, así como otros datos de interés, como pendiente de energía, pérdidas de energía, entre otros.

4.2.2 Secciones representativas y datos geométricos e hidráulicos

La simulación hidráulica se realizó con el objetivo de conocer el tiempo de viaje para determinadas crecidas en un tramo de interés. En este se seleccionó un total de siete secciones representativas del cauce, éstas son las siguientes:

Cuadro 4.6 Secciones representativas en el cauce principal de la cuenca del río Achiguate

Sección	Descripción	Distancia entre secciones	
		(m)	(km)
6	Puente Guacalate	--	--
5	Finca Santa Elena	1 476	1,476
4	Finca San Juan	3 055	3,055
3	Finca SJ Mixtán	3 150	3,15
2	Puente Masagua	3 875	3,875
1	Finca San Rafael	1 998	1,998
0	Finca Cobano	3 250	3,25

Fuente: Elaboración propia (2008)

Es una simulación de crecidas donde el objetivo principal sea estimar las planicies de inundación es necesario realizar un mayor número de secciones transversales del cauce, considerándose para este caso un mínimo de 30 secciones (distanciadas por lo menos un km), situación que; en un futuro; será necesario complementar para definir detalladamente las áreas propicias a inundación. Sin embargo, en este caso el objetivo fue estimar el tiempo de viaje para diversas crecidas ya que; además, la pendiente es bastante homogénea ($< 1\%$) lo que permitió que se consideraran las secciones indicadas anteriormente. Los coeficientes de rugosidad (n) de la ecuación de Manning que se utilizaron fueron de 0.035 en el cauce principal y 0.040 en planicies de inundación. En lo que respecta a los coeficientes de contracción y expansión del cauce se utilizaron 0.10 y 0.30 respectivamente.

Se simularon caudales estimados con períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 y 1 000 años obtenidos mediante los cuantiles derivados del análisis regional de crecidas utilizando la distribución teórica de frecuencia Log Pearson ML, ya que se observó que los datos se ajustan de mejor manera a la misma.

Se puede observar con mayor facilidad el comportamiento del río, observando las diferentes alturas que alcanza cada una de las diferentes secciones, como se muestra para diferentes períodos de retorno:

Cuadro 4.7 Valores de velocidad, profundidad y tiempo de viaje para un período de retorno de dos años de la parte media de la cuenca del río Achiguate

Período de retorno dos años					
Secciones	Velocidad en la sección (m/s)	Profundidad del agua (m)	Distancia entre secciones (m)	Tiempo de viaje (s)	Tiempo de viaje (min)
6 - 5	0.46	1.34	1,476	3209	53
5 - 4	0.65	1.455	3,055	4700	78
4 - 3	0.63	1.695	3,150	5000	83
3 - 2	0.81	1.54	3,875	4814	80
2 - 1	0.70	0.865	1,998	2854	48
1 - 0	0.87	0.485	3,250	3736	62

Fuente: Elaboración propia (2008)

Cuadro 4.8 Valores de velocidad, profundidad y tiempo de viaje para un período de retorno de 10 años de la parte media de la cuenca del río Achiguate

Período de retorno 10 años					
Secciones	Velocidad en la sección (m/s)	Profundidad del agua (m)	Distancia entre secciones (m)	Tiempo de viaje (s)	Tiempo de viaje (min)
6 - 5	0.68	2.5	1,476	2187	36
5 - 4	0.88	2.72	3,055	3491	58
4 - 3	0.84	3.06	3,150	3750	63
3 - 2	1.17	2.8	3,875	3312	55
2 - 1	1.01	1.665	1,998	1988	33
1 - 0	0.87	0.93	3,250	3736	62

Fuente: Elaboración propia (2008)

Cuadro 4.9 Valores de velocidad, profundidad y tiempo de viaje para un período de retorno de 50 años de la parte media de la cuenca del río Achiguate

Período de retorno 50 años					
Secciones	Velocidad en la sección (m/s)	Profundidad del agua (m)	Distancia entre secciones (m)	Tiempo de viaje (s)	Tiempo de viaje (min)
6 - 5	0.91	13.145	1,476	1622	27
5 - 4	1.13	12.61	3,055	2716	45
4 - 3	1.07	14.695	3,150	2958	49
3 - 2	1.60	12.675	3,875	2429	40
2 - 1	1.36	6.645	1,998	1469	24
1 - 0	1.03	3.355	3,250	3171	53

Fuente: Elaboración propia (2008)

Cuadro 4.10 Valores de velocidad, profundidad y tiempo de viaje para un período de retorno de 100 años de la parte media de la cuenca del río Achiguate

Período de retorno 100 años					
Secciones	Velocidad en la sección (m/s)	Profundidad del agua (m)	Distancia entre secciones (m)	Tiempo de viaje (s)	Tiempo de viaje (min)
6 - 5	1.025	15.565	1,476	1440	24
5 - 4	1.25	15.15	3,055	2444	41
4 - 3	1	17.775	3,150	2658	44
3 - 2	2	15.135	3,875	2135	36
2 - 1	2	7.9	1,998	1297	22
1 - 0	1	3.945	3,250	2941	49

Fuente: Elaboración propia (2008)

Una vez analizados los resultados se puede determinar que; según los datos obtenidos en el HEC-RAS, la cuenca se comportaría de esta forma:

- En lo referente a eventos con períodos de retorno de dos años no deberían darse inundaciones en la zona; puesto que la capacidad hidráulica de las secciones es suficiente para asimilar este tipo de eventos.

- En lo referente a eventos con períodos de retorno de cinco años, se inician los desbordamientos en puntos muy marcados, por ejemplo:
 - Entre las secciones 4-3 se da al inicio de la sección.
 - Entre las secciones 3-2 se dan desbordamientos al final de la sección.
 - Entre las secciones 2-1 se dan desbordamientos al final de la sección.
 - Entre las secciones 1-0 se dan al inicio de la sección.
- En lo referente a evento con períodos de retorno de diez años, ya se dan desbordamientos significativos en diferentes puntos, los cuales se detallan en el cuadro 4.11:

Cuadro 4.11 Tabla de detalle de desbordamiento en período de retorno de diez años

Sección	Desbordamiento izquierdo (cm)	Desbordamiento derecho (cm)
6	20	80
5	20	20
4	57	87
3	19	9
2	59	36
1	52	50
0	11	8

Fuente: Elaboración propia (2008)

- En lo referente a eventos con períodos de retorno de cincuenta años, ya se dan desbordamientos significativos en todas las secciones, los cuales se detallan en el cuadro 4.12:

Cuadro 4.12 Tabla de detalle de desbordamiento en período de retorno de cincuenta años

Sección	Desbordamiento izquierdo (m)	Desbordamiento derecho (m)
6	1.54	0
5	1.2	1.2
4	2.2	2.5
3	2.16	2.16
2	2	2
1	1.1	1.1
0	0.6	0.6

Fuente: Elaboración propia (2008)

- En lo referente a eventos con períodos de retorno de cien años, ya se dan en algunos sectores mayores desbordamientos significativos en todas las secciones, los cuales se detallan en el cuadro 4.13:

Cuadro 4.13 Tabla de detalle de desbordamiento en período de retorno de cien años

Sección	Desbordamiento izquierdo (m)	Desbordamiento derecho (m)
6	0.5	2
5	3	3
4	Total	3
3	3.7	Total
2	Total	Total
1	1.5	Total
0	Total	0.9

Fuente: Elaboración propia (2008)

- En lo referente a eventos con períodos de retorno de mil años, se dan desbordamientos totales en todas las secciones, éstos no se pueden cuantificar en distancia debido a la falta de datos topográficos, se detalla el desbordamiento por sección en el cuadro 4.14:

Cuadro 4.14 Tabla de detalle de desbordamiento en período de retorno de mil años

Sección	Desbordamiento izquierdo (m)	Desbordamiento derecho (m)
6	2	2
5	Total	Total
4	Total	Total
3	Total	Total
2	Total	Total
1	Total	Total
0	Total	Total

Fuente: Elaboración propia (2008)

Para observar la ubicación de las secciones en el espacio ver apéndice 4.

4.3 Análisis de inundación en la parte baja de la cuenca del río Achiguate

Una vez observados en los diferentes mapas de riesgo de inundación existentes para la cuenca del río Achiguate se procede a calcular el tiempo de respuesta de algunas de las comunidades que tienen mayor riesgo. Para ésta se tomaron cuatro períodos de retorno (2 años, 10 años, 50 años y 100 años) que son los más representativos y de ellos se muestra a continuación el comportamiento de cada sección en los diferentes períodos de retorno y la curva de caudal frente al nivel del agua.

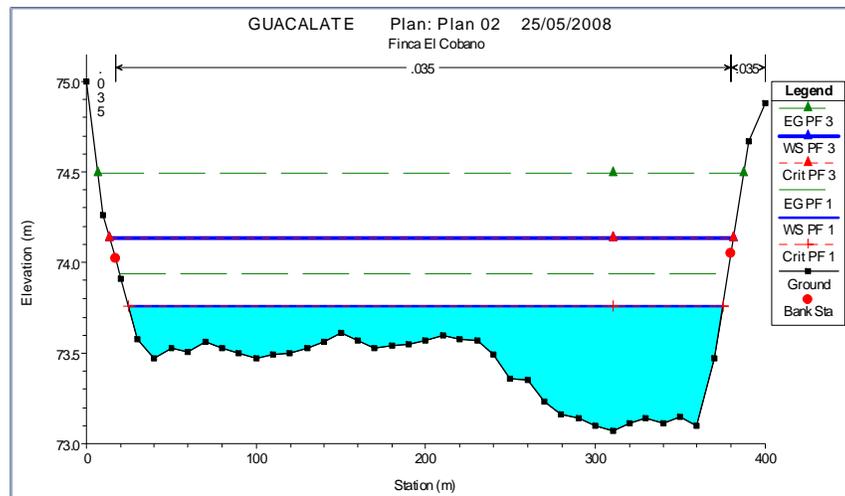


Figura 4.2 Sección 0, finca el Cobano con Tr = 2, 10

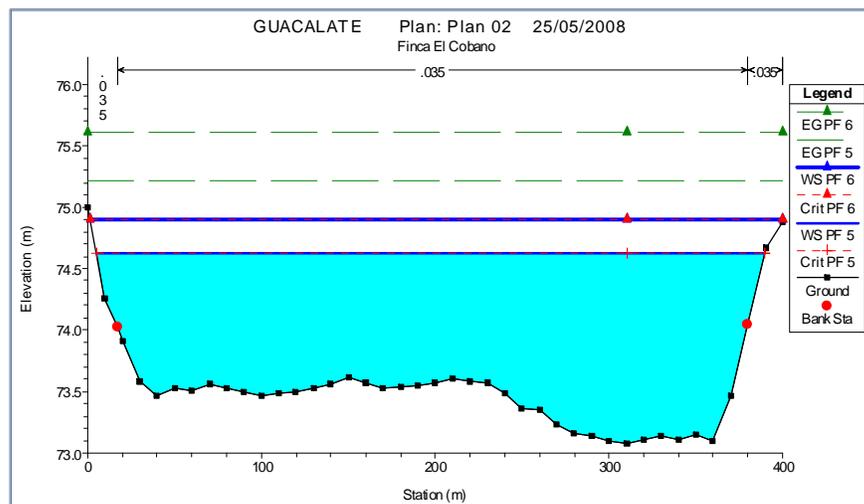


Figura 4.3 Sección 0, finca el Cobano con Tr = 50, 100

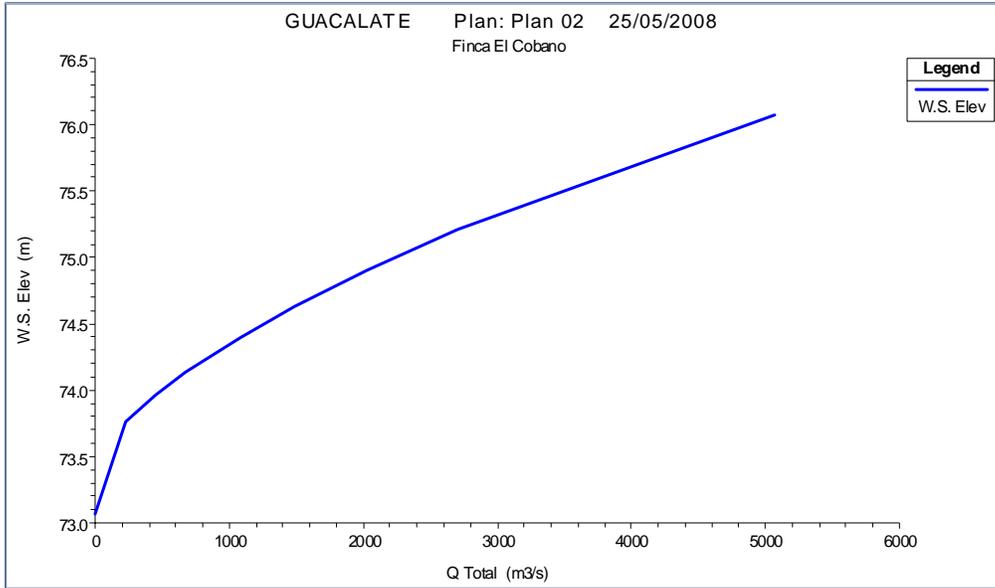


Figura 4.4 Sección 0, curva de caudal contra altura en la finca el Cobano

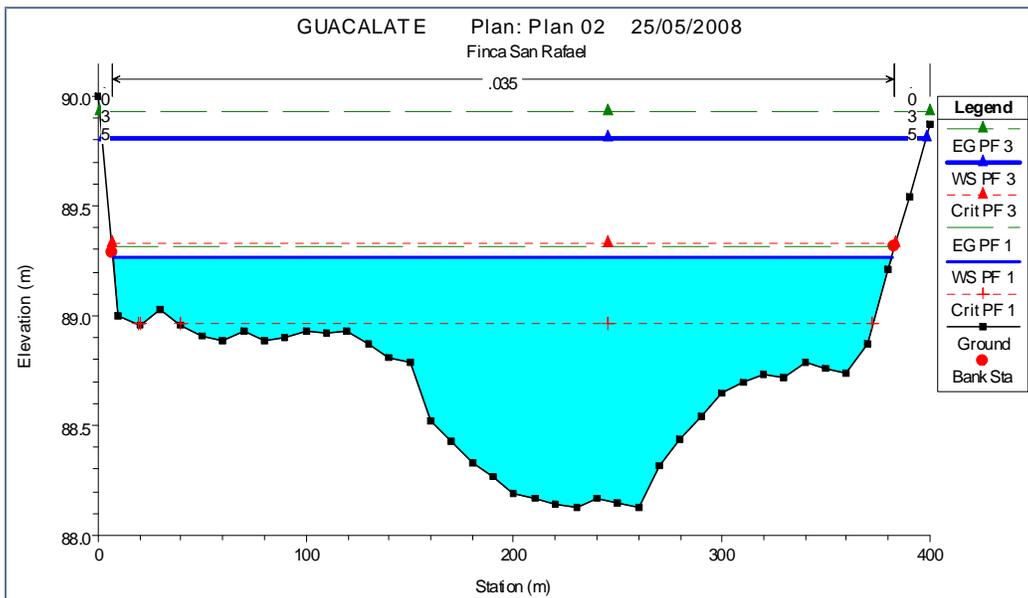


Figura 4.5 Sección 1, finca San Rafael con $Tr = 2, 10$

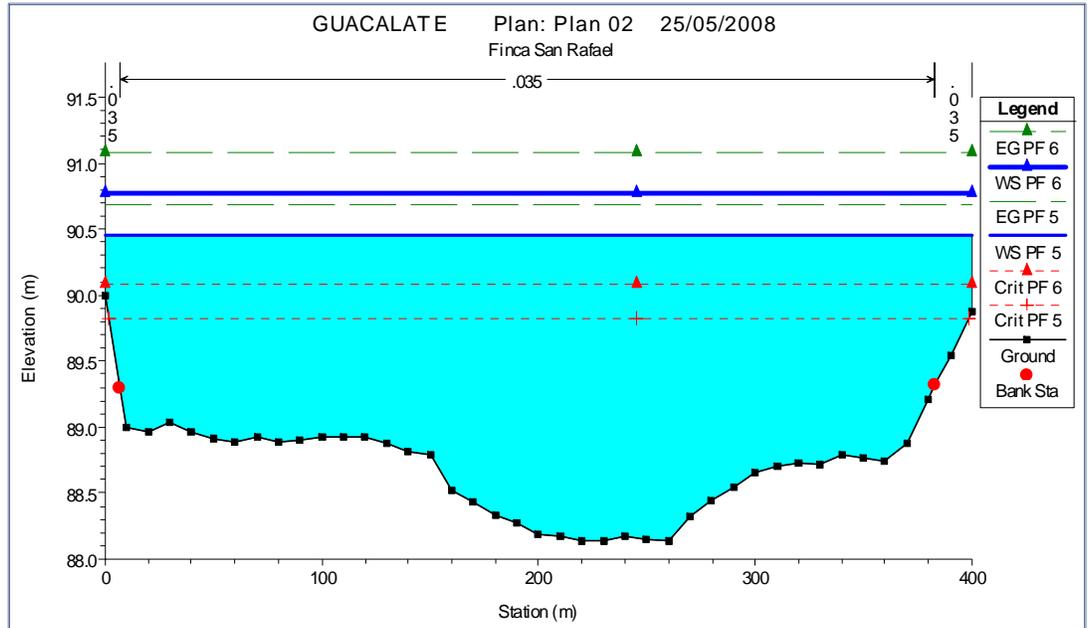


Figura 4.6 Sección 1, finca San Rafael con $Tr = 50, 100$

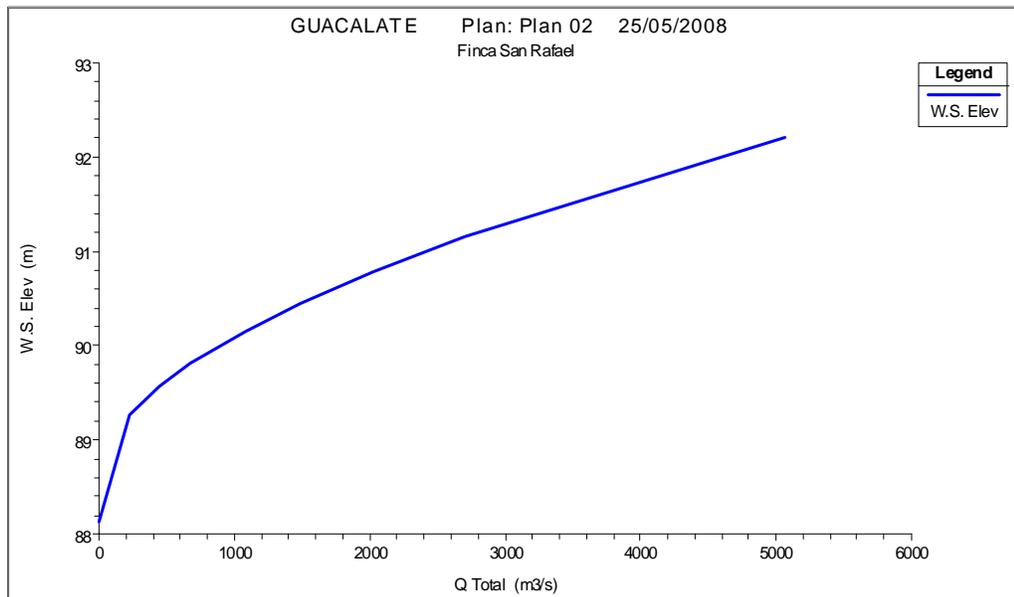


Figura 4.7 Sección 1, curva de caudal contra altura en la finca San Rafael

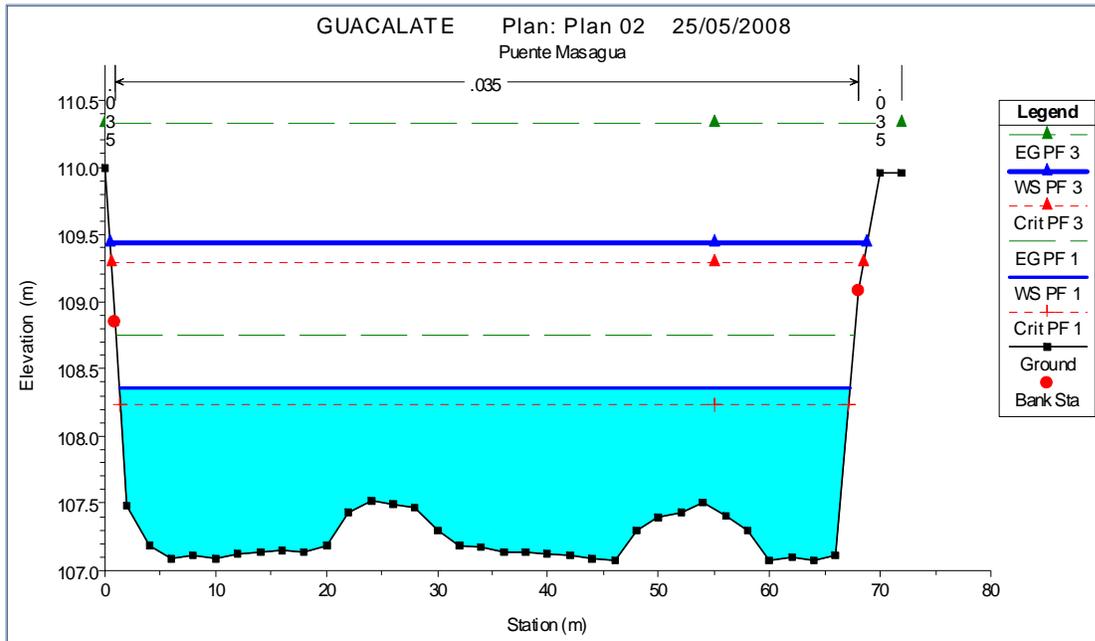


Figura 4.8 Sección 2, puente Masagua con Tr = 2, 10

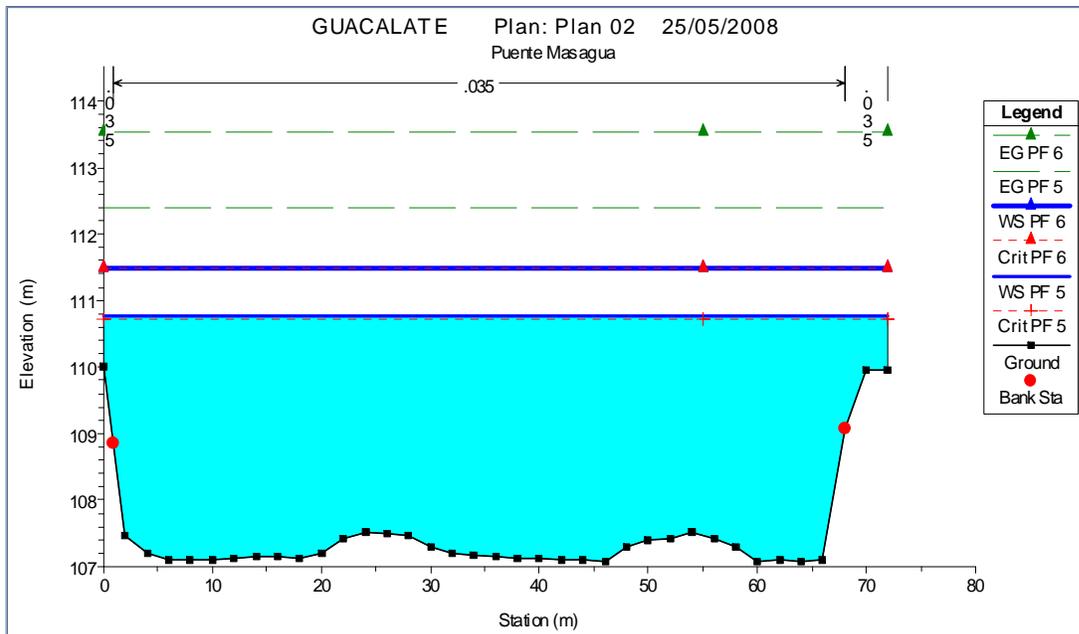


Figura 4.9 Sección 2, puente Masagua con Tr = 50, 100

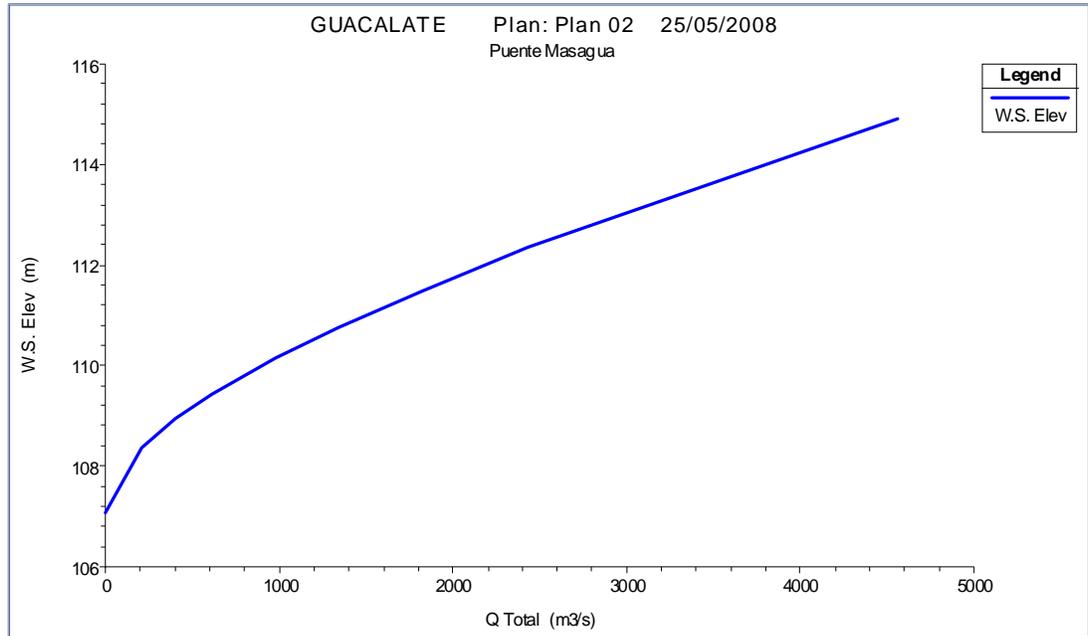


Figura 4.10 Sección 2, curva de caudal contra altura en el puente Masagua

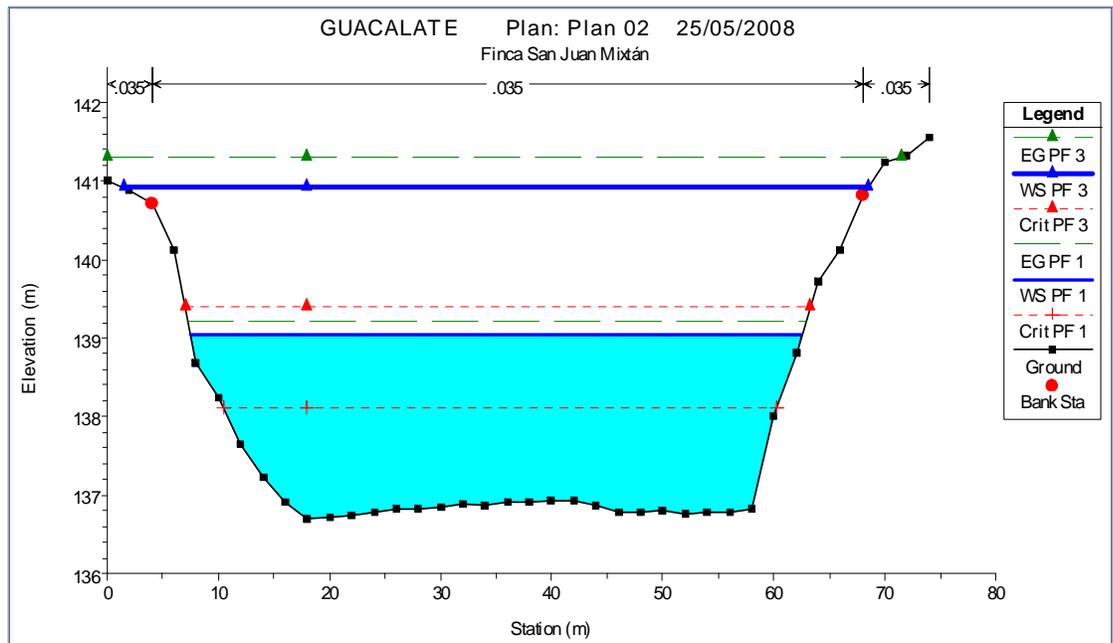


Figura 4.11 Sección 3, finca San Juan Mixtán con $Tr = 2, 10$

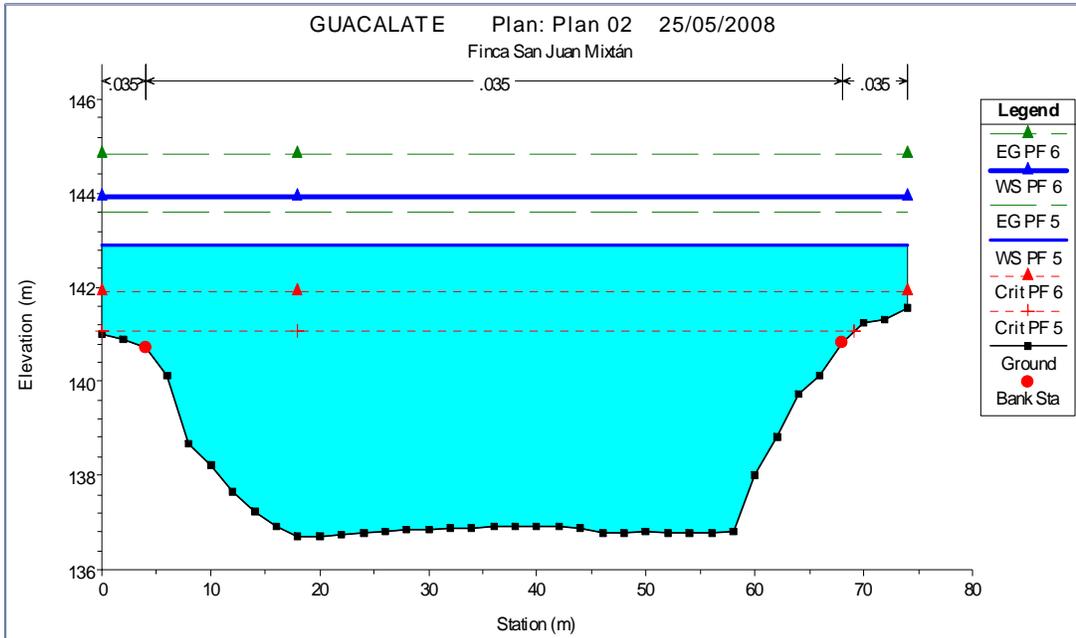


Figura 4.12 Sección 3, finca San Juan Mixtán con $Tr = 50, 100$

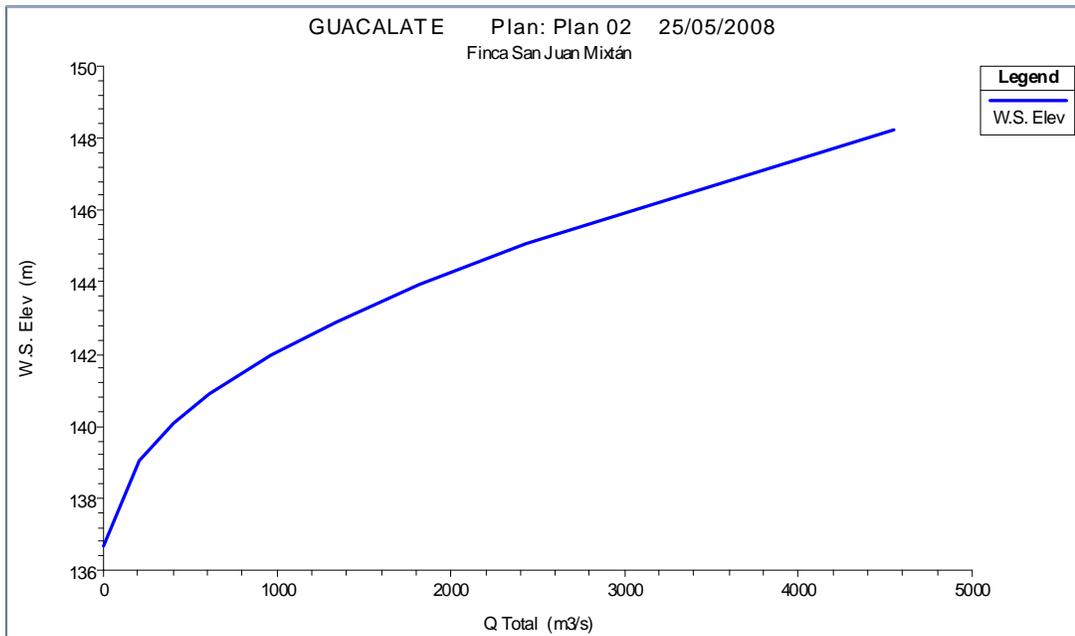


Figura 4.13 Sección 3, curva de caudal contra altura en la finca San Juan Mixtán

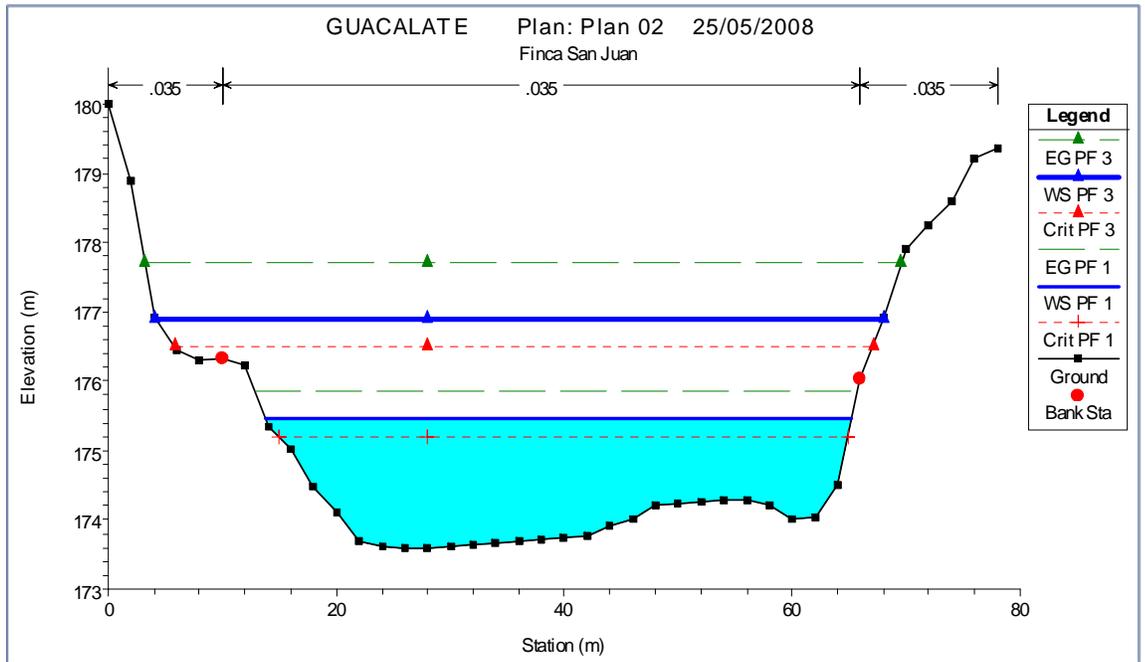


Figura 4.14 Sección 4, finca San Juan con Tr = 2, 10

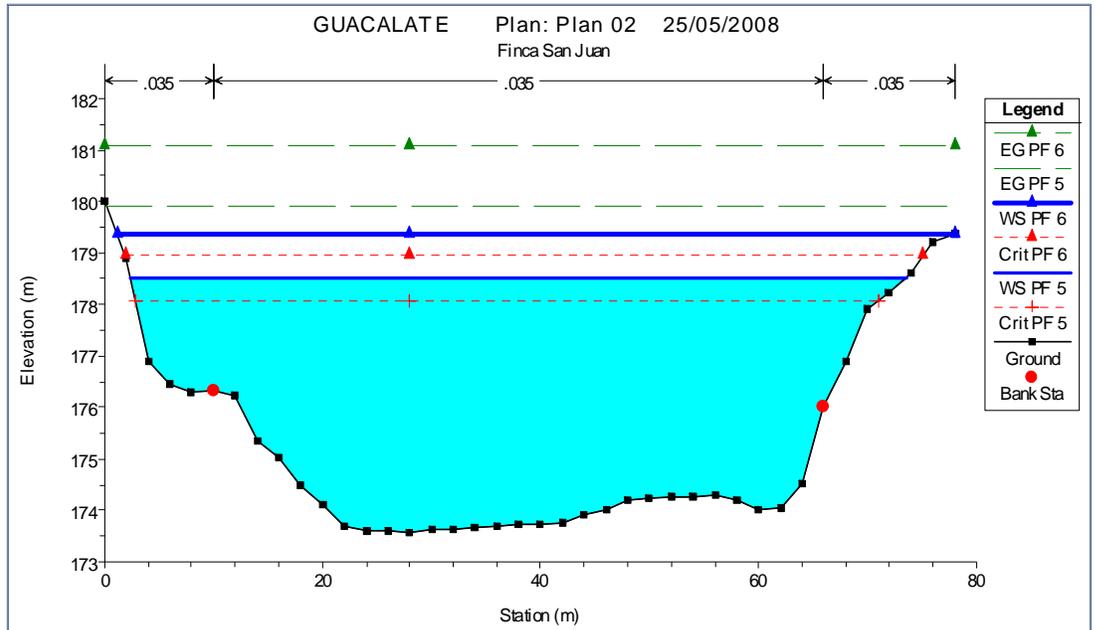


Figura 4.15 Sección 4, finca San Juan con Tr = 50, 100

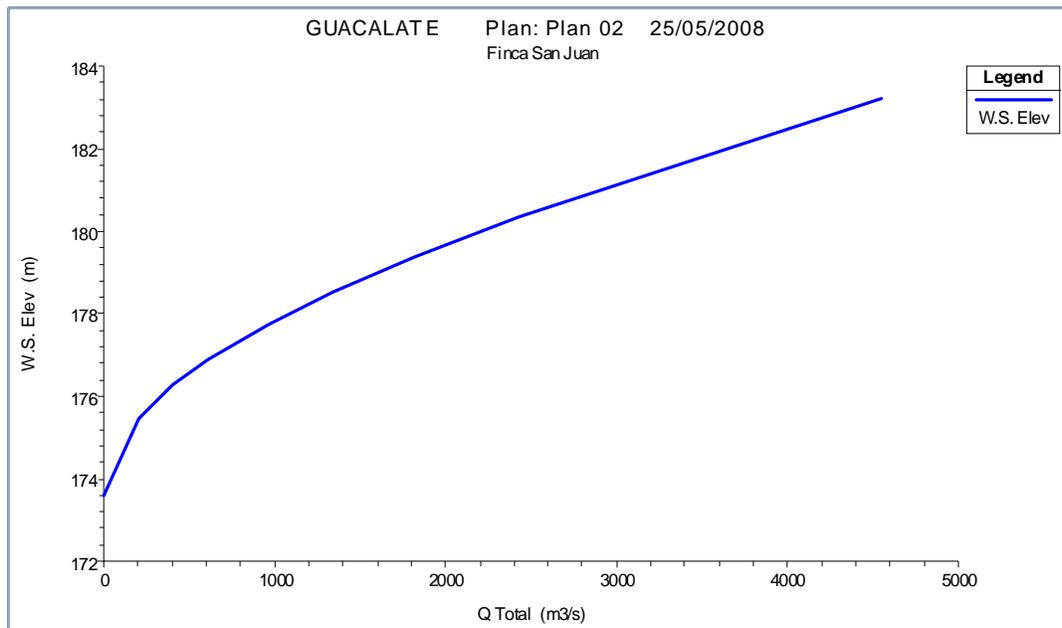


Figura 4.16 Sección 4, curva de caudal contra altura en la finca San Juan

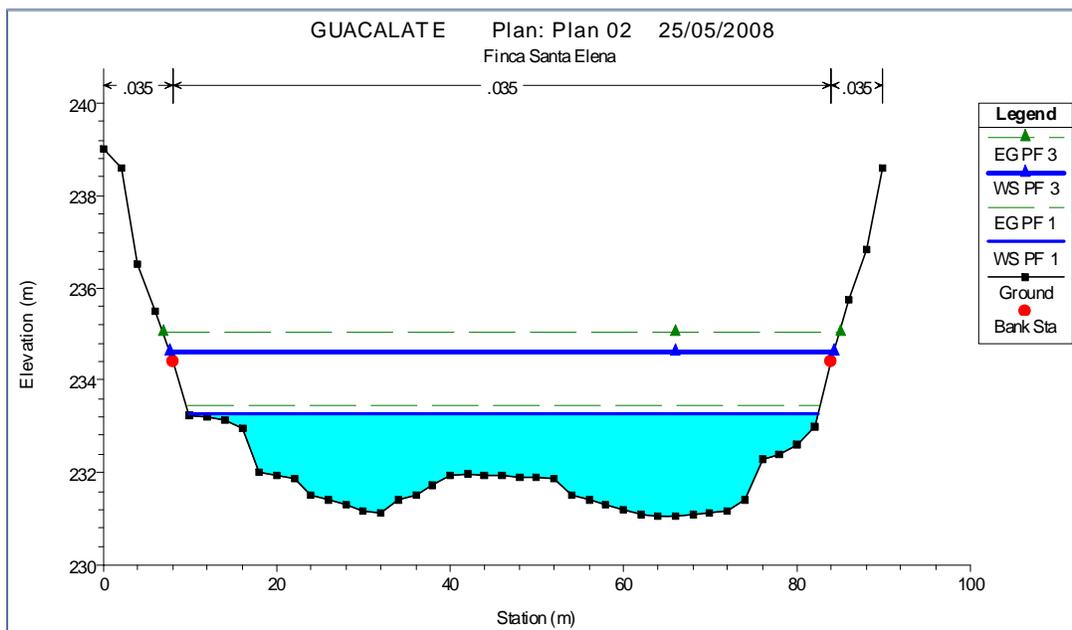


Figura 4.17 Sección 5, finca Santa Elena con $Tr = 2, 10$

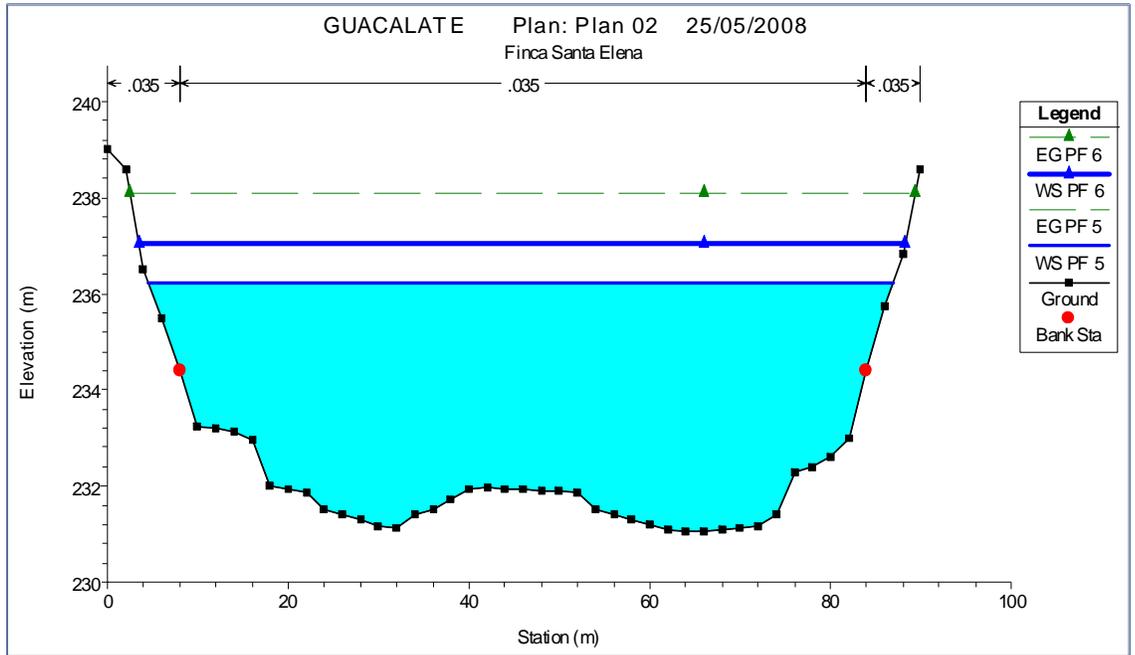


Figura 4.18 Sección 5, finca Santa Elena con $Tr = 50, 100$

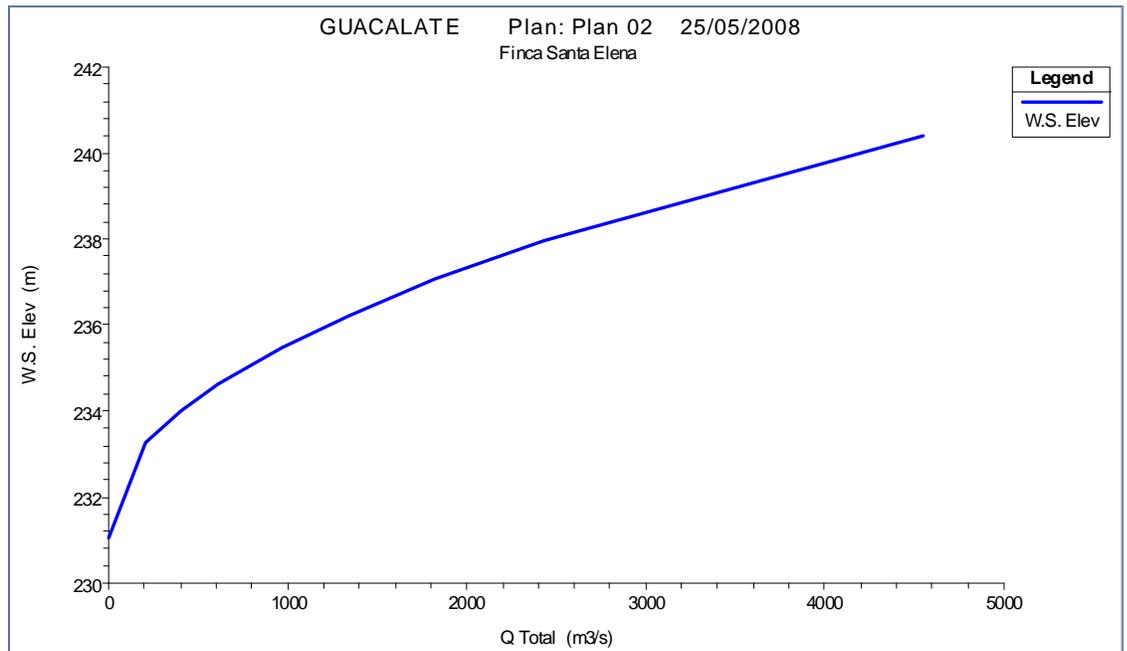


Figura 4.19 Sección 5, curva de caudal contra altura en la finca Santa Elena

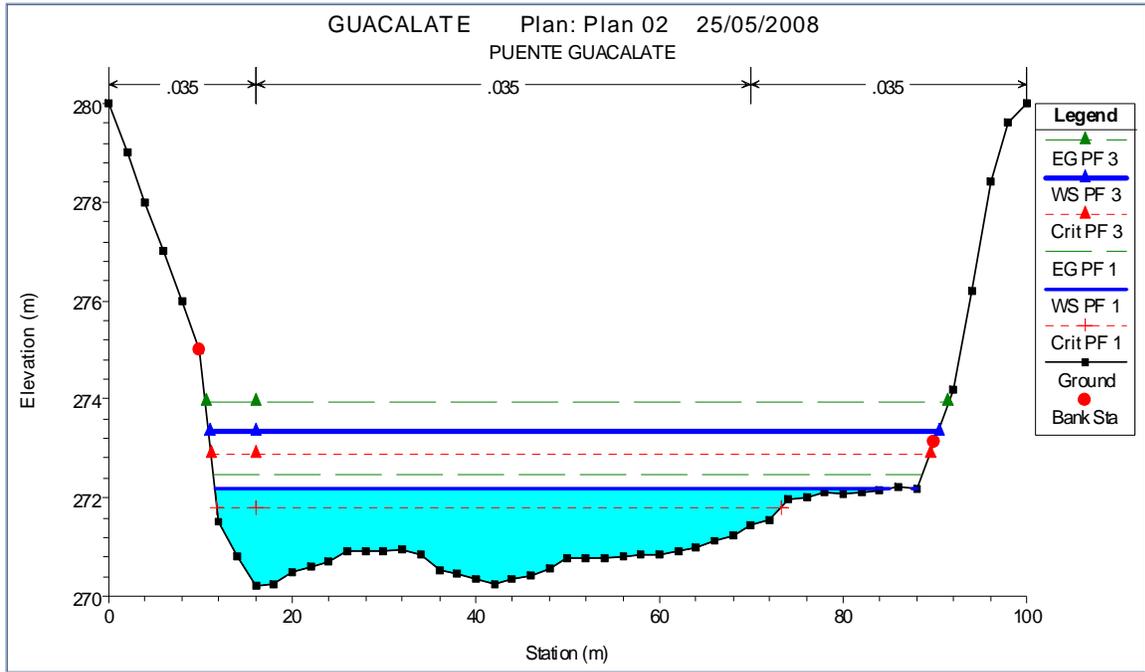


Figura 4.20 Sección 6, puente Guacalate con Tr = 2, 10

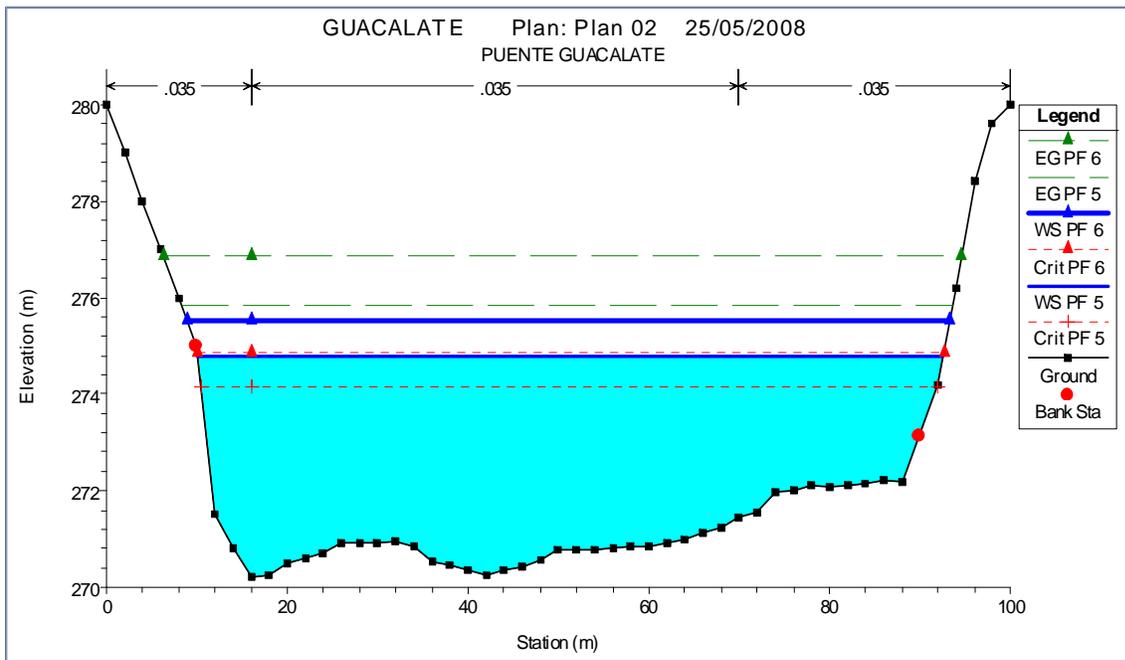


Figura 4.21 Sección 6, puente Guacalate con Tr = 50, 100

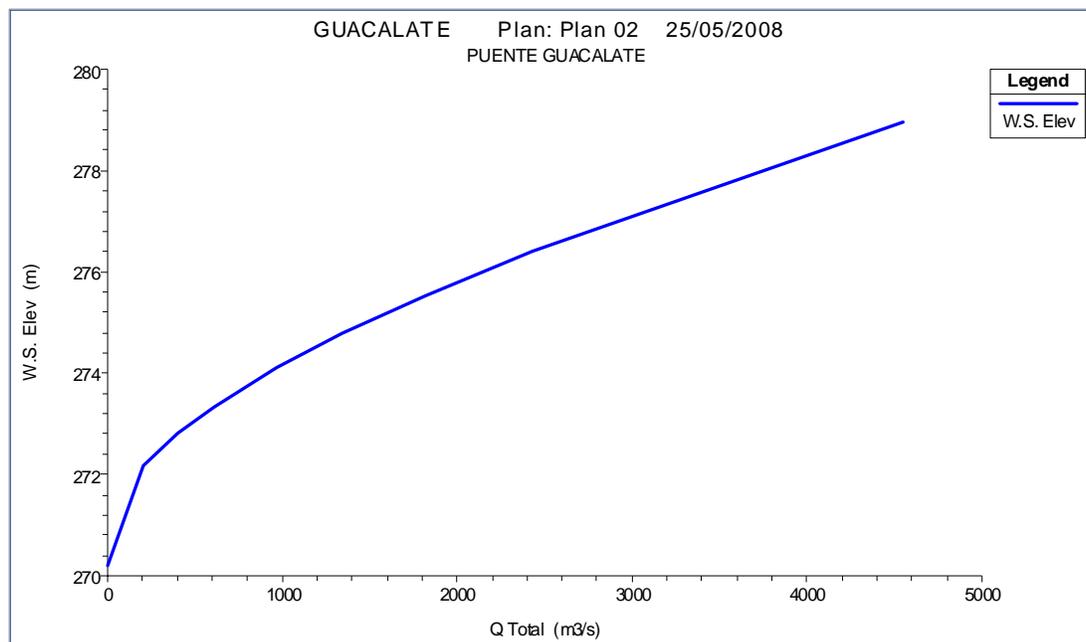


Figura 4.22 Sección 6, curva de caudal contra altura en el puente Guacalate

Al analizar las figuras de la 4.2 a la 4.22 se pueden extraer datos de gran relevancia como lo caudales, altura del agua y tiempo de viaje, en cada una de las secciones, estos valores se muestran a continuación:

Cuadro 4.15 Tabla de detalle de caudal, altura del agua y tiempo de viaje en cada sección para un período de retorno de dos años

Sección	Descripción	Q total (m³/s)	Altura del agua (cm)	Altura del agua (m)	Tiempo de viaje (min)
6	Puente Guacalate	203.33	272.2	2.7	
5	Finca Santa Elena	203.33	233.2	2.3	53
4	Finca San Juan	203.33	175.6	1.8	78
3	Finca SJ Mixtán	203.33	138.9	1.4	83
2	Puente Masagua	203.78	108.4	1.1	80
1	Finca San Rafael	226.46	89.5	0.9	48
0	Finca Cobano	226.46	73.7	0.7	62

Fuente: Elaboración propia (2008)

Nota: La altura del agua se refiere desde el fondo del cauce

Cuadro 4.16 Tabla de detalle de caudal, altura del agua y tiempo de viaje en cada sección para un período de retorno de 10 años

Sección	Descripción	Q total (m ³ /s)	Altura del agua (cm)	Altura del agua (m)	Tiempo de viaje (min)
6	Puente Guacalate	606.82	273.2	2.7	
5	Finca Santa Elena	606.82	234.8	2.3	36
4	Finca San Juan	606.82	176.8	1.8	58
3	Finca SJ Mixtán	606.82	140.8	1.4	63
2	Puente Masagua	608.18	109.3	1.1	55
1	Finca San Rafael	675.86	89.8	0.9	33
0	Finca Cobano	675.86	74.2	0.7	62

Fuente: Elaboración propia (2008)

Nota: La altura del agua se refiere desde el fondo del cauce

Cuadro 4.17 Tabla de detalle de caudal, altura del agua y tiempo de viaje en cada sección para un período de retorno de 50 años

Sección	Descripción	Q total (m ³ /s)	Altura del agua (cm)	Altura del agua (m)	Tiempo de viaje (min)
6	Puente Guacalate	1338.44	274.9	2.7	
5	Finca Santa Elena	1338.44	236	2.4	27
4	Finca San Juan	1338.44	178.4	1.8	45
3	Finca SJ Mixtán	1338.44	142.8	1.4	49
2	Puente Masagua	1341.44	110.5	1.1	40
1	Finca San Rafael	1490.73	90.6	0.9	24
0	Finca Cobano	1490.73	74.7	0.7	53

Fuente: Elaboración propia (2008)

Nota: La altura del agua se refiere desde el fondo del cauce

Cuadro 4.18 Tabla de detalle de caudal, altura del agua y tiempo de viaje en cada sección para un período de retorno de 100 años

Sección	Descripción	Q total (m ³ /s)	Altura del agua (cm)	Altura del agua (m)	Tiempo de viaje (min)
6	Puente Guacalate	1816.21	275.6	2.8	
5	Finca Santa Elena	1816.21	236.9	2.4	24
4	Finca San Juan	1816.21	179.3	1.8	41
3	Finca SJ Mixtán	1816.21	143.6	1.4	44
2	Puente Masagua	1820.28	111.2	1.1	36
1	Finca San Rafael	2022.85	90.8	0.9	22
0	Finca Cobano	2022.85	74.9	0.7	49

Fuente: Elaboración propia (2008)

Nota: La altura del agua se refiere desde el fondo del cauce

Analizados los cuadros 4.15, 4.16, 4.17 y 4.18 se pueden conocer para cada uno de los diferentes períodos de retorno, los tiempos de repuesta esperados en la parte baja de la cuenca, sin embargo, se debe hacer notar que estos valores son preliminares y válidos si prevalecen las condiciones existentes en la cuenca, especialmente; en lo referente a las condiciones hidráulicas.

A continuación se muestra un detalle del tiempo de viaje a las principales localidades con problemas de inundación, tomando como nivel de referencia, el puente sobre el río Guacalate, este tiempo de viaje, brinda una idea del tiempo de respuesta que debe tener cada una de las comunidades.

Durante un período de retorno de dos años, tal como se observa no deberían de ocurrir inundaciones, puesto que las secciones tienen la capacidad de absorber ese caudal. Por otra parte, en períodos de retorno de 10 años, 50 años y 100 años, cuando el nivel del agua en el puente sobre el río Guacalate sea igual o superior a 2,70 metros; tomado desde el fondo del cauce, se tomarán en cuenta los tiempos indicados en el cuadro 4.15, que serán los que cada una de las comunidades tendrán para ser evacuadas. Por otra parte, si se toma como nivel de referencia el puente sobre el río Masagua el nivel que se debe tomar es de 1,10 metros tomado desde el fondo del cauce y los tiempos son los indicados en el cuadro 4.20.

Cuadro 4.19 Tabla de detalle de tiempos para respuesta en cada una de las localidades en mayor riesgo, tomando en cuenta que el nivel se encuentre en el puente del río Guacalate

Período de retorno	10 años	50 años	100 años
Lugar	Tiempo de viaje (horas)	Tiempo de viaje (horas)	Tiempo de viaje (horas)
Cuyuta y el Pilar	1.58	1.20	1.08
Masagua y Milagro	3.54	2.70	2.41
Obero y Peñate	5.13	3.99	3.59

Fuente: Elaboración propia (2008)

Cuadro 4.20 Tabla de detalle de tiempos para respuesta en cada una de las localidades en mayor riesgo, tomando en cuenta que el nivel se encuentre en el puente del río Masagua.

Período de retorno	10 años	50 años	100 años
Lugar	Tiempo de viaje (horas)	Tiempo de viaje (horas)	Tiempo de viaje (horas)
Cuyuta y el Pilar	Inundado	Inundado	Inundado
Masagua y Milagro	Inundado	Inundado	Inundado
Obero y Peñate	1.59	1.29	1.18

Fuente: Elaboración propia (2008)

Tal como se puede observar; es más apropiado emplear como nivel de referencia el puente sobre el río Guacalate ya que en éste se tiene cubierto un mayor número de comunidades que se encuentran vulnerables.

4.4 Descripción y análisis del ciclón tropical Stan

4.4.1 Antecedentes

El perfil ambiental de Guatemala (2006), se indicó que durante el paso del ciclón tropical Stan, las zonas bajas se vieron expuestas a inundaciones, en la mayor parte de la costa del océano Pacífico; por otra parte; las tierras altas y las zonas de transición fueron afectadas por deslaves y derrumbes. Sin embargo, es evidente que la mayor parte de estos problemas son consecuencia de la deforestación, sobreexplotación, saturación del suelo, disposición de desechos sólidos, aunadas a la pobreza, que fueron las principales causas que dieron origen a los deslaves tras las intensas lluvias ocasionadas por Stan, agravando la fragilidad de los ecosistemas y elevando el riesgo ante este tipo de eventos.

Por otra parte; indica Medina (2007), las lluvias en el litoral del Pacífico tuvieron intensidades que oscilaron entre 400 y 650 mm, superando las cantidades que se dieron durante el ciclón tropical Mitch.

La severa condición lluviosa asociada al ciclón tropical Stan, puede considerarse de gran interés porque se trató de un ciclón tropical que apenas alcanzó la categoría uno en la escala Zafiro-Simpson y nos enseñó que; en todos los casos; se debe preparar a las comunidades para que estén preparadas a lo que se enfrentarán, sin importar la categoría indicada para el evento, con el paso de Stan no sólo se aprendió esta lección sino que se marcó una nueva etapa en el ámbito de las emergencias.

4.4.2 Características

- El huracán Stan fue la tormenta número veinte del año 2005.
- Se dio recién terminaba el huracán Rita.
- Fue probablemente la tormenta más activa desde que se llevaban los registros.

El cuadro 4.20 es generado a partir de los reportes emitidos por el Centro Nacional de Huracanes, el cual muestra algunos puntos relevantes de las posiciones por las que fue pasando Stan durante su ciclo de vida:

Cuadro 4.21 Información relevante del ciclón tropical Stan

Fecha	Hora*	Latitud	Longitud	Categoría	Velocidad viento (km/h)	Presión atmosférica (mb)
		Norte	Oeste			
01-Oct-05	12:00	19.20	85.50	Depresión tropical DT	46	1 007
	15:00	19.30	85.50	Depresión tropical DT	45	1 007
02-Oct-05	06:00	19.50	87.30	Depresión tropical DT	55	1 004
	09:00	19.60	87.50	Tormenta tropical TT	75	1 003
03-Oct-05	09:00	20.50	91.50	Tormenta tropical TT	65	1 002
	21:00	20.00	92.60	Tormenta tropical TT	95	995
04-Oct-05	03:00	19.90	93.40	Tormenta tropical TT	100	990
	09:00	18.80	94.40	Huracán categoría 1	120	982
	15:00	18.60	95.10	Huracán categoría 1	130	979
	18:00	18.00	95.50	Degradado a TT	105	988
05-Oct-05	09:00	16.90	97.30	Degradado a TT	45	1 006

Fuente: Centro Nacional de Huracanes citado por Sánchez (2007).

*La hora GMT es la hora del meridiano de Greenwich. Los reportes meteorológicos usan esa hora como referencia pero la indican como la hora Z. Para obtener la hora local de Guatemala se le restan seis horas.

Del cuadro anterior, se puede concluir que la vida del ciclón tropical Stan no fue de larga duración, su categoría no fue más que uno, los vientos alcanzados no fueron extremos y los valores de presión atmosférica llegaron a un máximo de 1 007 mb. El día 5 fue degradado a tormenta tropical, y éste fue el día que se registró mayor intensidad de lluvias en la cuenca del río Achiguate.

4.4.3 Efectos

Guatemala fue impactada por el ciclón tropical Stan que afectó los sectores sociales y las condiciones de vida de los grupos poblacionales, productivos y étnicos más vulnerables.

En la parte social; al unirse a las vulnerabilidades existentes en el territorio; se determinó la necesidad de reducir el riesgo de las comunidades afectadas, restituir su capacidad de producción y tener ingresos, vincularlos a los mercados, a los circuitos productivos y a mejorar su inserción social y productiva (CEPAL & SEGEPLAN, 2005).

Por otra parte en lo referente a la pérdida de suelo, según lo datos obtenidos por Medina (2007), se estima que en promedio se dio una pérdida de 12,45 toneladas/hectárea y analizando solo el 80% de zonas de ladera, la pérdida de suelo es de 719 000 hectáreas, que arroja un total de 9 027 483 toneladas de suelo, cuyo valor económico de uso equivalente es de 308,70 millones de quetzales.

4.4.4 Comportamiento de la lluvia

El estado del tiempo que se presentó en el territorio nacional en los primeros días del mes de octubre del año 2005, fue causado por la presencia de varios sistemas meteorológicos entre los que se deben destacar:

- La formación y evolución del ciclón tropical Stan en el mar Caribe y golfo de México.
- La posición latitudinal de la zona de convergencia intertropical, cercana a las costas del Pacífico guatemalteco asociado a un sistema fuerte de baja presión.
- La persistencia en baja atmósfera de flujo de viento del sur y suroeste penetrando desde el océano Pacífico.

Los fenómenos indicados favorecieron la abundante humedad que; al unirse con el relieve guatemalteco, contribuyó a la formación de lluvias continuas a partir del 1 de octubre, especialmente en la costa sur del país, aunque con valores acumulados mayores en el suroriente y centro del Pacífico.

Desde el día 3 de octubre; en las primeras horas de la mañana; se iniciaron las condiciones de lluvia y/o llovizna intermitente en los altiplanos central y occidental del país, estas condiciones se mantuvieron inclusive hasta el 10 de octubre; por lo que los acumulados de lluvia, durante el período fueron elevados, desde el sur de la meseta central hacia la costa sur las isóneas de lluvia acumulada en 10 días son mayores a los 350 mm, con valores extremos más hacia el occidente del país (INSIVUMEH, 2005).

Las estimaciones dadas por el INSIVUMEH (2005), en ciudad Tecún Umán; registraron durante el 1 al 10 de octubre del año 2005, un total de 968,20 mm, mientras que en la estación climática Sabana Grande, se registraron un total de 441,20 mm de lluvia, aproximadamente. Por otra parte; en los registros históricos de las bandas de pluviógrafo (pluviograma), los primeros tres días de octubre fueron de relativamente baja precipitación, registrándose 20,00 mm, 1,40 mm y 34,10 mm respectivamente, no obstante, el cuarto día se dio un incremento en precipitación donde se registraron 125,70 mm de lluvia, alcanzando su máximo valor el quinto día con 156,70 mm, mermando a partir del sexto día con 16,90 mm. En la figura 4.23, se muestra el comportamiento de la lluvia en dicha estación durante los primeros diez días del mes de octubre del año 2005:

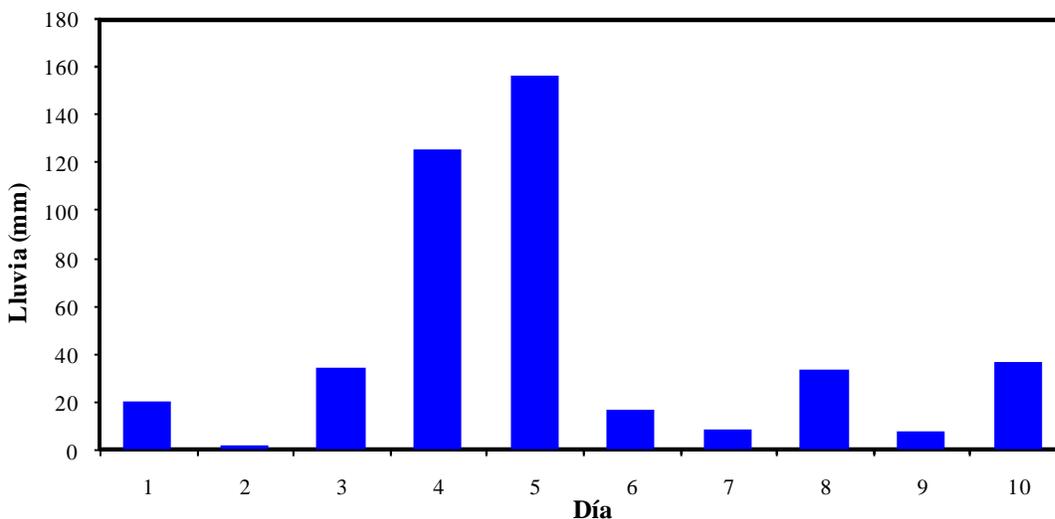


Figura 4.23 Lluvia diaria durante el ciclón tropical Stan del 1 al 10 de octubre del año 2005, en la estación climática Sabana Grande

Visiblemente los días de mayor concentración de lluvia fueron el 4 y 5 de octubre, donde se precipitó un total de 282,40 mm.

A continuación se muestra el hietograma con intervalos de 60 y 15 minutos para los días 4 y 5 de octubre del año 2005, en la estación climática Sabana Grande, ver figuras 4.24 y 4.25 respectivamente). Durante estos dos días fue donde se da la mayor acumulación de lluvia. Se acumularon un total de 28,40 mm de lluvia, siendo aproximadamente el 64,01% del total que precipitó del 01 al 10 del mismo mes. Los eventos de precipitación en estos días fueron los que se provocaron las crecidas del río Achiguatay y, posteriormente, las inundaciones.

El evento tuvo una repercusión importante en la cuenca, debido a que antes los suelos ya habían recibido la lluvia normal de la época, por lo que se encontraban saturados.

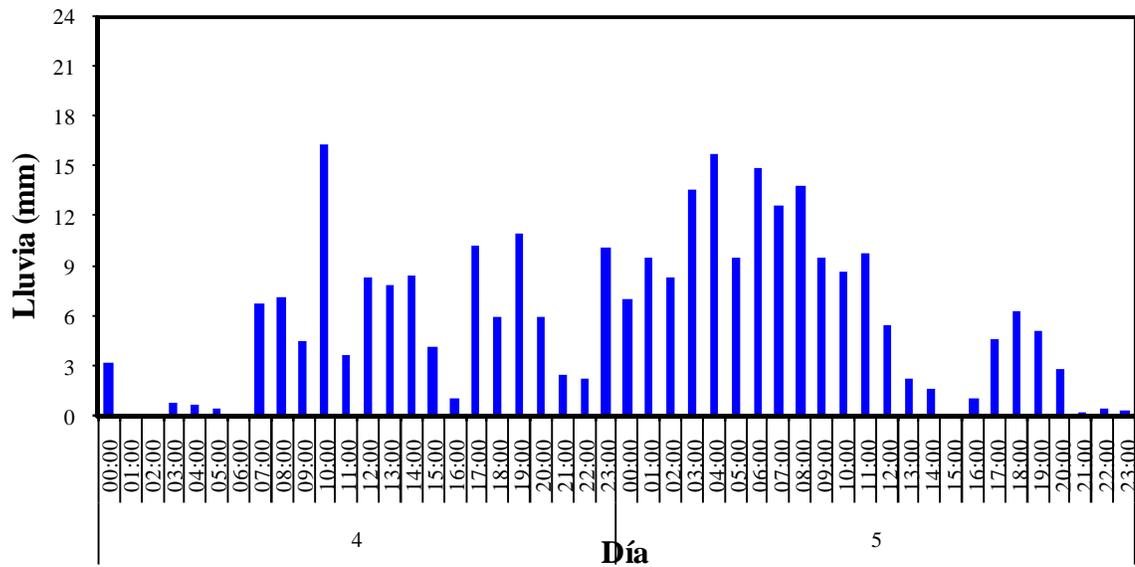


Figura 4.24 Hietograma con intervalos de 60 minutos los días 4 y 5 de octubre del año 2005, en la estación climática Sabana Grande

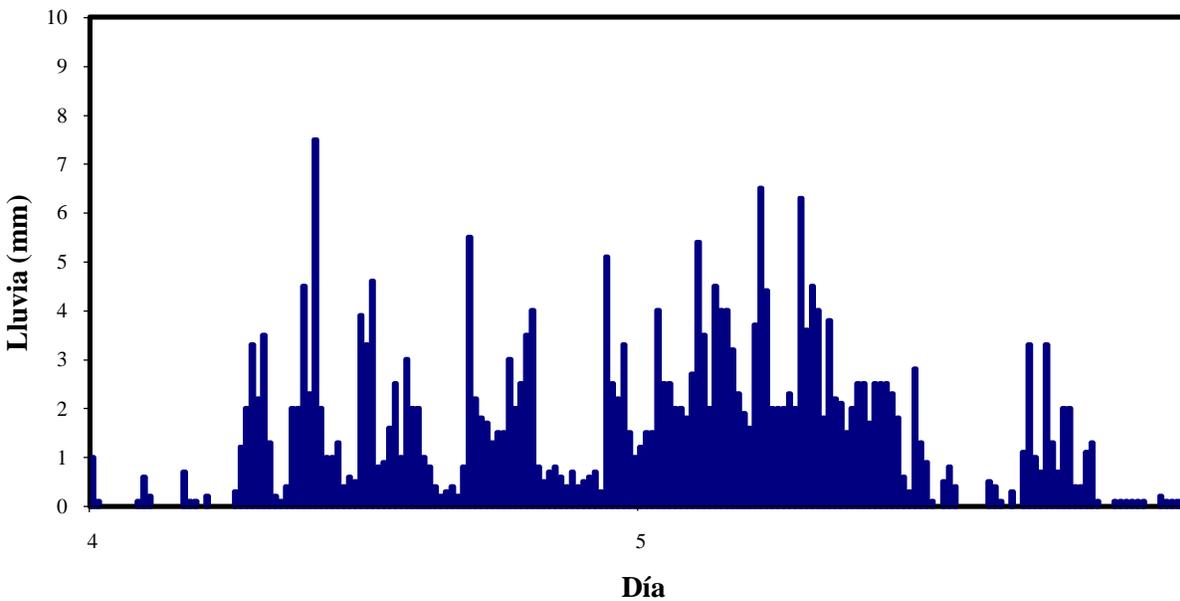


Figura 4.25 Hietograma con intervalos de 15 minutos los días 4 y 5 de octubre del año 2005, en la estación climática Sabana Grande

Es importante hacer notar que; debido a la humedad prevaeciente en el terreno, la saturación del mismo debió haber sido muy alta o total, por lo tanto, el terreno no infiltraba, o infiltraba una porción de la lluvia muy pequeña y provocaba, entonces, un escurrimiento total sobre el terreno que dio origen a las inundaciones.

Se debe resaltar el hecho de que éste es uno de los eventos de mayor trascendencia que se dio durante los años de estudio que incluye este trabajo y, por lo tanto, debe ser analizado para observar la trascendencia del mismo. Este evento al ser analizado; da como parámetro importante que el mismo tiene un período de retorno de 13,4 años, calculados por medio de la distribución de frecuencia Log Gumbel ML, que es en la que los datos mejor se ajustan.

Sin embargo, se debe hacer notar que; según el estudio regional de crecidas realizado por Fuentes (2008), el período de retorno para este tipo de eventos es de 28 años.

La diferencia entre los períodos de retorno puede reducirse si se toma en cuenta no solo el día de mayor precipitación, sino que se toma en cuenta que antes de darse este evento existieron eventos de menor magnitud que saturaron los terrenos; por lo que el período de retorno de este evento, precedido de eventos de magnitudes inferiores pero que provoquen saturación en el terreno; es similar al encontrado por Fuentes (2008).

CAPÍTULO 5

Propuesta del sistema de alerta temprana

5.1 Antecedentes

Para determinar el origen de los sistemas de alerta temprana es importante considerar que a; partir de la década de los noventa; la visión a nivel mundial tuvo un giro que cambió la concepción de las emergencias al empezar a manejarlas desde antes de su inicio, a partir de este momento se le da origen a los SAT. En la figura 5.1 se observa la evolución de las emergencias.

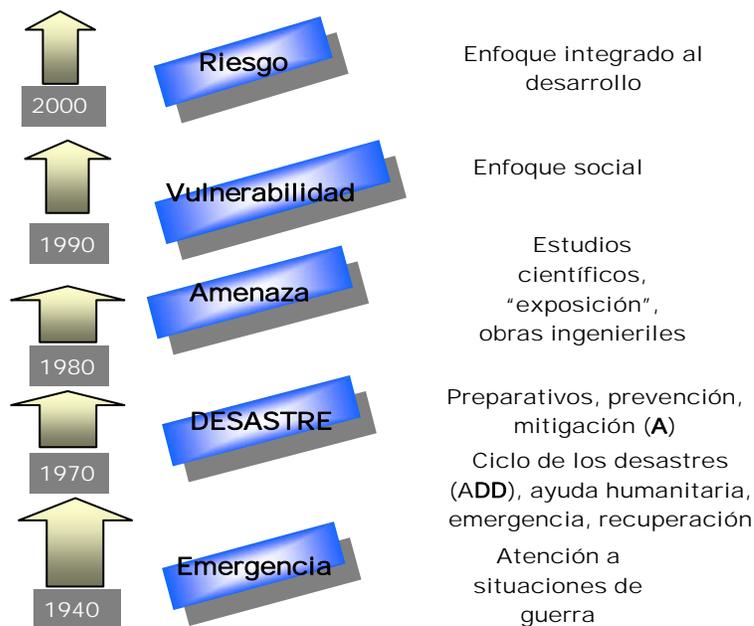


Figura 5.1 Evolución de las emergencias

Es, por tanto, que durante los años 1995 y 1996, se genera el primer perfil de proyecto de reducción de riesgo de inundación, erosión y sedimentación de diferentes cuencas (Achiguate, Coyolate, María Linda y Madre Vieja), es decir, se concibe el primer sistema de alerta temprana. Sin embargo, una de las razones por las cuales se eligen estas cuatro cuencas de la totalidad de cuencas hidrográficas de Guatemala es que el departamento de Escuintla representa el 42% de la zona inundable y es; a su vez; una de las áreas más productivas del país.

Por otra parte; los principales componentes que acompañan la concepción de los sistemas de alerta temprana son:

- Análisis, monitoreo y pronóstico de inundaciones: en este punto se deben recopilar todos los datos históricos relacionados con los fenómenos que pueden originar desastres en las cuencas que se encuentran en estudio.
- Sistemas de reducción de desastres: se establecen pronósticos, modelos de las zonas críticas de riesgo con la finalidad de determinar la tendencia de las inundaciones, erosión y sedimentación.
- Diseño y desarrollo de campaña de divulgación para reducción de desastres: se debe dar una campaña por medio de la cual se sensibilice a la comunidad para que actúe adecuadamente antes, durante y posterior a un desastre.

5.2 Estudio de caso

En Guatemala existen diferentes instituciones que implementan y operan los SATs, las mismas son:

CONRED

INSIVUMEH

ONGs

De acuerdo con lo información recopilada en Guatemala los SATs son:

5.2.1 SATs a nivel nacional

Sistema Nacional de Alerta operado por CONRED

5.2.2 SAT comunitarios

Cuadro 5.1 Detalle de SAT Comunitarios

Departamento	Cuenca	Región	Inicio de operaciones
Retalhuleu	Samalá	Costa Sur	1999
Suchitepéquez	Madre Vieja	Costa Sur	2003
Escuintla	Coyolate	Costa Sur	1997
Escuintla	Achiguate	Costa Sur	2000
Escuintla	María Linda	Costa Sur	2000
Baja Verapaz	Polochic	Costa Caribe	2000
Izabal	Motagua	Costa Caribe	2000
Quiché	Chixoy	Altiplano	2002

Fuente: CONRED

5.2.3 Descripción de los SATs operados en Guatemala

Se operan de dos diferentes maneras que son:

Los sistemas comunitarios donde la comunidad realiza prácticamente todas las actividades, desde la vigilancia de los fenómenos hasta la respuesta; una vez que se manifiestan.

Los sistemas centralizados, donde el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, INSIVUMEH, realiza las actividades de vigilancia de los fenómenos y procede a informar a la Coordinadora Nacional de Reducción de Desastres, CONRED y a la población sobre los posibles fenómenos, de tal manera que CONRED coordina la respuesta de manera intersectorial e interinstitucional, haciendo uso del sistema de coordinadoras regionales, departamentales, municipales y locales. Estos sistemas se aplican para el caso de inundaciones y fenómenos de dimensión nacional como los huracanes y las erupciones.

En particular, el enfoque en el país con respecto a la alerta temprana se ha volcado hacia las inundaciones que se manifiestan en las planicies de inundación. Como en muchos países del hemisferio, en Guatemala se manifiestan desbordamientos de ríos cuando las precipitaciones exceden ciertos valores de intensidad y de acumulación, esto ocasiona inundaciones que afectan, por lo general; a pequeñas poblaciones de escasos recursos, así como tierras destinadas a la agricultura y vías de acceso.

A pesar de que el gobierno mantiene un programa de construcción de bordas para minimizar la amenaza de inundaciones, no se ha logrado completar una protección para todas las cuencas del país, por lo cual CONRED ha dirigido mucho de su esfuerzo hacia la implementación de sistemas de alerta temprana en cuencas que vierten hacia el Pacífico, hacia el Caribe y en un afluente del río Usumacinta que vierte sus aguas hacia el golfo de México.

5.2.4 Sistema Nacional de Alerta Temprana

En Guatemala existe la figura de un Sistema Nacional de Alerta, el cual es operado por CONRED durante eventos extremos de cualquier índole, ya sea de tipo natural o antropogénico y en él participan múltiples instituciones estatales de diversos sectores. En este sistema; el INSIVUMEH realiza la vigilancia de los fenómenos naturales mediante instrumentación típica (redes hidrometeorológicas, sísmicas, etc), así como información que le es suplida por diversas instituciones mundiales como la Organización Meteorológica Mundial, NOAA, USGS y otras. Los pronósticos generados por esta institución son enviados a CONRED y divulgados a los medios de televisión, radio y prensa.

De manera similar, CONRED emite alertas; en caso de ser necesario; mediante boletines emitidos en conferencias de prensa, para lo cual convoca a todos los medios masivos (prensa, radio y televisión). En los últimos años se ha convocado al sistema para los siguientes episodios:

Huracán Iris

Huracán Michelle

Huracán Isidora

5.2.5 Sistemas de difusión usados por los SATs

5.2.5.1 Sistema nacional de alerta

En el caso del Sistema Nacional de Alerta operado por CONRED, la difusión se hace mediante conferencias de prensa y la emisión de boletines informativos. El COE interinstitucional se activa ante la presencia de un evento que ponga en peligro a la población en varios departamentos simultáneamente o a nivel nacional. Su poder de convocatoria es adecuado y se cuenta con los recursos necesarios para llevar a cabo las actividades de divulgación. La activación de alertas sigue el formato de alerta verde, amarilla, naranja y roja, dependiendo del estado del fenómeno o evento y la difusión se hace por parte del CONRED.

5.2.5.2 Sistemas comunitarios de alerta temprana por inundaciones

En este tipo de sistemas se utilizan campanas, sirenas, altoparlantes y divulgación de vecino a vecino para informar sobre posibles inundaciones. Sin embargo, todavía no se hace uso de medios locales de radio porque no se ha encontrado estrategias para involucrarlos y se teme que dichos medios puedan sobredimensionar los fenómenos para atraer la atención de la audiencia.

Por otra parte, como en muchos países de América Central y del Caribe, se debe analizar con detalle el involucramiento de canales de televisión en los sistemas comunitarios operados en pequeñas cuencas; debido a que dichos canales tienen cobertura nacional.

5.2.6 INVOLUCRAMIENTO DE AUTORIDADES MUNICIPALES

El involucramiento de autoridades municipales en los SATs es limitado y; generalmente; se manifiesta en aquellos casos en los cuales ya se ha presentado la inundación. La mayoría de autoridades municipales conoce de los sistemas, pero mantiene un perfil bajo de participación en las etapas que preceden a las inundaciones.

5.2.7 INVOLUCRAMIENTO DE OTRAS INSTITUCIONES

El Sistema Nacional de Alerta cuenta con la participación de múltiples instituciones estatales como ministerios. Es de esperarse que las instituciones apoyen en las alertas, aunque la convocatoria y movilización de medios masivos debe ser suficiente para la difusión de cualquier aviso.

Con respecto a los sistemas comunitarios de alerta temprana, se trata de incorporar mediante la organización de Coordinadoras Departamentales y Municipales de Reducción de Desastres a las instituciones que están presentes en el departamento o la municipalidad. En este sentido participan mayormente los cuerpos de bomberos, las bases militares, las unidades de salud, el magisterio y la policía nacional civil. En algunos sistemas de alerta temprana se cuenta con el apoyo de comités locales de voluntarios y de desarrollo.

5.2.8 Normas de difusión de alertas

El Sistema Nacional de Alerta cuenta con una norma para emisión de alertas que se basa en las operaciones del COE. Sin embargo, los SATs comunitarios no cuentan con normas específicas de alerta. No obstante; CONRED presta atención y apoyo especial a todos los sistemas comunitarios de alerta temprana por medio de las Gerencias de Reducción de Riesgo y de Emergencias, las cuales están encargadas de los SATs que operan en todo el país.

5.2.8.1 Lineamientos generales con respecto al uso de medios masivos para la difusión de alertas

CONRED concibe el uso de medios masivos para la difusión de alertas siempre y cuando se cuente con algún tipo de convenio para interacción y control de los medios masivos. De acuerdo con esta institución, en los sistemas comunitarios de alerta temprana se podrá incorporar un medio masivo de la siguiente manera:

Hacer una encuesta de miembros de la(s) comunidad(es) para determinar cual medio masivo es más escuchado localmente en dicha(s) comunidad(es)

Establecer un convenio en el cual se compromete el medio de radiodifusión a la emisión de alertas usando mensaje pre-establecidos.

5.2.8.2 Inserción de los SATs en estructuras municipales y nacionales

Todos los SATs que operan en Guatemala se encuentran conectados a CONRED, de tal forma que es la Gerencia de Gestión de Riesgo quien les brinda sostenibilidad mediante:

1. Mantenimiento y fortalecimiento de redes de comunicación.
2. Mantenimiento de aparatos de monitoreo hidrometeorológico.
3. Coordinación interinstitucional con alcaldías y gobernaciones.

En varios sistemas comunitarios la inserción municipal; vía el respectivo apoyo al SAT; aún es un poco deficiente. Sin embargo, en algunas comunidades se observa una mayor participación por parte de las alcaldías, así como por parte de las gobernaciones departamentales. Esto se explica en la medida en la cual las gobernaciones y alcaldías tradicionalmente han tenido un papel amplio en la respuesta y muy limitado en la preparación, la cual se espera que la lleven a cabo CONRED y los cuerpos de socorro.

5.3 CASOS DE SISTEMAS COMUNITARIOS OPERADOS EN CUENCAS

5.3.1 SAT de la cuenca del Coyolate

Es el primer sistema de tipo comunitario que se implementó por CONRED; para beneficio de múltiples comunidades sitiadas en las riberas del río y que se ha seguido tanto en Guatemala como en América Central. El SAT está conformado por bases en la cuenca alta en zonas del altiplano y en faldas del Volcán de Fuego y en la cuenca media, que miden condiciones hidrometeorológicas y las reportan a CONRED; así como diez estaciones de respuesta situadas en las comunidades que se ven afectadas por los desbordamientos del río. Todo el sistema está insertado en la estructura de coordinadoras municipales y locales de reducción de desastres que ha sido conformado por CONRED a nivel nacional. El sistema se implementó en 1997 y operó en forma eficiente durante el Mitch, mostrando sus bondades y demostrando la fortaleza de usar operadores voluntarios en distintas zonas de la cuenca. El diseño y la implementación del sistema estuvieron a cargo de un grupo de consultores apoyados por personal de CONRED. El sistema cuenta con aportes interinstitucionales por parte de los bomberos municipales de dos comunidades, así como aportes de un comité pro-mejoramiento y reducción de riesgo que se conformó como parte del proyecto.

A lo largo de los años CONRED ha fortalecido el sistema mediante la implementación de nuevas estaciones de respuesta en comunidades que son inundadas por el río y mediante programas anuales de capacitación y mantenimiento de equipo hidrometeorológico y de radiocomunicación.

5.3.2 SAT en la cuenca del Samalá

Basado en la estructura operativa del SAT Coyolate, se manejan dos tipos de amenazas simultáneamente; inundaciones provocadas por el río Samalá y lahares provenientes del volcán activo Santiaguito. Abarca múltiples comunidades de tres municipios en la zona baja de la cuenca y es coordinado por la Coordinadora Departamental de Reducción de Desastres de Retalhuleu.

El SAT está configurado con seis estaciones de monitoreo hidrometeorológico y de lahares situadas en faldas del complejo volcánico Santiaguito / Santa María, dos estaciones operadas en bases militares de la zona (Base de la Fuerza Aérea del Sur; en Retalhuleu y Base Militar 1 316 en Cuyotenango), estaciones en dos alcaldías y en el Cuerpo de Bomberos de Retalhuleu, así como ocho estaciones situadas en ambas márgenes de la cuenca baja del río.

5.3.3 SAT en la cuenca del María Linda

Éste se basan en un sistema de monitoreo de caudales realizado y centralizado en INSIVUMEH. Datos sobre el caudal de las cuencas se transmite a INSIVUMEH de manera telemétrica para ser procesados. Posteriormente; se envía una notificación de alerta a CONRED, quien transmite la alerta a las comunidades y a la sede regional utilizando una red de radiocomunicación que se opera, específicamente; en cada cuenca.

5.3.4 SAT en la cuenca del Polochic

Tiene una estructura típica de sistema comunitario, con estaciones de monitoreo hidrometeorológico en la cuenca alta y en la cuenca media. El SAT cuenta con una buena organización en la cual se cuenta con apoyo municipal en varias comunidades, así como cuerpos de socorro y gobernación Departamental. Se ha usado en varias instancias debido a la

presencia de inundaciones que son frecuentes en la cuenca baja. El SAT apoya a seis comunidades situadas en la cuenca baja del río.

5.3.5 SAT del río Motagua

Es el más extenso de Guatemala, aunque no tiene mucho tiempo de iniciado. Cuenta con más de veinte estaciones para la alerta en caso de inundaciones provocadas por el río y se apoya en varias instituciones, tales como los cuerpos de bomberos, alcaldías y la gobernación del departamento de Izabal.

Se basa en la medición de niveles de río en zonas lejanas a las planicies de inundación, lo que se realiza por observadores voluntarios dotados de pluviómetros y aparatos electrónicos digitales para la medición de niveles de río.

5.3.6 SAT de la cuenca del río Achiguate

El sistema es de tipo centralizado, de tal manera que se cuenta con una red de instrumentos automáticos situados en la parte media y alta, que miden condiciones hidrometeorológicas (precipitación y nivel de río), enviando estas señales vía radio a las instalaciones del INSIVUMEH. La información es analizada por los expertos de hidrología a cargo del sistema, quienes en caso de crecidas; envían un boletín sugiriendo niveles de alerta por vía fax o vía telefónica a CONRED. Posteriormente, CONRED disemina la alerta por una red de radiocomunicación a estaciones situadas en comunidades que, típicamente, se inundan, así como a otras entidades que conforman el sistema (Villagrán, 2003).

De los sistemas de alerta temprana mencionados anteriormente, en la actualidad operan los de la subcuenca del río Pensativo y el de la cuenca del río Samalá (ambos ubicados en la vertiente del océano Pacífico). En el caso del sistema de la cuenca del río Achiguate, existió una estación automatizada que registraba niveles continuos del río y los transmitía vía satélite, instalada en el puente Achiguate y que, a la fecha, se encuentra deshabilitada, así como el sistema de alerta. (Fuentes, 2008)

5.3.6.1 Antecedentes

Durante los últimos 10 años; los efectos de las lluvias han causado grandes daños en la infraestructura vial, y en tuberías de agua potable, lo que ha afectado a cientos de familias.

Algunos de los sitios donde se han dado mayores repercusiones a causa del desbordamiento de los ríos han sido en la zona de Escuintla, a causa del desbordamiento de los ríos Achiguate y Coyolate; los cuales generan constantemente pérdidas en la agricultura, ganadería y en la infraestructura en general.

Es importante hacer notar que; con el paso del tiempo; se puede observar cómo la problemática se ha ido agravando. Para analizar este punto recordemos que durante el año 2005, durante el Stan se ensancharon los cauces del río Achiguate y Coyolate y; a partir del segundo día; se empezaron a sentir los impactos sobre las diferentes poblaciones, sin embargo, durante el 2007 bastaron unas horas durante la noche para causar daños de magnitud superior a los causados durante el Stan.

5.3.6.2 Operación del sistema

El sistema inicia operaciones en 1999, empleando un año para el diseño y puesta en marcha del sistema.

El sistema es de tipo comunitario, de tal manera que se cuenta con una red de observadores voluntarios. La información es transmitida a la CONRED por una red de radiocomunicación, situada en comunidades que típicamente se inundan y a otras entidades que conforman el sistema, como la Cruz Roja, Cuerpo de Bomberos Locales y alcaldías respectivas.

5.3.6.3 Estructura del sistema

El sistema de alerta temprana de la cuenca del río Achiguate está integrado de lo siguiente:

- Seis estaciones de vigilancia en la parte alta de la cuenca.
- Una estación de vigilancia y de confirmación de niveles del río en la parte media de la cuenca.
- Seis estaciones de respuesta en la parte baja de la cuenca.

En el cuadro 5.2 se muestra una descripción de las estaciones que conforman el sistema:

Cuadro 5.2 Estaciones que conforman el sistema de alerta temprana para inundaciones en la cuenca del río Achiguate

Nombre de la base	Responsable de la base	Municipio	Ubicación de la base
Achiguate	Ronald Darío Melgar	Puerto Quetzal	Base naval del Pacífico
Achiguate 10	Jorge Ambrocio García	Escuintla	Col. 15 de octubre la Trinidad
Achiguate 11	José Arenales López	Escuintla	Aldea Guadalupe el Zapote
Achiguate 12	Adrian García Catalán	Escuintla	Aldea San Andrés Osuna
Achiguate 13	Pedro Matías Martín	Escuintla	Microparcelamiento la Rochela
Achiguate 2	Victor Hugo Melendez	Masagua	Aldea Corralitos
Achiguate 4	Robelio González Lucero	Masagua	Aldea Obero
Achiguate 5	Pendiente Reinstalación	Masagua	Estuvo instalada en finca Sta. Leonor
Achiguate 6	Cesar Augusto Marroquín Duque	Puerto San José	Aldea Atancingo Botón Blanco
Achiguate 7	José Luis Marroquín Olivares	Puerto San José	Municipalidad
Achiguate 8	Rafael Gómez Godínez	Puerto San José	Campamento la Barrita
Achiguate 9	Pendiente Reinstalación	La Democracia	Estuvo instalada en la Municipalidad
Achiguate 1	Pendiente Reinstalación	Masagua	Estuvo instalada en Municipalidad

Fuente: Elaboración propia (2008)

5.3.6.4 Sistema de vigilancia

Actualmente; no se cuenta con ningún sistema de instrumentación en la cuenca, simplemente, con un sistema de bases de radio el cual tiene personal voluntario que durante los períodos de lluvia realiza observaciones en las riberas del río para determinar posibles desastres en la parte media o baja de la cuenca.

5.3.6.5 Análisis

5.3.6.5.1 Ventajas

- Por medio del SAT de la cuenca del río Achiguate se ha demostrado que el papel de los voluntarios juega un papel muy importante en la respuesta en caso de desastres naturales, así como en la operación rutinaria del sistema de alerta temprana.
- La estrategia de incorporar como medio de comunicación una red de radiocomunicación que es operada por voluntarios, ha permitido a estas poblaciones resolver los problemas de tipo social, tales como solicitudes de ambulancias, asistencia médica y de autoridades en situaciones especiales.
- Por otra parte; gracias a la red de radiocomunicación existente en la cuenca la CONRED y otras instituciones de primera respuesta pueden comunicarse durante otro tipo de emergencias que requieran intervención a nivel local o nacional.
- Por medio de la red existente se han podido determinar de forma más precisa los sitios donde con frecuencia las poblaciones se ven afectadas, para poder auxiliarlas en el momento preciso.

5.3.6.5.2 Desventajas y/o limitaciones

- Debido a la misma naturaleza del sistema, solo puede indicar sitios donde se pueden manifestar inundaciones, pero no los niveles de inundación a esperarse.
- No existen registros históricos de los diferentes niveles de ríos en la parte media que provocan inundaciones en la parte baja de la cuenca.
- Elección del lugar para ubicar las bases de radio.

- A causa de la construcción de bordas y dragados en la parte baja de la cuenca, se han modificado las condiciones en el régimen hidráulico del río.
- Por otra parte; la construcción de las bordas cercanas a la finca San Rafael y finca Cobano han creado una seguridad falsa en las comunidades, han alterado las condiciones del sitio y propiciado construcciones más cercanas a las márgenes, esto ha ocasionado, por tanto, inundaciones de mayor repercusión en las comunidades. Estas bordas fueron creadas con la finalidad de minimizar la erosión y no evitar inundaciones.
- La actividad agroindustrial en el área, de cultivos extensivos como caña de azúcar y banano, ha ocasionado cambios en el régimen hidráulico de los ríos, ya que durante la época seca, éstas realizan derivaciones del río Guacalate y Achiguate con la finalidad de alimentar sus sistemas de riego, sin embargo, estos mismos sistemas causan interferencia durante el período lluvioso.
- Los constantes cambios en el uso de la tierra son otro factor de incidencia. La deforestación, especialmente en las partes estratégicas de la cuenca, donde se daba buena retención de agua (alta y media), han sido eliminadas parcial o totalmente lo que ha ocasionado un aumento en la escorrentía directa, ya que al sustituir la vegetación natural por sistemas agrícolas convencionales (cultivos limpios sin adopción de prácticas de conservación de suelo y agua) disminuye su potencial de infiltración, propiciando la formación de crecidas.

5.4 Propuesta

Una vez analizados los aspectos generales de los componentes con que cuenta la cuenca del río Achiguate y, una vez analizado el régimen de lluvias, crecidas y la vulnerabilidades a nivel institucional y económico, con el objetivo de propiciar un funcionamiento adecuado que se vea manifestado en alertas tempranas oportunas para evacuar a las comunidades, se plantean medidas relacionadas directamente con el sistema y otras que pueden considerarse complementarias.

Es importante hacer notar que se proponen estas medidas basadas en el hecho de que el sistema; con el paso del tiempo; ha demostrado su funcionalidad y contribución a las diferentes comunidades, no obstante, no se ha desarrollado todo su potencial debido a la falta de inyección de recursos por lo que los beneficios obtenidos por las comunidades no son los esperados en el momento de la concepción de un sistema como éste.

Entre las principales acciones que se deben tomar se encuentran:

- Colocación de instrumentación.
- Registro de datos.
- Capacitación a la población.
- Medidas de conservación y ampliación del cauce.

5.4.1 Tipo de instrumentación y mantenimiento

Para dar las diferentes condiciones se tuvieron que analizar en parte las posibilidades económicas para la obtención de la instrumentación y para el mantenimiento de parte de las diferentes instituciones que se ven involucradas en el sistema de alerta temprana.

Por tanto, se determinó que la instrumentación que se debe colocar en la cuenca debe ser aquella que conlleve el menor mantenimiento y una inversión inicial acorde con los presupuestos establecidos por las instituciones.

Por otra parte, se debe tomar en cuenta que no en todos los sitios de la cuenca se cuenta con la facilidad de transmisión de datos en tiempo real; especialmente; durante una emergencia y el costo de este tipo de instrumentación es muy alto en relación al propuesto. Es; por tanto, que se propone que para el caso de la cuenca sobre el río Achiguate, como mínimo; se debe contar con lo indicado en el cuadro 5.3:

Cuadro 5.3 Instrumentación mínima requerida para conforman el sistema de alerta temprana para inundaciones en la cuenca del río Achiguate

Material	Cantidad	Costo Aprox. unitario	Costo Aprox. Total	Tipo de mantenimiento
Sensor de río	4	Q1,200.00	Q4,800.00	Cada seis meses (solo limpieza)
Pluviómetros (Tru-Chek)	18	Q120.00	Q2,160.00	Cada tres meses (solo limpieza)
Tensiómetros	18	Q500.00	Q9,000.00	Cada tres meses (solo limpieza)
Manual para uso de pluviómetros	36	Q25.00	Q900.00	Sin mantenimiento
* Estaciones pluviométricas	3	Q3,000.00	Q9,000.00	Revisiones cada tres meses
* Manual para uso de estaciones pluviométricas	36	Q25.00	Q900.00	Sin mantenimiento
Limnímetros	3	Q1,000.00	Q3,000.00	Una vez al año, pintura
Taller de capacitación	2	Q3,200.00	Q6,400.00	Sin mantenimiento
Identificación de voluntarios	36	Q20.00	Q720.00	Sustitución una vez al año
Equipamiento para voluntarios (playera, gorra, botas de hule, capa)	36	Q165.00	Q720.00	Sustitución una vez al año
TOTAL			Q37,600.00	

Fuente: Elaboración propia (2008)

*** No son exclusivamente necesarios para el funcionamiento del SAT**

Es importante hacer notar que los pluviómetros que se incluyen en este presupuesto son simples de leer y a bajo costo, lo que contribuye a poder colocar una cantidad importante para el registro de la lluvia en la cuenca. No obstante, la vida útil de éstos es corta debido al tipo de material, pero se compensa con el bajo costo de los mismos, la simplicidad de mantenimiento y la facilidad para lectura.

Por otra parte; en la parte media de la cuenca es vital la colocación de una estación hidrometeorológica, la cual debe tener un estricto mantenimiento, como mínimo, cada vez que finaliza la época lluviosa y de esta forma tratar de asegurar la efectividad del sistema, esta estación deberá encontrarse cercana al punto de congruencia entre el río Achiguate y el Guacalate.

Además, hay que considerar la instalación de tres estaciones hidrométricas, una en el puente sobre río Guacalate, otra en el puente sobre el Achiguate y la tercera sobre al puente Masagua. Sería preferible que las estaciones sean automatizadas con transmisión satelital de datos, ya que esto permitirá conocer el nivel del río cada cierto tiempo (por lo menos, cada 15 minutos) durante la época de lluvias, sin embargo, debido a los sitios donde se propone colocarlas la toma de datos sería muy accesible.

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA CUENCA RÍO ACHIGUATE

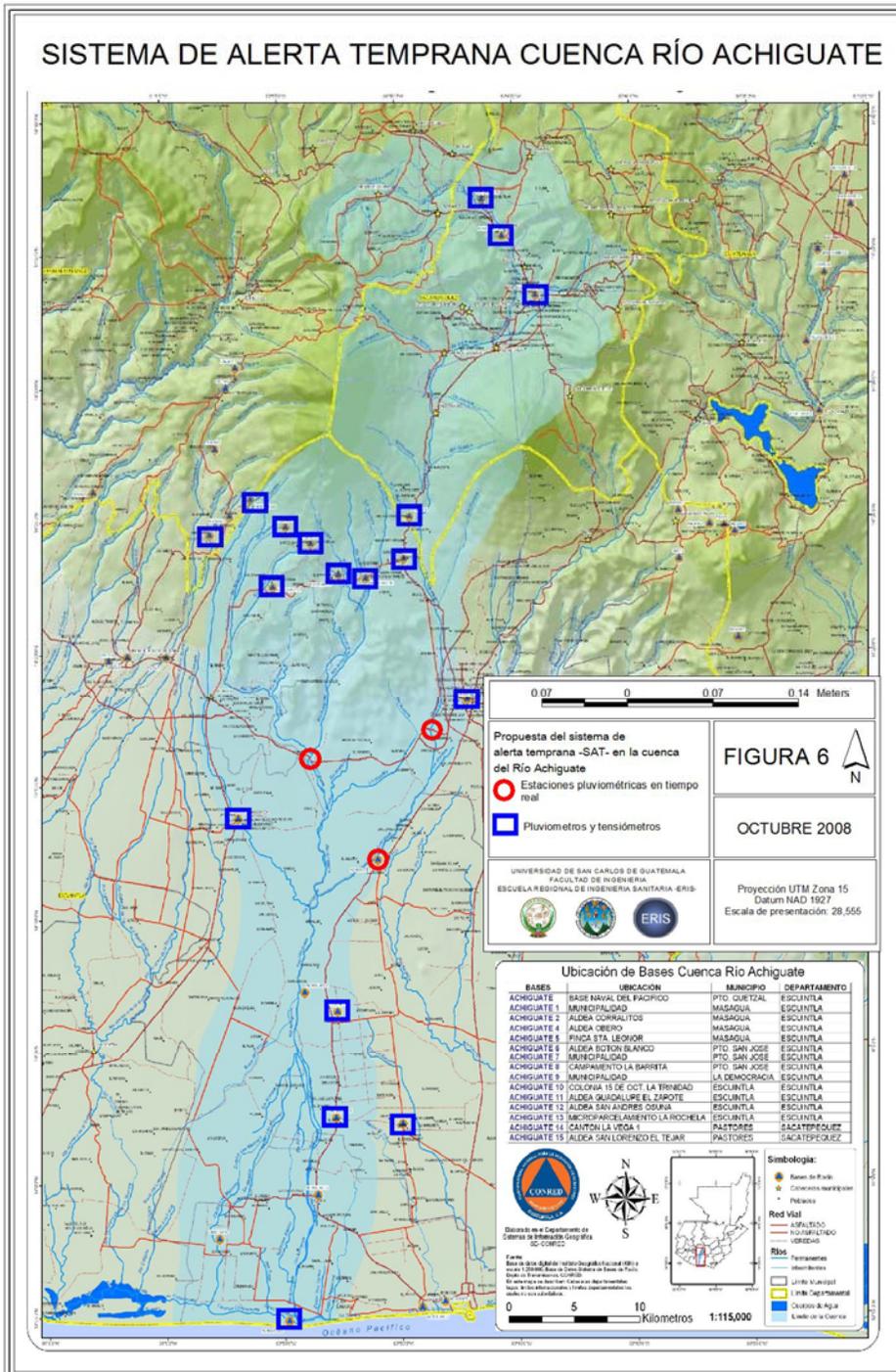


Figura 5.2 Propuesta de SAT

5.4.2 Registro de datos

Desde la implementación de las estaciones de radio por parte de la CONRED; en la cuenca se han perdido alrededor de ocho años de registros históricos, esto debido a que no contaba con ningún tipo de pluviógrafos y tampoco limnímetros; los cuales habrían contribuido a la determinación más precisa de los requerimientos y de la instrumentación para la implementación del sistema de alerta temprana. Además; tampoco existe un registro de los eventos máximos a los que se ha visto expuesta la cuenca.

Por otra parte; se considera que la recopilación de los datos debe hacerse en coordinación con las diferentes instituciones involucradas en este caso; especialmente con el INSIVUMEH, Municipalidades, Bomberos, CONRED (incluidos en este punto las asociaciones de vecinos que colaboran con la misma), COVIAL y la empresa privada de la zona (especialmente las fincas de los azucareros), con la finalidad de que se dé procesamiento de información en el mismo formato y que no se dupliquen esfuerzos en el mismo sentido.

Por otra parte; se recomienda que se tomen los niveles del río Achiguate luego de la unión con el Guacalate, con intervalos de cada quince o treinta minutos según la intensidad de la lluvia, por lo que se considera conveniente la colocación de un limnómetro en el puente Masagua.

Para la toma de los datos se deberá utilizar boletas que sean simples para que la población las pueda utilizar adecuadamente. Se recomienda una hoja por día, tanto en lo que se refiere a niveles, como a lluvia. (ver apéndices boleta 1 y boleta 2). Estas boletas deberán contener un original y un mínimo de dos copias, el original debe mantenerse en el sitio, mientras que las copias se deben distribuir de la siguiente forma: la primera que debe enviarse al CONRED para la respectiva digitalización de los datos; la segunda, al INSIVUMEH, para su archivo y la tercera, deberá permanecer en el sitio para que pueda ser prestada a terceros para obtener la información de las mismas.

5.4.3 Análisis hidrológico

Tal como se indica; durante el documento para este trabajo se realizó la interacción entre el nivel del río Achiguate, río Guacalate y la lluvia registrada en la estación climática Sabana Grande durante el ciclón tropical Stan, con el objetivo de encontrar un nivel crítico que pudiera ocasionar inundaciones y/o desbordamientos del río aguas abajo. Es por lo anterior que sería de gran importancia que se amplíe este estudio, incluyendo mayor número de registros

históricos, ya que con el análisis que se realizó se encontró una serie de inconsistencias en los datos suministrados por el INSIVUMEH, algunas de las cuales son:

- Datos faltantes en alguna hora, un día, un mes e incluso un año.
- Inadecuada toma de datos, la cual se puede observar al comparar los datos digitados con los datos de las hojas de los limnigrafos.

Otro aspecto que resulta de importancia, es indicar que, a la fecha, no existe en la cuenca registro de datos históricos de los niveles alcanzados por el río que se han dado durante los diferentes períodos de lluvias máximas, esto porque no se cuenta con sensores de río, ni registros escritos.

5.4.4 Niveles de alerta

5.4.4.1 Precipitación pluvial

Debido a diferentes aspectos entre los que se resaltan el relieve y el comportamiento de la lluvia en la cuenca, se debe definir el monitoreo hidrometeorológico en la parte media de la cuenca. Por lo tanto, el monitoreo de la intensidad de la lluvia debe enfocarse en la parte media de la misma donde; de acuerdo con registros históricos del INSIVUMEH, se han estimado hasta 3 184 mm anuales. De igual manera, se hace el monitoreo del nivel de los principales afluentes de la cuenca, como se mencionó anteriormente.

En este momento el criterio con el que se cuenta para determinar los diferentes niveles del río es la corrida del HEC-RAS, la cual indica los diferentes niveles para cada período de retorno.

Por otra parte; se debe hacer notar que durante los meses de mayo y junio, los terrenos se saturan y, por tanto, durante los meses de julio a octubre la susceptibilidad a inundaciones es mayor, ya que en este punto los terrenos han perdido la capacidad de absorber el agua. Por lo tanto, lluvias de regular intensidad pero de larga duración provocan problemáticas en la parte baja de la cuenca del río Achiguate, es decir, la mayor parte de la lluvia se transformará en escorrentía directa (acercándose el coeficiente de escorrentía a uno). Los suelos para llegar a la capacidad de campo; considerando una profundidad aproximada de un metro; necesitarían absorber por lo menos 200 mm de agua, esto es adquirido durante los primeros dos meses.

Es; por tanto; que a la hora de rediseñar el sistema de alerta temprana hay que considerar la humedad del suelo por ello se consideró la instalación de los tensiómetros, la duración de la lluvia y la frecuencia, así como los diferentes tipos de suelo en el área y la capacidad de infiltración de los mismos. Se debe recalcar el hecho que para los sistemas de alerta temprana los aspectos de más relevancia son la duración y la frecuencia de las lluvias.

5.4.4.2 Nivel limnimétrico

Debido a que en la cuenca media del río Achiguate no existen tomas de niveles representativos en la parte baja, no se pudo realizar un análisis de cuáles son los diferentes niveles del río en relación con la precipitación, por tanto; se considera de gran relevancia la toma de este tipo de datos con la finalidad de que el sistema sea analizado antes de su puesta en marcha. De ahí que sea importante recalcar que, debido a la falta de niveles de los ríos Achiguate y Guacalate, no se tiene un parámetro mediante el cual determinar que se darán inundaciones en la parte baja de la cuenca basados en los niveles.

5.4.4.3 Definición de áreas inundables

Si bien es cierto que la definición de áreas inundables es ajena al sistema de alerta temprana, la determinación detallada de las mismas contribuye a disminuir la pérdida de vidas humanas, los daños en las comunidades y en la infraestructura. Debido a esto se recomienda el uso de los mapas de zonas inundables existentes para:

- Otorgamiento de los permisos de construcción: es importante que no se otorguen permisos en las zonas delimitadas como inundables; esto para que no aumente la vulnerabilidad de la zona. Por otra parte, el gobierno municipal y central deben idear medidas para eliminar las construcciones en las zonas inundables.
- Reforestación y conservación de zonas: es importante hacer notar que en la cuenca han aumentado las zonas deforestadas, esto producto de los diferentes cultivos en especial el de la caña de azúcar, por lo que se ha aumentado la escorrentía y el transporte de sedimentos en las diferentes zonas.

- Empleo de programas: para tener un panorama más detallado del comportamiento de la cuenca ante diferentes eventos se puede hacer por medio de un programa de simulación hidráulica como por ejemplo el HEC-RAS, tal como se hizo en este caso, no obstante, para poder explotar al máximo los beneficios de éste se debe contar con mayor cantidad de datos históricos, secciones de río por medios topográficos, niveles, etc. (Ver apéndice A.6, donde se detalla la estructura del SAT propuesto)

5.4.4.4 Niveles de alerta

Se debe hacer notar que los niveles de alerta aquí indicados son preliminares y válidos si prevalecen las condiciones existentes en la cuenca, especialmente; en lo referente a las condiciones hidráulicas y de entorno de los principales afluentes. Por lo tanto, deberán corroborarse por medio de la observación de eventos futuros.

- Tomando como referencia el puente sobre el río Guacalate, cuando el nivel del río llegue a los siguientes valores se declarará la alerta que a continuación se describe:

Cuadro 5.4 Niveles de alerta tomando como referencia el puente sobre el río Guacalate

Comunidades	Nivel del agua (metros)	Tipo de alerta	Tiempo aprox. para inundación (horas)
Cuyuta y el Pilar	= 2,50	Amarilla	
	= 2,70	Verde	
	< 2,70	Roja	Entre 1 hora y 1,50 horas
Masagua y Milagro	= 2,50	Amarilla	
	= 2,70	Verde	
	< 2,70	Roja	Entre 2,40 horas y 3,50 horas
Obero y Peñate	= 2,50	Amarilla	
	= 2,70	Verde	
	< 2,70	Roja	Entre 3,50 horas y 5 horas

Fuente: Elaboración propia (2008)

5.4.3 Capacitación

La capacitación a la población que se encuentra expuesta a las inundaciones es de vital importancia ya que de ella depende la reacción de las mismas ante una emergencia.

Primero; se recomienda que se den a conocer de forma masiva los mapas de inundación de las diferentes zonas de la cuenca y mostrar la ubicación específica por comunidad y los diferentes períodos de retorno en los que se espera ocurran las inundaciones.

Seguidamente; se debe dar capacitación en qué hacer ante una inundación, cómo debe ser el comportamiento esperado y las cosas que se pueden hacer y cuáles no, así mismo; dar a conocer los diferentes niveles de alerta y el tiempo de respuesta con que se cuenta en cada uno de los casos.

Por otra parte, se deberá dar capacitación para la lectura de la instrumentación que se colocará a lo largo de la cuenca y su respectivo registro en la boletas creadas para este fin.

Por último, se debe dar a cada una de las comunidades herramientas para reducir las vulnerabilidades existentes; entre las más importantes deben encontrarse:

- Cómo conservar o mejorar las condiciones hidráulicas de cada una de las zonas.
- Tipos de especies que se deben cultivar para mejorar el comportamiento de los suelos y reducir la erosión en las zonas cercanas a los ríos.
- Consecuencias de la deforestación; en especial en las zonas cercanas a los cauces.

Es importante recordar que estas capacitaciones deberán realizarse en forma intensiva al principio y brindar actualizaciones o seguimiento a las poblaciones dos veces al año para realizar reforzamiento de conceptos y estimular a los pobladores para continuar contando con su colaboración. Además, durante estas capacitaciones es importante que se entreguen a los colaboradores los incentivos programados, como lo son: camisetas, gafetes, botas de hule, capas, etc. Por último; se recomienda que también en estas capacitaciones se haga un reciclaje de las diferentes experiencias vividas en cada una de las comunidades, para que entre todos se evalúen las fortalezas y las debilidades.

5.4.4 Medidas de conservación del cauce

Con la colaboración de las diferentes municipios que componen la cuenca se debe elaborar una serie de planes que busquen la conservación de las condiciones hidráulicas o el mejoramiento de las mismas, entre las más representativas se deben encontrar:

- Dragados de los cauces de los ríos y de sus afluentes, como mínimo cada dos años y a lo largo de todos los cauces de la cuenca, pero especialmente sobre al río Achiguate y Guacalate.
- Construcción de bordas en las márgenes de los ríos, tomando en cuenta que estas son una medida paliativa y no la solución del problema.
- Control de las extracciones de material que se hagan a lo largo de los ríos de la cuenca para que las mismas contribuyan a mejorar las condiciones hidráulicas y no a propiciar zonas de mayor vulnerabilidad.
- Conservación y reforestación de las zonas cercanas a los ríos.

Es importante hacer notar, que todas las medidas descritas en este capítulo son de vital importancia ya que todas juntas componen el sistema de alerta temprana, pero separadas no son más que pequeñas medidas que, a largo plazo, no contribuirían al mejoramiento de las condiciones de la cuenca.

CAPÍTULO 6
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

1. Al analizar la información de las tres estaciones hidrometeorológicas que tienen influencia sobre la cuenca, se puede determinar que la misma es sistemática, pero no llena los requisitos necesarios ya que se da un manejo deficiente de la información.
2. Los sitios en los que con frecuencia se presentan problemáticas debido a las inundaciones en la cuenca del río Achiguate, son principalmente los que tienen períodos de retorno que se encuentran en el orden de los 10 años y los 50 años, en la parte media y baja de la cuenca. Entre los principales poblados se encuentran: caserío el Pilar, parcelamiento Cuyuta, además Masagua y Milagro, éstos pertenecientes al municipio de Escuintla, además, de Obero y barrio el Peñate pertenecientes a el Puerto San José.
3. Los caudales estimados a la altura de las comunidades analizadas, con períodos de retorno de 2, 10, 50 y 100 años mediante el estudio regional de crecidas; son 226, 676, 1491 y 2023 m³/s respectivamente, por lo que se propone que las diferentes escalas contenga valores que se encuentren dentro de este parámetro.
4. Debido a la inexistencia de algunos datos en la estación de la cuenca del río Achiguate y tomando en cuenta que existe un estudio regional de crecidas de la región hidrométrica, se emplearon los datos obtenidos por este estudio.
5. Al analizar el SAT existente en la cuenca se pudo determinar que el mismo no ha alcanzado las condiciones deseables debido; especialmente; a la falta de recursos, sin embargo, el mismo ha resultado en un gran beneficio para las comunidades ya que éste ha funcionado en diferentes emergencias como un buen sistema de información para alertar a las comunidades en riesgo, tal es el caso de la tormenta Stan, donde se pudo alertar a la población por medio de las diferentes estaciones de radio del comportamiento de los ríos.
6. Actualmente, el nivel de alerta de lluvia en la parte media de la cuenca está sobreestimado, lo que repercute en una baja eficiencia del sistema, además, no se considera la duración, frecuencia y lluvia acumulada en los días previos al evento.

7. El grado de comunicación de las diferentes instituciones que tienen relación con el sistema de alerta temprana para inundaciones no es satisfactorio para que el sistema funcione adecuadamente en su totalidad.
8. La ubicación de las diferentes estaciones de radio obedece a varios requisitos entre los que se encuentra la cercanía a los poblados y la altura, éstos son satisfactorios debido al desempeño del mismo a lo largo del tiempo.
9. Las mejoras propuestas para el sistema de alerta temprana, contribuirán a reducir las pérdidas de vidas humanas y, en parte, las pérdidas materiales ocasionadas por las inundaciones.
10. Los tiempos de viaje calculados para diferentes poblaciones en riesgo son los que se detallan a continuación:

Periodo de retorno	2 años	10 años	50 años	100 años
Lugar	Tiempo de viaje (horas)			
Cuyuta y el Pilar	2.20	1.58	1.20	1.08
Masagua y Milagro	4.92	3.54	2.70	2.41
Obero y Peñate	6.75	5.13	3.99	3.59

6.2 Recomendaciones

1. Se debe contar, como mínimo, con tres estaciones pluviométricas colocadas en la zona cercana a los puentes: Achiguate, Guacalate y Managua, resguardadas para evitar daños en las mismas.
2. Se debe estimular la participación comunitaria en la implementación del sistema de alerta temprana de la cuenca, tratando de que los involucrados se identifiquen con los beneficios que les traerá el sistema.
3. Se debe dotar de capacitación a las comunidades para provocar que todos los actores involucrados en el sistema busquen la protección y reposición de los recursos naturales.
4. Se debe dar un monitoreo constante una vez implementadas las modificaciones del SAT para evaluar; en un plazo aproximado de cinco años; y según las variaciones que se puedan dar en la cuenca.
5. Instalar tres escalas limnimétricas en las pilas de los puentes Achiguate, Guacalate y Managua, considerando su monitoreo constante.
6. Capacitar a las comunidades en la toma de datos con la finalidad de que los mismos sean confiables y que funciones como base para la colocación del sistema de alerta temprana.
7. Propiciar que se den limpiezas del cauce del río, con la finalidad de conservar en las medidas de las posibilidades las condiciones hidráulicas existentes o mejorarlas.

8. Se debe implementar la conservación de los recursos naturales y de las zonas de protección del río en toda la cuenca para evitar mayores consecuencias que las existentes a la fecha.
9. Se debe estimular la construcción de obras de protección de las riberas de los ríos, sin permitir que las mismas sean estímulo para la construcción de viviendas en las zonas de inundación.
10. Se debe procurar el conocimiento de los mapas de las zonas inundables y otros estudios de relevancia por parte de toda la población.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alvarado, G; Herrera, I. 2000. Mapa fisiográfico - geomorfológico de la república de Guatemala. Guatemala, Plan de Acción Forestal para Guatemala. Esc. 1:250,000. Color.
2. Aparicio, M. 2001. Fundamentos de hidrología de superficie. México, Limusa. 303 p.
3. Azurdía, I. 2007. El cambio climático y mecanismos de desarrollo limpio. En Taller Cambio Climático (1, 2007, Guatemala). Guatemala. 1 CD.
4. Beltetón, O. 2007. Cambio climático y desastres. En Taller Cambio Climático (1, 2007, Guatemala). Guatemala. 1 CD.
5. Bereciartua, P. 2006. Desafíos de la gestión integrada de los recursos hídricos. En Curso Regional Itinerante en Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (1, 2006, Guatemala). Guatemala. 1 CD.
6. Buch, M; Turcios, M. 2003. Vulnerabilidad socioambiental: aplicaciones para Guatemala. Guatemala, Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. 24 p.
7. Carballo, D. 2008. Generalidades del sistema de alerta temprana en la cuenca del río Coyolate. Sección de Sistemas de Alerta Temprana, CONRED. (comunicación personal)
8. CEPAL (Comisión Económica para América Latina, CL); SEGEPLAN (Secretaría General de Planificación de la Presidencia de la República, GT). 2005. Efectos en Guatemala de las lluvias torrenciales y el ciclón tropical Stan, octubre de 2005. Guatemala. 14 p.
9. _____. 2007. Riesgos ambientales, resumen de algunos efectos económicos de Mitch y Stan. *In* Taller Cambio Climático (1, 2007, Guatemala). Guatemala. 1 CD.
10. CEPREDENAC (Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central, Secretaría Ejecutiva, PA). 2006. Inventario de cuencas en Guatemala. Guatemala. 41 p.
11. _____. 2006. Sistematización de una experiencia de cuenca en Guatemala. Guatemala. 53 p.
12. Chow, V; Maidment, D; Mays, L. 1994. Hidrología aplicada. Santa Fé de Bogota. McGraw-Hill. 584 p.
13. Coburn, A; Spence, R; Pomonis, A. 1991. Vulnerabilidad y evaluación del riesgo. Cambridge, Reino Unido, PNUD, Programa de Entrenamiento Para el Manejo de Desastres. 69 p.
14. CONRED (Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres en Guatemala, GT). 2006. Términos de referencia generales para el estudio hidrológico en 6 cuencas del océano Pacífico. Guatemala. 3 p.

15. _____. 2007. Sistema de alerta temprana en la cuenca del río Coyolate: hoja cartográfica. Guatemala. Esc 1:125,000. Color.
16. CORDILLERA (Consultoría en Manejo Integral de Recursos Naturales, GT). 2007. Diagnóstico de los SAT por inundaciones en cuencas de la vertiente del Pacífico. Guatemala. p. 42 - 82 (Capítulo 3).
17. Cruz S, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel. de reconocimiento. Guatemala, INAFOR. 42 p.
18. Custodio, E; Llamas, MR. 2001. Hidrología subterránea. 2 ed. Barcelona, España, Omega. v. 1, 1157 p.
19. Declaración de Panamá. Encuentro Latinoamericano de Legisladores sobre Recursos Hídricos: Evaluación de los Ecosistemas de Milenio-agua, un recurso para la vida. 2006. Agroboletín informativo, Guatemala, GT, no. 4-2006, agosto-Sept:8.
20. ERIS (Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, GT). 2006. Evaluación de crecidas. Uruguay, UNESCO. 17 p. Consultado 29 ene 2007. Disponible en: www.unesco.org.uy/phi/libros/mitch/conclusiones.html
21. Fajardo, R. 2006. Evaluación hidráulica mediante el uso de modelos del tramo final del río Villalobos. Tesis MSc. Recursos Hidráulicos. Guatemala, USAC, Facultad de Ingeniería. 96 p.
22. Gárfias, J. 2002. Introducción a la modelación: flujo y transporte de contaminantes. Centro Interamericano de Recursos del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México. (Correspondencia personal)
23. Herrera Ibáñez, I. 2004. Manual de hidrología. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 241 p.
24. Ibáñez, L; Castillo, M; Arteaga, Eduardo. 2004. Metodología para la definición de zonas más propensas a inundaciones. In. 3er. Seminario sobre manejo y conservación del suelo y agua en Chiapas. México. p. 177-184
25. IGM (Instituto Geográfico Militar, GT). 1984. Mapa topográfico de república de Guatemala; hoja Chimaltenango no. 2059 IV. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
26. IGM (Instituto Geográfico Militar, GT). 1984. Mapa topográfico de república de Guatemala; hoja Tecpán Guatemala no. 2060 III. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
27. IGM (Instituto Geográfico Militar, GT). 1985. Mapa topográfico de república de Guatemala; hoja Escuintla no. 2058 IV. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
28. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1969. Mapa topográfico de república de Guatemala; hoja Pueblo Nuevo Tiquisate no. 1958 IV. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.

29. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1970. Mapa topográfico de república de Guatemala; hoja Santa Lucía Cotzumalguapa no. 1958 I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
30. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1975. Atlas hidrológico. Guatemala. Esc. 1:1,000,000. Color.
31. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1977. Mapa topográfico de república de Guatemala; hoja Alotenango no. 2059 III. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
32. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1978. Mapa topográfico de república de Guatemala; hoja San Lucas Tolimán no. 1959 I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
33. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1980. Mapa topográfico de república de Guatemala; hoja Patulul no. 1959 II. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
34. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1981. Mapa topográfico de república de Guatemala; hoja La Gomera no. 1958 II. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
35. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1981. Mapa topográfico de república de Guatemala; hoja Sipacate no. 1957 I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
36. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1994. Mapa topográfico de república de Guatemala; hoja Huitzitzil no. 1958 III. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
37. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1994. Mapa topográfico de república de Guatemala; hoja Tecojate no. 1957 IV. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
38. _____. 1980. Evaluación cuantitativa del riesgo de desastre por ciclones tropicales en la república de Guatemala. Guatemala. 393 p.
39. IARNA (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Universidad Rafael Landívar, GT); IIA (Instituto Incidencia Ambiental, Universidad Rafael Landívar, GT). 2006. Perfil ambiental de Guatemala: tendencias y reflexiones sobre la gestión ambiental. Guatemala.
40. INE (Instituto Nacional de Estadística, GT). 2003. Censos nacionales XI de población y VI de habitación 2002: población y locales de habitación particulares censados según departamento y municipio (cifras definitivas). Guatemala. 1 CD.
41. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT); CONRED (Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres, GT); IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT); FAUSAC (Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, GT); CESEM (Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas); ERIS (Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, GT). 2003. Zonificación de amenazas naturales en la cuenca del río Samalá y análisis de vulnerabilidad y riesgo en la población de San Sebastián. Guatemala. 47 p.
42. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT); MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2005. Atlas hidrológico. Escala 1:1,000,000.

43. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Departamento de Investigación y Servicios Hídricos, GT). 2004. Análisis regional de crecidas en la república de Guatemala: resumen ejecutivo. Guatemala. 3 p.
44. _____. 2004. Estudio de lluvia máxima diaria en la república de Guatemala: resumen ejecutivo. Guatemala. 7 p.
45. _____. 2005. Resumen del impacto asociado al huracán Stan en Guatemala. Guatemala. 5 p.
46. Johnson, EE. 1985. El agua subterránea y los pozos. Minnesota, Estados Unidos, Johnson. 513 p.
47. LaVel.I, A. 2000. Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición (correspondencia personal). Lima, Perú, USAID. 22 p.
48. Linsley, A. 1988. Hidrología para ingenieros. 2 ed. México, McGraw-Hill. 386 p.
49. López Quiroa, JL. 2007. Alta probabilidad de que se forme el fenómeno climático de “La Niña”. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala, abril 30:2. (no. 170).
50. López Vera, F. 2001. Fundamentos de economía, administración y gestión de recursos hídricos. *In* Jornada iberoamericana sobre enfoques integrados de la problemática del agua (1, 2001, Antigua Guatemala, GT). Antigua Guatemala. 42 p.
51. MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, GT). 2007. El clima y cambio climático. *In* Taller Cambio Climático (1, 2007, Guatemala). Guatemala. 1 CD.
52. Marín, G. 2002. Hidráulica fluvial. Bogotá, Colombia, Ingeniería Colombiana de Consulta y Desarrollo. 169 p.
53. Martínez, E. 2001. Hidráulica fluvial, principios y práctica. Madrid, Ediciones Técnicas y Científicas. 382 p.
54. Maskrey, A. 1993. Los desastres no son naturales. Perú. Red de Estudios Sociales de Prevención de Desastres en América Latina. 140 p.
55. Medina, B. 2007. Deslizamientos e impactos ambientales de los huracanes Mitch y Stan en Guatemala. *In* Jornadas Internacionales sobre Gestión del Riesgo de Inundaciones y Deslizamientos de Laderas (2007, BR). Brasil. 11 p.
56. Miner Fuentes, Y. 2002. Determinación de riesgo: análisis y generación de mapas: informe final 2002. Guatemala, CONRED. 82 p.
57. Monsalve Sáenz, G. 1999. Hidrología en la ingeniería. México, Alfaomega. 383 p.
58. NOVIB (Organización Holandesa para la Cooperación Internacional al Desarrollo, ND); Fundación Solar, GT. 2001. Estado del agua en Guatemala 2000. Guatemala. 55 p.

59. OEA (Organización de los Estados Americanos, US). 1991. Desastres, planificación y desarrollo: manejo de amenazas naturales para reducir los daños. Washington, DC, US. 145 p.
60. Oliva Alonso, R. 2007. Calentamiento global. Enfoques Económicos, GT, 28 de febr: 13–15.
61. _____. 2006. Los recursos hídricos en Guatemala. En Curso Regional Itinerante en Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (1, 2006, Guatemala). Guatemala. 1 CD.
62. _____. 2006. Notas del curso de estadística, capítulo 1 (Correspondencia personal). Guatemala, USAC, ERIS, Maestría en Recursos Hidráulicos. 14 p.
63. Orozco, E; Flores, O. 2006. Problemas de inundaciones en los ríos Coyolate y Achiguate: informe de visita de reconocimiento. Guatemala, USAC, ERIS. 22 p.
64. Pérez, V. 2007. Registros históricos de nivel del río Coyolate en la estación hidrométrica Puente Coyolate. Guatemala, INSIVUMEH, Departamento de Investigación y Servicios Hídricos. 1 hoja electrónica.
65. PNUD, Programa de Entrenamiento para el Manejo de Desastres, UK. 1992. Visión general sobre manejo de desastres. 2 ed. Cambridge, Reino Unido. 137 p.
66. _____. 1995. Introducción a las amenazas. 2 ed. Cambridge, Reino Unido. 182 p.
67. Programa Mundial de Alimentos; MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT); INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT); CONRED (Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres de Guatemala, GT). 2002. Estimación de amenazas inducidas por fenómenos hidrometeorológicos en la república de Guatemala. Guatemala. 30 p.
68. Ramírez, A. 2006. Clima extremo. Prensa Libre, Dominical, Guatemala, GT, 3 sept: 20-21.
69. Raymundo, E; Godínez, M. 2005. Efectos ecológicos, económicos y sociales del desvío de cauce de los ríos: análisis preliminar. Guatemala, Asociación para la Promoción y el Desarrollo de la Comunidad -CEIBA-. 15 p.
70. Revolorio, A. 2003. Notas del curso manejo y conservación de suelo y agua (Correspondencia personal). Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. s.p.
71. Rozé, J. 2000. Crisis, vulnerabilidad y desastres: la globalización en regiones periféricas de América Latina. Argentina, Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Arquitectura. 4 p.
72. Salguero, M. 2003. Vulnerabilidad de los recursos hídricos en Guatemala ante el cambio climático (Correspondencia personal). Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 40 p.
73. Sánchez, J. 2007. Consecuencia del paso del ciclón tropical Stan en octubre 2005 en la zona cañera Guatemalteca. En Presentación de resultados de investigación zafra 2005-2006. Memoria. Guatemala, CENGICANA. p. 280 - 288.

74. Santos, L. 2003. Diseño y recomendaciones para la implementación y operación de un sistema de alerta temprana contra inundaciones en la cuenca del río Pensativo. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 40 p.
75. Villagrán de León, JC. 2001. Manual para la estimación cuantitativa de riesgos asociados a diversas amenazas. Guatemala, Acción Contra el Hambre / CONRED / ECHO. 69 p.
76. _____. 2003. América Central en el contexto de la consulta hemisférica sobre alerta temprana. Guatemala. 44 p.
77. _____. 2003. Registro de sistema de alerta temprana SAT - río Achiguate. Guatemala, Centro de Investigación y Mitigación de Desastres Naturales. 6 p.
78. _____. 2003. Registro de sistema de alerta temprana SAT - río Achiguate. Guatemala, Centro de Investigación y Mitigación de Desastres Naturales. 6 p.
79. _____. 2003. Sistemas de alerta temprana para emergencias de inundaciones en Centroamérica. Panamá, UNICEF / CEPREDENAC. 62 p.
80. Villón, M. 2001. Hidrología estadística. Cartago, Costa Rica, MaxSoft. 380 p.
81. _____. 2004. HidroEsta, manual del usuario. Cartago, Costa Rica, Centro de Información Tecnológica. 295 p.

APENDICES

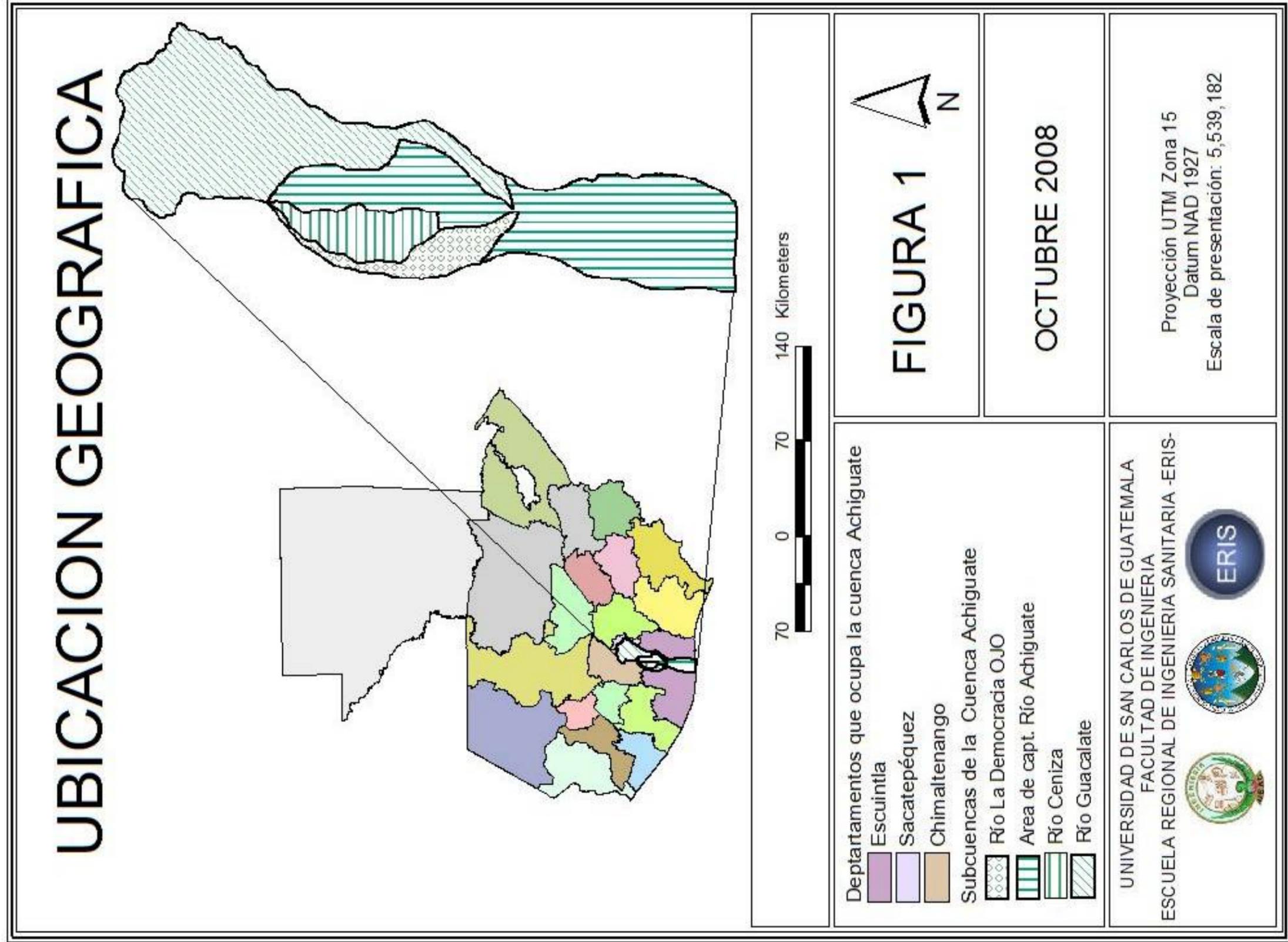


Figura A.1 Ubicación geográfica de la cuenca

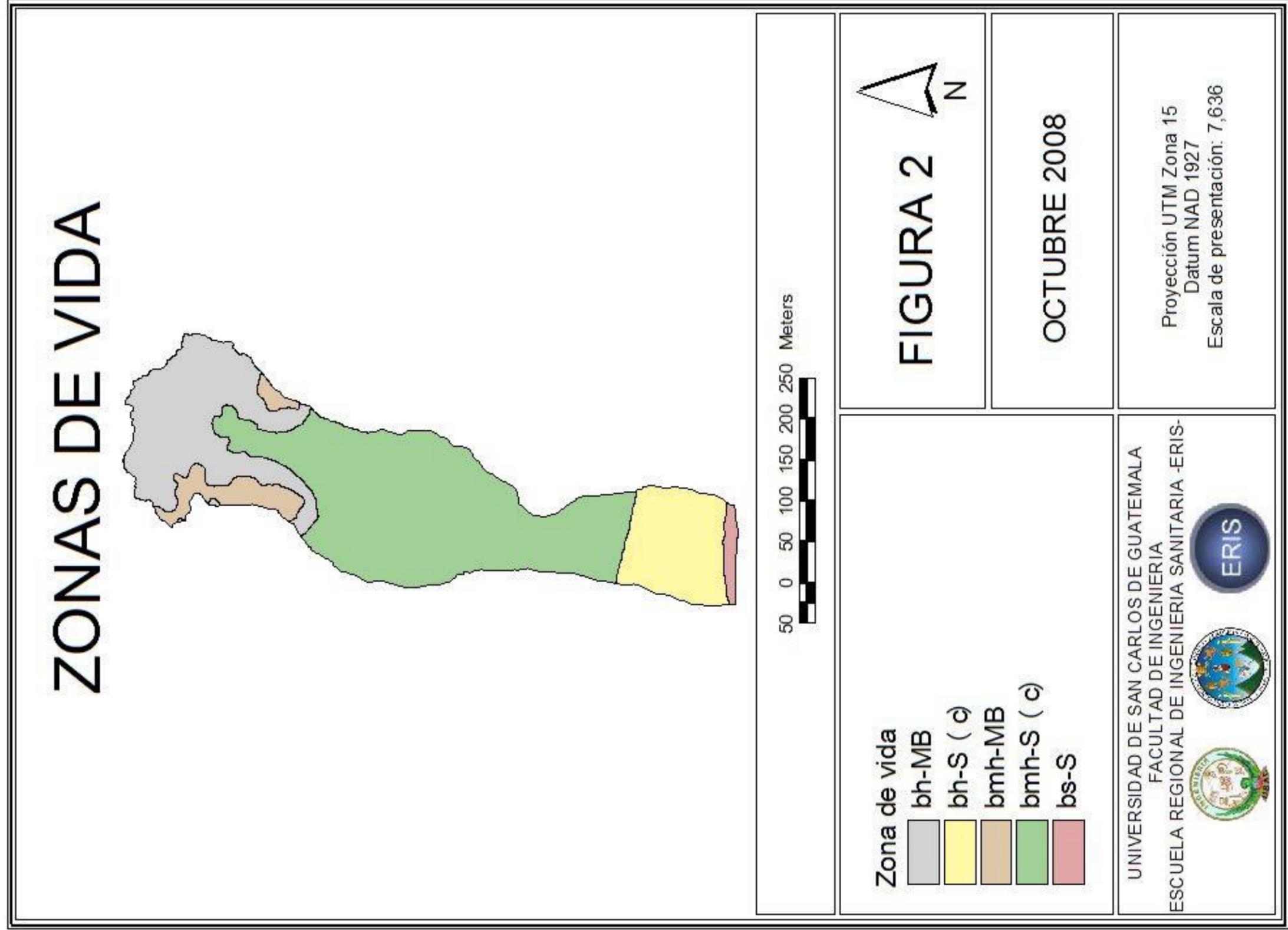


Figura A.2 Zonas de vida presentes en la cuenca

ESTACIONES INSIVUMEH

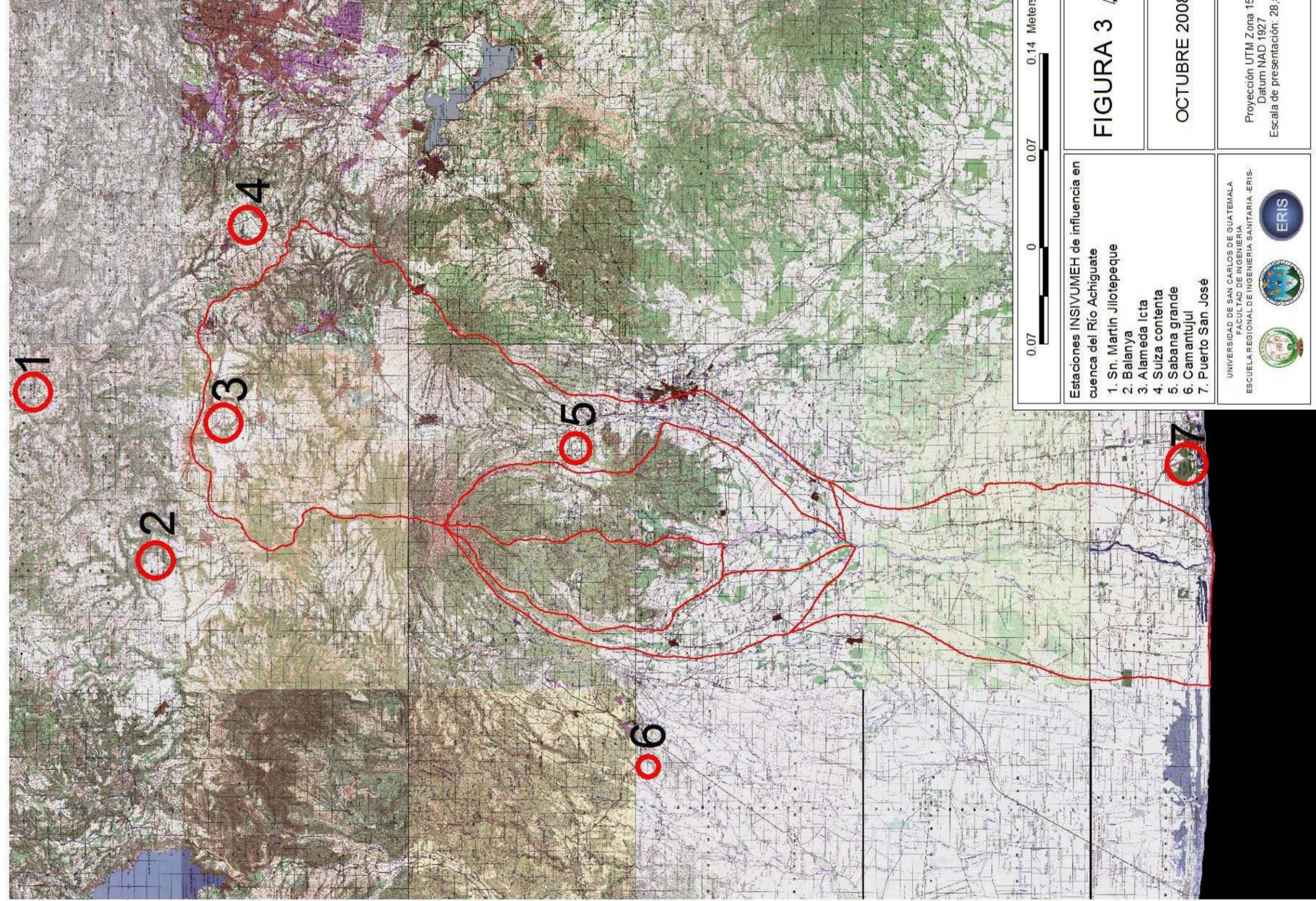


Figura A.3 Ubicación de las estaciones del INSIVUMEH

UBICACION DE SECCIONES DE TOMA DE DATOS

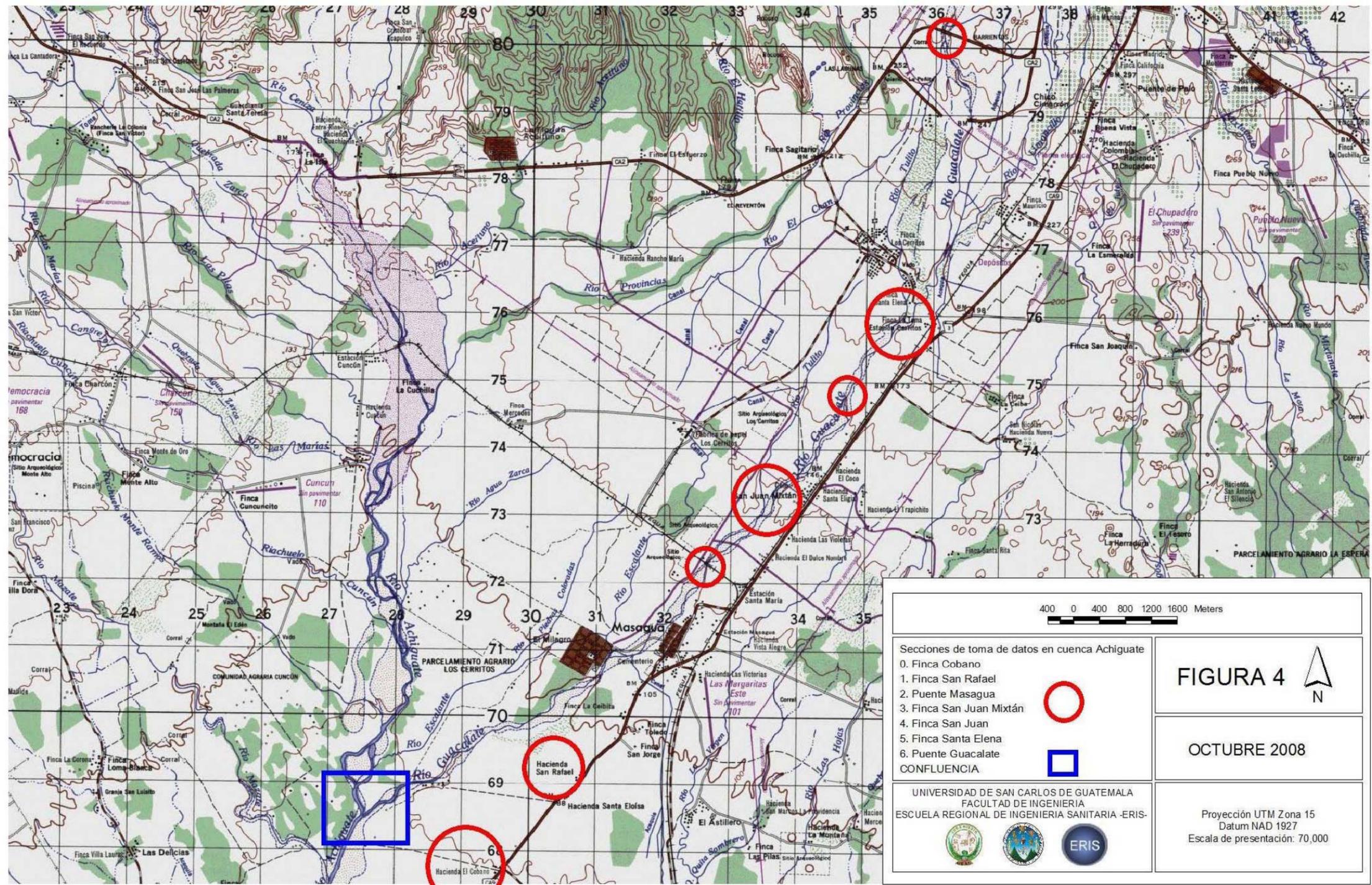


Figura A.4 Ubicación de las secciones para toma de datos

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA CUENCA RÍO ACHIGUATE

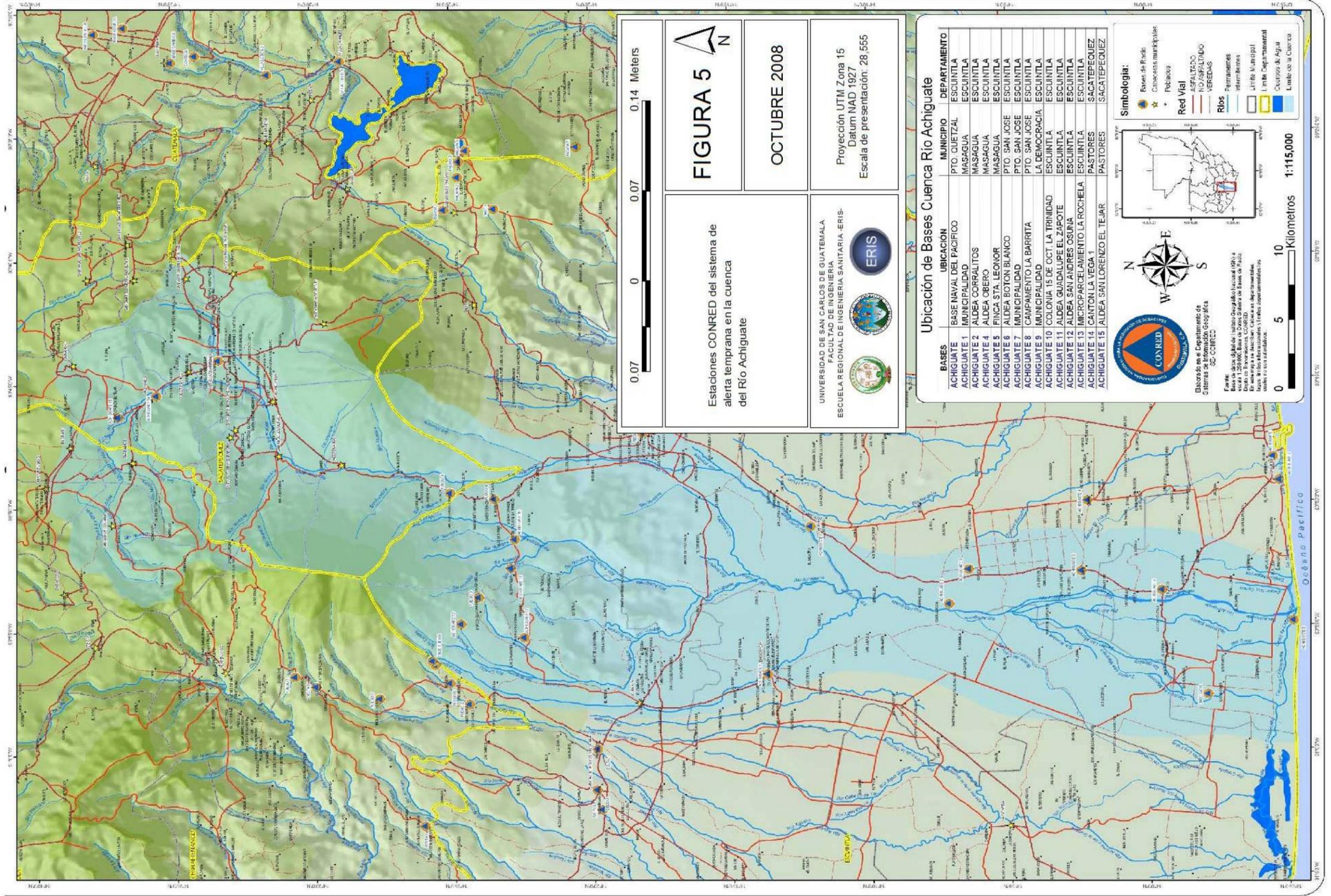


Figura A.5 Ubicación de las bases de CONRED

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA CUENCA RÍO ACHIGUATE

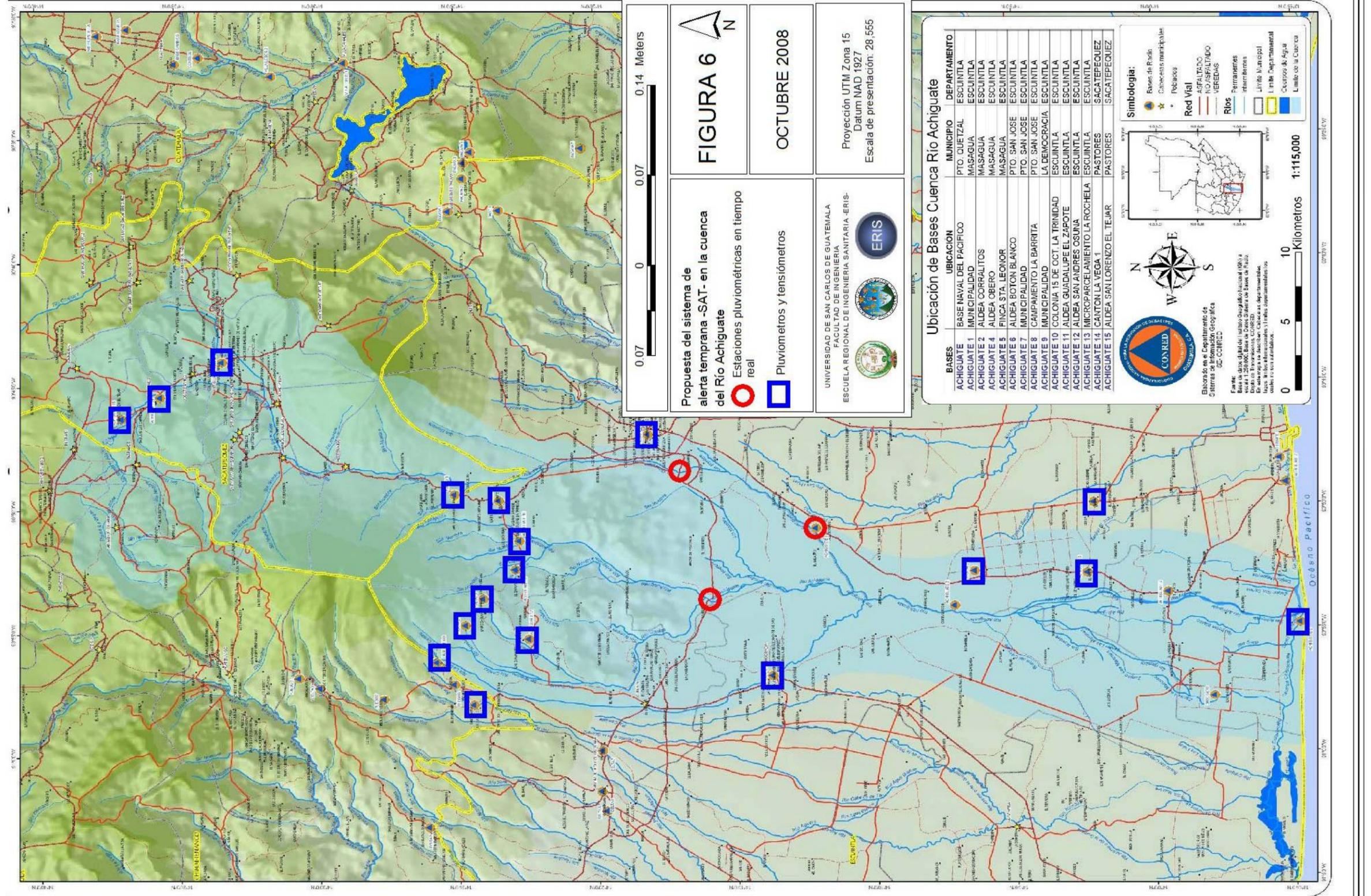


Figura A.6 Propuesta de SAT

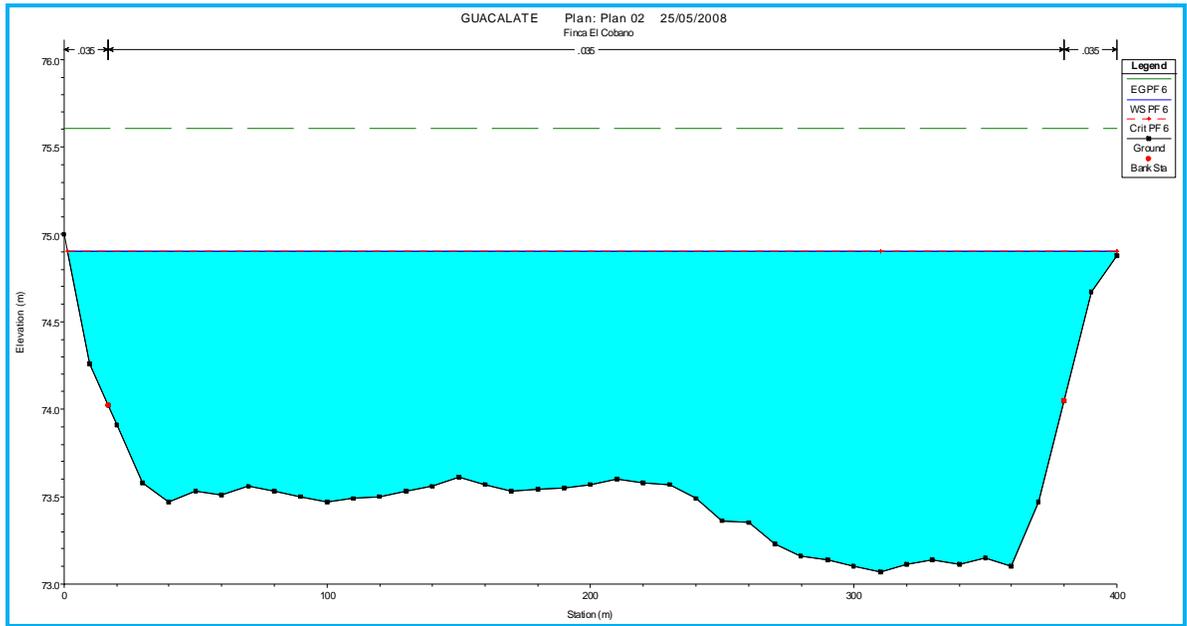


Figura A.7 Sección 0, finca el Cobano

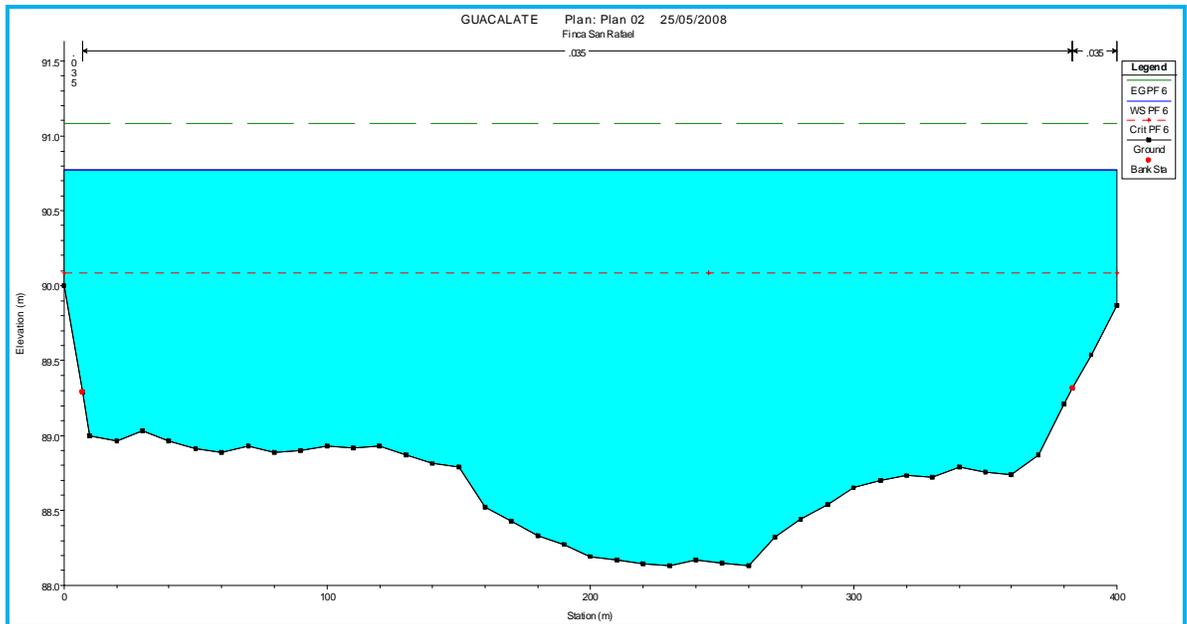


Figura A.8 Sección 1, finca San Rafael

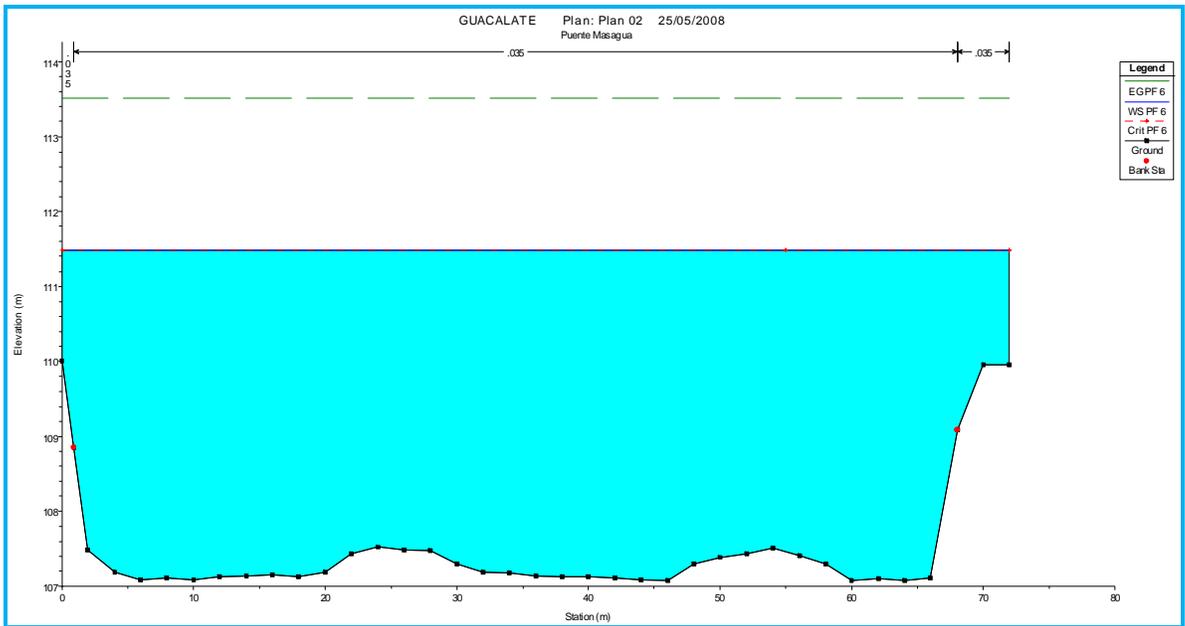


Figura A.9 Sección 2, puente Masagua

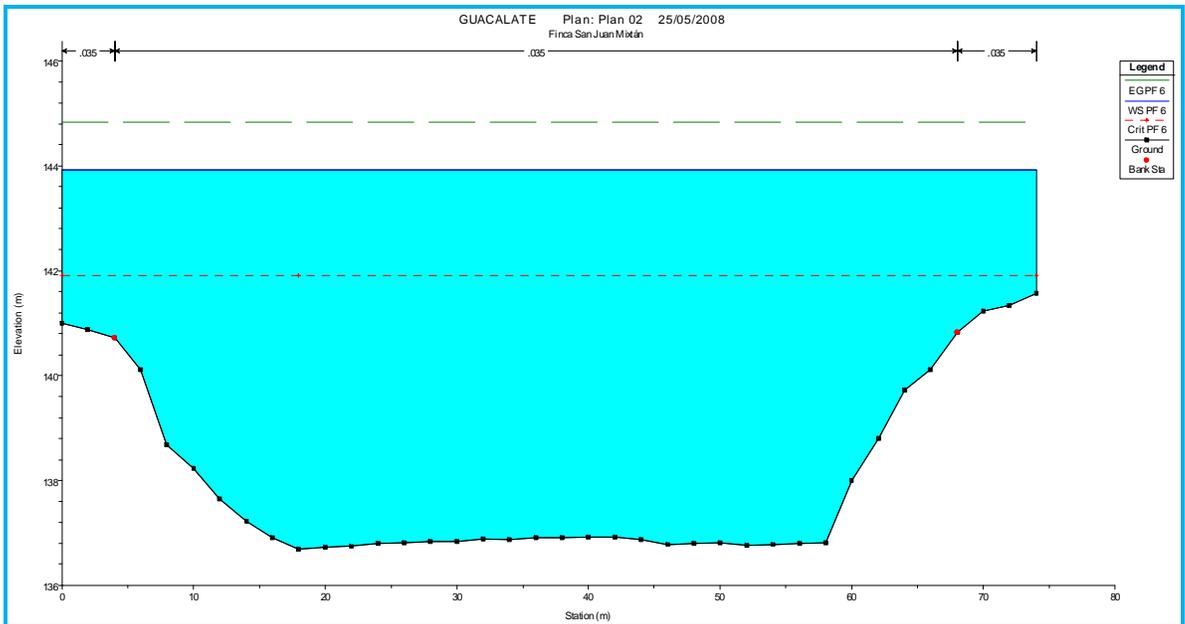


Figura A.10 Sección 3, finca San Juan Mixtán

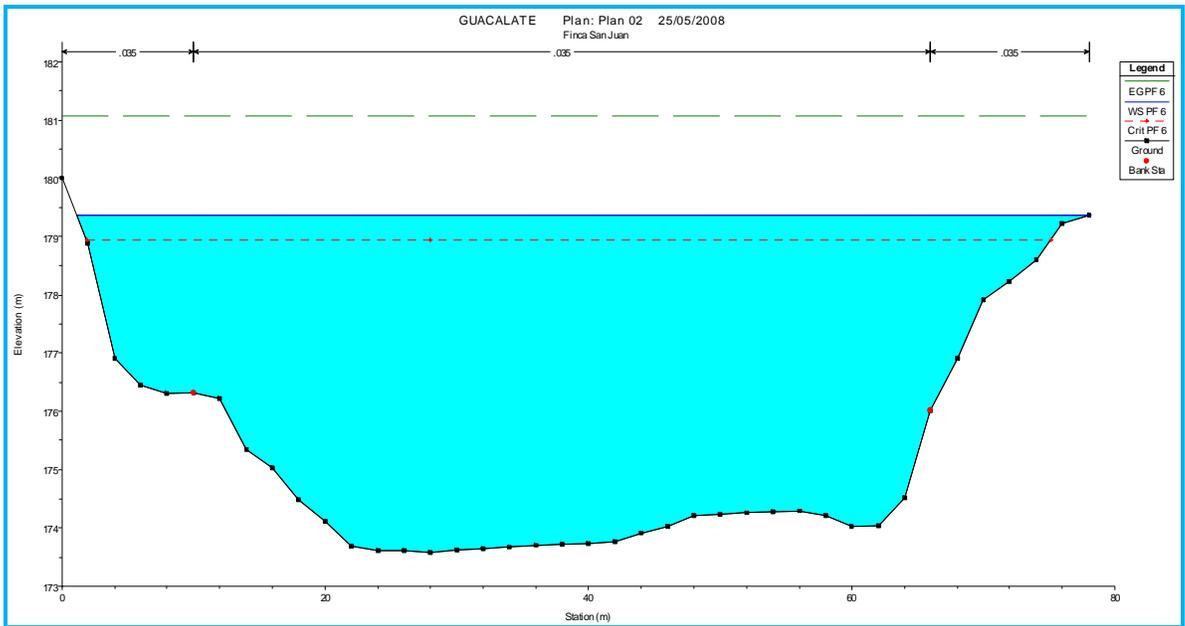


Figura A.11 Sección 4, finca San Juan

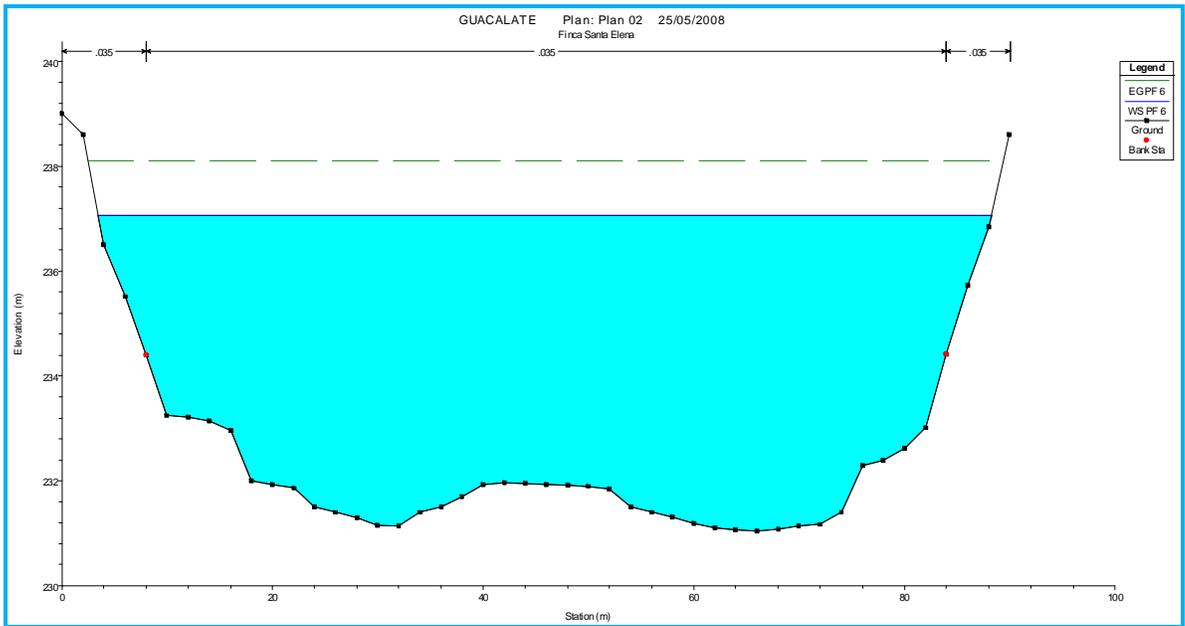


Figura A.12 Sección 5, finca Santa Elena

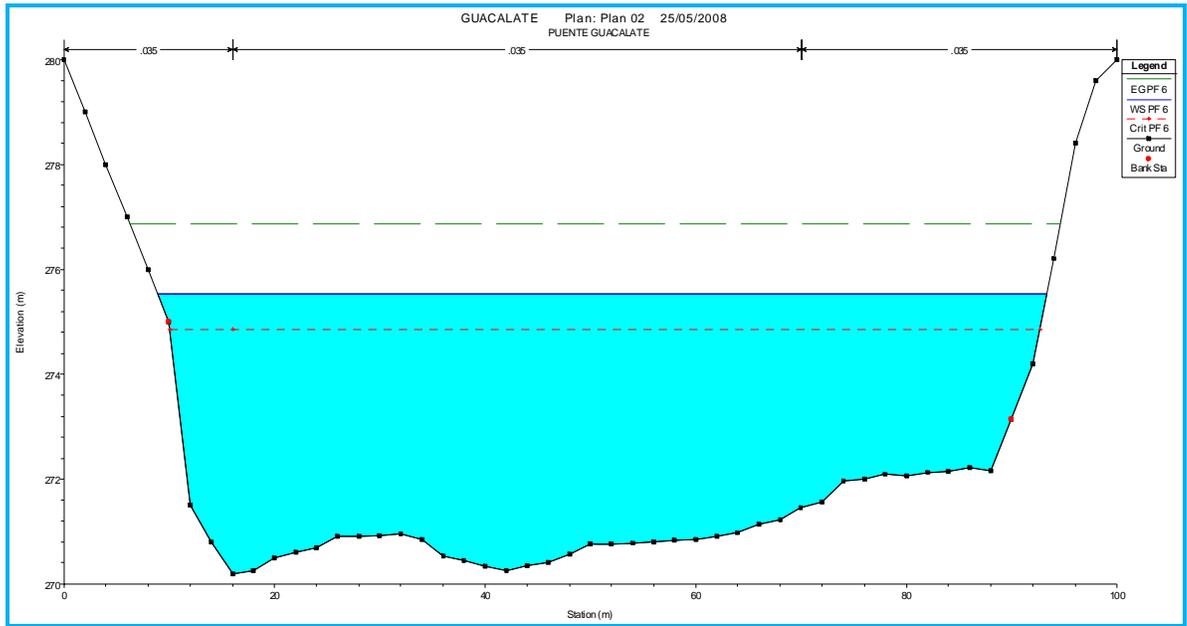


Figura A.13 Sección 6, puente Guacalate

Cuadro A.1 Boleta de toma de datos de niveles de río

**Boleta 1
Sistema de Alerta Temprana (Registro de Niveles de Río)**

Día _____
Mes _____

Cuenca _____
Río _____

Hora	Nivel	Observaciones
12:00:00 a.m.		
12:15:00 a.m.		
12:30:00 a.m.		
12:45:00 a.m.		
1:00:00 a.m.		
1:15:00 a.m.		
1:30:00 a.m.		
1:45:00 a.m.		
2:00:00 a.m.		
2:15:00 a.m.		
2:30:00 a.m.		
2:45:00 a.m.		
3:00:00 a.m.		
3:15:00 a.m.		
3:30:00 a.m.		
3:45:00 a.m.		
4:00:00 a.m.		
4:15:00 a.m.		
4:30:00 a.m.		
4:45:00 a.m.		
5:00:00 a.m.		
5:15:00 a.m.		
5:30:00 a.m.		
5:45:00 a.m.		
6:00:00 a.m.		
6:15:00 a.m.		
6:30:00 a.m.		
6:45:00 a.m.		
7:00:00 a.m.		
7:15:00 a.m.		
7:30:00 a.m.		
7:45:00 a.m.		
8:00:00 a.m.		
8:15:00 a.m.		
8:30:00 a.m.		
8:45:00 a.m.		
9:00:00 a.m.		
9:15:00 a.m.		
9:30:00 a.m.		
9:45:00 a.m.		
10:00:00 a.m.		
10:15:00 a.m.		
10:30:00 a.m.		
10:45:00 a.m.		
11:00:00 a.m.		
11:15:00 a.m.		
11:30:00 a.m.		
11:45:00 a.m.		
12:00:00 p.m.		

Hora	Nivel	Observaciones
12:15:00 p.m.		
12:30:00 p.m.		
12:45:00 p.m.		
1:00:00 p.m.		
1:15:00 p.m.		
1:30:00 p.m.		
1:45:00 p.m.		
2:00:00 p.m.		
2:15:00 p.m.		
2:30:00 p.m.		
2:45:00 p.m.		
3:00:00 p.m.		
3:15:00 p.m.		
3:30:00 p.m.		
3:45:00 p.m.		
4:00:00 p.m.		
4:15:00 p.m.		
4:30:00 p.m.		
4:45:00 p.m.		
5:00:00 p.m.		
5:15:00 p.m.		
5:30:00 p.m.		
5:45:00 p.m.		
6:00:00 p.m.		
6:15:00 p.m.		
6:30:00 p.m.		
6:45:00 p.m.		
7:00:00 p.m.		
7:15:00 p.m.		
7:30:00 p.m.		
7:45:00 p.m.		
8:00:00 p.m.		
8:15:00 p.m.		
8:30:00 p.m.		
8:45:00 p.m.		
9:00:00 p.m.		
9:15:00 p.m.		
9:30:00 p.m.		
9:45:00 p.m.		
10:00:00 p.m.		
10:15:00 p.m.		
10:30:00 p.m.		
10:45:00 p.m.		
11:00:00 p.m.		
11:15:00 p.m.		
11:30:00 p.m.		
11:45:00 p.m.		
12:00:00 a.m.		

Cuadro A.2 Boleta de toma de datos de lluvia diaria

Boleta 2 Sistema de Alerta Temprana (Registro de Niveles de Río)

Día _____
Mes _____

Cuenca _____
Río _____

Hora	Lluvia	Observaciones
12:00:00 a.m.		
12:15:00 a.m.		
12:30:00 a.m.		
12:45:00 a.m.		
1:00:00 a.m.		
1:15:00 a.m.		
1:30:00 a.m.		
1:45:00 a.m.		
2:00:00 a.m.		
2:15:00 a.m.		
2:30:00 a.m.		
2:45:00 a.m.		
3:00:00 a.m.		
3:15:00 a.m.		
3:30:00 a.m.		
3:45:00 a.m.		
4:00:00 a.m.		
4:15:00 a.m.		
4:30:00 a.m.		
4:45:00 a.m.		
5:00:00 a.m.		
5:15:00 a.m.		
5:30:00 a.m.		
5:45:00 a.m.		
6:00:00 a.m.		
6:15:00 a.m.		
6:30:00 a.m.		
6:45:00 a.m.		
7:00:00 a.m.		
7:15:00 a.m.		
7:30:00 a.m.		
7:45:00 a.m.		
8:00:00 a.m.		
8:15:00 a.m.		
8:30:00 a.m.		
8:45:00 a.m.		
9:00:00 a.m.		
9:15:00 a.m.		
9:30:00 a.m.		
9:45:00 a.m.		
10:00:00 a.m.		
10:15:00 a.m.		
10:30:00 a.m.		
10:45:00 a.m.		
11:00:00 a.m.		
11:15:00 a.m.		
11:30:00 a.m.		
11:45:00 a.m.		
12:00:00 p.m.		

Hora	Lluvia	Observaciones
12:15:00 p.m.		
12:30:00 p.m.		
12:45:00 p.m.		
1:00:00 p.m.		
1:15:00 p.m.		
1:30:00 p.m.		
1:45:00 p.m.		
2:00:00 p.m.		
2:15:00 p.m.		
2:30:00 p.m.		
2:45:00 p.m.		
3:00:00 p.m.		
3:15:00 p.m.		
3:30:00 p.m.		
3:45:00 p.m.		
4:00:00 p.m.		
4:15:00 p.m.		
4:30:00 p.m.		
4:45:00 p.m.		
5:00:00 p.m.		
5:15:00 p.m.		
5:30:00 p.m.		
5:45:00 p.m.		
6:00:00 p.m.		
6:15:00 p.m.		
6:30:00 p.m.		
6:45:00 p.m.		
7:00:00 p.m.		
7:15:00 p.m.		
7:30:00 p.m.		
7:45:00 p.m.		
8:00:00 p.m.		
8:15:00 p.m.		
8:30:00 p.m.		
8:45:00 p.m.		
9:00:00 p.m.		
9:15:00 p.m.		
9:30:00 p.m.		
9:45:00 p.m.		
10:00:00 p.m.		
10:15:00 p.m.		
10:30:00 p.m.		
10:45:00 p.m.		
11:00:00 p.m.		
11:15:00 p.m.		
11:30:00 p.m.		
11:45:00 p.m.		
12:00:00 a.m.		

Cuadro A.3 Tabla de perfiles uno cuenca río Achiguate (datos generales de las secciones) HEC-RAS

Río Achiguate	Estación río	Perfil / PR	Q Total	Elevación min canal	Superficie agua elev	Superficie agua crítica	Gradiente energía elev	Pendiente grad energía	Velocidad canal	Área de flujo	Ancho superior	No. Froude
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
CUENCA MEDIA	6	PF 1	203.33	270.2	275.22	271.97	275.25	0.002692	0.47	331.31	83.45	0.07
CUENCA MEDIA	6	PF 2	403.84	270.2	277.4	272.63	277.44	0.002367	0.57	520.26	89.88	0.07
CUENCA MEDIA	6	PF 3	606.82	270.2	279.17	273.07	279.23	0.002196	0.65	684.6	95.63	0.07
CUENCA MEDIA	6	PF 4	969.28	270.2	281.74	273.82	281.82	0.002016	0.74	939.25	100	0.07
CUENCA MEDIA	6	PF 5	1338.44	270.2	283.97	274.52	284.07	0.00191	0.82	1162.7 2	100	0.07
CUENCA MEDIA	6	PF 6	1816.21	270.2	286.61	275.39	286.72	0.001834	0.9	1425.8 1	100	0.07
CUENCA MEDIA	6	PF 7	2426.63	270.2	289.67	276.32	289.81	0.001785	1	1731.8	100	0.07
CUENCA MEDIA	6	PF 8	4545.3	270.2	298.7	279.26	298.9	0.001762	1.29	2635.3	100	0.08
CUENCA MEDIA	5	PF 1	203.33	231.04	236.87		236.89	0.00196	0.45	390.29	84.38	0.06
CUENCA MEDIA	5	PF 2	403.84	231.04	238.92		238.95	0.002218	0.59	567.58	89.58	0.07
CUENCA MEDIA	5	PF 3	606.82	231.04	240.43		240.48	0.002424	0.7	703.81	90	0.07
CUENCA MEDIA	5	PF 4	969.28	231.04	242.65		242.73	0.002714	0.86	903.73	90	0.08
CUENCA MEDIA	5	PF 5	1338.44	231.04	244.58		244.68	0.002944	1	1077.2 3	90	0.09
CUENCA MEDIA	5	PF 6	1816.21	231.04	246.79		246.93	0.003176	1.15	1276.3	90	0.09
CUENCA MEDIA	5	PF 7	2426.63	231.04	249.35		249.52	0.003388	1.31	1506.6 5	90	0.1
CUENCA MEDIA	5	PF 8	4545.3	231.04	257.2		257.45	0.003697	1.75	2213.2 5	90	0.11
CUENCA MEDIA	4	PF 1	203.33	173.58	177.95	175.19	177.99	0.010674	0.85	223.18	67.27	0.14
CUENCA MEDIA	4	PF 2	403.84	173.58	179.86	175.88	179.94	0.008264	0.97	363.37	77.75	0.13
CUENCA MEDIA	4	PF 3	606.82	173.58	181.39	176.52	181.5	0.007022	1.05	482.66	78	0.12
CUENCA MEDIA	4	PF 4	969.28	173.58	183.86	177.24	184.01	0.005812	1.16	675.42	78	0.12
CUENCA MEDIA	4	PF 5	1338.44	173.58	186.21	177.98	186.37	0.005105	1.25	858.15	78	0.11
CUENCA MEDIA	4	PF 6	1816.21	173.58	189.08	179.11	189.26	0.004526	1.35	1082.0 3	78	0.11
CUENCA MEDIA	4	PF 7	2426.63	173.58	192.54		192.74	0.004065	1.47	1352.1 3	78	0.11
CUENCA MEDIA	4	PF 8	4545.3	173.58	203.28		203.52	0.003352	1.81	2189.7 8	78	0.11
CUENCA MEDIA	3	PF 1	203.33	136.7	143.32		143.34	0.001279	0.41	395.65	74	0.05
CUENCA MEDIA	3	PF 2	403.84	136.7	145.85		145.88	0.001374	0.53	582.94	74	0.06
CUENCA MEDIA	3	PF 3	606.82	136.7	147.96		148.01	0.001439	0.63	739.36	74	0.06
CUENCA MEDIA	3	PF 4	969.28	136.7	151.19		151.26	0.001524	0.76	978.2	74	0.06

Continúa....

Río Achiguate	Estación río	Perfil / PR	Q Total (m3/s)	Elevación min canal (m)	Superficie agua elev (m)	Superficie agua critica (m)	Gradiente energía elev (m)	Pendiente grad energía (m/m)	Velocidad canal (m/s)	Área de flujo (m2)	Ancho superior (m)	No. Froude
CUENCA MEDIA	3	PF 5	1338.44	136.7	154.05		154.13	0.001595	0.88	1189.92	74	0.07
CUENCA MEDIA	3	PF 6	1816.21	136.7	157.34		157.44	0.001676	1.02	1433.47	74	0.07
CUENCA MEDIA	3	PF 7	2426.63	136.7	161.1		161.22	0.001766	1.17	1711.46	74	0.08
CUENCA MEDIA	3	PF 8	4545.3	136.7	171.88		172.06	0.002021	1.6	2509.34	74	0.09
CUENCA MEDIA	2	PF 1	203.78	107.08	109.77	108.23	109.85	0.038799	1.2	168.74	69.39	0.24
CUENCA MEDIA	2	PF 2	404.75	107.08	111.18	108.81	111.3	0.032627	1.48	269.61	72	0.24
CUENCA MEDIA	2	PF 3	608.18	107.08	112.31	109.3	112.47	0.030713	1.71	351.06	72	0.24
CUENCA MEDIA	2	PF 4	971.45	107.08	113.98	110.09	114.2	0.029763	2.03	471.14	72	0.25
CUENCA MEDIA	2	PF 5	1341.44	107.08	115.4		115.69	0.029777	2.31	573.8	72	0.26
CUENCA MEDIA	2	PF 6	1820.28	107.08	117.04		117.39	0.029874	2.61	691.26	72	0.27
CUENCA MEDIA	2	PF 7	2432.07	107.08	118.85		119.3	0.030336	2.95	822.13	72	0.28
CUENCA MEDIA	2	PF 8	4555.48	107.08	123.84		124.6	0.032805	3.89	1180.85	72	0.3
CUENCA MEDIA	1	PF 1	226.46	88.13	90.43	88.96	90.43	0.001404	0.2	687.14	400	0.04
CUENCA MEDIA	1	PF 2	449.79	88.13	91.19	89.16	91.21	0.001508	0.26	994.03	400	0.05
CUENCA MEDIA	1	PF 3	675.86	88.13	91.81	89.36	91.84	0.001575	0.3	1241.52	400	0.05
CUENCA MEDIA	1	PF 4	1079.56	88.13	92.72	89.68	92.76	0.001659	0.36	1606.94	400	0.06
CUENCA MEDIA	1	PF 5	1490.73	88.13	93.51	89.95	93.56	0.001723	0.41	1921.77	400	0.06
CUENCA MEDIA	1	PF 6	2022.85	88.13	94.39	90.25	94.46	0.001798	0.47	2274.16	400	0.06
CUENCA MEDIA	1	PF 7	2702.73	88.13	95.38	90.61	95.46	0.001876	0.53	2668.81	400	0.06
CUENCA MEDIA	1	PF 8	5062.46	88.13	98.16	91.65	98.3	0.002073	0.69	3779.07	400	0.07
CUENCA MEDIA	0	PF 1	226.46	73.07	73.76	73.76	73.97	0.486239	1.54	119.94	350.24	0.67
CUENCA MEDIA	0	PF 2	449.79	73.07	74.01	74.01	74.33	0.242564	1.41	212.03	362.34	0.5
CUENCA MEDIA	0	PF 3	675.86	73.07	74.22	74.22	74.62	0.186466	1.44	287.87	371.62	0.46
CUENCA MEDIA	0	PF 4	1079.56	73.07	74.52	74.52	75.06	0.149072	1.54	401.79	381.18	0.43
CUENCA MEDIA	0	PF 5	1490.73	73.07	74.78	74.78	75.45	0.132921	1.64	502.6	392.52	0.42
CUENCA MEDIA	0	PF 6	2022.85	73.07	75.09	75.09	75.88	0.117558	1.74	624.04	400	0.41
CUENCA MEDIA	0	PF 7	2702.73	73.07	75.43	75.43	76.38	0.105916	1.84	760.7	400	0.4
CUENCA MEDIA	0	PF 8	5062.46	73.07	76.41	76.41	77.86	0.090039	2.17	1150.76	400	0.39

Fuente: Elaboración propia (2008)

Cuadro A.4 Tabla de perfiles dos cuenca río Achiguate (datos específicos de las secciones) HEC-RAS

Río Achiguate	Estación río	Perfil / PR	Gradiente energía elev (m)	Superficie agua elev (m)	Velocidad inicial (m)	Pérdida por fricción (m)	Pérdida por contracción/expansión (m)	Q Izq. (m3/s)	Q Canal (m3/s)	Q Der (m3/s)	Ancho superior (m)
CUENCA MEDIA	6	PF 1	275.25	275.22	0.03	38.36	0	20.44	114.44	68.45	83.45
CUENCA MEDIA	6	PF 2	277.44	277.4	0.05	38.49	0	40.5	207.25	156.09	89.88
CUENCA MEDIA	6	PF 3	279.23	279.17	0.06	38.75	0	68.51	295.63	242.68	95.63
CUENCA MEDIA	6	PF 4	281.82	281.74	0.08	39.09	0	132.91	440.64	395.73	100
CUENCA MEDIA	6	PF 5	284.07	283.97	0.1	39.39	0	198.8	583.48	556.15	100
CUENCA MEDIA	6	PF 6	286.72	286.61	0.12	39.8	0	282.13	773.04	761.04	100
CUENCA MEDIA	6	PF 7	289.81	289.67	0.14	40.29	0	385.29	1022.9	1018.44	100
CUENCA MEDIA	6	PF 8	298.9	298.7	0.2	41.44	0.01	720.7	1946.06	1878.54	100
CUENCA MEDIA	5	PF 1	236.89	236.87	0.02	58.89	0	28.08	142.79	32.46	84.38
CUENCA MEDIA	5	PF 2	238.95	238.92	0.03	59	0	67.29	261.28	75.27	89.58
CUENCA MEDIA	5	PF 3	240.48	240.43	0.05	58.97	0.01	114.33	372.99	119.5	90
CUENCA MEDIA	5	PF 4	242.73	242.65	0.08	58.72	0.01	200.5	572.43	196.35	90
CUENCA MEDIA	5	PF 5	244.68	244.58	0.11	58.31	0.01	287.68	778.45	272.31	90
CUENCA MEDIA	5	PF 6	246.93	246.79	0.14	57.66	0.01	398.7	1049.97	367.54	90
CUENCA MEDIA	5	PF 7	249.52	249.35	0.17	56.77	0	537.18	1404.72	484.73	90
CUENCA MEDIA	5	PF 8	257.45	257.2	0.25	53.93	0	988.48	2697.36	859.46	90
CUENCA MEDIA	4	PF 1	177.99	177.95	0.05	34.65	0.01	32.7	166.82	3.8	67.27
CUENCA MEDIA	4	PF 2	179.94	179.86	0.08	34.04	0.01	92.67	284.56	26.61	77.75
CUENCA MEDIA	4	PF 3	181.5	181.39	0.11	33.47	0.02	156.02	386.4	64.4	78
CUENCA MEDIA	4	PF 4	184.01	183.86	0.14	32.73	0.02	266.07	569.1	134.11	78
CUENCA MEDIA	4	PF 5	186.37	186.21	0.17	32.21	0.03	373.63	761.2	203.61	78
CUENCA MEDIA	4	PF 6	189.26	189.08	0.19	31.8	0.03	506.81	1019.62	289.79	78
CUENCA MEDIA	4	PF 7	192.74	192.54	0.2	31.5	0.03	668.4	1364.35	393.88	78
CUENCA MEDIA	4	PF 8	203.52	203.28	0.24	31.44	0.02	1174.38	2654.85	716.07	78
CUENCA MEDIA	3	PF 1	143.34	143.32	0.02	33.48	0.01	56.99	117.18	29.17	74
CUENCA MEDIA	3	PF 2	145.88	145.85	0.03	34.58	0.01	118.25	210.62	74.98	74
CUENCA MEDIA	3	PF 3	148.01	147.96	0.05	35.53	0.01	178.58	306.3	121.95	74

Continúa.....

Río Achiguate	Estación río	Perfil / PR	Gradiente energía elev (m)	Superficie agua elev (m)	Velocidad inicial (m)	Pérdida por fricción (m)	Pérdida por contracción /expansión (m)	Q Izq. (m3/s)	Q Canal (m3/s)	Q Der (m3/s)	Ancho superior (m)
CUENCA MEDIA	3	PF 4	151.26	151.19	0.07	37.04	0.02	282.67	482.21	204.4	74
CUENCA MEDIA	3	PF 5	154.13	154.05	0.08	38.43	0.02	384.69	667.88	285.87	74
CUENCA MEDIA	3	PF 6	157.44	157.34	0.1	40.02	0.03	511.88	916.57	387.76	74
CUENCA MEDIA	3	PF 7	161.22	161.1	0.12	41.89	0.03	667.93	1245.76	512.94	74
CUENCA MEDIA	3	PF 8	172.06	171.88	0.18	47.41	0.06	1169.46	2460.38	915.46	74
CUENCA MEDIA	2	PF 1	109.85	109.77	0.07	19.39	0.02	3.28	200	0.5	69.39
CUENCA MEDIA	2	PF 2	111.3	111.18	0.12	20.06	0.03	9.45	384.45	10.85	72
CUENCA MEDIA	2	PF 3	112.47	112.31	0.16	20.59	0.04	14.85	568.95	24.38	72
CUENCA MEDIA	2	PF 4	114.2	113.98	0.22	21.38	0.05	23.22	900.77	47.46	72
CUENCA MEDIA	2	PF 5	115.69	115.4	0.28	22.06	0.07	30.75	1241.52	69.17	72
CUENCA MEDIA	2	PF 6	117.39	117.04	0.36	22.85	0.09	39.53	1685.58	95.17	72
CUENCA MEDIA	2	PF 7	119.3	118.85	0.45	23.73	0.11	49.71	2256.62	125.75	72
CUENCA MEDIA	2	PF 8	124.6	123.84	0.76	26.11	0.19	80.03	4257.32	218.13	72
CUENCA MEDIA	1	PF 1	90.43	90.43	0.01	16.44	0.02	106.63	74.34	45.49	400
CUENCA MEDIA	1	PF 2	91.21	91.19	0.02	16.85	0.03	221.76	130.9	97.13	400
CUENCA MEDIA	1	PF 3	91.84	91.81	0.02	17.18	0.04	339.51	186.26	150.1	400
CUENCA MEDIA	1	PF 4	92.76	92.72	0.04	17.65	0.05	551.16	283.19	245.21	400
CUENCA MEDIA	1	PF 5	93.56	93.51	0.05	18.05	0.06	767.72	380.75	342.26	400
CUENCA MEDIA	1	PF 6	94.46	94.39	0.06	18.51	0.07	1048.78	506.34	467.73	400
CUENCA MEDIA	1	PF 7	95.46	95.38	0.08	19	0.09	1408.78	666.29	627.66	400
CUENCA MEDIA	1	PF 8	98.3	98.16	0.15	20.31	0.13	2662.3	1221.56	1178.6	400
CUENCA MEDIA	0	PF 1	73.97	73.76	0.21			108.98	116.14	1.34	350.24
CUENCA MEDIA	0	PF 2	74.33	74.01	0.32			286.94	157.59	5.27	362.34
CUENCA MEDIA	0	PF 3	74.62	74.22	0.4			462.05	202.86	10.94	371.62
CUENCA MEDIA	0	PF 4	75.06	74.52	0.54			774.26	281.32	23.98	381.18
CUENCA MEDIA	0	PF 5	75.45	74.78	0.66			1093.23	359.95	37.55	392.52
CUENCA MEDIA	0	PF 6	75.88	75.09	0.79			1498.44	455.22	69.19	400
CUENCA MEDIA	0	PF 7	76.38	75.43	0.95			2012.83	571.31	118.58	400
CUENCA MEDIA	0	PF 8	77.86	76.41	1.45			3793.28	967.69	301.49	400

Cuadro A.5 Tabla de datos específicos para período de retorno de 50 años en cada tramo. HEC-RAS

Plan: PLAN 01 RÍO GUACALATE CUENCA MEDIA RS: 6 Perfil: PF 5

		Elemento	Izquierda OB	Canal	Derecha OB
Gradiente energía elev (m)	284.07				
Vel. inicial (m)	0.1	N manning balanceado	0.1	0.3	0.1
Superficie de agua elev (m)	283.97	Longitud río aguas arriba (m)	16804	16804	16804
Superficie de agua crítica (m)	274.52	Área de flujo(m2)	138.79	715.91	308.02
Pendiente de gradiente energía (m/m)	0.00191	Área (m2)	138.79	715.91	308.02
Q Total (m3/s), de sección	1338.44	Caudal (m3/s)	198.8	583.48	556.15
Ancho húmedo superior (m), en sección	100	Ancho superior (m)	16	54	30
Vel. promedio en sección (m/s)	1.15	Velocidad promedio (m/s)	1.43	0.82	1.81
Profundidad max de canal (m), sección	13.77	Profundidad hidráulica (m)	8.67	13.26	10.27
Total de flujo transportado (m3/s)	30622.8	Transporte (m3/s)	4548.5	13349.8	12724.4
Ancho promedio de canal (m)	16804	Perímetro húmedo (m)	23.39	54.11	36.69
Altura min de canal (m)	270.2	Esfuerzo cortante (N/m2)	111.15	247.87	157.29
Alpha	1.47	Energía de la corriente (N/m s)	159.21	202.02	284
Pérdida por fricción (m)	39.39	Volumen acumulativo (1000 m3)	11700.83	43235.25	9817.96
Pérdida por contracción o expansión (m)	0	Área superficial acumulativa (1000 m2)	1804.19	4044.97	1159.88

Plan: PLAN 01 RIO GUACALATE CUENCA MEDIA RS: 5 Perfil: PF 5

		Elemento	Izquierda OB	Canal	Derecha OB
Gradiente energía elev (m)	244.68				
Vel. inicial (m)	0.11	N manning balanceado	0.1	0.3	0.1
Superficie de agua elev (m)	244.58	Longitud río aguas arriba (m)	15328	15328	15328
Superficie de agua crítica (m)		Área de flujo(m2)	152.06	781.98	143.19
Pendiente de gradiente energía (m/m)	0.00294	Área (m2)	152.06	781.98	143.19
Q Total (m3/s), de sección	1338.44	Caudal (m3/s)	287.68	778.45	272.31
Ancho húmedo superior (m), en sección	90	Ancho superior (m)	16	60	14
Vel. promedio en sección (m/s)	1.24	Velocidad promedio (m/s)	1.89	1	1.9
Profundidad max de canal (m), sección	13.54	Profundidad hidráulica (m)	9.5	13.03	10.23
Total de flujo transportado (m3/s)	24669.7	Transporte (m3/s)	5302.5	14348.1	5019.1
Ancho promedio de canal (m)	15328	Perímetro húmedo (m)	23.35	60.55	21.82
Altura min de canal (m)	231.04	Esfuerzo cortante (N/m2)	187.97	372.79	189.43
Alpha	1.35	Energía de la corriente (N/m s)	355.62	371.1	360.23
Pérdida por fricción (m)	58.31	Volumen acumulativo (1000 m3)	9257.12	30649.96	6026.85
Pérdida por contracción o expansión (m)	0.01	Área superficial acumulativa (1000 m2)	1535.33	3087.14	790.19

Plan: PLAN 01 RIO GUACALATE CUENCA MEDIA RS: 4 Perfil: PF 5

		Elemento	Izquierda OB	Canal	Derecha OB
Gradiente energía elev (m)	186.37				
Vel. inicial (m)	0.17	N manning balanceado	0.1	0.3	0.1
Superficie de agua elev (m)	186.21	Longitud río aguas arriba (m)	12273	12273	12273
Superficie de agua crítica (m)	177.98	Área de flujo(m2)	151.37	609.44	97.33
Pendiente de gradiente energía (m/m)	0.00511	Área (m2)	151.37	609.44	97.33
Q Total (m3/s), de sección	1338.44	Caudal (m3/s)	373.63	761.2	203.61
Ancho húmedo superior (m), en sección	78	Ancho superior (m)	16	50	12
Vel. promedio en sección (m/s)	1.56	Velocidad promedio (m/s)	2.47	1.25	2.09
Profundidad max de canal (m), sección	12.63	Profundidad hidráulica (m)	9.46	12.19	8.11
Total de flujo transportado (m3/s)	18732.8	Transporte (m3/s)	5229.3	10653.7	2849.7
Ancho promedio de canal (m)	12273	Perímetro húmedo (m)	23.58	50.74	19.43
Altura min de canal (m)	173.58	Esfuerzo cortante (N/m2)	321.44	601.24	250.79
Alpha	1.34	Energía de la corriente (N/m s)	793.4	750.96	524.62
Pérdida por fricción (m)	32.21	Volumen acumulativo (1000 m3)	6931.61	19986.13	4183.44
Pérdida por contracción o expansión (m)	0.03	Área superficial acumulativa (1000 m2)	1290.08	2244.1	590.92

Plan: PLAN 01 RIO GUACALATE CUENCA MEDIA RS: 3 Perfil: PF 5

		Elemento	Izquierda OB	Canal	Derecha OB
Gradiente energía elev (m)	154.13				
Vel. inicial (m)	0.08	N manning balanceado	0.1	0.3	0.1
Superficie de agua elev (m)	154.05	Longitud río aguas arriba (m)	9123	9123	9123
Superficie de agua crítica (m)		Área de flujo(m2)	239.92	756.88	193.13
Pendiente de gradiente energía (m/m)	0.0016	Área (m2)	239.92	756.88	193.13
Q Total (m3/s), de sección	1338.44	Caudal (m3/s)	384.69	667.88	285.87
Ancho húmedo superior (m), en sección	74	Ancho superior (m)	16	44	14
Vel. promedio en sección (m/s)	1.12	Velocidad promedio (m/s)	1.6	0.88	1.48
Profundidad max de canal (m), sección	17.35	Profundidad hidráulica (m)	14.99	17.2	13.79
Total de flujo transportado (m3/s)	33517.6	Transporte (m3/s)	9633.5	16725.3	7158.9
Ancho promedio de canal (m)	9123	Perímetro húmedo (m)	29.82	44.34	27.06
Altura min de canal (m)	136.7	Esfuerzo cortante (N/m2)	125.82	266.91	111.6
Alpha	1.26	Energía de la corriente (N/m s)	201.74	235.53	165.2
Pérdida por fricción (m)	38.43	Volumen acumulativo (1000 m3)	4530.46	11601.73	2401.03
Pérdida por contracción o expansión (m)	0.02	Área superficial acumulativa (1000 m2)	1093.72	1667.27	431.37

Plan: PLAN 01 RIO GUACALATE CUENCA MEDIA RS: 2 Perfil: PF 5

		Elemento	Izquierda OB	Canal	Derecha OB
Gradiente energía elev (m)	115.69				
Vel. inicial (m)	0.28	N manning balanceado	0.1	0.3	0.1
Superficie de agua elev (m)	115.4	Longitud río aguas arriba (m)	5248	5248	5248
Superficie de agua crítica (m)		Área de flujo(m2)	13.33	537.82	22.66
Pendiente de gradiente energía (m/m)	0.02978	Área (m2)	13.33	537.82	22.66
Q Total (m3/s), de sección	1341.44	Caudal (m3/s)	30.75	1241.52	69.17
Ancho húmedo superior (m), en sección	72	Ancho superior (m)	2	66	4
Vel. promedio en sección (m/s)	2.34	Velocidad promedio (m/s)	2.31	2.31	3.05
Profundidad max de canal (m), sección	8.32	Profundidad hidráulica (m)	6.66	8.15	5.66
Total de flujo transportado (m3/s)	7773.7	Transporte (m3/s)	178.2	7194.7	400.8
Ancho promedio de canal (m)	5248	Perímetro húmedo (m)	8.62	66.89	9.63
Altura min de canal (m)	107.08	Esfuerzo cortante (N/m2)	451.46	2347.71	687.08
Alpha	1.01	Energía de la corriente (N/m s)	1041.63	5419.55	2097.44
Pérdida por fricción (m)	22.06	Volumen acumulativo (1000 m3)	3375.27	5695.98	1416.74
Pérdida por contracción o expansión (m)	0.07	Área superficial acumulativa (1000 m2)	1011.61	1165.5	349.27

Plan: PLAN 01 RIO GUACALATE CUENCA MEDIA RS: 1 Perfil: PF 5

		Elemento	Izquierda OB	Canal	Derecha OB
Gradiente energía elev (m)	93.56				
Vel. inicial (m)	0.05	N manning balanceado	0.1	0.3	0.1
Superficie de agua elev (m)	93.51	Longitud río aguas arriba (m)	3250	3250	3250
Superficie de agua crítica (m)	89.95	Área de flujo(m2)	683.52	924.47	313.78
Pendiente de gradiente energía (m/m)	0.00172	Área (m2)	683.52	924.47	313.78
Q Total (m3/s), de sección	1490.73	Caudal (m3/s)	767.72	380.75	342.26
Ancho húmedo superior (m), en sección	400	Ancho superior (m)	150	180	70
Vel. promedio en sección (m/s)	0.78	Velocidad promedio (m/s)	1.12	0.41	1.09
Profundidad max de canal (m), sección	5.38	Profundidad hidráulica (m)	4.56	5.14	4.48
Total de flujo transportado (m3/s)	35913.7	Transporte (m3/s)	18495.3	9172.9	8245.5
Ancho promedio de canal (m)	3250	Perímetro húmedo (m)	153.56	180.01	73.66
Altura min de canal (m)	88.13	Esfuerzo cortante (N/m2)	75.21	86.77	71.98
Alpha	1.61	Energía de la corriente (N/m s)	84.47	35.74	78.51
Pérdida por fricción (m)	18.05	Volumen acumulativo (1000 m3)	1546.74	1858.93	533.93
Pérdida por contracción o expansión (m)	0.06	Área superficial acumulativa (1000 m2)	612.76	520	155.09

Plan: PLAN 01 RIO GUACALATE CUENCA MEDIA RS: 0 Perfil: PF 5

		Elemento	Izquierda OB	Canal	Derecha OB
Gradiente energía elev (m)	75.45				
Vel. inicial (m)	0.66	N manning balanceado	0.1	0.3	0.1
Superficie de agua elev (m)	74.78	Longitud río aguas arriba (m)			
Superficie de agua crítica (m)	74.78	Área de flujo(m2)	268.32	219.48	14.8
Pendiente de gradiente energía (m/m)	0.13292	Área (m2)	268.32	219.48	14.8
Q Total (m3/s), de sección	1490.73	Caudal (m3/s)	1093.23	359.95	37.55
Ancho húmedo superior (m), en sección	392.52	Ancho superior (m)	227.08	140	25.44
Vel. promedio en sección (m/s)	2.97	Velocidad promedio (m/s)	4.07	1.64	2.54
Profundidad max de canal (m), sección	1.71	Profundidad hidráulica (m)	1.18	1.57	0.58
Total de flujo transportado (m3/s)	4088.9	Transporte (m3/s)	2998.6	987.3	103
Ancho promedio de canal (m)		Perímetro húmedo (m)	227.12	140.01	25.48
Altura min de canal (m)	73.07	Esfuerzo cortante (N/m2)	1539.96	2043.39	756.97
Alpha	1.48	Energía de la corriente (N/m s)	6274.41	3351.13	1920.97
Pérdida por fricción (m)		Volumen acumulativo (1000 m3)			
Pérdida por contracción o expansión (m)		Área superficial acumulativa (1000 m2)			

Fuente: HEC – RAS (2008)

Cuadro A.6 Tabla de datos específicos para período de retorno de 100 años en cada tramo. HEC-RAS

Plan: PLAN 01 RÍO GUACALATE CUENCA MEDIA RS: 6 Perfil: PF 6

		Elemento	Izquierda OB	Canal	Derecha OB
Gradiente energía elev (m)	286.72				
Vel. inicial (m)	0.12	N manning balanceado	0.1	0.3	0.1
Superficie de agua elev (m)	286.61	Longitud río aguas arriba (m)	16804	16804	16804
Superficie de agua crítica (m)	275.39	Área de flujo(m2)	180.88	857.98	386.95
Pendiente de gradiente energía (m/m)	0.001834	Área (m2)	180.88	857.98	386.95
Q Total (m3/s), de sección	1816.21	Caudal (m3/s)	282.13	773.04	761.04
Ancho húmedo superior (m), en sección	100	Ancho superior (m)	16	54	30
Vel. promedio en sección (m/s)	1.27	Velocidad promedio (m/s)	1.56	0.9	1.97
Profundidad max de canal (m), sección	16.41	Profundidad hidráulica (m)	11.31	15.89	12.9
Total de flujo transportado (m3/s)	42409.8	Transporte (m3/s)	6587.9	18051.1	17770.7
Ancho promedio de canal (m)	16804	Perímetro húmedo (m)	26.02	54.11	39.32
Altura min de canal (m)	270.2	Esfuerzo cortante (N/m2)	125.01	285.19	177.01
Alpha	1.44	Energía de la corriente (N/m s)	194.98	256.96	348.13
Pérdida por fricción (m)	39.8	Volumen acumulativo (1000 m3)	14518.56	51607.58	12270.28
Pérdida por contracción o expansión (m)	0	Área superficial acumulativa (1000 m2)	1808.93	4044.97	1167.29

Plan: PLAN 01 RIO GUACALATE CUENCA MEDIA RS: 5 Perfil: PF 6

Gradiente energía elev (m)	246.93	Elemento	Izquierda OB	Canal	Derecha OB
Vel. inicial (m)	0.14	N manning balanceado	0.1	0.3	0.1
Superficie de agua elev (m)	246.79	Longitud río aguas arriba (m)	15328	15328	15328
Superficie de agua crítica (m)		Área de flujo(m2)	187.45	914.69	174.16
Pendiente de gradiente energía (m/m)	0.003176	Área (m2)	187.45	914.69	174.16
Q Total (m3/s), de sección	1816.21	Caudal (m3/s)	398.7	1049.97	367.54
Ancho húmedo superior (m), en sección	90	Ancho superior (m)	16	60	14
Vel. promedio en sección (m/s)	1.42	Velocidad promedio (m/s)	2.13	1.15	2.11
Profundidad max de canal (m), sección	15.75	Profundidad hidráulica (m)	11.72	15.24	12.44
Total de flujo transportado (m3/s)	32228.8	Transporte (m3/s)	7075	18631.8	6521.9
Ancho promedio de canal (m)	15328	Perímetro húmedo (m)	25.56	60.55	24.03
Altura min de canal (m)	231.04	Esfuerzo cortante (N/m2)	228.36	470.45	225.69
Alpha	1.31	Energía de la corriente (N/m s)	485.73	540.03	476.28
Pérdida por fricción (m)	57.66	Volumen acumulativo (1000 m3)	11423.85	36713.61	7555.87
Pérdida por contracción o expansión (m)	0.01	Área superficial acumulativa (1000 m2)	1540.07	3087.14	797.6

Plan: PLAN 01 RIO GUACALATE CUENCA MEDIA RS: 4 Perfil: PF 6

Gradiente energía elev (m)	189.26	Elemento	Izquierda OB	Canal	Derecha OB
Vel. inicial (m)	0.19	N manning balanceado	0.1	0.3	0.1
Superficie de agua elev (m)	189.08	Longitud río aguas arriba (m)	12273	12273	12273
Superficie de agua crítica (m)	179.11	Área de flujo(m2)	197.3	752.95	131.78
Pendiente de gradiente energía (m/m)	0.004526	Área (m2)	197.3	752.95	131.78
Q Total (m3/s), de sección	1816.21	Caudal (m3/s)	506.81	1019.62	289.79
Ancho húmedo superior (m), en sección	78	Ancho superior (m)	16	50	12
Vel. promedio en sección (m/s)	1.68	Velocidad promedio (m/s)	2.57	1.35	2.2
Profundidad max de canal (m), sección	15.5	Profundidad hidráulica (m)	12.33	15.06	10.98
Total de flujo transportado (m3/s)	26995.7	Transporte (m3/s)	7533	15155.3	4307.3
Ancho promedio de canal (m)	12273	Perímetro húmedo (m)	26.45	50.74	22.3
Altura min de canal (m)	173.58	Esfuerzo cortante (N/m2)	331.15	658.62	262.3
Alpha	1.29	Energía de la corriente (N/m s)	850.63	891.87	576.81
Pérdida por fricción (m)	31.8	Volumen acumulativo (1000 m3)	8475.16	23932.81	5211.16
Pérdida por contracción o expansión (m)	0.03	Área superficial acumulativa (1000 m2)	1294.82	2244.1	598.33

Plan: PLAN 01 RIO GUACALATE CUENCA MEDIA RS: 3 Perfil: PF 6

		Elemento	Izquierda OB	Canal	Derecha OB
Gradiente energía elev (m)	157.44				
Vel. inicial (m)	0.1	N manning balanceado	0.1	0.3	0.1
Superficie de agua elev (m)	157.34	Longitud río aguas arriba (m)	9123	9123	9123
Superficie de agua crítica (m)		Área de flujo(m2)	292.58	901.69	239.2
Pendiente de gradiente energía (m/m)	0.001676	Área (m2)	292.58	901.69	239.2
Q Total (m3/s), de sección	1816.21	Caudal (m3/s)	511.88	916.57	387.76
Ancho húmedo superior (m), en sección	74	Ancho superior (m)	16	44	14
Vel. promedio en sección (m/s)	1.27	Velocidad promedio (m/s)	1.75	1.02	1.62
Profundidad max de canal (m), sección	20.64	Profundidad hidráulica (m)	18.29	20.49	17.09
Total de flujo transportado (m3/s)	44370.3	Transporte (m3/s)	12505.4	22391.9	9473.1
Ancho promedio de canal (m)	9123	Perímetro húmedo (m)	33.11	44.34	30.35
Altura min de canal (m)	136.7	Esfuerzo cortante (N/m2)	145.19	334.11	129.49
Alpha	1.21	Energía de la corriente (N/m s)	254.03	339.62	209.92
Pérdida por fricción (m)	40.02	Volumen acumulativo (1000 m3)	5469.04	13779.1	2934.63
Pérdida por contracción o expansión (m)	0.03	Área superficial acumulativa (1000 m2)	1098.46	1667.27	438.78

Plan: PLAN 01 RIO GUACALATE CUENCA MEDIA RS: 2 Perfil: PF 6

		Elemento	Izquierda OB	Canal	Derecha OB
Gradiente energía elev (m)	117.39				
Vel. inicial (m)	0.36	N manning balanceado	0.1	0.3	0.1
Superficie de agua elev (m)	117.04	Longitud río aguas arriba (m)	5248	5248	5248
Superficie de agua crítica (m)		Área de flujo(m2)	16.59	645.49	29.18
Pendiente de gradiente energía (m/m)	0.029874	Área (m2)	16.59	645.49	29.18
Q Total (m3/s), de sección	1820.28	Caudal (m3/s)	39.53	1685.58	95.17
Ancho húmedo superior (m), en sección	72	Ancho superior (m)	2	66	4
Vel. promedio en sección (m/s)	2.63	Velocidad promedio (m/s)	2.38	2.61	3.26
Profundidad max de canal (m), sección	9.96	Profundidad hidráulica (m)	8.3	9.78	7.3
Total de flujo transportado (m3/s)	10531.5	Transporte (m3/s)	228.7	9752.2	550.6
Ancho promedio de canal (m)	5248	Perímetro húmedo (m)	10.25	66.89	11.26
Altura min de canal (m)	107.08	Esfuerzo cortante (N/m2)	474.1	2826.93	759.23
Alpha	1.01	Energía de la corriente (N/m s)	1129.52	7382.06	2475.86
Pérdida por fricción (m)	22.85	Volumen acumulativo (1000 m3)	4058.78	6721.66	1710.4
Pérdida por contracción o expansión (m)	0.09	Área superficial acumulativa (1000 m2)	1016.35	1165.5	356.68

Plan: PLAN 01 RIO GUACALATE CUENCA MEDIA RS: 1 Perfil: PF 6

		Elemento	Izquierda OB	Canal	Derecha OB
Gradiente energía elev (m)	94.46				
Vel. inicial (m)	0.06	N manning balanceado	0.1	0.3	0.1
Superficie de agua elev (m)	94.39	Longitud río aguas arriba (m)	3250	3250	3250
Superficie de agua crítica (m)	90.25	Área de flujo(m2)	815.66	1083.05	375.45
Pendiente de gradiente energía (m/m)	0.001798	Área (m2)	815.66	1083.05	375.45
Q Total (m3/s), de sección	2022.85	Caudal (m3/s)	1048.78	506.34	467.73
Ancho húmedo superior (m), en sección	400	Ancho superior (m)	150	180	70
Vel. promedio en sección (m/s)	0.89	Velocidad promedio (m/s)	1.29	0.47	1.25
Profundidad max de canal (m), sección	6.26	Profundidad hidráulica (m)	5.44	6.02	5.36
Total de flujo transportado (m3/s)	47710.9	Transporte (m3/s)	24736.5	11942.5	11031.9
Ancho promedio de canal (m)	3250	Perímetro húmedo (m)	154.44	180.01	74.54
Altura min de canal (m)	88.13	Esfuerzo cortante (N/m2)	93.1	106.06	88.79
Alpha	1.61	Energía de la corriente (N/m s)	119.71	49.59	110.61
Pérdida por fricción (m)	18.51	Volumen acumulativo (1000 m3)	1874.93	2185.99	648.65
Pérdida por contracción o expansión (m)	0.07	Área superficial acumulativa (1000 m2)	617.5	520	162.5

Plan: PLAN 01 RIO GUACALATE CUENCA MEDIA RS: 0 Perfil: PF 6

		Elemento	Izquierda OB	Canal	Derecha OB
Gradiente energía elev (m)	75.88				
Vel. inicial (m)	0.79	N manning balanceado	0.1	0.3	0.1
Superficie de agua elev (m)	75.09	Longitud río aguas arriba (m)			
Superficie de agua crítica (m)	75.09	Área de flujo(m2)	338.14	262.18	23.73
Pendiente de gradiente energía (m/m)	0.117558	Área (m2)	338.14	262.18	23.73
Q Total (m3/s), de sección	2022.85	Caudal (m3/s)	1498.44	455.22	69.19
Ancho húmedo superior (m), en sección	400	Ancho superior (m)	230	140	30
Vel. promedio en sección (m/s)	3.24	Velocidad promedio (m/s)	4.43	1.74	2.92
Profundidad max de canal (m), sección	2.02	Profundidad hidráulica (m)	1.47	1.87	0.79
Total de flujo transportado (m3/s)	5899.8	Transporte (m3/s)	4370.3	1327.7	201.8
Ancho promedio de canal (m)		Perímetro húmedo (m)	230.13	140.01	30.25
Altura min de canal (m)	73.07	Esfuerzo cortante (N/m2)	1693.91	2158.75	904.24
Alpha	1.48	Energía de la corriente (N/m s)	7506.41	3748.27	2636.9
Pérdida por fricción (m)		Volumen acumulativo (1000 m3)			
Pérdida por contracción o expansión (m)		Área superficial acumulativa (1000 m2)			

Fuente: HEC – RAS (2008)