

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA  
MAESTRIA EN GESTION PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**



**arquitectura**

**EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN EN LA PARTE  
ALTA DE LA CUENCA DEL RÍO CAHABÓN**

**ING. GEOL. BERNNIE GAMALIEL CASTILLO MOESCHLER**

**GUATEMALA, AGOSTO DE 2009.**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



**FACULTAD DE ARQUITECTURA  
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

**“EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN EN LA PARTE ALTA  
DE LA CUENCA DEL RÍO CAHABÓN**

ESTUDIO ESPECIAL

(PRESENTADO AL JURADO EXAMINADOR)

POR:

**ING. GEOL. BERNNIE GAMALIEL CASTILLO MOESCHLER**

ASESORADO POR EL M. Sc. ING. AGR. JUAN CARLOS FUENTES  
MONTEPEQUE

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGISTER SCIENTIFICAE/MAESTRO EN CIENCIAS CON LA  
ESPECIALIZACION  
EN GESTIÓN PARA LA REDUCCION DE RIESGOS

**GUATEMALA, AGOSTO DE 2009**

## ACTO QUE DEDICO A:

### DIOS

Omnisciente y lleno de sabiduría y conocimiento. Le doy las gracias por haberme dado vida y fortaleza para alcanzar este logro en mi vida.

### MIS PADRES

Vitalino Castillo y Marilenna Moeschler de Castillo, como un reconocimiento por su incondicional apoyo, que Dios los bendiga y les colme de abundantes bendiciones a sus vidas.

### A MI ABUELO

Que con su conocimiento y experiencia de la vida, me ha enseñado sobre el trabajo y la dedicación a las cosas.

### A MIS HERMANAS Y SOBRINO

Keila, Marlenne y Abner Alexander, con cariño especial.

### MIS TIAS Y PRIMOS

Como una muestra de superación, con cariño y respeto.

**AL CUNOR, FACULTAD DE ARQUITECTURA Y A LA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A mi asesor Msc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque**, por su valiosa asesoría y apoyo incondicional en la formulación de la presente investigación.

**A mis consultores, Msc. Ing. Ángel Arce Canahuí y Juan José Sandoval**, por su aporte en la investigación y apoyo en el proceso de graduación.

**A mis amigos, Byron Oliva, Ing. Julio Reynosa Mejía, y Oscar Choc** , por su apoyo y colaboración en el proceso de investigación y graduación.

**A mis colegas y amigos, Ing. Geol. Sergio Morán e Ing. Geol. Luis Chiquín**, por sus observaciones y colaboración incondicional en la etapa de campo.

**Al Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Guatemala)**: Ing. Eddy Sánchez, Ing. Fulgencio Garavito, Sr. Jorge Mario Izaguirre, por su ayuda y colaboración de información brindada durante mi estancia, en la sección de hidrología del departamento de investigación y servicios hídricos.

**Al Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Cobán)**: a los Srs. Mario Arturo Maaz y Leonel Enrique Boch del departamento de climatología, por la confianza y colaboración brindada en la documentación de información, durante mi estancia en ese lugar.

**A mis compañeros de promoción**, por compartir y vivir momentos de alegría durante el proceso de cierre de la maestría.

# GENERAL

Índice de contenidos	i
Índice de tablas	v
Índice de fotografías	vii
Índice de figuras	vii
Índice de gráficas	vii
Índice de mapas	viii
Listado de abreviaturas	ix
Glosario	x
Resumen	xii
Introducción	xiv

## PARTE I. INTRODUCCIÓN

<b>CAPÍTULO 1. ASPECTOS INTRODUCTORIOS</b>	<b>2</b>
1.1 El problema	2
1.1.1 Antecedentes	3
1.1.2 Justificación	6
1.1.3 Alcances y límites de la investigación	6
1.1.3.1 Alcances	7
1.1.3.2 Límites	7
1.2 Objetivos	8
1.2.1 General	8
1.2.2 Específicos	8
1.3 Aspectos metodológicos	9
1.3.1 Recopilación y análisis bibliográfico	9
1.3.2 Trabajo de campo	9
1.3.3 Etapa de gabinete	10
1.3.1.1 Escala	10
<b>CAPÍTULO 2. LOCALIZACIÓN Y EXTENSIÓN DEL ÁREA</b>	<b>11</b>
2.1 Accesibilidad	11
2.2 Características generales del área de investigación	12
2.2.1 Delimitación geográfica	13
2.2.2 Colindancias	13
2.2.3 Delimitación personal	13
2.3 Resultados esperados	14
2.4 Impacto de resultados	14

<b>PARTE II. MARCO TEÓRICO</b>		
<b>CAPÍTULO 3.</b>	<b>HIDROLOGÍA DE LA CUENCA Y AMENAZA POR INUNDACIONES</b>	<b>17</b>
3.1	Cuenca hidrográfica	17
3.2	Ciclo hidrológico	17
3.3	El cambio climático: definición e importancia	18
3.3.1	Vulnerabilidad de los Recursos Hídricos ante el cambio climático	18
3.4	Análisis de eventos extremos	19
3.5	Distribuciones teóricas de frecuencia para eventos extremos	21
3.6	Componentes básicos del riesgo	22
3.6.1	Riesgo	22
3.6.2	Amenaza	22
3.6.3	Vulnerabilidad	23
3.7	Desastre	25
3.8	Inundación y aspectos relacionados	26
3.8.1	Tipos de Inundaciones	28
3.8.2	Control de las inundaciones	30
3.9	Definición de un Sistema de Información Geográfico	31
3.10	Definición de Karst	31
3.11	Conceptualización de los parámetros morfométricos	32
3.11.1	Características lineales	32
3.11.2	Características de superficie	34
3.11.3	Características de relieve	35
<b>CAPÍTULO 4.</b>	<b>GEOGRAFÍA FÍSICA Y RECURSOS NATURALES</b>	<b>37</b>
4.1	Fisiografía	37
4.2	Clima	39
4.3	Relieve	40
4.4	Drenaje	41
4.5	Uso del Suelo	44
4.6	Zonas de Vida	46
<b>CAPÍTULO 5.</b>	<b>ESTRATIGRAFÍA DE LA CUENCA</b>	<b>48</b>
5.1	Generalidades	48
5.2	Basamento del Bloque Chortís	48
5.3	Basamento del Bloque Maya	49
5.4	Secuencia estratigráfica	49
5.4.1	Paleozoico superior	51
5.4.2	Jurásico a cretácico superior	51

5.4.3	El cretácico	51
5.4.4	Depósitos terciarios y cuaternarios	52
5.5	Geología Estructural regional	52
5.5.1	Generalidades	52
5.6	Ambiente Estructural Regional	53
<b>CAPÍTULO 6. MARCO LEGAL</b>		<b>55</b>
6.1	Declaración universal de los Derechos Humanos	56
6.2	Constitución Política de la República de Guatemala	56
6.3	Código Municipal	59
6.4	Ley de Desarrollo Social	60
6.5	Ley de los Consejos de Desarrollo Urbano y Rural	61
6.6	Ley de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres de Origen Natural o Provocado	61
6.7	Ley Forestal	63
6.8	Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente	64
6.9	Ley de Vivienda y Asentamientos Humanos	65

### **PARTE III. INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

<b>CAPÍTULO 7. CARACTERIZACIÓN DE LA PARTE ALTA DE LA CUENCA DEL RÍO CAHABON</b>		<b>68</b>
7.1	División Político Administrativa	68
7.2	Demografía	69
7.3	Zona hidrográfica	71
7.4	Litología	73
7.4.1	Formación Tactic (PT)	74
7.4.2	Formación Chochal (PC)	75
7.4.3	Formación Todos Santos (JKTs)	77
7.4.4	Formación Cobán (KCo)	78
7.4.5	Formación Campur (KCa)	79
7.4.6	Depósitos Terciario-Cuaternarios	80
	7.4.6.1 Arcilla limosa	80
	7.4.6.2 Suelos café y rojizo	81
	7.4.6.3 Unidad de suelos derivados de ceniza volcánica	82
	7.4.6.4 Terrazas	83
	7.4.6.5 Depósito fluvial	84
7.4.7	Estructuras geológicas	85
7.5	Morfometría de la cuenca	86
7.5.1	Aspectos lineales	86
7.5.2	Aspectos de superficie	88
7.5.3	Aspectos de relieve	90
7.6	Estimación de tiempo de concentración	92
7.6.1	Generalidades	92

<b>CAPÍTULO 8.</b>	<b>REGIMEN DE LLUVIAS Y CRECIDAS</b>	<b>95</b>
8.1	Régimen de lluvias	95
8.1.1	Generalidades	95
8.1.2	Lluvia multianual y mensual	96
8.1.3	Lluvia máxima diaria anual	97
8.1.4	Hietograma	99
8.1.5	Análisis estadístico de lluvia diaria máxima anual	101
8.1.6	Estimación de datos de lluvia diaria máxima anual	104
8.2	Régimen de crecidas	105
8.2.1	Generalidades	105
8.2.2	Análisis regional de crecidas	106
	8.2.2.1 Relación área y caudal índice	110
	8.2.2.2 Ajuste de curvas teóricas de distribución de frecuencia a series estandarizadas	111
<b>CAPÍTULO 9.</b>	<b>GESTION PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS EN LA CABECERA MUNICIPAL DE COBÁN</b>	<b>117</b>
9.1	Generalidades	117
9.2	Evaluación del área de estudio	119
9.3	Elaboración de un mapa de multiamenazas, para la Ciudad de Cobán	125
9.4	Estadística de daños económicos	128
9.5	Acciones estratégicas	133
9.5.1	Mitigación de las vulnerabilidades	139
9.5.2	Adaptación del proyecto al cambio climático	140
9.5.3	Sostenibilidad del proyecto	146
<b>CAPÍTULO 10.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>147</b>
10.1	Conclusiones	147
10.2	Recomendaciones	150

## **PARTE IV. BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS**

<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>152</b>
<b>ANEXO 1</b>	Caudales máximos anuales de las 12 estaciones de la región hidrológica VI	158
<b>ANEXO 2</b>	Muro de protección con llantas usadas y piedra	161
<b>ANEXO 3</b>	Barreras para reducir la velocidad del agua	163



## INDICE DE TABLAS

<b>3.1</b>	Los descriptores, con relación al análisis de eventos extremos	19
<b>3.2</b>	Elementos a considerar para la evaluación de la vulnerabilidad	24
<b>3.3</b>	Estudio de las inundaciones en base a ciertos parámetros	29
<b>3.4</b>	Medidas aplicadas en Guatemala, para el control de las inundaciones	30
<b>3.5</b>	Conceptualización de los parámetros morfométricos	32
<b>3.6</b>	Conceptualización y explicación de los parámetros superficiales	34
<b>3.7</b>	Conceptualización y explicación de los parámetros de relieve	36
<b>4.1</b>	Fotografías de campo, que muestran dolinas	43
<b>4.2</b>	Principales usos del suelo en los municipios de la cuenca	45
<b>7.1</b>	Datos físicos y poblacionales dentro de la parte alta de la cuenca del río Cahabón	70
<b>7.2</b>	Subcuencas de la cuenca de estudio	73
<b>7.3</b>	Microfotografía de fósiles en sección delgada de la unidad de caliza	77
<b>7.4</b>	Aspectos lineales de la parte alta de la cuenca del río Cahabón	87
<b>7.5</b>	Aspectos de superficie de la parte alta de la cuenca del río Cahabón	89
<b>7.6</b>	Escala de sinuosidad	89
<b>7.7</b>	Aspectos de relieve de la parte alta de la cuenca del río Cahabón	90
<b>7.8</b>	Tiempos de concentración estimados en la cuenca del río Cahabón	92
<b>8.1</b>	Posición relativa de nueve distribuciones teóricas de frecuencia	102
<b>8.2</b>	Periodos de retorno para las distribuciones teóricas, para el valor máximo de lluvia diaria anual	104
<b>8.3</b>	Características físicas de las estaciones hidrométricas utilizadas en el análisis regional de crecidas	109
<b>8.4</b>	Factores de frecuencia (KTR) de distribuciones teóricas, donde los parámetros se estimaron con momentos convencionales	113
<b>8.5</b>	Factores de frecuencia (KTR) de distribuciones teóricas, donde los parámetros se estimaron con momentos lineales	114
<b>8.6</b>	Ubicación de tres puntos, dentro de la cuenca de estudio, para el diseño de caudales	115
<b>8.7</b>	Caudales máximos anuales ( $m_3/s$ ) estimados en tres puntos de Interés, en la parte alta de la cuenca del río Cahabón	116
<b>9.1</b>	Fotografías de imagen infrarrojo y lluvias intensas en el área de Cobán	118
<b>9.2</b>	Muestra las amenazas y lugares afectados por las inundaciones de agosto de 2007.	119

<b>9.3</b>	Fotografías de vuelo, después de la inundación de agosto de 2007.	121
<b>9.4</b>	Muestra las fotografías de campo de lagunas y obras de infraestructura	122
<b>9.5</b>	Muestra fotografías de los sectores de amenaza por deslizamientos y pérdidas económicas en cultivos	124
<b>9.6</b>	Muestra los sectores más susceptibles de amenaza por inundación, deslizamientos y grietas.	126
<b>9.7</b>	Plan de rehabilitación y costos de proyectos para el municipio de Cobán	129
<b>9.8</b>	Matriz de un proyecto de gestión de riesgos, de amenazas por inundaciones, en la parte alta de la cuenca del río Cahabón	136
<b>9.9</b>	Matriz de un proyecto de gestión de riesgos, de amenazas por inundaciones, con adaptación al cambio climático, en la cuenca del río Cahabon, en cobán, Alta Verapaz	142

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

1.1	Fotografía de vuelo de un sector de residencias imperial	5
7.1	Afloramiento de unidad de lutitas	75
7.2	Afloramiento de unidad caliza fosilífera, dentro de la Finca Santa Rosa	76
7.3	Afloramiento de unidad siliciclasticos, a lo largo de la carretera nacional 5	78
7.4	Afloramientos de caliza, al norte de Gualom, zona 11 de Cobán	79
7.5	Unidad de arcilla limosa, de color gris claro	80
7.6	Perfil de un suelo típico, localizado al Nordeste de la cuenca	81
7.7	Perfil de un suelo, mostrando un horizonte de ceniza volcánica	82
7.8	Muestra la parte superior de una terraza	83
7.9	Muestra depósitos fluviales en un extremo del río Cahabón	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

3.1	Corte transversal diagramático del valle de un río	27
5.1	Mapa índice de Centro América Norte	50
5.2	Mapa Índice que muestra el desplazamiento de la falla Polochic	53

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

8.1	Lluvia multianual de la estación Cobán	97
8.2	Lluvia máxima diaria para la estación Cobán	98
8.3	Hietograma para los días 12 y 13, de la estación del CUNOR	100
8.4	Ajuste de curvas teóricas de frecuencia o registros máximos	102
8.5	Distribución Log Normal de mejor ajuste	102
8.6	Caudal índice versus el área de 12 cuencas hidrográficas	111
8.7	Ajuste de series estandarizadas de caudales máximos anuales	112
9.1	Plan de reconstrucción y rehabilitación de nueve municipios	128

## ÍNDICE DE MAPAS

<b>2.1</b>	Ubicación geográfica de la parte alta de la cuenca del río Cahabón	12
<b>4.1</b>	Provincias fisiográficas de Guatemala y locales	38
<b>4.2</b>	Zona climática Thorntwaite de la cuenca de estudio	39
<b>4.3</b>	Modelo de elevación digital de la parte alta de la cuenca de estudio	40
<b>4.4</b>	Patrones de drenaje en la parte alta de la cuenca de estudio	41
<b>4.5</b>	Dolinas de la parte alta de la cuenca del río Cahabón	42
<b>4.6</b>	Uso del suelo, de la parte alta de la cuenca del río Cahabón	44
<b>4.7</b>	Zonas de vida, de la parte alta de la cuenca del río Cahabón	46
<b>5.1</b>	Configuración tectónica de Centroamérica y el Caribe	54
<b>7.1</b>	Mapa de ubicación de los municipios de la cuenca	69
<b>7.2</b>	Subcuencas de la parte alta de la cuenca del río Cahabón	72
<b>7.3</b>	Mapa geológico de la parte alta de la cuenca del río Cahabón	74
<b>7.4</b>	Sistema de canales y dolinas	88
<b>7.5</b>	Relieve general de la parte alta de la cuenca del río Cahabón	91
<b>7.6</b>	Ubicación del río Cahabón y puente nuevo de Cobán	93
<b>7.7</b>	Ubicación del río Mestelá y una dolina	94
<b>8.1</b>	Mapa de precipitación media, de la parte alta de la cuenca del río Cahabón	95
<b>8.2</b>	Ubicación de estaciones locales de lluvia	99
<b>8.3</b>	Estudio de lluvia diaria máxima, República de Guatemala	103
<b>8.4</b>	Atlas Hidrológico de la República y la región hidrológica VI	107
<b>8.5</b>	Ubicación de estaciones de la región hidrológica VI	108
<b>9.1</b>	Muestra las zonas susceptibles a las amenazas por inundación, deslizamientos y grietas	125
<b>9.2</b>	Mapa de amenaza por deslizamiento en un sector de la Nueva Esperanza	127

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>CODRED II</b>	Coordinadora Departamental para la Reducción de Desastres, Región Las Verapaces
<b>CONRED</b>	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres
<b>COLRED</b>	Coordinadora Local para la Reducción de Desastres
<b>COREDUR II</b>	Consejo Regional de Desarrollo Urbano y Rural, Alta y Baja Verapaz.
<b>CUNOR</b>	Centro Universitario del Norte
<b>IGN</b>	Instituto Geográfico Nacional
<b>INAB</b>	Instituto Nacional de Bosques
<b>INE</b>	Instituto Nacional de Estadística
<b>INSIVUMEH</b>	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
<b>MAGA</b>	Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación
<b>PNUD</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

## GLOSARIO

<b>Alerta</b>	Estado que se declara con anterioridad a la manifestación de un fenómeno peligroso, con el fin que los organismos de emergencia activen procedimientos de acción preestablecidos y que la población tome precauciones específicas debido a la inminente ocurrencia del evento previsible.
<b>Amenaza</b>	Es la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso durante cierto periodo de tiempo en un sitio dado.
<b>Análisis regional de crecidas</b>	Análisis realizado en regiones hidrológicamente homogéneas con el objetivo de estimar factores de frecuencia para ciertos períodos de retorno.
<b>Caudal índice</b>	Promedio de los caudales máximos anuales de una serie correspondiente a una estación hidrométrica dada.
<b>Huracán</b>	Un huracán es una tormenta tropical con fuertes vientos que circulan alrededor de un área de baja presión. Cuando la velocidad de los vientos llega a las 74 millas por hora (unos 110 Km/hora), la tormenta se clasifica oficialmente como un huracán.
<b>Depresión</b>	Clima inestable, usualmente mucho viento
<b>Desastre</b>	Es el riesgo, haciéndose realidad
<b>Distribución teórica de frecuencia</b>	Método estadístico de aplicabilidad en el análisis de eventos extremos hidrológicos para la predicción de la magnitud y el período de retorno.
<b>Escorrentía superficial</b>	Consiste en la ocurrencia y el transporte de agua en la superficie terrestre.
<b>Inundación</b>	Elevación no usual del nivel del agua, que provoca desbordamientos y posibles perjuicios. En algunos casos este término es usado como crecida o avenida.
<b>Intensidad de la precipitación</b>	Distribución de la lluvia con el tiempo

<b>Lluvia máxima diaria</b>	Lluvia máxima registrada en una estación durante un día específico.
<b>Lluvia máxima en 24 horas</b>	Lluvia máxima registrada durante un período continuo de 24 horas.
<b>Planicie de inundación</b>	Tierras que bordean un río y que están frecuentemente sujetas a inundaciones.
<b>Región hidrológica</b>	Región geográfica donde los fenómenos climáticos que producen la lluvia son similares.
<b>Riesgo a inundación</b>	Hidrológicamente se define como la probabilidad que la avenida para la cual se diseña una obra hidráulica sea excedida.
<b>Serie estandarizada</b>	Resultado de la división entre el caudal máximo anual y el caudal máximo medio correspondiente a una serie de registros históricos de una estación hidrométrica dada.
<b>Sistema de alerta temprana</b>	Medio de generación y comunicación de información que permite a una estructura comunitaria organizada tomar la decisión de una evacuación preventiva y a las autoridades municipales y del gobierno central, reaccionar para brindar los medios para albergar dignamente a las personas mientras permanecen las condiciones de inundación.
<b>Tiempo de concentración</b>	Tiempo necesario para que toda la cuenca contribuya con escorrentía superficial en una sección considerada.
<b>Vulnerabilidad</b>	Es el grado de daños o pérdidas potenciales en un elemento o conjunto de elementos como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de intensidad determinada

## RESUMEN

La extensión de la cuenca de estudio es de 507.750 km<sup>2</sup>. Dentro de la cuenca se encuentran ubicados seis municipios (incluyendo la ciudad de Cobán), que fueron afectados por la última inundación, ocasionada por una depresión climática en agosto de 2007. Los daños se vieron reflejados en sectores como la agricultura, agua y saneamiento, educación, salud, e infraestructura, como viviendas y carreteras. Las cifras económicas en rehabilitación y reconstrucción, solo en la ciudad de Cobán, oscila en 5,502,091.50 de quetzales.

La investigación se dividió en cuatro partes, que giran sobre el tema principal titulado: “**EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN EN LA PARTE ALTA DE LA CUENCA DEL RÍO CAHABÓN**”. Se generaron varios mapas temáticos, que complementan la descripción de los temas de los capítulos. Se incluyó un capítulo especial sobre el Marco Legal, relacionado con la amenaza por inundación y el papel que tienen por Ley. Las autoridades e instituciones públicas, encargadas de realizar políticas de ordenamiento urbano y territorial y de velar por la preservación de los recursos naturales, así como ejecutar acciones destinadas a reducir los efectos, que causen los desastres naturales o antropogénicos en un área específica.

En cuanto al análisis del régimen de lluvias y crecidas, se calculó el valor máximo de lluvia, con diferentes distribuciones teóricas de frecuencia, el valor más frecuente para el período de retorno, corresponde a la distribución Log Gumbel ML con 25 años. El caudal índice, que se dedujo de la relación área y caudal fue,  $Q_i = 0.6276 A^{0.9277}$ . Se generó una tabla de diseño de caudales, para tres áreas dentro de la cuenca, con diferentes distribuciones teóricas y tasas de retorno. Las mismas pueden servir como una guía, para el diseño de obras hidráulicas dentro de la cuenca.



En la presente investigación, se incluyó un mapa de amenazas, para la ciudad de Cobán, que muestra los lugares y zonas más susceptibles a las amenazas por inundación, deslizamientos y grietas, que se dieron para la depresión climática de agosto de 2007. La generación de este mapa fue elaborado por iniciativa propia y diseñado por la Carrera de Geología del Centro Universitario del Norte, como un aporte para la sociedad cobanera y como una herramienta de uso para las autoridades locales.

Por último, se incluyó un tema de gestión para la reducción de riesgos, para la ciudad de Cobán. Se planteó como un proyecto “modelo” y siempre enfocado al tema de la amenaza por inundación y adaptado al cambio climático. Los objetivos, resultados, actividades y observaciones a desarrollar en dicho proyecto, se presentan claramente en matrices, resaltando la participación comunitaria y el enfoque de género.

## INTRODUCCIÓN

En uno de los considerandos que presenta CONRED en su Ley, se describe claramente lo relacionado a las características físicas que presenta nuestro país, es decir, derivada de su posición geográfica y geológica. Ello propicia que en casi todas las regiones del país, se presenten diversas amenazas, entre ellas se citan las inundaciones.

La cabecera municipal de Cobán, Alta Verapaz, y sus alrededores se ha visto afectada frecuentemente por inundaciones, ocasionadas por el fenómeno climático del huracán Mitch en noviembre de 1998. La última amenaza climática fue registrada, como una depresión, el 13 de agosto de 2007. Según datos estadísticos dados por el COREDUR II, los costos solicitados al gobierno para la rehabilitación y reconstrucción, sólo en la ciudad de Cobán, oscila en 5,502,091.50 de quetzales.

Esta investigación es titulada: “EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN EN LA PARTE ALTA DE LA CUENCA DEL RÍO CAHABÓN”, cuyos resultados se presentan en el presente informe.

La investigación se dividió en cuatro partes. La parte I: incluye aspectos introductorios, localización y extensión del área. La parte II: contiene el marco teórico, que incluye capítulos relacionados con el tema principal, como hidrología de la cuenca, geografía física, estratigrafía y otros temas. La parte III, se centra principalmente en la interpretación y análisis de resultados, que incluye temas sobre la caracterización de la parte alta de la cuenca, régimen de lluvias y crecidas y por último un tema de Gestión para la Reducción de Desastres, para la ciudad de Cobán, como un aporte para la sociedad. Por último, la parte IV reúne la bibliografía, de las fuentes consultadas y los anexos respectivos.

---

---

# **PARTE I. INTRODUCCIÓN**

- **ASPECTOS INTRODUCTORIOS**
- **LOCALIZACIÓN Y EXTENSIÓN DEL ÁREA**

# CAPÍTULO 1

## ASPECTOS INTRODUCTORIOS

Las inundaciones representan una amenaza que con frecuencia afectan al área centroamericana, especialmente las asociadas a tormentas tropicales que se forman en el Océano Pacífico. En toda la región centroamericana, las inundaciones de mayor impacto se presentan frecuentemente asociadas a los huracanes y tormentas tropicales de la zona, ejemplo de ello fue lo ocurrido durante el evento del Mitch, en noviembre de 1998.

Para el presente capítulo, se delimitó el problema principal, los objetivos y los aspectos metodológicos a seguir para conformar un marco teórico que sustentara los datos obtenidos en la etapa de campo.

### 1.1 EL PROBLEMA

Como en la mayoría de los países centroamericanos, en Guatemala existe una incidencia periódica de desastres, provocados por fenómenos naturales, tales como las inundaciones severas, los huracanes y los terremotos.

Las inundaciones representan una seria amenaza para la población e infraestructura de diferentes regiones del país. Estas se producen por el desbordamiento del flujo de escorrentía superficial, cuando ésta rebasa la capacidad de evacuación del cauce del río.

Asimismo, esta amenaza ha causado miles de muertes y daños a la propiedad privada por valor de millones de quetzales, tal como ocurrió durante la tormenta Tropical del Mitch, en noviembre de 1998 y la tormenta Stan, en octubre de 2005.

La cabecera municipal de Cobán, Alta Verapaz, y sus alrededores se ha visto afectada frecuentemente por esta amenaza, la última depresión climática fue registrada, como una depresión el 13 de agosto de 2007 y causó serios daños económicos a nueve municipios de Alta Verapaz, seis de los cuales están localizados dentro de la cuenca de estudio.

Por lo general, las amenazas por inundaciones son una combinación de factores, como tormentas tropicales, lluvias, falta de planificación territorial, deforestación, cambio de uso del suelo, entre otros.

Con base a esto se puede formular la siguiente cuestión: ¿Qué factores hay influido en las inundaciones repentinas en la cabecera municipal de Cobán, Alta Verapaz y sus alrededores?

### 1.1.1 ANTEDECENTES

Luis Gustavo Chiquín<sup>1</sup>, realizó una investigación titulada “Caracterización geológica del Karst en la porción sur de Alta Verapaz, Guatemala”, la cual constituye el primer estudio para desarrollar un modelo geológico sobre el proceso Kárstico en la región.

---

<sup>1</sup> LUIS GUSTAVO CHIQUIN. *Caracterización geológica del Karst en la porción sur de Alta Verapaz*. Tesis de Grado. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario del Norte. Carrera de Geología., 2002., p. 11.

Más recientemente, Edwin Orlando Yash<sup>2</sup>, realizó una investigación titulada “Evaluación de la amenaza por inundación en la parte Occidental de la Cuenca del río Cahabón”, en donde realizó estudios de inundaciones ocurridas durante el Huracán Mitch, mediante mapas, realizó balances hídricos dentro de la cuenca, sin embargo no se realizó un análisis concreto de lluvias y caudales extremos.

La situación de los riesgos a inundación en la ciudad de Cobán, reveló a partir de la presencia del Huracán Mitch, en noviembre de 1998, que la ciudad de Cobán quedó susceptible a la amenaza por inundaciones, ya que el río Cahabón se desbordó, en las áreas topográficamente más bajas de las zonas 3, 7 y 8 (El Recreo y Residenciales Imperial), inundando varias viviendas y dañando infraestructura como carreteras y puentes.

Además de afectar otras zonas (1, 4,5, 10,11 y 12), donde la mayoría de gente construyó sus casas, en antiguos canales naturales y obstruyó sus cauces, lo que provocó mayor inundación de viviendas y de calles. Las lluvias duraron aproximadamente 3 días, pero fue suficiente para afectar la mayor parte de la ciudad de Cobán.

Luego del Huracán Mitch (con un intervalo de tiempo, de aproximadamente 8 años), el fenómeno hidrometeorológico de las lluvias intensas vuelven a repetirse, a consecuencia de una depresión climática, que tocó las tierras de Alta Verapaz, esta vez las lluvias se dieron los días 12 y 13 de agosto de 2007, con una duración aproximada de 1 día, pero las intensidades de lluvia fueron notablemente altas.

---

<sup>2</sup> EDWIN ORLANDO YASH. *Evaluación de la amenaza por inundación en la parte Occidental de la Cuenca del Río Cahabón*. Tesis de Grado. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario del Norte. Carrera de Geología., 2003., p. 61.

Una prueba de la magnitud de las inundaciones se puede apreciar en la siguiente fotografía de vuelo, en el área de Residenciales Imperial, de la zona 8 de Cobán (Fotografía 1.1), en donde se puede apreciar claramente que la mayor parte de elementos en riesgo lo constituyen las viviendas y las carreteras de primer y segundo orden.

**FOTOGRAFÍA 1.1** Fotografía de vuelo, que nos muestra la magnitud de las inundaciones registradas el 12 y 13 de agosto de 2007. El área mostrada representa un sector de Residenciales Imperial, de la zona 8 de Cobán, A.V.



**FUENTE:** Reproducida con permiso de Conred, Coban. Tomada el 13 de agosto de 2007

Estas inundaciones repentinas se debieron al desborde del río Cahabón. La altura del nivel del río en algunas áreas de esta zona 8, alcanzó niveles máximos del techo de las viviendas y en otras áreas el nivel del río cubrió casi el techo.

Por otra parte, las fotografías de vuelo fueron útiles, para realizar un análisis de niveles de desborde, para el río Cahabón y plasmar esa información sobre imágenes tipo ortofoto, que permiten un mayor detalle, de los límites alcanzados por el agua.

### 1.1.2 JUSTIFICACIÓN

Debido a la falta de implementación actual de proyectos, planes y políticas de planificación urbana y territorial, en la gestión de riesgos, por parte de las autoridades locales, y lo susceptible que ha sido la cabecera del municipio, a las lluvias en los últimos años, se hace necesario implementar el presente proyecto de investigación, con la participación y apropiación de la sociedad civil y comunidades locales.

Los resultados de este estudio pueden servir de base en la planeación urbana y territorial, además de adoptar políticas de gestión ambiental y de riesgos.

Hasta la fecha, no se han realizado estudios más concretos de amenaza por inundaciones que muestren elementos en riesgo, como lo son las viviendas e infraestructura vial, tampoco se ha tomado en cuenta un estudio regional de crecidas, por lo que el presente proyecto de investigación, pueda representar un instrumento para la toma de decisiones de las autoridades locales y la sociedad cobanera, en caso de emprender planes, proyectos o políticas de desarrollo urbano y rural.

### 1.1.3 ALCANCES Y LÍMITES DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación, se da a conocer los alcances y límites de la investigación en el área de estudio.



### 1.1.3.1 ALCANCES

Esta investigación pretende ser un documento que proporcione las herramientas o referencias técnico-científicas, para las poblaciones o autoridades locales, con relación a gestión para la reducción de riesgos, especialmente en el área de Cobán.

### 1.1.3.2 LÍMITES

Las limitaciones de esta investigación se centran con base a los objetivos planteados. Parte de la información de lluvias y caudales en las estaciones estudiadas, tiene la limitante de no presentar un registro continuo y largo de años, que se recomienda, en la estadística estocástica. Además la mayoría de estaciones (INSIVUMEH), relacionadas con la cuenca Cahabón, no cuentan con equipo apropiado para la medición de caudales y la falta de recursos económicos también influye en la cantidad de estaciones, ya que muchas de ellas ya han cerrado operaciones.

## 1.2 OBJETIVOS

El objetivo general y los específicos, se detallan a continuación:

### 1.2.1 GENERAL

- ✓ Evaluar la amenaza por inundaciones en la parte alta de la cuenca del río Cahabón con énfasis en la cabecera municipal de Cobán.

### 1.2.2 ESPECÍFICOS

- ✓ Registrar mediante un inventario las amenazas como inundaciones, deslizamientos y grietas, dentro de la cabecera municipal de Cobán.
- ✓ Ilustrar en un mapa, los elementos en riesgo, como viviendas e infraestructura vial, para la última inundación en la cabecera municipal de Cobán.
- ✓ Analizar la parte alta de la cuenca del río Cahabón, con énfasis en el estudio regional de crecidas.
- ✓ Preparar información técnica-científica, y aspectos sobre riesgos, dentro de un sistema de información geográfico (ArcGis, 9.2), que sea aplicable en la prevención y/o mitigación de inundaciones.
- ✓ Analizar el marco legal acerca de las legislaciones relacionadas al tema de los desastres y la amenaza por inundaciones
- ✓ Estimar los eventos extremos en el área de influencia.

## 1.3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

La metodología empleada consistió en tres etapas: recopilación y análisis bibliográfico, etapa de campo y etapa de gabinete.

### 1.3.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

Consistió en recopilar la mayor información posible acerca de los trabajos anteriores realizados en la cuenca o en las áreas cercanas a la de interés, tal como se describe en los antecedentes. La información fue recabada en la biblioteca del CUNOR, oficinas de CONRED de Cobán, Instituto Nacional de Estadística (INE) y oficinas centrales de COREDUR II. Se visitó las instalaciones del INDE e INSIVUMEH, de la ciudad capital, para contar con datos de caudales extremos, concernientes a las estaciones estudiadas. También se contó con la base de datos del Sistema de Información Geográfico del MAGA, para el diseño de algunos de los mapas presentados en este informe, se contó con un juego de ORTOFOTOS, proporcionadas por el MAGA de Cobán, con fecha de edición de 2005.

### 1.3.2 TRABAJO DE CAMPO

La segunda etapa de la investigación consistió en visitas al campo, principalmente a las zonas afectadas de la ciudad de Cobán, en la última inundación de agosto de 2007. Se tuvo la oportunidad de participar en el mapeo de amenazas como: inundaciones, deslizamientos y grietas de carreteras conjuntamente con la Carrera de Geología del CUNOR, en agosto de 2007. Se visitaron algunas localidades dentro de la cuenca, para complementar la información sobre la litología del mapa geológico elaborado a nivel regional.

En esta etapa se aprovechó visitar las instalaciones del INSIVUMEH de Cobán, para conocer el equipo e instrumentos usados para el registro del clima local, de esta cuenta se obtuvo una base de datos de lluvia diaria máxima anual a partir de 1973 a 2007; además se visitó la estación climática del CUNOR, para obtener datos de intensidad de lluvia a menor tiempo, principalmente para el estudio de la última crecida de agosto de 2007.

Se consultó a la gente afectada, para recabar y complementar la información acerca de los niveles alcanzados en la última inundación, así como el registro de datos técnicos concernientes al daño físico de infraestructura. Con ello se recopiló información valiosa, aplicable para el área de gestión de riesgos.

### 1.3.3 ETAPA DE GABINETE

Durante la etapa de gabinete se terminó de compilar la información de las dos etapas anteriores, para obtener el presente informe de investigación. Se elaboraron varios mapas para representar los resultados de la amenaza estudiada.

#### 1.3.3.1 ESCALA

La escala original de trabajo para mapeo fue a semi-detalle, 1:50 000, bajo la cual se elaboraron varios mapas utilizados en la investigación.

Aunque se aclara que por el espacio del formato Word, los mapas aquí presentados, tienen una escala de referencia de 1:200,000 o menos.

## CAPÍTULO 2

### LOCALIZACIÓN Y EXTENSIÓN DEL ÁREA

El área de estudio se encuentra en el Departamento de Alta Verapaz y al Norte de la ciudad capital de Guatemala, constituye la parte alta de la cuenca del río Cahabón, que incluye a varios municipios: Cobán, cabecera departamental, San Pedro Carchá, San Juan Chamelco, San Cristobal Verapaz, Santa Cruz y Tactic.

La extensión del área<sup>3</sup> de estudio es de 507.750 km<sup>2</sup> (Mapa 2.1), en la misma se muestra los municipios que confluyen con el río Cahabón.

#### 2.1 ACCESIBILIDAD

El acceso principal del área de estudio, puede hacerse desde la ciudad capital, mediante la ruta del Atlántico (CA-9, Norte), hasta llegar al pueblo del Rancho en el Progreso, luego en este punto se toma la carretera CA-14, que conduce al municipio de Tactic (al sur de la cuenca) y luego al municipio de Cobán, que representa en este caso el área principal de estudio.

---

<sup>3</sup> EDWIN ORLANDO YASH. *Evaluación de la amenaza por inundación en la parte Occidental de la Cuenca del Río Cahabón*. Tesis de Grado. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario del Norte. Carrera de Geología., 2003., p. 61.



### 2.2.1 DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA

Con respecto a la cuenca, la delimitación se basa en los parteaguas (crestas de montañas que dividen las corrientes superficiales en direcciones relativamente opuestas), a esta delimitación superficial se le conoce como cuenca hidrográfica.

La delimitación se hace mediante una interpretación de la tercera dimensión, que contienen los mapas topográficos por medio de la curvas de nivel.

### 2.2.2 COLINDANCIAS

La parte alta de la cuenca del río Cahabón, colinda al norte y noreste: con el municipio de Cobán y San Pedro Carchá; al sudeste: con San Juan Chamelco; al oeste: con los municipios de San Cristobal Verapaz y Santa Cruz y al sur: con el municipio de Tactic.

### 2.2.3 DELIMITACIÓN PERSONAL

Se refiere al límite definido, para coleccionar datos de sumo interés, particularmente en información estadística de caudales y lluvias, tanto en estaciones locales como a nivel regional, ya que debido a una falta de presupuesto y planificación, la mayoría de las estaciones estudiadas ya han cerrado operaciones para el registro continuo de información hidroclimática. Por otra parte, la delimitación personal, está basada en los objetivos planteados en la presente investigación.

## 2.3 RESULTADOS ESPERADOS

Los resultados esperados se centran en:

- ✓ Generación de un banco de datos con información hidrológica, geológica y de gestión para la reducción de riesgos, para el área de estudio.
- ✓ Identificación de las comunidades o zonas, que se encuentran en mayor amenaza a la ocurrencia de inundaciones, mediante la zonificación de la última inundación.
- ✓ Información técnica aplicable en la promoción de programas de prevención de desastres, principalmente aquellos asociados a remociones en masa, como deslizamientos, deslaves y derrumbes.
- ✓ Elaboración de un mapa de inventario de amenazas, generadas en la última inundación de la subcuenca de estudio.
- ✓ Aplicación de un sistema de información geográfica de uso práctico, para implementación de políticas, planes y programas regionales y locales de planificación, principalmente de urbanización, ambiental, agrícola y prevención de riesgos geológicos.

## 2.4 IMPACTO DE RESULTADOS

El impacto de los resultados va encaminado a:

- ✓ Los daños causados por ocurrencia de inundaciones disminuyen, mediante la identificación de sitios de mayor peligro, y la promoción posterior de programas de prevención y/o mitigación.
- ✓ Los organismos responsables de la protección y preservación de la vida, tienen un mejor conocimiento de las posibilidades de la ocurrencia de desastres relacionados con las inundaciones repentinas.



- ✓ Las comunidades o zonas que se identifiquen con mayor amenaza por inundaciones pueden implementar medidas estructurales y no estructurales, bajo la asesoría de instituciones competentes, con el fin de mitigar dicha amenaza.
- ✓ Se establecen criterios de evaluación de la amenaza por inundaciones, aplicables en otros sitios de la región, así como otros del país, donde las condiciones naturales son similares.
- ✓ La Universidad de San Carlos de Guatemala, a través del CUNOR y la carrera de Geología, contará con mayor capacidad y medios para la realización de estudios relacionados con la evaluación de amenazas y prestar la orientación y asesoría sobre los temas de gestión para la reducción de riesgos en la región.

---

---

## **PARTE II. MARCO TEÓRICO**

- **HIDROLOGÍA DE LA CUENCA Y AMENAZA POR INUNDACIONES**
- **GEOGRAFÍA FÍSICA Y RECURSOS NATURALES**
- **ESTRATIGRAFÍA Y GEOLOGÍA**
- **MARCO LEGAL**

## CAPÍTULO 3

# HIDROLOGÍA DE LA CUENCA Y AMENAZA POR INUNDACIONES

Los aspectos relacionados al estudio de la hidrología de cuencas, permite conocer los conceptos básicos y las características físicas de respuesta hidrológica de una cuenca, para tomar medidas de prevención o mitigación en la parte media o baja de una cuenca hidrográfica, que represente un riesgo para las comunidades. Además conociendo acerca de las distribuciones estadísticas y las tasas de recurrencia, se puede proponer un modelo hidrológico que pueda servir como base, para el diseño de estructuras hidráulicas, como la construcción de canales, muros de contención y presas.

### 3.1 CUENCA HIDROGRÁFICA

En relación a la cuenca Isaac Herrera<sup>5</sup>, la define como: *“Depresión natural o valle de fondo plano o cóncavo, separada de otras, por divisorias de aguas y formada por un conjunto de pendientes inclinadas hacia un mismo curso de circulación de agua superficial, en el que vierten sus aguas ríos y quebradas”*.

### 3.2 CICLO HIDROLÓGICO

Según el autor de la website<sup>6</sup> con relación al ciclo hidrológico, describe lo siguiente: *“También se conoce como ciclo del agua, describe el movimiento vertical y horizontal del agua en el estado gaseoso, líquido o sólido entre la superficie, el subsuelo, la atmósfera y los océanos”*.

---

<sup>5</sup> ISAAC, HERRERA IBAÑEZ. *Manual de Hidrología*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 1995., p. 2.

<sup>6</sup> Ciclo Hidrológico. [http://www.meted.ucar.edu/hydro/basic/FlashFloodCases\\_es/printo\\_version/FoundationTopics.htm](http://www.meted.ucar.edu/hydro/basic/FlashFloodCases_es/printo_version/FoundationTopics.htm). 12 de junio de 2008.

### 3.3 EL CAMBIO CLIMATICO: Definición e importancia.

El Autor<sup>7</sup> de la WebSite, en la enciclopedia libre Wikipedia, define el cambio climático de la siguiente manera: “...se llama **cambio climático** a la modificación del clima con respecto al historial climático a una escala global o regional. Tales cambios se producen a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, etcétera. Son debidos a causas naturales y, en los últimos siglos se sospecha que también a la acción de la humanidad”

#### 3.3.1 Vulnerabilidad de los recursos hídricos ante el cambio climático

Por otra parte, Juan Carlos Fuentes Montepeque<sup>8</sup> cita que: “De acuerdo con el perfil ambiental de Guatemala (2004), los efectos de un aumento o disminución de escorrentía tienen impactos en los sistemas de suministro de agua y en la producción agrícola. Al aumentar la escorrentía superficial se ocasionarían inundaciones en la época lluviosa; el incremento de la escorrentía puede producir mayor degradación de suelos en las cuencas hidrográficas. Y al ocurrir una disminución y consecuentemente una disminución de los caudales, se producirá mayor sedimentación y un proceso acelerado de asolvamiento de los respectivos cauces, en la parte baja de la cuenca. También, al aumentar la temperatura y disminuir la precipitación y la escorrentía superficial habría una disminución de las fuentes de agua para consumo humano, animal y para riego, consecuentemente se vería afectada la salud de la población”.

Los hechos señalados incrementan la vulnerabilidad de los recursos hídricos, particularmente por el impacto negativo en una cuenca, que ocasionan las alteraciones en el cambio climático aunque sea de manera local. Por lo que deben llevarse a cabo campañas de educación y concientización a las poblaciones, a fin de asegurar la disponibilidad de estos recursos y de no contaminar las fuentes hídricas y prohibir la tala de los bosques. Se deben buscar alternativas para manejar y conservar nuestros recursos naturales, de manera sostenible a largo plazo, pensando en las nuevas generaciones.

---

<sup>7</sup> Wikipedia, La Enciclopedia Libre. Cambio Climático. [http://es.wikipedia.org/wiki/Cambio\\_climatico](http://es.wikipedia.org/wiki/Cambio_climatico). 16 de enero de 2009

<sup>8</sup> JUAN CARLOS FUENTES. *Evaluación del sistema de alerta temprana para inundaciones, en la cuenca del río Coyolate*. Guatemala: Facultad de Ingeniería. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y recursos hidráulicos. ERIS. A nivel de postgrado. Tesis de postgrado. 2008., p10.

### 3.4 ANALISIS DE EVENTOS EXTREMOS

Fuentes<sup>9</sup> reúne varios descriptores, para el análisis de eventos extremos, la definición y características se presentan en la Tabla 3.1.

**TABLA 3.1** Descriptores, con relación al análisis de eventos extremos.

Descriptores	Definición y características
A. Eventos extremos	<p>Sigue citando Fuentes, que de acuerdo con Orozco (2002), los principales eventos extremos de interés para el hidrólogo son las crecidas y lluvias extremas (precipitaciones intensas). Aunque también cabe mencionar, eventos como sequías y temperaturas extremas (máximas y mínimas).</p>
B. Frecuencia y probabilidad	<p>Fuentes cita a Linsley (1988), con relación a que la frecuencia es el número de casos en una clase, cuando los eventos son clasificados de acuerdo a diferencias en uno o más atributos, según 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.</p>
C. Período de retorno	<p>Por otra parte, Fuentes cita también a Villón (2001), y define el período de retorno (<math>T_r</math>) como el intervalo promedio de tiempo en años, dentro del cual un evento de magnitud <math>x</math> puede ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio. Matemáticamente, el período de retorno se define como el recíproco de la probabilidad de excedencia.</p> <p>Fuentes cita a Orozco (2002), que de acuerdo a los conceptos descritos anteriormente, menciona 2 términos que son de importancia en el análisis de eventos extremos, los cuales son:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><b>1. Probabilidad de excedencia <math>P(Q \geq q_0)</math>:</b> probabilidad que un evento sea excedido o igualado.</li> <li><b>2. Probabilidad de no excedencia <math>P(Q &lt; q_0)</math>:</b> probabilidad que un evento no sea excedido ni igualado.</li> </ol>

<sup>9</sup> *Ibíd.*, p11.

	<p>Desde el punto de vista estadístico, 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.</p>
D. Riesgo y confiabilidad	<p>Fuentes acota que, el riesgo (R) se define como la probabilidad que la avenida para la cual se diseña la obra sea excedida. Se entiende que ésta es una situación de riesgo, pues la obra se diseña para soportar cierta avenida máxima y crecidas mayores le podrían hacer daño o incluso destruirla. El riesgo se denota matemáticamente como: <math>R = 1 - (1 - 1/Tr)^n</math>. Siendo n la vida útil de la obra. Por lo tanto, la confiabilidad (C) se define como el complemento del riesgo (<math>C = 1 - R</math>).</p>
E. Tiempo de concentración	<p>Fuentes cita a Monsalve (1999), con relación al tiempo de concentración (<math>t_c</math>), 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.</p> <p>Por otra parte Fuentes cita a Villón (2004), con relación a que, 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</p>
F. Crecidas	<p>Para Fuentes, una crecida se define como una elevación normal del nivel de agua dentro del lecho de la corriente. En general, es un fenómeno de ocurrencia de caudales relativamente grandes.</p> <p>Fuentes cita que, de acuerdo con Orozco (2006), los factores que afectan el escurrimiento y por ende la formación de crecidas son los siguientes:</p> <p><b>1. Factores climáticos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Comportamiento de la precipitación: intensidad, duración, magnitud, distribución temporal y espacial.</li> <li>✓ Comportamiento del viento: dirección y velocidad.</li> <li>✓ Estación: lluvia antecedente, época lluviosa y época de tormentas tropicales. evapotranspiración.</li> </ul>

	<p><b>2. Factores relacionados con la cuenca tributaria:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Morfología: área, forma, rugosidad y relieve de la cuenca.</li> <li>✓ Características de la red de drenaje: longitud, densidad, pendientes y rugosidades.</li> <li>✓ Uso del suelo: porcentaje de área boscosa, área impermeable, área de agua estancada, área agrícola y condiciones de laboreo, tipo, densidad y grado de desarrollo de la cobertura vegetal.</li> <li>✓ Posición geográfica: latitud, altitud, distancia hacia el mar y orientación respecto a la dirección del viento (sotavento y barlovento) debido a la topografía.</li> <li>✓ Suelo: tipo, estructura, textura, contenido de humus, estratificación, espesor, conductividad hidráulica, porosidad y estabilidad.</li> </ul>
--	---

**FUENTE:** Modificado de: Juan Carlos Fuentes, Guatemala 2,008

### 3.5. DISTRIBUCIONES TEÓRICAS DE FRECUENCIA PARA EVENTOS EXTREMOS

Entre algunos conceptos básicos en hidrología para eventos extremos, se tienen algunas de las distribuciones teóricas de frecuencia, para lo cual Fuentes<sup>10</sup>, describe dos distribuciones que son de uso frecuente en nuestro medio:

**A. Distribución Gumbel Tipo I:** *“La distribución del valor máximo o mínimo seleccionado de muestras de tamaño  $n$ , se aproxima a una distribución límite cuando el tamaño de la muestra se aumenta cuando las distribuciones iniciales presentan colas que pueden aproximarse por función de tipo exponencial, se encuentra que los valores extremos tienden a una distribución tipo I, denominada distribución Gumbel Tipo I”*

**B. Distribución Pearson III:** *“Se utiliza muy frecuentemente para el estudio de valores máximos, convierte una serie de datos o los transforma logarítmicamente, teniendo como resultado la distribución Log-Pearson. Cuando se trabaja con  $\text{Log}_{10}$  la distribución recibe el nombre de Pearson II. Cuando se trabaja con  $\text{Ln}$  la distribución recibe el nombre de Pearson III”.*

<sup>10</sup> JUAN CARLOS FUENTES. *Distribución Gumbel Tipo I y Distribución Pearson III*. Guatemala: Curso hidrología, julio de 2007. Diapositiva 2, Power Point.

## 3.6 COMPONENTES BÁSICOS DEL RIESGO

En cuanto al análisis del riesgo y sus componentes, en este apartado se definirán estos componentes.

### 3.6.1 Riesgo

En cuanto al **riesgo** Luis I. González de Vallejo, et al<sup>11</sup>, concibe al riesgo en que *“...si bien el término riesgo frecuentemente se emplea para referirse a cualquier proceso más o menos violento o catastrófico que puede afectar a las personas o bienes, y se aplica como sinónimo de peligrosidad, ambos conceptos son diferentes. La peligrosidad se refiere al proceso geológico, el riesgo a las pérdidas y la vulnerabilidad a los daños”*

Sigue acotando el autor<sup>12</sup>, en relación al riesgo que *“... el riesgo está referido, como la peligrosidad, a un período de tiempo determinado, y se puede evaluar de forma determinista o probabilista. El riesgo puede calcularse a partir de la expresión:  $R = P \times V \times C$ , donde  $P$  es la peligrosidad del proceso considerado,  $V$  es la vulnerabilidad de los elementos expuestos a la acción del proceso y  $C$  es el coste o valor de mismos”*.

Con respecto a la fórmula de riesgo, algunos autores del área social señalan que a los componentes del riesgo debe agregársele la “respuesta de las comunidades”, ya que con ello se trata de reducir el riesgo a cero, justificando que por ejemplo una determinada comunidad en riesgo, responderá mejor a cualquier amenaza, ya que estará mejor organizada y conciente de la amenaza.

### 3.6.2 Amenaza

En cuanto al término de amenaza, peligro o peligrosidad (Hazard), el Autor<sup>13</sup> del WebSite, define la amenaza en que *“... es la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso durante cierto periodo de tiempo en un sitio dado”*.

---

<sup>11</sup> LUIS I. GONZALES VALLEJO, ET AL. *Prevención de Riesgos Geológicos*. Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Prentice Hall. 2004. p 609.

<sup>12</sup> *Ibíd.*, p. 610

<sup>13</sup> Concepto de Amenaza, peligro o peligrosidad. [http://www.tdcat.cesca.es/TESIS\\_UPC/AVAILABLE/TDX-0416102-075520/04Capitulo2.PDF](http://www.tdcat.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0416102-075520/04Capitulo2.PDF). 31 de enero de 2009.



Por otra parte, Fuentes<sup>14</sup> hace referencia que en “...El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (1995), realiza la siguiente clasificación de amenazas:

- a. Amenazas geológicas:** terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas y deslizamientos de tierra.
- b. Amenazas climáticas:** ciclones tropicales, inundaciones y sequías.
- c. Amenazas ambientales:** contaminación ambiental, deforestación, desertización e infestación de plagas”.

Por otra parte, Fuentes<sup>15</sup> cita a Buch & Turcios (2003), que mencionan otro tipo de amenazas denominadas socionaturales “... las cuales son la reacción de la naturaleza frente a la acción humana perjudicial hacia los ecosistemas, lo trascendental en este caso, es que quienes sufren los efectos de esas reacciones, no son siempre los mismos que las han provocado”

A este respecto las amenazas socionaturales, las vemos hoy en día en nuestro país, sobre todo con la deforestación y sobreexplotación de los suelos y contaminación de las fuentes hídricas y subterráneas, ya que con el aumento demográfico se están alterando los ecosistemas, y por consiguiente se está rompiendo el equilibrio ambiental, de agua, suelo y aire.

### 3.6.3 Vulnerabilidad

González de Vallejo, et al<sup>16</sup>, en cuanto a la vulnerabilidad, indican que “es el grado de daños o pérdidas potenciales en un elemento o conjunto de elementos como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de intensidad determinada. En cuanto a la **vulnerabilidad social**, depende de la densidad de población, condiciones de los edificios y estructuras, sistemas de aviso y alerta y planes de emergencia y evacuación (Tabla 3.2). Los países pobres, como frecuentemente queda demostrado, son más vulnerables por sus deficientes construcciones, alta densidad de población, etc. Puede evaluarse en términos de porcentaje de población afectada por un determinado proceso”.

---

<sup>14</sup> JUAN CARLOS FUENTES. *Evaluación del sistema de alerta temprana para inundaciones, en la cuenca del río Cuyolate*. Guatemala: Facultad de Ingeniería. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y recursos hidráulicos. ERIS. A nivel de postgrado. Tesis de postgrado. 2008., p15.

<sup>15</sup> *Ibíd.*

<sup>16</sup> LUIS I. GONZALES VALLEJO, ET.AL.. *Prevención de Riesgos Geológicos*. Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Prentice Hall. 2004. p 611.

**TABLA 3.2** Elementos a considerar para la evaluación de la vulnerabilidad.

<b>Vulnerabilidad</b>	<b>Daños</b>	<b>Descriptor</b>
Social	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Muertos y desaparecidos</li> <li>2. Heridos y discapacitados</li> <li>3. Personas sin hogar</li> <li>4. Personas sin trabajo</li> <li>5. Epidemias y enfermedades</li> </ol>	<p>La vulnerabilidad social depende de:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. La intensidad y velocidad del fenómeno.</li> <li>b. La densidad de población</li> <li>c. La vulnerabilidad estructural</li> <li>d. El tiempo de aviso</li> <li>e. Los sistemas de emergencia y respuesta.</li> </ol>
Estructural	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Daños sobre edificios y estructuras</li> <li>2. Daños sobre el contenido de los mismos.</li> <li>3. Pérdida de beneficios</li> <li>4. Efectos sobre las personas</li> </ol>	<p>La vulnerabilidad estructural depende de:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. La intensidad y velocidad del fenómeno</li> <li>b. El tipo y características de las construcciones</li> <li>c. La concentración en áreas de población</li> </ol>
Económica	<p>Daños directos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Costes de reposición, reparación o mantenimiento de estructuras, instalaciones o propiedades, sistemas de comunicación, electricidad, etc.</li> </ol> <p>Daños indirectos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reducción del valor de los bienes.</li> <li>2. Interrupción de los sistemas de transporte.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>a. Pérdidas de productividad de suelo agrícola o industrial</li> <li>b. Pérdidas de ingresos por impuestos</li> <li>c. Pérdidas en la productividad humana</li> <li>d. Pérdidas en beneficios comerciales</li> <li>e. Pérdidas en la recaudación de impuestos</li> <li>f. Costes de medidas preventivas o de mitigación</li> <li>g. Pérdida de calidad del agua y contaminación.</li> </ol>

**FUENTE:** Modificado de: González de Vallejo, et.al. 2004. p. 613.

Con relación a esta tabla, se puede decir que la vulnerabilidad va siendo más compleja en su estudio, por la cantidad de parámetros o descriptores que implica y si a ello le agregamos que muchos autores definen otro tipo de vulnerabilidades, como es el caso de la vulnerabilidad cultural, ideológica, educativa, entre otras, que no figuran en la tabla 3.2. Entonces se necesita que se estandarice una tabla de manera global, que tome en cuenta otras vulnerabilidades, que influyen para una determinada población en riesgo.

Por otra parte Fuentes<sup>17</sup>, cita a Beltetón, 2007, en que “...Guatemala es un país que presenta vulnerabilidad física y social frente a fenómenos climáticos, vulnerabilidad que aumenta debido a las políticas públicas vigentes, las cuales favorecen la destrucción de bosques, selvas y humedales costeros que servirían de protección frente a lluvias y huracanes. Es imposible evitar los fenómenos meteorológicos, sin embargo se puede reducir la vulnerabilidad frente al cambio climático y sus devastadores efectos con medidas concretas e inmediatas para evitar el deterioro del ambiente que se debe a factores como la deforestación, el pastoreo excesivo, las alteraciones de las riberas y el uso de métodos de cultivo inadecuados en las laderas. Los manglares, que confieren protección natural contra los huracanes están desapareciendo de las regiones costeras; con la erosión continua del suelo y la pérdida de cubierta vegetal en las áreas montañosas, la capacidad para absorber las lluvias torrenciales disminuye y la tierra se vuelve más susceptible a deslizamientos e inundaciones repentinas y violentas”.

### 3.7 Desastre

En cuanto a la definición de desastre el Autor<sup>18</sup> del WebSite indica que, “un desastre es cualquier hecho o fenómeno que desemboca en la alteración de la integridad de los humanos, su sociedad, sus bienes y/o los factores naturales en una comunidad y en una localidad determinada, dando un rendimiento de pérdidas, alterando el desarrollo normal de las actividades actuales y futuras de humanos, sus formas de organización o de el ambiente, se llama un desastre y su carácter va mas allá del evento natural o antropogénico. En pocas palabras un desastre es cuando un fenómeno incide o impacta a una comunidad arrojando como consecuencias pérdidas. Se trata de un hecho o fenómeno de origen natural o como consecuencia de las actividades del hombre (de la sociedad)”.

Entonces se puede afirmar que un desastre es el riesgo haciéndose realidad. Y por lo tanto ya no se tiene control del mismo, lo que conlleva a la pérdida de bienes materiales y vidas humanas. Lamentablemente en Guatemala nuestras autoridades no actúan a tiempo para prohibir que se habite en zonas de riesgo y en otros casos no se aplican medidas estructurales de prevención o mitigación, cuando se realizan proyectos de ingeniería sobre las laderas de las montañas, como es el caso de las carreteras. Lamentablemente se espera que ocurra un desastre para actuar, cuando no debería ser así.

---

<sup>17</sup> *Ibíd.*, p16.

<sup>18</sup> Aporrea.org. Los Desastres. <http://www.aporrea.org/actualidad/a13255.html>. 31 de enero de 2009.

### 3.8 INUNDACION Y ASPECTOS RELACIONADOS

Fuentes<sup>19</sup>, cita a Monsalve (1999) para definir una inundación “quien la define como una elevación no usual del nivel de agua, que provoca desbordamientos y posibles perjuicios. Se caracteriza por la ocurrencia de caudales grandes que se salen del canal de la corriente. Una crecida puede no causar inundación, especialmente si se construyen obras de control para tal fin. Por otro lado, aun no habiendo un aumento grande de escorrentía superficial, podrá suceder una inundación en el caso de que exista alguna obstrucción en el canal natural del río”.

Por otra parte el Autor<sup>20</sup> del WebSite, desde el punto de vista estadístico, indica que “las inundaciones suelen ser descritas en términos de su frecuencia estadística. Una “inundación de 100 años\* o “una llanura de inundación de 100 años” se refiere a un evento o una área expuesta a un 1 % de probabilidad que ocurra una inundación de un determinado volumen en cualquier año dado. Por ejemplo, la Figura 3.1, muestra esta frecuencia en términos de niveles de inundación y de llanuras de inundación. Este concepto no significa que una inundación ocurrirá sólo una vez cada 100 años. Si es que ocurre o no en un determinado año no cambia el hecho de que siempre hay una probabilidad del 1 % de que ocurra algo similar al año siguiente. Dado que las llanuras de inundación pueden ser cartografiadas, los linderos de una inundación de 100 años se utilizan comúnmente en programas de mitigación de llanuras de inundación, para identificar las áreas donde el riesgo es significativo. Se puede seleccionar cualquier otra frecuencia estadística para un evento de inundación, según el grado de riesgo que se decida evaluar, p.e., llanuras de 5 años, 20 años, 50 años, o 500 años”.

Para dar una mejor explicación, en la figura 3.1, se muestra un corte transversal generalizado, de una hipotética llanura de inundación fluvial, mostrando como el desarrollo en la llanura de inundación, aumenta la altura de la inundación: Por ejemplo en la sección A, se da antes del desarrollo, en B, hay un aumento en altura de inundación, en C, después del desarrollo y la sección D, que representa el relleno.

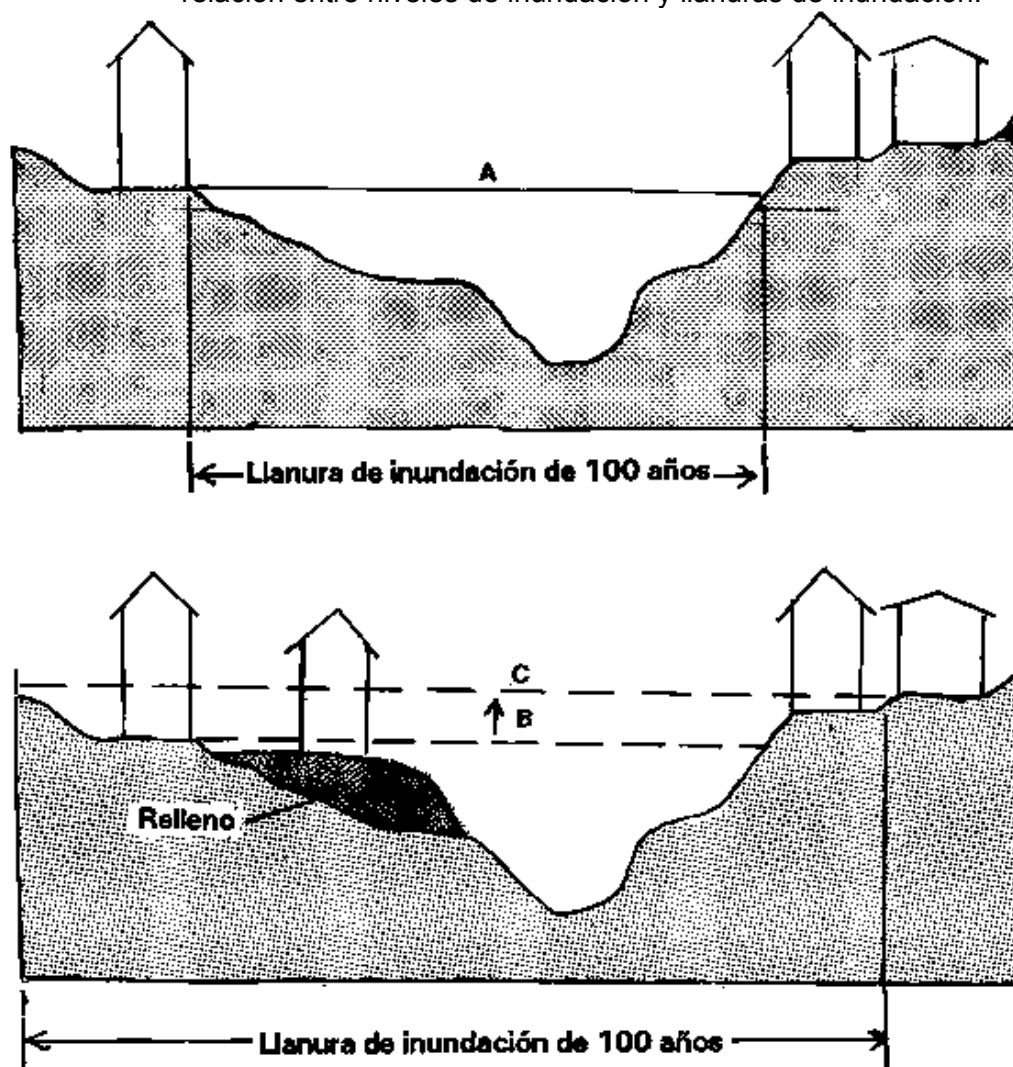
---

<sup>19</sup> *Ibíd.*, p17.

<sup>20</sup> Organización de los Estados Americanos. Washington, D.C. 1993. <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch13.htm>. 31 de enero de 2009.

Por lo que esta figura demuestra que en el caso de una cuenca, muchas de las poblaciones, que habitan en la parte baja de la cuenca, están asentadas en las llanuras de inundación, como es el caso de algunos sectores del área estudiada, ya que el río Cahabón al desbordarse en las partes mas bajas del terreno, provoca inundaciones del terreno y las viviendas que están en las llanuras de inundación.

**FIGURA 3.1** Corte transversal diagramático del valle de un río, mostrando la relación entre niveles de inundación y llanuras de inundación.



**FUENTE:** <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch13.htm>. Visitado: 31 de enero de 2009.

Por otra parte, Fuentes<sup>21</sup> cita a Fajardo (2006), en cuanto a que las inundaciones “... son un fenómeno natural en el ciclo hidrológico de una cuenca. Su función es fundamental en diversos procesos de renovación de los ecosistemas. En efecto, suelos muy fértiles y con gran facilidad de aprovechamiento agrícola se ubican en las planicies de inundación de los ríos. Por otra parte, las inundaciones tienen efectos positivos en el control de plagas, al producir una eliminación masiva de roedores, insectos y otros organismos patógenos.

*Las inundaciones se transforman en una amenaza cuando las actividades humanas ignoran las leyes naturales de la ocurrencia de las mismas, y construyen viviendas en las planicies de inundación, con lo cual irrespetan el uso adecuado del suelo, construyen puentes con secciones hidráulicas insuficientes o en bancos erosionables y desarrollan importantes proyectos agrícolas o industriales en zonas inundables”*

### 3.8.1 Tipos de inundaciones

Fuentes<sup>22</sup> indica que de acuerdo con el Proyecto Naciones Unidas, en sus siglas PNUD (1995), se define dos tipos de inundaciones:

**a. Inundación repentina:** Normalmente, se definen como inundaciones que ocurren dentro de las primeras seis horas de lluvia intensa, y comúnmente están asociadas con nubes cúmulo, altas, tronadas, ciclones tropicales, o el paso de frentes de clima frío. Este tipo de inundación requiere advertencias localizadas rápidas y respuesta inmediata de las comunidades afectadas si se desea mitigar los daños. Las inundaciones repentinas suelen ser el resultado del flujo de una lluvia torrencial, particularmente si las pendientes de la cuenca tributaria no pueden absorber y retener una parte significativa del agua.

**b. Inundaciones fluviales:** Las inundaciones fluviales son causadas normalmente por precipitación sobre cuencas de captación extensas o por derretimiento de la acumulación invernal de nieve o, a veces, por ambos. Las inundaciones ocurren en sistemas de ríos con afluentes que descargan las aguas de áreas geográficas grandes e incluyen muchas cuencas fluviales independientes. Los factores que regulan la magnitud de la inundación incluyen las condiciones del terreno y el área de la cuenca tributaria.

---

<sup>21</sup> Ibídem

<sup>22</sup> Ibíd., p18.

Sigue citando Fuentes<sup>23</sup>, que según el PNUD (1995), las inundaciones pueden medirse y estudiarse de acuerdo con los siguientes parámetros (Tabla 3.3):

**TABLA 3.3** Estudio de las inundaciones con base a ciertos parámetros.

<b>Parámetros</b>	<b>Descriptores</b>
a. Profundidad del agua	Los cimientos de las edificaciones y la vegetación tendrán distintos grados de tolerancia a ser inundados
b. Duración	El daño o la gravedad del daño a estructuras, infraestructura y vegetación a menudo están asociados con el tiempo que permanecieron inundados.
c. Velocidad	Las velocidades de flujo peligrosamente altas pueden crear fuerzas erosivas y presión hidrodinámica que pueden destruir o debilitar los cimientos.
d. 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.
e. 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.
f. Estacionalidad	Las inundaciones que ocurren durante la temporada de cultivo pueden destruir completamente las cosechas.

**FUENTE:** Modificado de: Fuentes, Guatemala 2008.

Esta tabla es muy útil y debería ponerse en práctica para el estudio de las inundaciones en las cuencas, porque las poblaciones sabrían mejor como responder y estar atentas en el caso de las crecidas repentinas. Por otra parte en el aspecto legal, se debería prohibir el asentamiento de las comunidades en las llanuras de inundación o en zonas susceptibles a los desbordes del río.

---

<sup>23</sup> *Ibíd.*, p19.

Para el caso de la ciudad de Cobán, en las últimas inundaciones (huracán Mitch de 1998 y las lluvias intensas de agosto de 2007), destruyeron áreas de cultivo de maíz, frijol y otros, porque estas zonas estaban ubicadas en las planicies de inundación del río Cahabón, y en otras zonas urbanas muchas viviendas se inundaron ya que los niveles del río cubrieron las mismas casi, hasta el techo.

### 3.8.2 Control de las inundaciones

Por otra parte, Fuentes<sup>24</sup> cita a CEPREDENAC (2006), y menciona que las medidas aplicadas en Guatemala para el manejo y control de inundaciones son las siguientes (Tabla 3.4):

**TABLA 3.4.** Medidas aplicadas en Guatemala, para el control de las inundaciones

<b>Tipo de obra o medida</b>	<b>Aplicación o funcionalidad</b>
a. Presas	El efecto de una presa sobre las inundaciones consiste en la laminación o reducción del pico de la crecida por medio del almacenamiento temporal. Aquí también se requiere de un cuidadoso diseño de ingeniería para anticipar los niveles máximos de inundación
b. Diques y bordas	Estas son junto con el dragado de cauces, la medida más ampliamente utilizada para fines de control de inundaciones en Guatemala.
c. Mejoras en el cauce	Esta es otra de las categorías de medidas de control de inundaciones que gozan de popularidad en Guatemala, principalmente el dragado de cauces.
d. Acequias	Son conocidas como quineles, las cuales tienen como propósito evitar la intrusión del agua de inundación en zonas de cultivos y evacuarla a zonas de poco interés productivo.
e. Sistemas de bombeo	Son las acciones que menos se han implementado en Guatemala. De hecho más allá del bombeo de aguas de inundación de sitios puntuales o el traslado esporádico de grupos poblacionales, no existe un esfuerzo sistemático para la aplicación de los mismos.

**FUENTE:** Modificado de: Fuentes, 2008.

<sup>24</sup> JUAN CARLOS FUENTES. *Evaluación del sistema de alerta temprana para inundaciones, en la cuenca del río Coyolate*. Guatemala: Facultad de Ingeniería. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y recursos hidráulicos. ERIS. A nivel de postgrado. Tesis de postgrado. 2008., p20.



Quiero comentar sobre estas medidas estructurales, ya que no todas funcionan a nivel nacional, en el caso particular de la ciudad de Cobán por ejemplo dentro de las medidas estructurales, implementadas por el desborde del río Cahabón, han sido las obras que se refieren a los diques y bordas y en particular el dragado del cauce del río.

Sin embargo, esta medida es temporal y no se realiza con estudios técnicos adecuados, como es el caso de estudios hidrológicos dentro de la cuenca, así como estudios de sedimentación fluvial a detalle. Por lo que el río vuelve a sedimentarse y construir su cauce de nuevo, poniendo en riesgo a las comunidades ubicadas en las partes bajas de la cuenca.

Por lo que la aplicación de tales medidas, debe considerar estudios de varias disciplinas científicas como lo son; la hidrología fluvial, geomorfología, geología y otras.

### 3.9 DEFINICIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACION GEOGRÁFICO.

Según el autor<sup>25</sup> del WebSite, "... un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una colección organizada de hardware, software y datos geográficos diseñados para la eficiente captura, almacenamiento, integración, actualización, modificación, **análisis espacial**, y despliegue de todo tipo de información geográficamente referenciada.

### 3.10 DEFINICION DE KARST

Según el autor<sup>26</sup> del WebSite, "... se define como el modelado del relieve producido por el fenómeno de la disolución en algunas rocas como la caliza, y que se caracteriza por la presencia de grietas, galerías, cañones y cavernas".

---

<sup>25</sup> Página oficial del Gobierno de Puerto Rico. *Apoyo Técnico, taller para aprendizaje del programado ArcView versión 9.1.* [Http://www.gobierno.pr/G2GPortal/Inicio/ComunidadIT/SIG/ApoyoTecnico.htm](http://www.gobierno.pr/G2GPortal/Inicio/ComunidadIT/SIG/ApoyoTecnico.htm). 19 de junio de 2008.

<sup>26</sup> El País.com. *Karst.* <http://www.elpais.com/diccionarios/castellano/karst>. 7 de febrero de 2008

En otras palabras el Karst (carst), es un tipo de paisaje que se encuentra en rocas carbonatadas (caliza, dolomita, tal como el paisaje local de la ciudad de Cobán) o evaporíticas (yeso, anhidrita, sal de roca o halita) y que se caracteriza por geformas como las depresiones superficiales cerradas, desarrollo de un sistema subterráneo de drenaje y escasez de corrientes superficiales.

### 3.11 CONCEPTUALIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS

A continuación se presentan en forma conceptual las principales características físicas determinadas para las cuencas, como una guía y se presenta su explicación por medio de la formula o método utilizado para obtener el parámetro. Esta información se obtuvo del Autor<sup>27</sup> del Website del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA), titulada generalidades sobre las cuencas hidrográficas.

#### 3.11.1 CARACTERÍSTICAS LINEALES

A continuación se presenta en la tabla 3.5 la conceptualización y explicación de los parámetros lineales que se determinaron para la subcuenca.

**TABLA 3.5** Conceptualización y explicación de los parámetros lineales

PARAMETRO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERATIVA
Perímetro de la cuenca	Es la longitud del límite exterior de la cuenca y depende principalmente del área y la forma de la cuenca.	La medida del perímetro equivale al trazo que se realiza sobre el parteaguas de la cuenca hidrográfica. Es obtenido directamente por una consulta a la información que contiene el polígono que conforma la cuenca dentro de un Sistema de Información Geográfico (SIG) y con el programa de Autocad.
Clase de las corrientes	Las clases de corrientes o drenajes que se determinan sobre la superficie de una cuenca son los siguientes:	Las corrientes permanentes e intermitentes, se identifican directamente de manera visual en los mapas (línea continua y discontinua). Mientras que las corrientes efímeras deben ser trazadas, mediante la topografía del terreno (parteaguas), siguiendo la regla de la "V".

<sup>27</sup> MAGA. *Generalidades sobre las Cuencas Hidrografica* [http://200.12.49.237/SIG\\_MAGA/paginas/atlas\\_tematico/cuencas.htm](http://200.12.49.237/SIG_MAGA/paginas/atlas_tematico/cuencas.htm). 08 de febrero de 2009.

	<p>1. Permanentes: corrientes que fluyen durante todo el año;</p> <p>2. Intermitentes: corrientes que fluyen únicamente durante la temporada lluviosa; y</p> <p>3. Efímeras: corrientes que fluyen durante y el lapso inmediato posterior a un aguacero.</p>	<p>Las corrientes permanentes llevan agua en toda la época del año. En el caso de las corrientes intermitentes se activan con lluvias severas, particularmente en época de invierno. Las corrientes efímeras representan afluentes secundarios y llevan agua cuando ocurren precipitaciones intensas.</p>
Orden de las corrientes (u), número de corrientes (Nu) y longitud	El número de orden de una corriente es una medida de la ramificación del cauce principal en una cuenca hidrográfica,	La identificación (u), cuantificación (Nu) y medición (Lu) de los diversos órdenes de corrientes presentes en una cuenca se hace directamente sobre el mapa, de tal forma que una vez se ha identificado el orden, se cuantifican las cantidades de corrientes correspondiente a cada orden y la longitud de cada corriente.
Radio de bifurcación medio (Rb)	Se le denomina así a la relación existente entre los números de corrientes de un orden dado (u) y el del orden superior siguiente (u+1), mediante cuya operación se determina el radio de bifurcación entre órdenes y la sumatoria de los mismos determina el radio de bifurcación promedio	<p>El cálculo se realiza mediante operar las ecuaciones 1 y 2,</p> $Rb = \frac{Nu}{N(u+1)} \quad (\text{Ec. 1})$ <p>Donde: Nu = Número de corrientes de orden u N(u+1) = Número de corrientes de orden superior</p> <p>siguiente: <math>Rb = \sum_{i=1}^{i=n} Lu / Nu</math>, <b>(Ec. 2)</b></p> <p>Donde: i = Número de relaciones: i = 1, ..., i = n.</p>
Longitud media de las corrientes (Lmc)	A este parámetro se le considera un indicador de las pendientes de una cuenca, de tal forma que cuencas con longitudes cortas reflejan pendientes muy escarpadas y las cuencas con longitudes largas reflejan pendientes suaves o planas.	<p>El cálculo se realiza mediante operar la fórmula siguiente: <math>Lmc = \sum_{i=1}^{u=n} Lu / Nu</math>, <b>(Ec. 3)</b></p> <p>Donde: Lu = Longitud de las corrientes de orden u Nu = Número de corrientes de orden u</p>
Radio de longitud medio (Rlm)	Describe las relaciones de la longitud acumulada de corrientes de orden u respecto a las de orden u-1.	<p>El cálculo se realiza mediante la ecuación siguiente:</p> $Rlm = \sum_{i=1}^{u=n} (Lu / L(u-1)) / n, \quad (\text{Ec. 4})$ <p>Donde: Lu = Longitud de corrientes de orden u L(u-1) = Longitud de corrientes de orden u-1</p>

		n = número de corrientes de orden u cuantificadas
Longitud acumulada de corrientes (La)	por medio de este parámetro se cuantifican la longitud total de las corrientes de orden u determinados para la cuenca,	el cálculo se realiza mediante la ecuación siguiente: $La = \sum_{i=1}^{i=n} Lu * Nu , \quad \text{(Ec. 5)}$

**FUENTE:** Modificado y adaptado del MAGA, 2009.

### 3.11.2 CARACTERÍSTICAS DE SUPERFICIE

A continuación se presenta en la tabla 3.6 la conceptualización y operacionalización de los parámetros superficiales que se determinaron para la subcuenca.

**TABLA 3.6** Conceptualización y explicación de los parámetros superficiales

PARAMETRO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERATIVA
<b>Área de la cuenca (Ak)</b>	Indica la superficie del área drenada, desde donde nace el cauce principal hasta el sitio donde se encuentra la estación medidora $dRr = \frac{\Delta h * D}{1000}$ e caudal que va a servir de base para el estudio hidrológico de la cuenca	El área de la cuenca se puede calcular con planímetro polar directamente sobre el mapa u obtenido directamente de la información del polígono correspondiente en el SIG
<b>Relación de forma (Rf)</b>	La Rf da alguna indicación de la tendencia de las avenidas en el cauce, porque una cuenca con un factor de forma bajo, tiene menos tendencias a concentrar las intensidad de lluvias que una cuenca de igual área, pero con un factor de forma más alto	Las relaciones de forma de las cuencas, según el tipo geométrico que presentan varían, por lo que en general para las circulares se estima en 0.79, para las cuadradas el valor oscila entre 0.5 y 1 dependiendo de donde se ubica la salida, las ovals están entre 0.4 y 0.5 y para las alargadas se estima en menores a 0.3.
<b>Relación circular (Rc)</b>	La relación circular de la cuenca es el cociente de dividir el área de la cuenca dentro del área de un círculo de perímetro igual de la cuenca,	conforme a las siguientes ecuaciones: $Rc = \frac{Ak}{Ac} , \quad \text{(Ec.6)}$ <p>Donde: Ak = Área de la cuenca en km<sup>2</sup>  Ac= Área de un círculo de perímetro igual al de la cuenca en km<sup>2</sup>.</p>

<b>Índice de compacidad</b>	Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que la cuenca,	puede ser calculado mediante la ecuación siguiente: $Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$ , <b>(Ec. 7)</b>  Donde P y A son el perímetro y el área de la cuenca respectivamente. En cualquier caso, el índice será mayor que la unidad mientras más irregular sea la cuenca y tanto más próximo a ella cuando la cuenca se aproxime más a la forma circular, alcanzando valores próximos a 3 en cuencas muy alargadas.
<b>Radio de elongación (Re)</b>	Se define como la relación entre el diámetro de un círculo de área igual a la cuenca y la longitud del cauce principal (Lc),	calculado mediante la ecuación siguiente: $Re = \frac{dCA}{Lc}$ , <b>(Ec. 8)</b>  Donde: dCA= Diámetro de un círculo de área igual al de la cuenca  Lc = Longitud del cauce principal.
<b>Densidad de drenaje (D)</b>	Horton (1,945) definió la densidad de drenaje de una cuenca como el cociente entre la longitud total de las corrientes de flujo pertenecientes a la red de drenajes y la superficie de la cuenca	Una densidad alta reflejará un cuenca muy bien drenada de rápida respuesta hidrológica, mientras que una cuenca con baja densidad refleja un área pobremente drenada y de lenta respuesta, la longitud total de los cauces dentro de una cuenca dividida por el área total de drenaje, define la densidad de drenaje o longitud de canales por unidad de área
<b>Frecuencia de corrientes (Fc)</b>	Horton (1,945) definió la frecuencia de corrientes o cauces como la relación entre el número de cauces y su área correspondiente	La frecuencia de drenaje indica la eficiencia hidrológica de una cuenca, a mayor número de corrientes, mayor frecuencia y mayor eficiencia de drenaje, el número total de las corrientes de una cuenca dividida dentro del área total drenada, define la frecuencia de canales por unidad de área,

**FUENTE:** Modificado y adaptado del MAGA, 2009.

### 3.11.3 CARACTERÍSTICAS DE RELIEVE

A continuación se presenta en la tabla 3.7 la conceptualización y operacionalización de los parámetros de relieve que se determinaron para la subcuenca.

**TABLA 3.7** Conceptualización y explicación de los parámetros de Relieve

PARAMETRO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERATIVA
<b>Pendiente media de la cuenca (Sc)</b>	Dada la variación considerable de la pendiente del terreno en una cuenca típica, es necesario definir un índice promedio que la represente, cuya precisión dependerá de la calidad del mapa que se utilice, este aspecto tiene una relación importante con la infiltración, el escurrimiento, la humedad del suelo y la distribución del agua subterránea.	Se encuentra a partir de la ecuación siguiente: $Sc = \frac{D * L}{Ak} * 100\%$ , (Ec. 9). Donde: D= Diferencia vertical entre curvas de nivel (km). L= Longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca en km Ak = Área de la cuenca en km <sup>2</sup> ,
<b>Pendiente media del canal o cauce principal (Scp)</b>	En las cuencas los perfiles típicos de los cauces naturales son cóncavos hacia arriba y exceptuando las cuencas más pequeñas, la mayoría de estas tienen varios canales con perfiles diferente entre sí, por lo que se hace difícil definir la pendiente promedio de un cauce en una cuenca, por lo que únicamente se considera la pendiente del cauce principal.	A partir de la ecuación siguiente: $Scp = \frac{\Delta H}{Lc} * 100$ , (Ec. 10) Donde: ΔH = Diferencia de nivel entre la curva más alta y la más baja que tocan el cauce principal (km) Lc= Longitud del cauce o canal principal (km)
<b>Coefficiente de relieve (Rh)</b>	Resulta evidente la influencia del relieve de la cuenca, ya que cuanto mayor es la pendiente mayor es la velocidad de las corrientes y menor el tiempo de concentración. Por lo tanto mediante este parámetro se determina la relación existente entre la altura y la longitud total de las curvas de nivel comprendidas dentro del área de la cuenca,	estimándose mediante la ecuación siguiente: $Rh = \frac{\Delta h}{1000 * Ltc}$ , (Ec. 11) Donde: Δh= Diferencia de nivel entre la cota más alta y la más baja dentro de la cuenca (m) Ltc = Longitud total de las curvas de nivel comprendidas (km)
<b>Coefficiente de robustez (Rr)</b>	consiste en una derivación de la relación anterior, mediante la cual el relieve se expresa como la diferencia de alturas y el intervalo vertical de las curvas en el mapa de referencia	utilizando la la ecuación siguiente: $Rr = \frac{\Delta h * D}{1000}$ , (Ec. 12) Donde: D = Intervalo vertical entre curvas, las otras variables se indican arriba.

FUENTE: Modificado y adaptado del MAGA, 2009.

## CAPÍTULO 4

# GEOGRAFÍA FÍSICA Y RECURSOS NATURALES

A continuación se detallan datos generales de la Geografía Física y recursos naturales dentro de la cuenca e incluye la Fisiografía, clima, relieve, drenaje, suelos, zonas de vida, los que se detallan a continuación de la parte alta de la cuenca del río Cahabón.

### 4.1 FISIOGRAFÍA

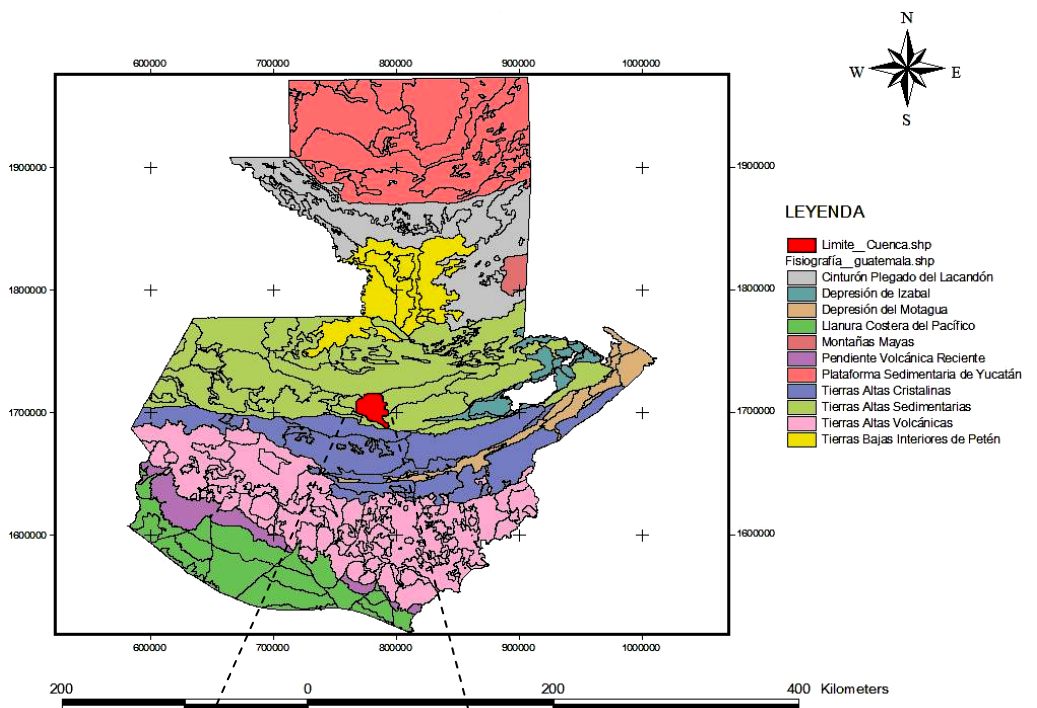
En cuanto a la fisiografía de Guatemala es variada y la comprende 11 provincias<sup>28</sup> que son: Cinturón Plegado del Lacandón, Depresión de Izabal, Depresión del Motagua, Montañas Maya, Pendiente volcánica reciente, Planicie costera del Pacífico, Plataforma sedimentaria de Yucatán, Tierras altas cristalinas, Tierras altas Sedimentarias, Tierras altas volcánicas y Tierras bajas interiores de El Petén, (mapa 4.1). De ellas se desprenden varias unidades geomorfológicas, pero sólo tres están comprendidas dentro de la subcuenca.

La cuenca del río Cahabón presenta dos unidades fisiográficas locales, siendo una de ellas la Sierra Plegada de Chamá, ubicada al norte de la cuenca y constituye el eje central norte del país, desde el occidente en Huehuetenango hasta el norte de Izabal, pasando por Quiché y Alta Verapaz. Luego se tiene, la zona Montañosa Cobán-Senahú, se extiende desde Tactic hacia el norte de Purulhá, del departamento de Baja Verapaz y Tukurú y Senahú en Alta Verapaz y contiene montañas de Tactic Tukurú-Senahú, también incluye cerros y lomas cársticas de Cobán-Cahabón (parte central de la cuenca).

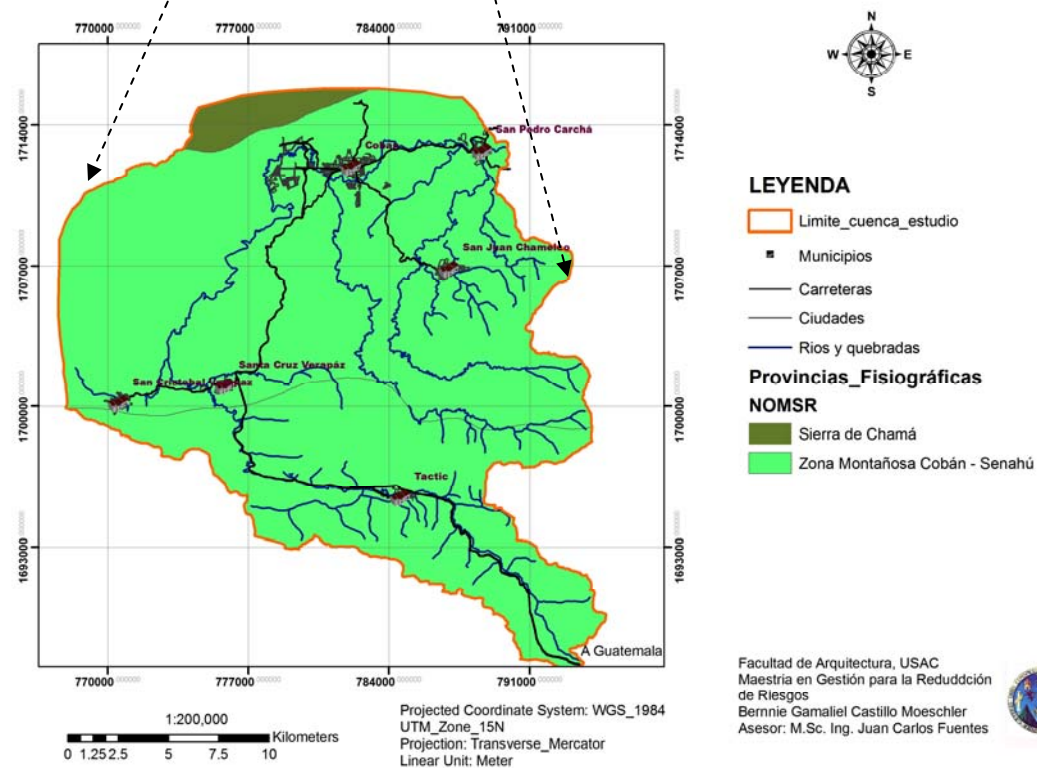
---

<sup>28</sup> UPIE-PAFG-FAO-INAB-. *Mapa Fisiográfico-Geomorfológico, República de Guatemala, escala 1:1 000 000*. Base de Datos de Laboratorio SIG-MAGA, 2001.

**MAPA 4.1** a) Provincias fisiográficas de Guatemala, b) Provincias fisiográficas locales de la parte alta de la cuenca del río Cahabón.



b) Provincias fisiográficas a nivel local de la parte alta de la cuenca del río Cahabón



**FUENTE:** Modificado de la base a datos del SIG-MAGA ( 2001).

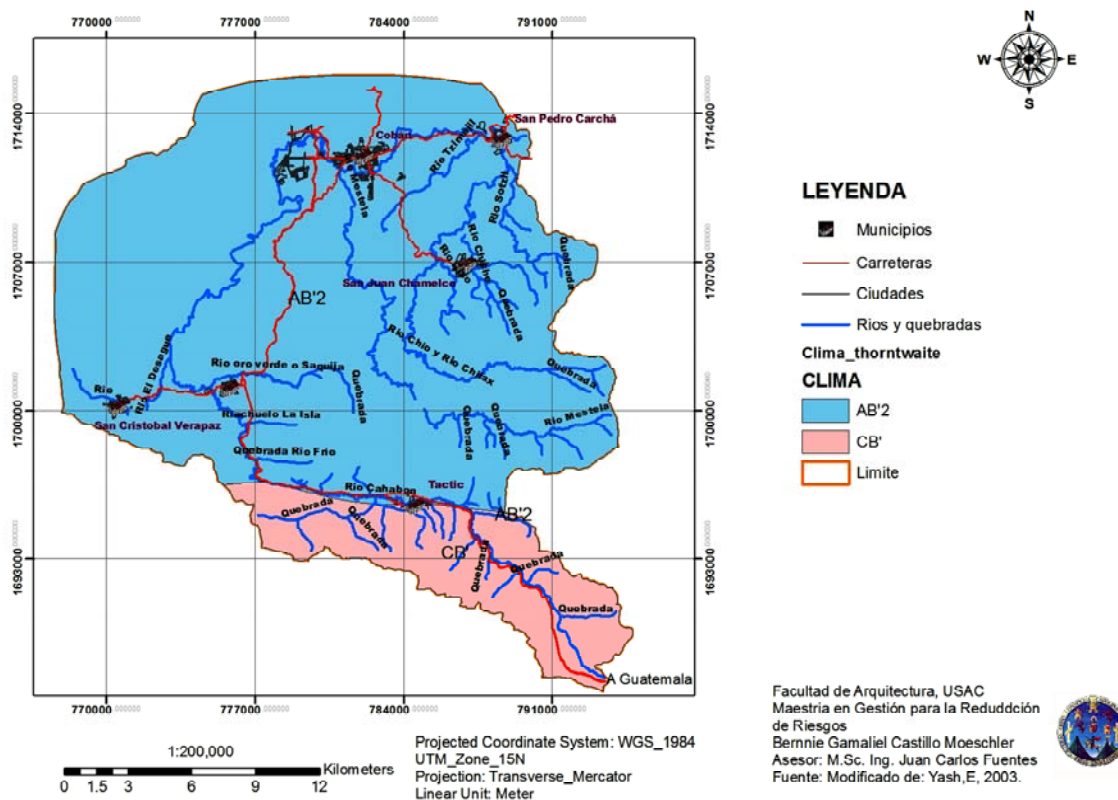


## 4.2 CLIMA

La clasificación climática de Thorntwaite divide a la cuenca en dos tipos de clima AB'2: Muy húmedo y CB': semi-seco, para la primera clasificación se tiene una vegetación denominada como selva, con temperatura templada y la segunda presenta vegetación tipo pastizal y temperatura semicálida (Mapa 4.2).

Por otra parte, la división de estas dos zonas climáticas dentro de la cuenca, se muestra claramente en la vegetación y el clima, ya que luego de pasar por el municipio de Tactic, Alta Verapaz, por la carretera CA-14, se observa el cambio de vegetación y la temperatura ambiente se torna más cálida.

**MAPA 4.2** Zona climática Thorntwaite, de la parte alta de la Cuenca del río Cahabón

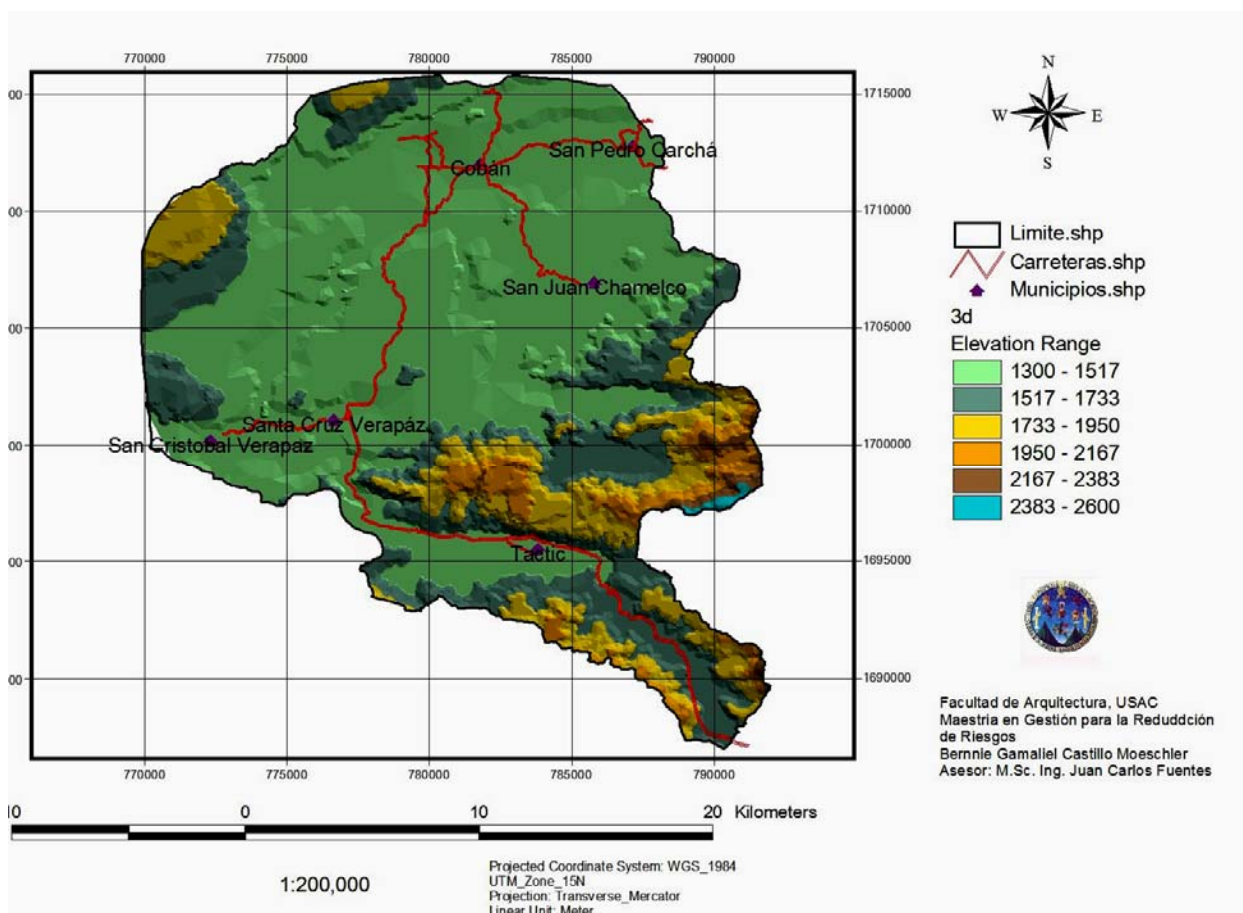


**FUENTE:** Modificado de la base de datos del SIG-MAGA ( 2001)

### 4.3 RELIEVE

El relieve de la subcuenca va desde topografías planas (1200 m.s.n.m) hasta sectores montañosos (2600 m.s.n.m), ya que la misma hipsometría da una diferencia de altura de 1400 m.s.n.m., entre la parte más baja, que representa la planicie y la parte más alta, que para este caso, no es donde nace el río Cahabón, sino en la parte montañosa de la cuenca (ubicada al Sudeste), donde nace el río Mestelá. Se aclara también que los intervalos de las curvas de nivel para este estudio son a intervalos de cada 100 metros de elevación.

**MAPA 4.3.** Modelo de elevación digital, de la parte alta de la cuenca del río Cahabón

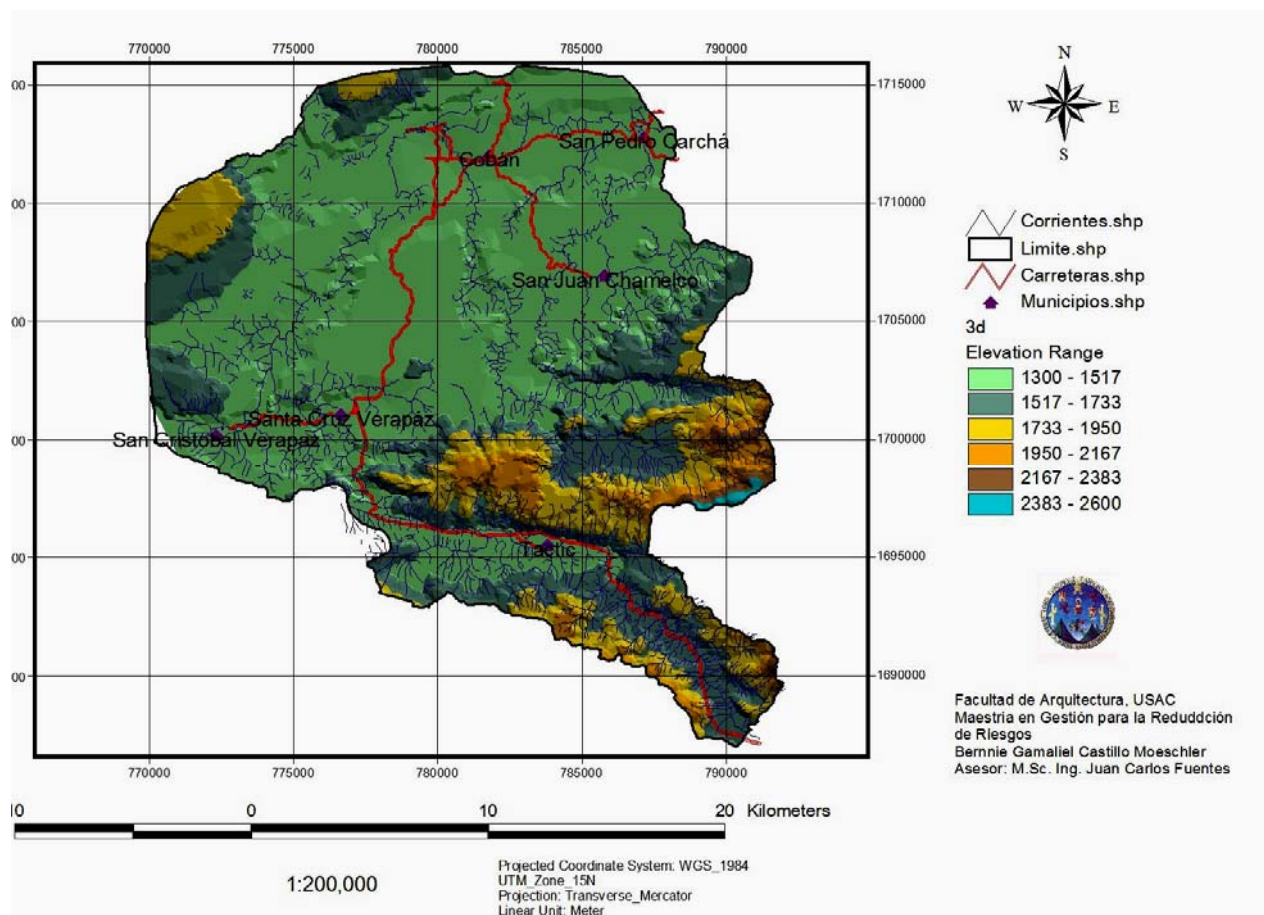


**FUENTE:** Modificado de Yash (2003)

## 4.4 DRENAJE

Los patrones de drenaje dentro de la cuenca, tienen un patrón anular, debido a geomorfología del área. Según Edwin Orlando Yash Asencio, indica que "... El río Cahabón, drena de Sudeste en su cabecera a Noreste, en su recorrido es alimentado por cauces secundarios como los ríos Saquijá, Sachisay, Mestela, Tzimajil, y Chilax, así como por quebradas permanentes e intermitentes, entre las que se puede mencionar río Frío, así como del agua subterránea producto del proceso Cárstico típico de la zona debido a las rocas carbonáticas"

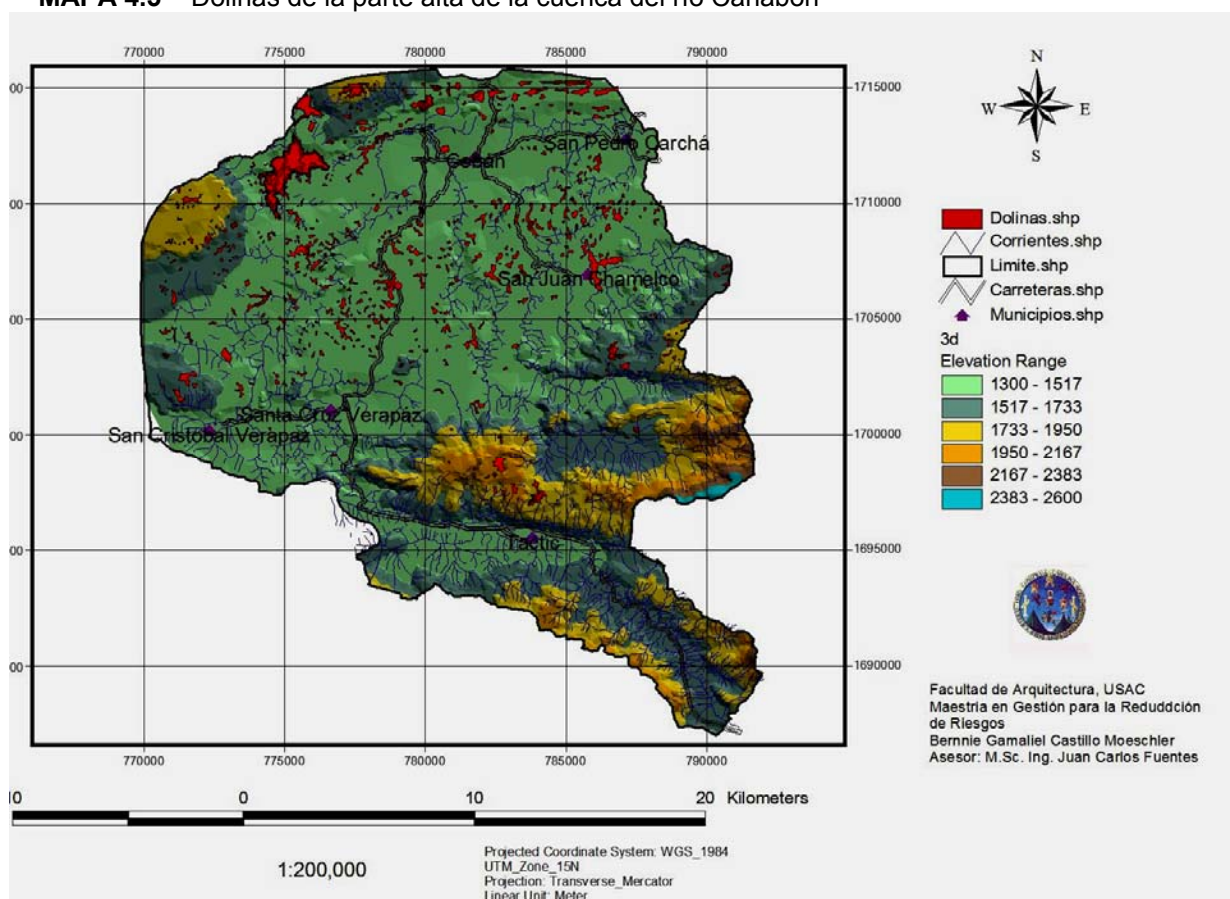
**MAPA 4.4** Patrones de drenaje, de la parte alta de la cuenca del río Cahabón



**FUENTE:** Modificado de Yash (2003)

En el caso de contar con un sistema de drenaje cárstico, tal como presenta el área de estudio, es difícil tener un modelo ideal del comportamiento hidrológico de la cuenca, por ejemplo en algunos tramos de los ríos, porque en el caso del río Mestelá, cuenta con afluentes interrumpidos por una dolina (siguán), que luego de aproximadamente 800 metros resurge de nuevo (Mapa 4.5). Además muchas corrientes efímeras (formadas debido a las dolinas), se encuentran aisladas, como para registrar un flujo constante de agua en las mismas.

**MAPA 4.5** Dolinas de la parte alta de la cuenca del río Cahabón



**FUENTE:** Modificado de Yash (2003)

El número de dolinas dentro de la cuenca es de 635, lo que representa un área de 33.10 km<sup>2</sup>. La mayoría de ellas, se encuentran localizadas al norte de la

cuenca, lo que representa que éstas puedan aportar flujo de agua subterránea hacia el río Cahabón.

La geometría de de las dolinas es variable, tal como se muestra en el mapa anterior, en algunos casos se observan en el campo (Fotografías 4.1 a y b) de dimensiones de varios metros y en otros caso se observan con diámetros pequeños, en las que el proceso físico y químico actúa sobre ellas y esto está en función de la cantidad de lluvia, y el tiempo para erosionar la caliza.

**TABLA 4.1** Fotografías de campo, que muestran las dolinas.



#### Referencia

- A)** Dolina de dimensiones considerables, localizada en la entrada de la colonia Austria, Cobán al norte de la cuenca. Tomada por: Bernie G. Castillo M, junio de 2008.
- B)** Múltiples dolinas, en las que el proceso cárstico esta actuando.,localizada en las inmediaciones de la aldea Choval, al norte de Cobán. Tomada por: Bernie G. Castillo M, junio de 2008

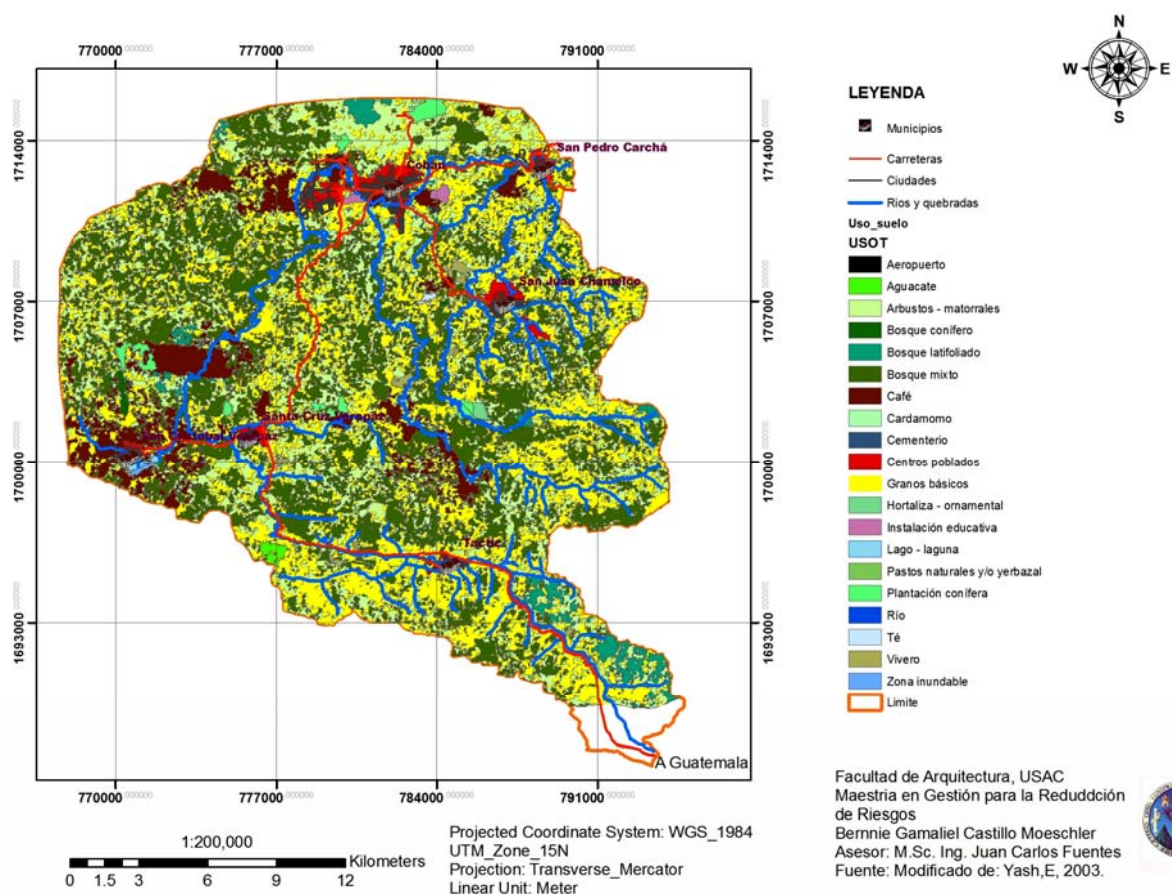
El karst puede ser un sumidero (siguán) o fuente de  $\text{CO}_2$ , puesto que el proceso cárstico es parte del ciclo global del carbono en el cual el carbono es intercambiado entre la atmósfera, el agua superficial y subterránea y los minerales carbonatados. La disolución de carbonatos, que se puede incrementar por la presencia de ácidos en el agua, que descomponen el carbono derivado de la roca y del  $\text{CO}_2$  disuelto como  $\text{HCO}_3^-$  acuoso.

Un ejemplo del proceso cárstico lo constituyen las cuevas y en el caso de la ciudad de Cobán, estas geoformas se encuentran presentes en su mayor parte al norte de la cuenca de estudio.

#### 4.5 USO DEL SUELO

El uso del suelo dentro de la cuenca es variable, tal como se muestra en el mapa 4.6, e incluye los municipios de Cobán, San Pedro Carchá, San Juan Chamelco, Santa Cruz y San Cristobal Verapaz, Tactic y Tamahú al sudeste de la cuenca. Un resumen de los principales usos del suelo con respecto al área de distribución de los municipios, dentro de la cuenca se visualiza en la tabla 4.2.

**MAPA 4.6** Uso del suelo, en la parte alta de la Cuenca del río Cahabón



**FUENTE:** Elaboración propia con base a los datos del SIG-MAGA, 2005.

**TABLA 4.2** Principales usos del suelo en los municipios de la cuenca.

MUNICIPIO	USO DEL SUELO	ÁREA (km <sup>2</sup> )
COBÁN	Bosque mixto	66.0624
	Arbustos y matorrales	57.1763
	Granos básicos	54.3646
SAN PEDRO CARCHÁ	Granos básicos	7.2858
	Arbustos - matorrales	5.8054
	Bosque mixto	3.3208
SAN JUAN CHAMELCO	Arbustos - matorrales	48.7361
	Centros poblados	3.005
	Bosque latifoliado	0.7133
SAN CRISTOBAL VERAPAZ	Bosque mixto	20.8993
	Café	15.9257
	Arbustos - matorrales	15.3290
	Granos básicos	12.9911
SANTA CRUZ VERAPAZ	Bosque mixto	18.9649
	Arbustos - matorrales	18.600798
	Granos básicos	15.3359
TACTIC	Granos básicos	28.9754
	Arbustos - matorrales	18.9191
	Bosque mixto	17.9418
	Bosque latifoliado	3.2119
TAMAHÚ	Bosque latifoliado	1.9322

**FUENTE:** Elaboración propia, con base a datos del SIG-MAGA, 2005.

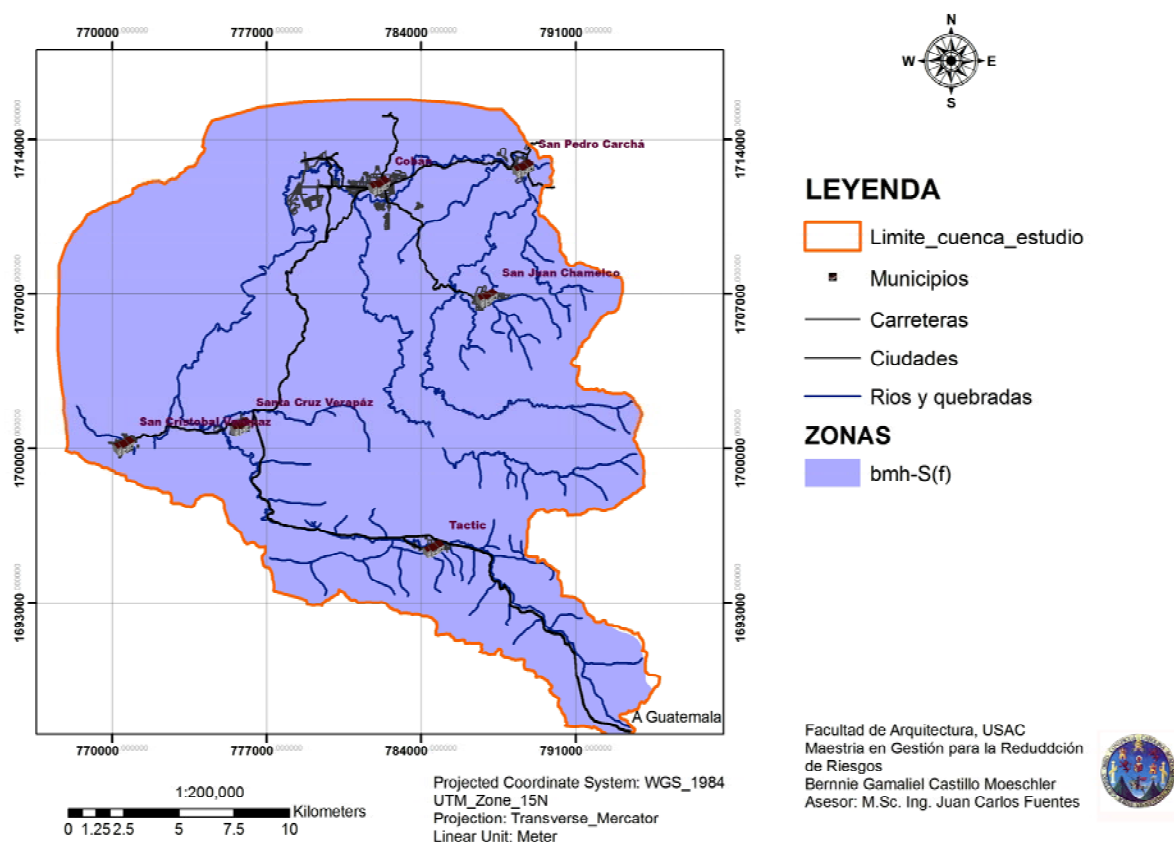
Como puede observarse en la tabla, en el caso del municipio de Cobán, posee aún un área de 66.06 km<sup>2</sup> de bosque mixto, sin embargo el área para los granos básicos es 54.36 km<sup>2</sup>, lo que representaría un aumento en los próximos años y por consiguiente la pérdida de los bosques, dentro de la cuenca.

En el caso de los otros municipios el uso del suelo es variable, pero en el caso de Tactic, no son los bosques que poseen las áreas principales, sino los granos básicos con 28.98 km<sup>2</sup> de extensión. Esto puede significar en el futuro que una buena parte de los bosques desaparecerá, lo que implica una degradación de los recursos hídricos y del suelo, dentro de la cuenca. Por lo que debe fomentarse políticas de reforestación y conservación de estos recursos, de manera renovable.

## 4.6 ZONAS DE VIDA

Para la cuenca está caracterizada por una zona de vida de las 14 existentes en el país y se muestran en el mapa 4.7.

**MAPA 4.7** Zonas de vida, de la parte alta de la cuenca del río Cahabón



**FUENTE:** Modificado de la base a datos del Laboratorio del SIG-MAGA, 2001

Como puede notarse en la tabla 4.3, se tiene únicamente una zona de vida dentro de la cuenca, y corresponde a un bosque muy húmedo subtropical (frío), nombrada como Bmh-S(f). Aunque esta zona está caracterizada por la presencia de bosques, en la actualidad la mayoría de estos bosques han sido deforestados por el cambio de uso de la tierra, tal como se mostró en el mapa 4.6, de uso de suelo.



**TABLA 4.3** Zona de vida dentro de la cuenca de estudio.

ZONA DE VIDA	SÍMBOLO	RELIEVE	CLIMA	VEGETACIÓN
Bosque muy húmedo subtropical (frío)	Bmh-S(f)	Ondulado y en algunos casos accidentado	El régimen de lluvias como en la zona anterior, es de mayor duración, lo que influye en la vegetación.	La vegetación natural se considera como indicadora está representada por varias especies, como liquidambar, omax, aguacatillo, fruto de paloma. Y para uso alternativo puede ser usado para fitocultivos, como para el aprovechamiento de sus bosques

**FUENTE:** Elaboración propia, con base a datos del SIG-MAGA 2001.

## CAPÍTULO 5

### ESTRATIGRAFÍA DE LA CUENCA

En este capítulo se dará a conocer brevemente un resumen de los trabajos previos realizados por extranjeros en el área de influencia de la cuenca y a nivel regional, acerca de la historia geológica y estructural de la zona.

#### 5.1 GENERALIDADES

La geología de Guatemala es variada, a la vez es muy compleja. Es dividida en dos bloques a partir de la Zona de Sutura del Motagua: Al Norte, Bloque Maya que se extiende desde la zona de sutura hacia toda la Península de Yucatán. Al Sur, el bloque Chortís, que se extiende hasta el Océano Pacífico, el cual fue parcialmente cubierta por actividad volcánica del Terciario al Reciente.

#### 5.2 BASAMENTO DEL BLOQUE CHORTÍS

Edgar Rolando Pérez<sup>29</sup> enfatiza que:... *“El bloque Chorti contiene las exposiciones de rocas metamórficas y rocas pre-Mesozoicas más extensas y ampliamente distribuidas de la Placa del Caribe. Las rocas metamórficas expuestas en diferentes áreas son bastante diversas, revelan complejas historias y pueden no ser correlativas a través del bloque”*.

---

<sup>29</sup> EDGAR ROLANDO PÉREZ. *Léxico Estratigráfico del Bloque Chortí en Guatemala*. Tesis de Grado. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario del Norte. Carrera de Geología., 2005., p. 8.

Por otra parte, Pérez<sup>30</sup> cita a Donnelly et al (1990), quienes enfatizan “... que el margen norte del bloque Chortí en Guatemala, consiste de una cordillera de rocas metamórficas y plutónicas que se extiende justo desde el Norte de la ciudad de Guatemala, hacia la costa Norte de Honduras, en sentido E-NW. Esta provincia compleja incluye rocas ígneas y metamórficas Paleozoicos y Precámbricas; capas rojas, carbonatos, clásticos y rocas volcánicas Mesozoicas y rocas marinas, continentales y volcánicas del Cenozoico. El espesor agregado de las capas probablemente es mayor de 4 mil metros”.

### 5.3 BASAMENTO DEL BLOQUE MAYA

Según el documento: Los bloques Maya y Chortí, Centro América Norte; en traducción realizada por Mauricio Chiquín Yoj<sup>31</sup>, cita a “ Donnelly., et al (1990), con relación al basamento del bloque Maya en que “... *El bloque Maya tiene un basamento metamórfico bien expuesto a lo largo de su margen sur; sin embargo, sólo se puede conjeturar la historia del pre - Paleozoico tardío. La historia desde el Pensilvánico al Cenozoico incluye una gruesa sedimentación marina en una fosa del Paleozoico tardío; sedimentación continental durante el Jurásico y probablemente Cretácico Temprano, deposición de una cuenca carbonática gruesa, limitada por arrecifes, con extensas evaporitas durante el Cretácico Temprano; deposición de caliza de plataforma durante el Cretácico Tardío; deformación y sedimentación clástica gruesa acompañante a lo largo del borde sur durante un evento de sutura del Cretácico Tardío y Terciario temprano; acompañado por emplazamiento por cabalgamiento y deslizamiento de un complejo ofiolítico; y deposición en una variedad de ambientes sedimentarios predominantemente continentales durante el Terciario tardío*”.

### 5.4 SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA

Para entender la distribución geográfica de los bloques Maya y Chortí, estos se presentan en la figura 5.1. Con relación al basamento metamórfico del Bloque Maya, solo se enfatizará en el estudio de la estratigrafía de las unidades que afloran en la cuenca, que en su orden cronológico se tienen: Paleozoico Superior, que incluye la Formación Tactic y Calizas Chochal. En cuanto al Jurásico a Cretácico inferior, incluye a la Formación Todos Santos.

---

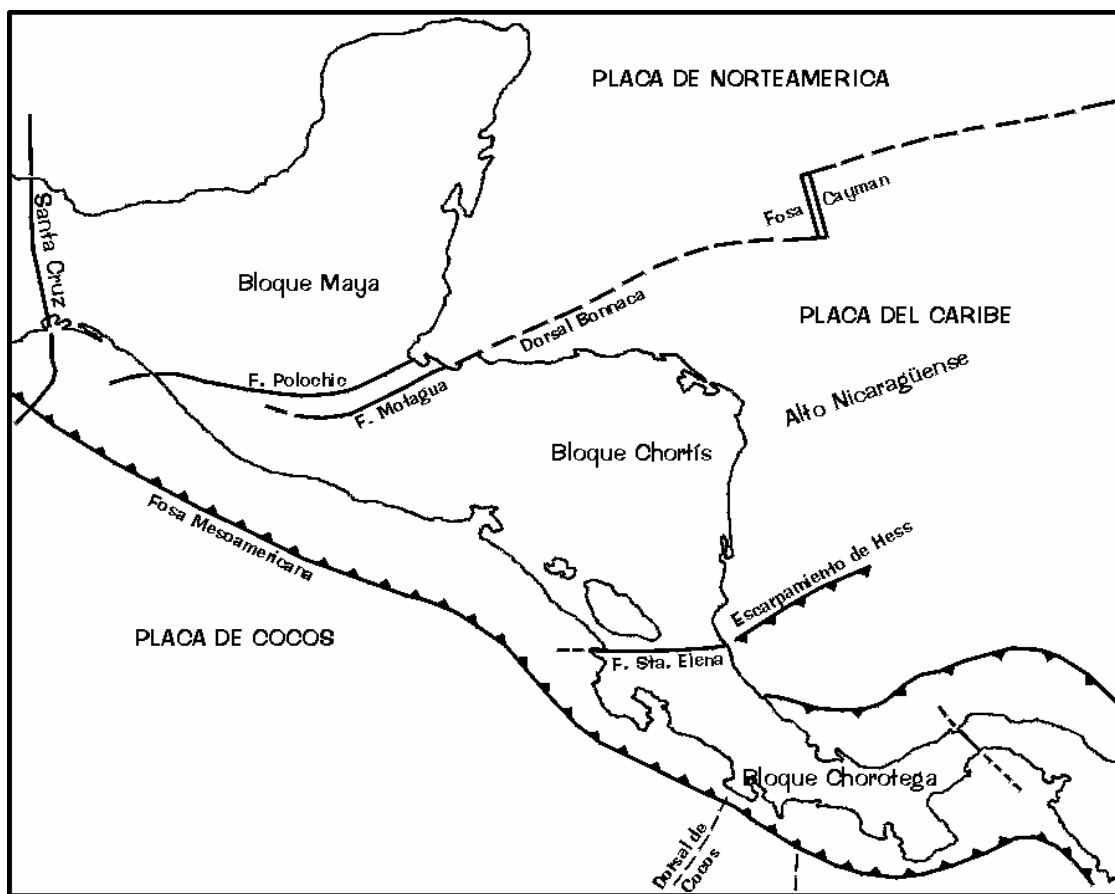
<sup>30</sup> Ibídem

<sup>31</sup> MAURICIO CHIQUÍN YOJ. *Los Bloques Maya y Chortí, Centro América Norte*. Traducción Libre. Carrera de Geología, Universidad de San Carlos de Guatemala. CUNOR, Cobán, A.V. Guatemala, p.1.

Luego se tiene el período Cretácico, que incluye a la Formación Cobán y Campur, ambas afloran al Norte de la cuenca de estudio y son áreas litológicas locales, que afloran en algunas zonas del municipio de Cobán. Por último, se incluyen depósitos Terciario-Cuaternarios, representados por sedimentos finos y gruesos como arcillas, suelos, pómez, grava de terrazas y depósitos fluviales.

La descripción litológica de estas unidades dentro de la cuenca, se describirá en otros capítulos más adelante.

**Figura 5.1.** Mapa índice de Centro América Norte mostrando rasgos tectónicos regionales.



**FUENTE:** Modificado de Donnelly, et al. 1990.

#### 5.4.1 PALEOZOICO SUPERIOR

Según el documento, Geología de Centro América Norte, en traducción realizada por Mauricio Chiquín Yoj<sup>32</sup>, cita a “Weyl (1980) con relación a la **Formación Tactic**, que consiste en lutitas con más de 800 metros de espesor que algunas veces son esquistosas o filíticas y ocasionalmente contienen capas de caliza y dolomita”.

Enfatiza Yoj<sup>33</sup>, en Donnelly et al (1990), que “... **La Caliza Chóchal** fue nombrada por Roberts e Irving (1957), quien describió una sección de casi 200 m en el oeste de Guatemala y estimó un espesor total de casi 600 m. Sapper (1899) había anteriormente llamado a esta unidad “karbonkalke”. La edad de la Chóchal ha sido dada por Kling como Wolfcampaniano a Leonardiano en el oeste de Guatemala y Leonardiano a posible Guadalupano en el este”.

#### 5.4.2 JURÁSICO A CRETÁCICO SUPERIOR

Yoj<sup>34</sup>, sigue citando a Weyl (1980), con relación a la descripción de la **Formación Todos Santos** y consiste en, “... conglomerados, areniscas y lutitas argilíticas continentales rojas, se encuentran dispersas sobre grandes áreas de Centro América Norte y en el estado mexicano de Chiapas. Estos sobreyacen discordantemente rocas cristalina metamórfica y estratos del Paleozoico Superior. Sapper (1894), describió estos estratos y les dio el nombre de Formación Todos Santos”.

#### 5.4.3 EL CRETÁCICO

Menciona Yoj<sup>35</sup> a Donnelly, et.al (1990), en cuanto a que “... **La Formación Cobán** es una caliza dolomítica masiva altamente recristalizada, como se ve en afloramiento a lo largo del margen sur del Bloque Maya. Brechas intraformacionales son comunes; éstas son predominantemente dolomíticas pero contienen calizas silíceas, y escasas lutitas y limolitas. Secciones de calizas delgadas de decenas de metros en espesor con poca dolomita ocurren cerca del tope de la Cobán”.

---

<sup>32</sup> MAURICIO CHIQUÍN YOJ. *Geología de Centro América Norte*. Traducción Libre. Carrera de Geología, Universidad de San Carlos de Guatemala. CUNOR, Cobán, A.V. Guatemala, p.6.

<sup>33</sup> MAURICIO CHIQUÍN YOJ. *Los Bloques Maya y Chortí, Centro América Norte*. Traducción Libre. Carrera de Geología, Universidad de San Carlos de Guatemala. CUNOR, Cobán, A.V. Guatemala, p.1.

<sup>34</sup> MAURICIO CHIQUÍN YOJ. *Geología de Centro América Norte*. Traducción Libre. Carrera de Geología, Universidad de San Carlos de Guatemala. CUNOR, Cobán, A.V. Guatemala, p.8.

<sup>35</sup> *Ibíd*, p.13.

Sigue mencionando Yoj<sup>36</sup> en Donnelly, et al (1990) que "... *La Formación Campur es una caliza de grano fino con debris de rudistas localmente abundantes. Otras litologías (dolomita, lutita, limolita, brecha de caliza, conglomerado) son menores. El límite inferior es el contacto litológico entre dolomitas predominantemente masivas, abajo, y calizas delgadas de grano fino, arriba*".

Estas formaciones se localizan en buena parte de la cuenca de estudio.

#### 5.4.4 DEPÓSITOS TERCIARIOS Y CUATERNARIOS

Depósitos recientes terciarios-cuaternarios, incluyen arcilla limosa, suelo café rojizo, pómez y depósito pomáceo eólico en parte redepositado, gravas de terraza y depósito fluvial.

### 5.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

El área de estudio está influenciada por el sistema de falla Chixoy-Polochic, lo que influye en las estructuras de algunas unidades litológicas, para la cual es necesario conocer el comportamiento de dicha falla. A continuación se describe brevemente tales estructuras y su historia geológica.

#### 5.5.1 GENERALIDADES

Mauricio Chiquín Yoj<sup>37</sup>, hace mención a Burkart (1980), sobre la Historia de la Falla del Polochic, haciendo énfasis en que "... *La falla Polochic fue un segmento del límite de placas Norte América - Caribe, a través de Centro América durante el Neógeno. Los 130 km de desplazamiento sinistral fueron determinados por comparación de estructuras y patrones de afloramientos estratigráficos del noroeste y centro de Guatemala, a través de la falla.*

---

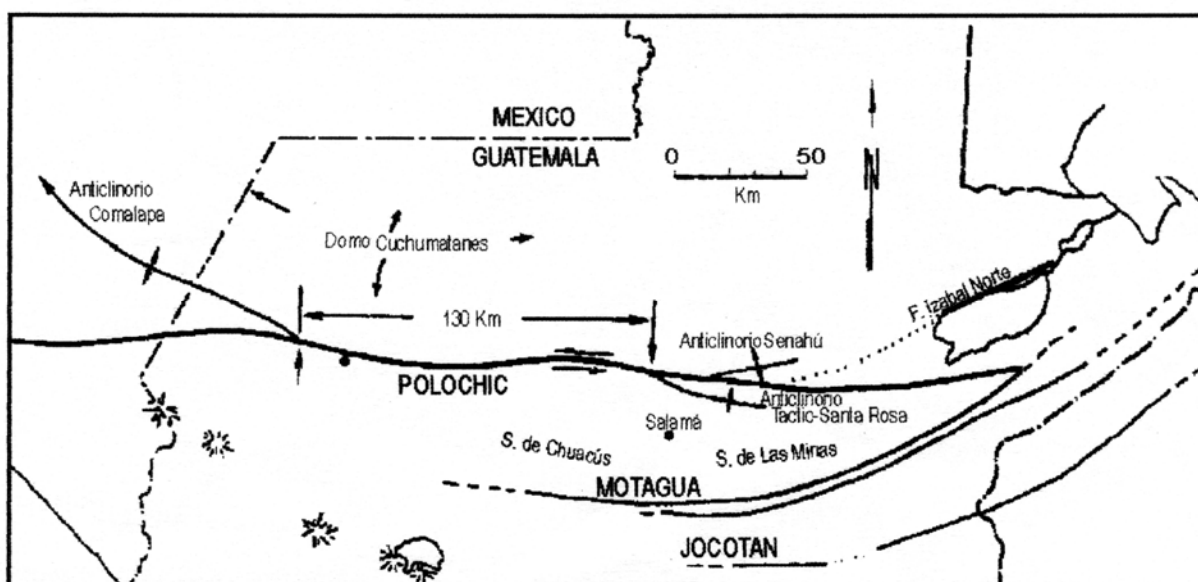
<sup>36</sup> *Ibíd.*

<sup>37</sup> MAURICIO CHIQUÍN YOJ. *Margen Neógeno entre las placas Norte América-Caribe, a través de Centro América Norte: Desplazamiento a lo largo de la Falla Polochic.* Traducción Libre. Carrera de Geología, Universidad de San Carlos de Guatemala. CUNOR, Cobán, A.V. Guatemala, p.1.

*Datos adicionales para el modelo y lo reciente del desplazamiento registrado, se obtienen de una igualdad casi perfecta de rasgos geomorfológicos mayores a través de la falla. Con una reconstrucción que elimine 123 km de desplazamiento sinistral, se logra la unión de ríos y divisiones de drenajes que existieron antes de que la falla Polochic se activara”.*

La figura 5.2 muestra a nivel regional el desplazamiento de la falla del Polochic y otros rasgos morfotectónicos, relacionados con la misma.

**FIGURA 5.2** Mapa índice que muestra el desplazamiento adyacente a la falla Polochic y estructuras asociadas en Guatemala.



**FUENTE:** Modificado de Bukart, 1980.

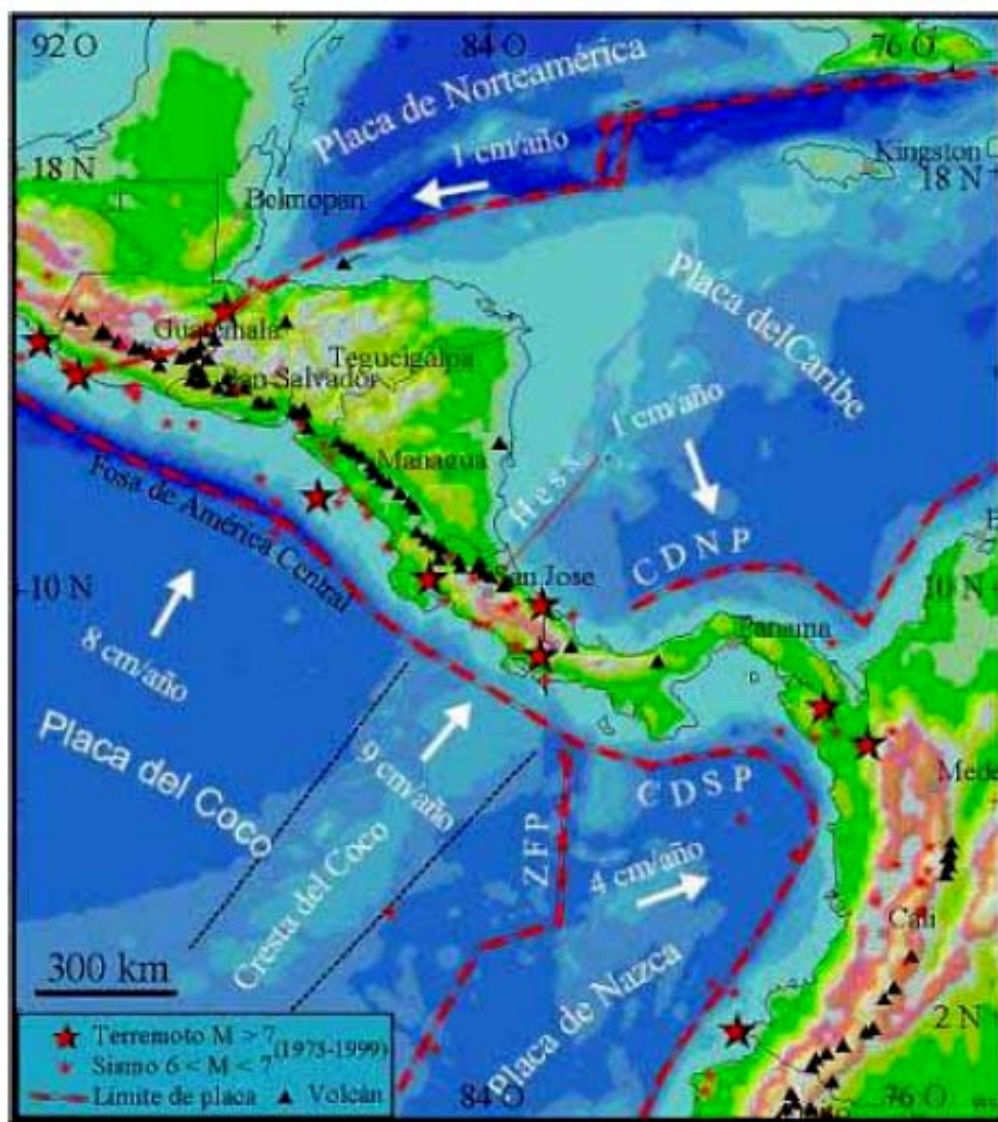
## 5.6 AMBIENTE ESTRUCTURAL REGIONAL

El ambiente estructural regional está dado por los límites de las placas tectónicas que en Guatemala está representado por la Placa de Norteamérica (Bloque Maya) y Placa del Caribe (Bloque Chortís).

Estos dos mantienen un movimiento sinistral relativo a través de la zona de sutura del Motagua, margen transformante, el cual se extiende por la Fosa Caimán hasta las Antillas Mayores. Hacia el Sur, en el Océano Pacífico, la Placa del Caribe es subducida por la Placa de Cocos. El Mapa 5.1 muestra la configuración superficial y situación de las placas tectónicas a nivel regional.

La cuenca de estudio es influenciada por la falla del Motagua y por consiguiente forma parte del Bloque Maya.

**MAPA 5.1:** Configuración Tectónica de Centroamérica y el Caribe.



**FUENTE:** <http://www.ineter.gob.ni> (2004). Visitado: 20 de febrero de 2009.



## CAPÍTULO 6

### MARCO LEGAL

El análisis de la legislación vigente relacionada con riesgos o amenazas naturales (inundaciones), se tomaron en cuenta nueve legislaciones, que se listan a continuación:

1. Declaración Universal de los Derechos Humanos, adoptada y proclamada por la resolución de la Asamblea General 217 A (iii) del 10 de diciembre de 1948.
2. Constitución Política de la República de Guatemala. Reformada por Acuerdo Legislativo No. 18-93 del 17 de noviembre de 1993.
3. Código Municipal Decreto número 12-2002.
4. Ley de Desarrollo Social, Decreto número 42-2001.
5. Ley de los Consejos de Desarrollo Urbano y Rural Decreto número 11-2002.
6. Ley de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres de origen natural o provocado, Decreto número 109-96.
7. Ley Forestal Decreto número 101-96.
8. Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente Decreto No. 68-86.
9. Ley de Vivienda y Asentamientos Humanos, Decreto no. 120-96

## 6.1 Declaración Universal de los Derechos Humanos

La Declaración Universal de los Derechos Humanos<sup>38</sup>, literalmente dice:

*“Artículo 27. 1. Toda persona tiene derecho a tomar parte libremente en la vida cultural de la comunidad, a gozar de las artes y a participar en el progreso científico y en los beneficios que de él resulten,” y en “Artículo 29, 1. Toda persona tiene deberes respecto a la comunidad, puesto que sólo en ella puede desarrollar libre y plenamente su personalidad.”*

Con relación a estos Artículos, aunque no tengan relación directa con las amenazas por inundaciones, si se habla del progreso científico, que en este caso los estudios de inundaciones aportaran, por ejemplo, modelos geohidrológicos por ejemplo, relacionados con la estadística que pueden ayudar a predecir eventos como inundaciones fuertes en próximos años. Además estos artículos se enfocan hacia las comunidades, que es el ente por el cual, se hacen los estudios hidrológicos. Entonces las comunidades deben gozar de los beneficios de los estudios de amenazas por inundaciones, en qué estos pueden ayudar a mitigar o reducir la vulnerabilidad, tanto de bienes materiales como la integridad de las personas.

## 6.2 Constitución Política de la República de Guatemala

En cuanto a la Constitución<sup>39</sup> en las secciones; séptima y octava, sobre la salud, seguridad asistencia social y trabajo, indica literalmente lo siguiente:

---

<sup>38</sup> Asamblea General de las Naciones Unidas. *Declaración Universal de los Derechos Humanos*. Adoptada y proclamada por la Resolución de la Asamblea General 217 A (iii) del 10 de diciembre de 1948. <http://www.un.org/spanish/aboutun/hrights.htm>. 13 de abril de 2006.

<sup>39</sup> Ibidem.

*“Artículo 97. Medio ambiente y equilibrio ecológico. El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación. Y en Artículo 105.- Viviendas de los trabajadores. El Estado, a través de las entidades específicas, apoyará la planificación y construcción de conjuntos habitacionales, estableciendo los adecuados sistemas de financiamiento, que permitan atender los diferentes programas, para que los trabajadores puedan optar a viviendas adecuadas y que llenen las condiciones de salubridad. Los propietarios de las empresas quedan obligados a proporcionar a sus trabajadores, en los casos establecidos por la ley, viviendas que llenen los requisitos anteriores”.*

Estos artículos tratan sobre el medio ambiente, equilibrio ecológico y vivienda de los trabajadores, haciendo énfasis en el aprovechamiento racional de los recursos como el agua, cuya dirección compete al Estado, las Municipalidades y los habitantes del Territorio Nacional, por lo que debemos ser concientes de cuidar los recursos hídricos y de no contaminarlos con sustancias químicas y desechos sólidos, ya que estos están afectando a las Cuencas y subcuencas (tal como esta ocurriendo en la actualidad), que nos abastecen de agua. En cuanto a las viviendas de los trabajadores, si bien no se aplican a las comunidades, pueden servir de base para apoyo de viviendas en el área rural, en particular en lugares declarados de amenaza por inundaciones, y que esta viviendas, pueden construirse con materiales resistentes, considerando también, aspectos físicos como alturas de crecidas máximas por inundaciones. Puede decirse entonces que estos artículos no se están aplicando, ya sea por una indiferencia o desconocimiento de los mismos.

Sigue indicando la Constitución<sup>40</sup> en su sección décima régimen económico y social, literalmente lo siguiente:

---

<sup>40</sup> Ibidem.

*“Artículo 121. Bienes del Estado. Son bienes del Estado: b. Las aguas de la zona marítima que ciñe las costas de su territorio, los lagos, ríos navegables y sus riberas, los ríos, vertientes y arroyos que sirven de límite internacional de la República, las caídas y nacimientos de agua de aprovechamiento hidroeléctrico, las aguas subterráneas y otras que sean susceptibles de regulación por la ley y las aguas no aprovechadas por particulares en la extensión y término que fije la ley, Artículo 126. Reforestación. Se declara de urgencia nacional y de interés social, la reforestación del país y la conservación de los bosques. La ley determinará la forma y requisitos para la explotación racional de los recursos forestales y su renovación, incluyendo las resinas, gomas, productos vegetales silvestres no cultivados y demás productos similares, y fomentará su industrialización. La explotación de todos estos recursos, corresponderá exclusivamente a personas guatemaltecos, individuales o jurídicas. Los bosques y la vegetación en las riberas de los ríos y lagos, y en las cercanías de las fuentes de aguas, gozarán de especial protección, Artículo 127. Régimen de aguas. Todas las aguas son bienes de dominio público, inalienables e imprescriptibles. Su aprovechamiento, uso y goce, se otorgan en la forma establecida por la ley, de acuerdo con el interés social. Una ley específica regulará esta materia, y Artículo 128. Aprovechamiento de aguas, lagos y ríos. El aprovechamiento de las aguas de los lagos y de los ríos, para fines agrícolas, agropecuarios, turísticos o de cualquier otra naturaleza, que contribuya al desarrollo de la economía nacional, está al servicios de la comunidad y no de persona particular alguna, pero los usuarios están obligados a reforestar las riberas y los cauces correspondientes, así como a facilitar las vías de acceso”.*

En cuanto al análisis de estos artículos, que hablan sobre los bienes del Estado, la reforestación, régimen de aguas y el aprovechamiento de aguas, lagos y ríos, para recursos hidroeléctricos. Si bien se habla de un aprovechamiento de estos recursos hídricos, se ha de tomar en cuenta la reforestación en las áreas cercanas de ríos y lagos, para evitar problemas ecológicos e hidrológicos. Sin embargo, en la actualidad no se han tomado adecuadamente estas regulaciones, ya que si bien es cierto se quiere aprovechar las aguas de los lagos y ríos, en especial, para fines agrícolas, estos están contaminando el subsuelo y con ello el manto freático y por consiguiente el agua subterránea, que podría contaminar las cuencas y subcuencas a nivel nacional.

Entonces compete a las autoridades encargadas, sobre la reforestación y regulaciones de agua, actuar en beneficio del medio ambiente y no de intereses particulares y a las personas de denunciar estos hechos, directamente al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, entre otros. Por lo que los recursos naturales, deben ser bien aprovechados, si se usan tanto racionalmente, como responsablemente.

### 6.3 Código Municipal

En cuanto al Código Municipal<sup>41</sup>, en su Título I, en Generalidades, literalmente dice:

*“Artículo 4. Entidades locales territoriales. Son entidades locales territoriales: a) El municipio, b) Las entidades locales de ámbito territorial en que el municipio se divide, tales como: aldea, caserío, paraje, cantón, barrio, zona, colonia, lotificación, parcelamiento urbano o agrario, microregión, finca, y demás formas de ordenamiento territorial definidas localmente, c) Los distritos metropolitanos y d) Las mancomunidades de municipios”.*

Este Artículo es importante tomar en cuenta, principalmente para la toma de decisiones, en cuanto al aplicarse un ordenamiento territorial, en un determinado lugar, donde se determine que existe amenaza por inundación, por ejemplo en un municipio, aldea, finca y otros lugares. A este respecto, hago mención que el estudio que quiero llevar acabo se encuentra en el municipio de Cobán, de Alta Verapaz. Por lo que en este lugar me delimitaré para realizar dicho estudio y para el caso poder sugerir la aplicación un ordenamiento territorial, a las autoridades locales, como las municipalidades.

---

<sup>41</sup> Ley de la República de Guatemala. *Código municipal decreto número 12-2002.* <http://www.google.com.gt/search?hl=es&q=Nuevo+c%C3%B3digo+municipal+%28decreto+No.+12-2002%29%2C+en+Guatemala&btnG=B%C3%BAqueda&lr=>. 13 de abril de 2006..

## 6.4 Ley de Desarrollo Social

Esta Ley<sup>42</sup>, en su Sección V Política de Desarrollo Social y Población en Materia de Dinámica y Ubicación de la Población en zonas de riesgo, literalmente dice:

*“Artículo 37. Población en riesgo. La Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia realizará estudios y diagnósticos actualizados sobre la dinámica y ubicación de la población en zonas de riesgos naturales, para que, en coordinación con las instituciones y dependencias involucradas en la materia, se consideren criterios demográficos y geofísicos para la definición de estrategias de prevención y atención a la población, con énfasis en la que habite en asentamientos precarios y vulnerables ante desastres. Y Artículo 38. Estrategia de protección. La Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, en coordinación con el Comité Nacional de Reducción de Desastres, el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, los Fondos Sociales y el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, desarrollará, en un plazo no mayor de tres meses a partir de la fecha de vigencia de la presente Ley, una estrategia de protección social para la población en caso de desastre y calamidad pública en cumplimiento de lo estipulado en la Constitución Política de la República”.*

Como vemos, estos Artículos son muy importantes, ya que toman en cuenta la población en riesgos naturales y la estrategia de protección. Compete principalmente a la Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia, realizar estudios de riesgos naturales en las poblaciones más susceptibles a estos eventos, en coordinación con otras instituciones. A este respecto, considero que la Secretaria, tome en cuenta también estudios técnicos y científicos en las áreas de geología e hidrología, en relación a las amenazas por inundaciones, que pueden aportar medidas, más lógicas y razonables, en el caso de llevarse un ordenamiento territorial. También ha de tomar en cuenta, una conciencia social y educacional a las poblaciones, sobre el tema de los riesgos geológicos, en área de asentamientos humanos.

---

<sup>42</sup> Ibidem.

## 6.5 Ley de los Consejos de Desarrollo Urbano y Rural

Una parte interesante de esta Ley<sup>43</sup>, en su capítulo IV, Disposiciones Generales, literalmente dice:

*“Artículo 29. Fondos sociales. Los recursos de los fondos sociales se asignarán con base en las políticas, planes y programas priorizados por el Sistema de Consejos de Desarrollo, en los Consejos Comunitarios, Municipales, departamentales, Regionales y Nacional, con el apoyo técnico del Sistema Nacional de Inversión Pública. Cuando los recursos de los fondos sociales sean destinados para atender emergencias, su ejecución se hará con la celeridad del caso en coordinación con los Consejos Comunitarios, Municipales y Departamentales de las localidades afectadas”.*

En este Artículo interesa, el área de los recursos de los fondos sociales, que deben ser destinados para atender emergencias, en las localidades afectadas, sin embargo debería, destinarse estos fondos a proyectos de prevención de riesgos, en particular de amenazas por inundaciones, ya que es preferible ahorrarse económicamente en estos estudios, que realizar mayores gastos cuando se está en situaciones de emergencia. Entonces es necesario priorizar estos recursos, por parte de los Consejos de Desarrollo, a las poblaciones o comunidades que son susceptibles a este tipo de amenazas.

## 6.6 Ley de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres de Origen Natural o Provocado

Con base a la Ley de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres<sup>44</sup>, que literalmente dice en sus considerandos lo siguiente:

---

<sup>43</sup> Ibidem.

<sup>44</sup> Congreso de la República de Guatemala. *Ley de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres de origen natural o provocado, decreto número 109-96*. En <http://www.disaster-info.net/saludca/desastresCR/Guatemala/Ley%20de%20CONRED.htm>. (2006-4-13).

*“Considerando: Que debido a las características del territorio guatemalteco, derivadas de su posición geográfica y geológica hace susceptible al país a la ocurrencia periódica de fenómenos generadores de desastres que con su caudal de pérdidas de vidas humanas, materiales y económicas, provocan paralización y retraso del desarrollo.*

*Considerando: Que por las causas y efectos indicados en la anterior consideración, deviene la necesidad para el estado de Guatemala, crear una organización que en el ámbito nacional esté en la capacidad legal, económica, científica y tecnológica de coordinar, planificar, desarrollar y ejecutar todas las acciones destinadas a reducir los efectos que causen los desastres naturales o antropogénicos en la población ubicada en áreas de riesgo. Coordinadora que, para su efectividad, deberá disponer de la colaboración y coordinación de entidades públicas, privadas, de servicio y organismos internacionales con esa clase de problemas, evitando la duplicidad de esfuerzos, logrando así una acción articulada e inmediata.*

*Considerando: Que la Coordinadora que esta ley creada, deberá orientar los esfuerzos a establecer una política permanente y congruente de prevención, mitigación y preparación que permita hacerle frente a los desastres y calamidades públicas de cualquier naturaleza, procediendo de conformidad con los adelantos y experiencias que sobre la materia se tienen a escala nacional e internacional, cumpliendo con las resoluciones y convenios internacionales o regionales de las cuales Guatemala es signataria.”*

En estos considerandos se describe claramente lo relacionado a las características físicas que presenta nuestro país. Ello propicia que en casi todas las regiones del país, se presenten diversas amenazas entre ellas las inundaciones. Debido a esto se vio la necesidad de crear una organización como la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED), cuya función es la de coordinar, planificar, desarrollar y ejecutar todas las acciones, en la que se puedan reducir los efectos que causen los desastres naturales o antropogénicos. En la actualidad esta Coordinadora ha empezado a trabajar sobre los temas de desastres o riesgos, sin embargo se ha de coordinar con otras Instituciones estatales o internacionales, para la prevención y sistemas de alerta, así como la creación de proyectos, orientados a reducir o mitigar, las principales amenazas naturales y antropogénicas.



## 6.7 Ley Forestal

Con lo que respecta a la Ley Forestal<sup>45</sup>, en su capítulo I, objeto y políticas generales, dice literalmente:

*“Artículo 1. Objeto de la ley. Con la presente ley se declara de urgencia nacional y de interés social la reforestación y la conservación de los bosques, para lo cual se propiciará el desarrollo forestal y su manejo sostenible, mediante el cumplimiento de los siguientes objetivos: a. Reducir la deforestación de tierras de vocación forestal y el avance de la frontera agrícola, a través del incremento del uso de la tierra de acuerdo con su vocación y sin omitir las propias características de suelo, topografía y el clima; b. Promover la reforestación de áreas forestales actualmente sin bosque, para proveer al país de los productos forestales que requiera; c. Incrementar la productividad de los bosques existentes, sometiéndolos a manejo racional y sostenido de acuerdo a su potencial biológico y económico, fomentando el uso de sistemas y equipos industriales que logren el mayor valor agregado a los productos forestales; e. Conservar los ecosistemas forestales del país, a través del desarrollo de programas y estrategias que promuevan el cumplimiento de la legislación respectiva”.*

En este Artículo se habla sobre la reforestación y conservación de los bosques en las áreas forestales, así como la productividad de los bosques existentes, y la conservación de los ecosistemas forestales del país, a través de programas y estrategias. A esto respecto considero que no se ha cumplido con este artículo, ya que el avance de la frontera agrícola se incrementa diariamente y que incluso se permiten las quemas (rozas), que provocan incendios forestales en áreas vírgenes y que por lo tanto se pierden los ecosistemas forestales del país. También no se han controlado las talas inmoderas sobre determinadas especies de árboles, acabando con áreas verdes, muy cerca de ríos y lagos, afectando con ello a las cuencas y subcuencas del territorio nacional. Entonces los órganos encargados (INAB o MARN), deberían de actuar apegados en esta Ley y aplicarla sobre las persona(s) responsables.

---

<sup>45</sup> Congreso de la República de Guatemala. *Ley forestal decreto número 101-96*. <http://www.iufro.org/download/file/810/3026/ley-forestal-guatemala.pdf>. 13 de abril de 2006.

## 6.8 Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente

En cuanto a la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente<sup>46</sup>, en su Título I, Objetivos Generales y Ámbito de Aplicación de la Ley, capítulo I, literalmente dice:

*“Artículo 1. El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional, propiciarán el desarrollo social, económico, científico y tecnológico que prevenga la contaminación del medio ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Por lo tanto, la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, suelo, subsuelo y el agua, deberán realizarse racionalmente”. Artículo 3. El Estado destinará los recursos técnicos y financieros para el funcionamiento de la Comisión Nacional del Medio Ambiente. Y Artículo 8. (Reformado por el Decreto del Congreso Número 1-93). Para todo proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad que por sus características puede producir deterioro a los recursos naturales renovables o no, al ambiente, o introducir modificaciones nocivas o notorias al paisaje y a los recursos culturales del patrimonio nacional, será necesario previamente a su desarrollo un estudio de evaluación del impacto ambiental, realizado por técnicos en la materia y aprobado por la Comisión del Medio Ambiente. El funcionario que omitiere exigir el estudio de Impacto Ambiental de conformidad con este Artículo, será responsable personalmente por incumplimiento de deberes, así como el particular que omitiere cumplir con dicho estudio de Impacto Ambiental será sancionado con una multa de Q5,000.00 a Q100,000.00. En caso de no cumplir con este requisito en el término de seis meses de haber sido multado, el negocio será clausurado en tanto no cumpla”.*

Si vemos estos artículos, en el Artículo 1, todos somos responsables de evitar contaminar el medio ambiente y de mantener el equilibrio ecológico. Por lo que estamos obligados a conservar racionalmente, los recursos como: la flora, fauna, suelo, subsuelo y el agua.

---

<sup>46</sup> Congreso de la República de Guatemala. *Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente Decreto No. 68-86.* (Documento digital de Word). 16 p.

Y que para implementación de proyecto, obra, y cualquier actividad que puede causar impacto negativo en el medio ambiente, se ha de realizar “estudios de impacto ambiental” por personas calificadas en la materia y de ser aprobados respectivamente por la Comisión del Medio Ambiente. De no cumplirse estos estudios se incluyen multas que van de Q5, 000.00 a Q100, 000.00.

## 6.9 Ley de Vivienda y Asentamientos Humanos

Por último en cuanto a la Ley de Vivienda y Asentamientos Humanos<sup>47</sup>, en su parte general, Título I, del Objetivo y Principios Rectores, Capítulo Único, literalmente dice:

*“Artículo 2. De los principios rectores. Para los efectos de la presente ley, el Estado y los habitantes de la República deben sujetarse a los siguientes principios Rectores: a) El derecho a vivienda adecuada constituye un derecho humano fundamental, debiendo el Estado facilitar su ejercicio, b) Los asentamientos humanos constituyen una base insustituible para el desarrollo del país, debiendo el Estado promover su desarrollo, c) El Estado debe promover el desarrollo del sector vivienda y asentamientos humanos en forma subsidiaria, d) El Estado debe propiciar sistemas accesibles para financiamiento de vivienda a todos los habitantes del país, e) El Estado debe garantizar el reconocimiento legal y el ejercicio del derecho de propiedad sobre la vivienda a todos los habitantes del país, f) Las municipalidades deben cumplir eficazmente sus funciones en materia de vivienda y asentamientos humanos, g) El Estado y los habitantes de la República deben velar porque en el desarrollo de los asentamientos humanos se preserve racional y eficazmente la tierra, los recursos naturales y el medio ambiente, con el fin de garantizar su sustentabilidad”.*

Como vemos los incisos del Artículo 2, son claros en cuanto a la responsabilidad del estado en propiciar y velar por las viviendas y asentamientos humanos, que propicien el desarrollo de los habitantes de la República.

---

<sup>47</sup> Congreso de la República de Guatemala. *Ley de vivienda y asentamientos humanos, Decreto No. 120-96*. [http://www.lahora.com.gt/02/06/18/paginas/nac\\_3.htm](http://www.lahora.com.gt/02/06/18/paginas/nac_3.htm). 13 de abril de 2006.

Siempre y cuando se usen sistemas accesibles para el financiamiento de las mismas. También las municipalidades deben velar en materia de vivienda y asentamientos humanos.

Estas disposiciones aparentemente de desarrollo y bienestar social, deben ser controladas por el Estado y los habitantes de la República, con el fin de preservar racional y eficazmente la tierra, los recursos naturales y el medio ambiente.

Analizando en general las legislaciones, incluidas en este apartado una propuesta a discusión, podría ser la entrega de estudios o investigaciones técnica-científicas, a las Municipalidades locales y Consejos de Desarrollo Departamentales, para que dentro de sus políticas y presupuesto, tomen en cuenta las recomendaciones de los profesionales especializados en gestión para la reducción de riesgos, con el objeto de que se trabaje en políticas de planeamiento urbano, para evitar o mitigar las amenazas por inundaciones, que puedan afectar a una determinada población en riesgo y que cuando sea necesario, trasladar una población o comunidad susceptible a las inundaciones, se ejecuten las leyes establecidas en los artículos sobre los aspectos legales y técnicos, que garanticen el bienestar y seguridad de las personas y sus bienes.

---

---

## **PARTE III. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

- **CARACTERIZACIÓN DE LA PARTE ALTA DE LA CUENCA DEL RÍO CAHABÓN**
- **RÉGIMEN DE LLUVIAS Y CRECIDAS**
- **GESTIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS, EN LA CABECERA MUNICIPAL DE COBÁN**
- **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO 7

# CARACTERIZACIÓN DE LA PARTE ALTA DE LA CUENCA DEL RÍO CAHABÓN

La caracterización de la parte alta de la cuenca del río Cahabón, incluye división política administrativa, la demografía, zona hidrográfica, litología, modelo morfométrico, estimación de tiempo de concentración, entre otros aspectos.

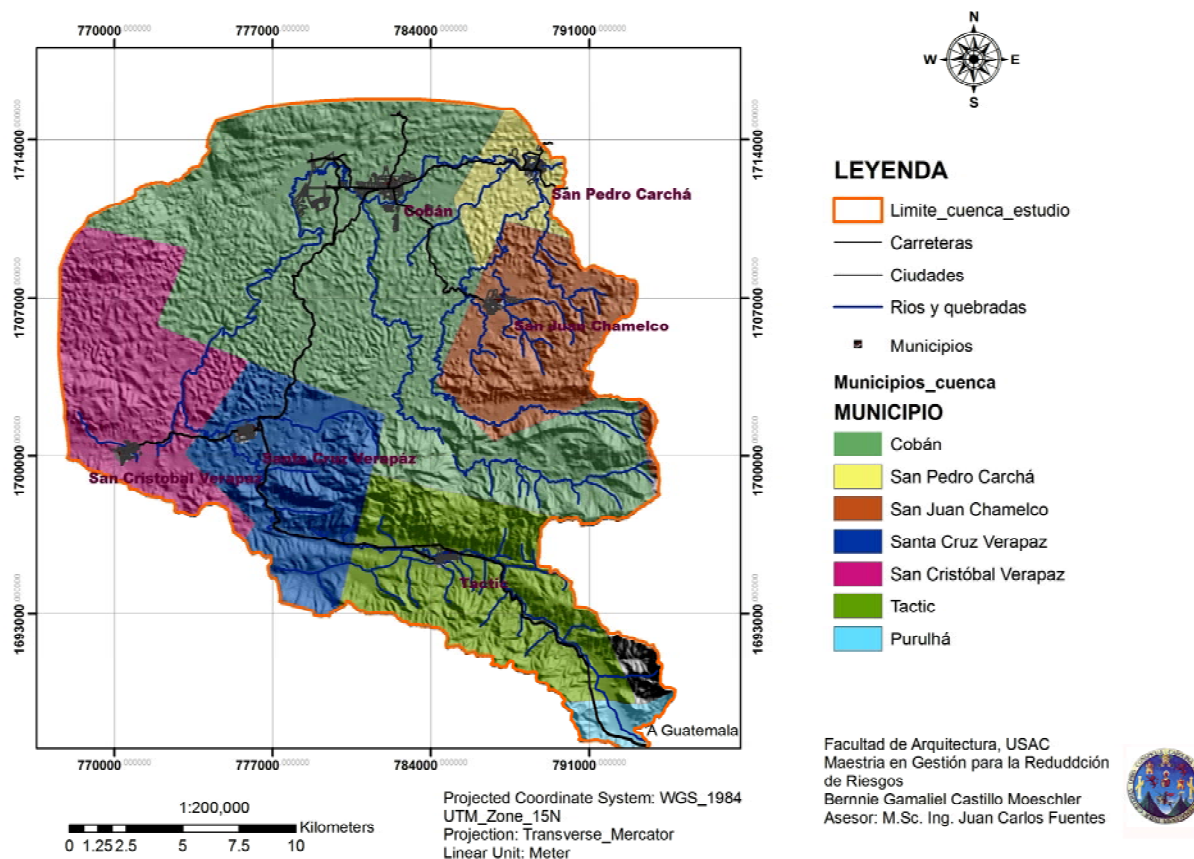
### 7.1 DIVISIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA

La cuenca de la parte alta del río Cahabón, está conformada por 6 municipios, pertenecientes al departamento de Alta Verapaz. Estos municipios son: Cobán, San Pedro Carchá, San Juan Chamelco, que se ubican en la parte baja y al norte de la cuenca. Luego al sudeste, están los municipios de San Cristobal y Santa Cruz Verapaz y al sur, el municipio de Tactic y Purulhá, que representan la parte alta de la cuenca (Mapa 7.1)

El río Cahabón en su recorrido, corre paralelo a estos municipios, a excepción del municipio de San Juan Chamelco, donde se encuentra el río Chió.

Se hace la observación que la mayoría de los municipios dentro de la cuenca han sido amenazados por las inundaciones, particularmente para la tormenta de agosto de 2007.

**MAPA 7.1** Mapa de ubicación de los municipios de la parte alta de la cuenca del río Cahabón



**FUENTE:** Modificado de la base de datos del Hill, SIG-MAGA, 2005.

## 7.2 DEMOGRAFIA

De los municipios dentro de la cuenca, se encuentra Cobán, San Pedro Carchá, San Juan Chamelco, San Cristóbal y Santa Cruz Verapaz, y Tactic. Los datos demográficos y otras características físicas se presentan en forma resumida en la tabla 7.1, aunque se aclara que los datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), incluyen poblaciones o zonas, que están fuera de la cuenca, como es el caso de San Pedro Carchá y San Cristóbal, ya que están en los bordes del límite de la cuenca.

La información proyectada, puede servir como parámetro para hacer comparaciones del crecimiento de las poblaciones dentro de la cuenca y además analizar el impacto que puedan tener los recursos naturales y los ecosistemas, debido al avance de las poblaciones para asentarse en áreas boscosas por ejemplo.

La tabla 7.1 es útil para conocer las alturas topográficas sobre el nivel del mar en que están ubicados los municipios, así como la cantidad de viviendas, etc.

**TABLA 7.1** Datos físicos y poblacionales dentro de la parte alta de la cuenca del río Cahabón.

	<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DATOS ESTADÍSTICOS</b>	
	<b>COBAN</b>	Población censo 2002
	Población proyección 2007	200,084 habitantes
	Viviendas censo 2002	29,455
	Extensión territorial	2,132 Kilómetros cuadrados
	Densidad	Censo 2002 / 68 personas por Km. <sup>2</sup> Censo 2002 / 5 personas por vivienda Proyección 2008 / 94 personas por Km. <sup>2</sup>
	Altura	1,316 metros sobre el nivel del mar
	Ubicación geográfica	LATITUD: 15° 27' 23" LONGITUD: 90° 22' 37"
<b>SAN PEDRO CARCHÁ</b>	Población censo 2002	148,344
	Población proyección 2008	195,119
	Total de viviendas censo 2002	28,015
	Extensión territorial	1082 kilómetros cuadrados
	Densidad	Censo 2002 / 137 personas por Km. <sup>2</sup> Censo 2002 / 5 personas por vivienda Proyección 2008 / 180 personas por Km. <sup>2</sup>
	Altura	1,282 metros sobre el nivel del mar
	Ubicación geográfica	LATITUD: 15° 28' 38" LONGITUD: 90° 18' 38"
<b>SAN JUAN CHAMELCO</b>	Población Censo 2002	38,973
	Población Proyección 2008	51,143
	Viviendas Censo 2002	8,411
	Extensión territorial	80 Kilómetros cuadrados
	Densidad	Censo 2002 / 487 personas por Km. <sup>2</sup> Censo 2002 / 5 personas por vivienda Proyección 2008 / 639 personas por Km. <sup>2</sup>
	Altura	1,350 metros sobre el nivel del mar
	Ubicación geográfica	LATITUD: 15° 25' 22" LONGITUD: 90° 19' 50"
<b>SAN CRISTOBAL VERAPAZ</b>	Población Censo 2002	43,336 habitantes
	Población Proyección 2008	54,704 habitantes
	Viviendas Censo 2002	8,311



	Extensión territorial	192 Kilómetros cuadrados
	Densidad	Censo 2002 / 226 personas por Km <sup>2</sup> Censo 2002 / 8 personas por vivienda Proyección 2008 / 285 personas por Km <sup>2</sup>
	Altura	1,393 metros sobre el nivel del mar
	Ubicación geográfica	LATITUD: 15°21'50'' LONGITUD: 90°28'45''
<b>SANTA CRUZ VERAPAZ</b>	Población censo 2002	19,012 habitantes
	Población proyección 2008	29,789 habitantes
	Viviendas censo 2002	3,803
	Extensión territorial	48 Kilómetros cuadrados
	Densidad	Censo 2002 / 396 personas por Km <sup>2</sup> Censo 2002 / 5 personas por vivienda Proyección 2008 / 621 personas por Km <sup>2</sup>
	Altura	1,406 metros sobre el nivel del mar
	Ubicación geográfica	LATITUD: 15° 22' 25'' LONGITUD: 90° 25' 50''
<b>TACTIC</b>	Población censo 2002	24,535 habitantes
	Población proyección 2008	31,436 habitantes
	Viviendas censo 2002	5,437
	Extensión territorial	85 Kilómetros cuadrados
	Densidad	Censo 2002 / 289 personas por Km <sup>2</sup> Censo 2002 / 5 personas por vivienda Proyección 2008 / 370 personas por Km <sup>2</sup>
	Altura	1,465 metros sobre el nivel del mar
	Ubicación geográfica	LATITUD: 15°19'00'' LONGITUD: 90°21'10''

**FUENTE:** Instituto Nacional de Estadística (INE, Cobán, marzo de 2008)

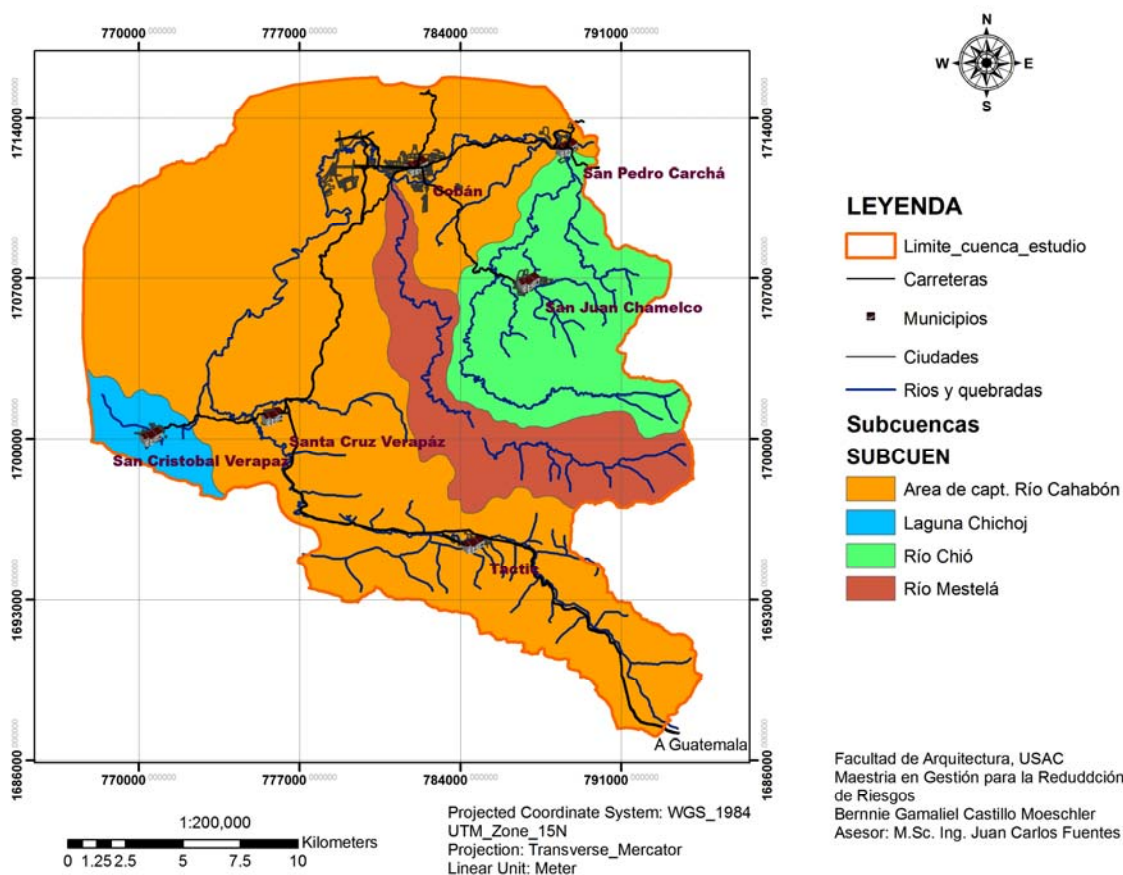
### 7.3 ZONA HIDROGRÁFICA

La cuenca de estudio, se encuentra influenciada por el río Cahabón, tanto al Norte y Sur de la misma. En la parte Noreste la cuenca se delimitó en base a las cotas 1300-1400 m.s.n.m., tratando de incluir las corrientes tributarias del río Cahabón, en los alrededores del municipio de Carchá y Chamelco.

Así mismo dentro de la cuenca de estudio, se encuentran un grupo de subcuencas (Mapa 7.2), que por su extensión sobresalen principalmente, los ríos Mstelá y Chió. Un resumen de las características hidrográficas se presenta en la tabla 7.2.

Como se puede observar en dicha tabla 7.2, el área de captación del río Cahabón es mayor en superficie con respecto a las otras subcuencas secundarias, aunque la de Chicoy y Mestelá son también representativas y objeto de estudio, ya que son tributarias del río Cahabón, ya que estas se unen al río Cahabón en la parte Nordeste de la cuenca, contribuyendo a un aumento considerable del caudal de dicho río (especialmente en sectores como San Vicente y Residenciales Imperial, de Cobán y ciertos sectores del municipio de San Juan Chamelco), tal como se pudo apreciar durante la depresión climática del 12 y 13 de agosto de 2007.

**MAPA 7.2** Subcuencas de la parte alta de la cuenca del río Cahabón



**FUENTE:** Modificado de la base de datos del SIG-MAGA, 2001.

**TABLA 7.2** Subcuencas de la cuenca de estudio, así como las vertientes y el área respectiva de las subcuencas.

VERTIENTE	CUENCA	SUBCUENCA	AREA (Km <sup>2</sup> )	PERIMETRO (Km)
Caribe	Río Cahabón	Área de captación, Río Cahabón	335.3	128.16
Caribe	Río Cahabón	Río Chió	77.04	45.50
Caribe	Río Cahabón	Río Mestelá	59.71	54.11
Caribe	Río Cahabón	Laguna Chichoj	15.67	20.10

**FUENTE:** Modificado de la base de datos del SIG-MAGA, 2001.

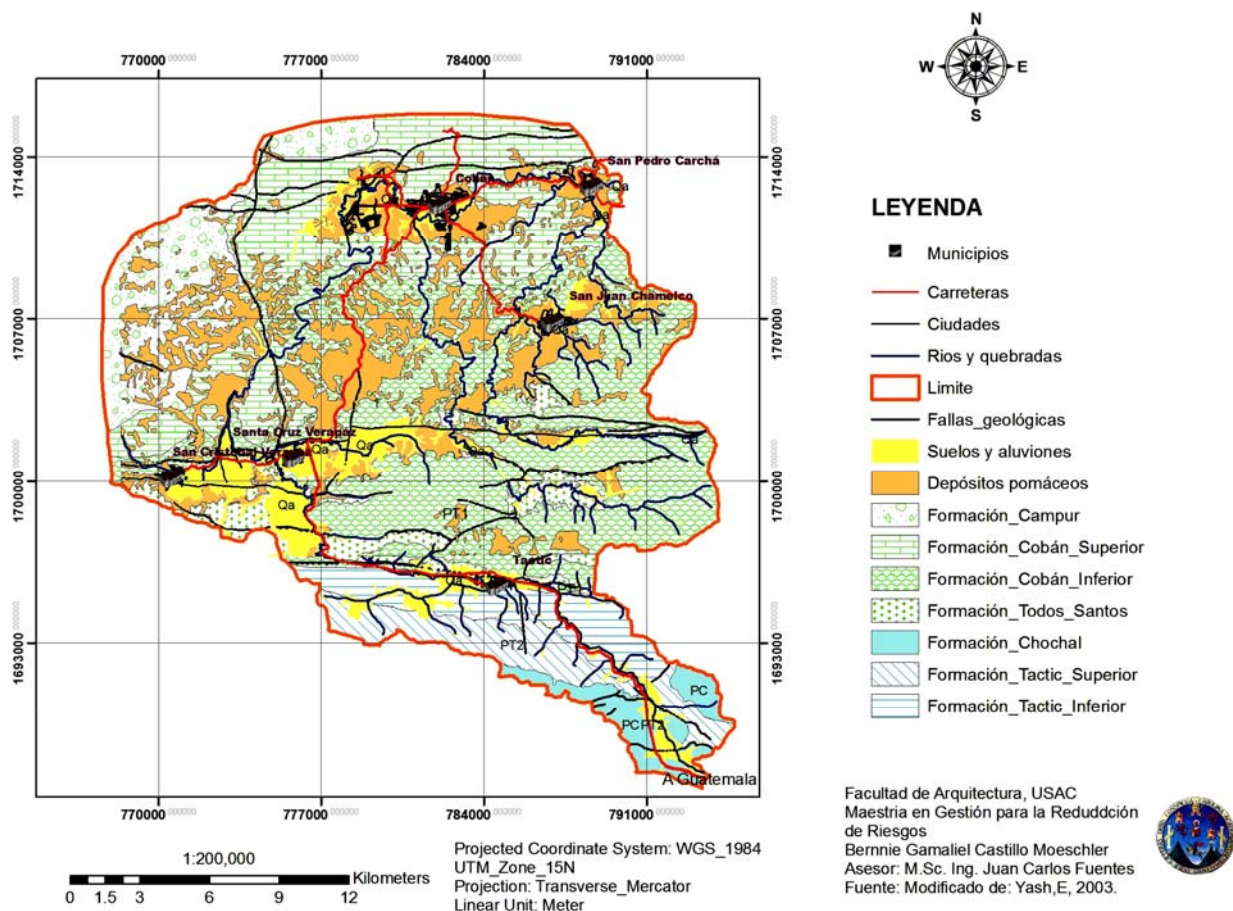
Por otra parte, la tabla y el mapa, pueden ser útiles, para implementar estudios más minuciosos, acerca del entendimiento de la hidrología de estas subcuencas y también llevar a cabo monitoreo hidrológico de la cuenca en general, en el caso de implementarse sistemas de alerta temprana, para los municipios ubicados aguas abajo del río Cahabón.

## 7.4 LITOLOGÍA

En la cuenca del río Cahabón, existen seis formaciones siendo ellas en el orden de la más antigua a la más reciente: Formación Tactic, Formación Chochal, Formación Todos Santos, Formación Cobán, Formación Campur y Depósitos Terciario-Cuaternarios (Mapa 7.3). Se hace la observación que la descripción de la geología en la cuenca, está originalmente a escala 1:50,000.

Por otra parte, el estudio de las unidades litológicas esta basado en estudios realizados por otros autores, en ciertas localidades dentro de la cuenca, por lo que la litología ha sido nombrada de manera general como "Formación".

**MAPA 7.3** Mapa geológico de la parte alta del río Cahabón



**FUENTE:** Modificado de Yash, 2003. Servicio Geológico Alemán, 1966, publicado por el IGN.

#### 7.4.1 FORMACIÓN TACTIC (PT)

Esta formación se encuentra situada hacia el sur de la cuenca. El Servicio geológico alemán originalmente la dividió en dos unidades, Formación Tactic superior e inferior del mapa publicado en 1966 (Mapa 7.3).

Consiste de lutita café a negra (Fotografía 7.1) y lodolita con capas localizadas de cuarcita y dolomita. Localmente, las lutitas son filíticas y donde la erosión ha cortado profundamente a la formación, afloran pizarras y metacuarcitas.

**FOTOGRAFIA 7.1** Afloramiento de la Unidad de Lutitas, sobre la Carretera Nacional 5



**FUENTE:** Cortesía de Pedro Chén, 2008.

#### 7.4.2 FORMACIÓN CHOCHAL (PC)

Esta formación se ubica al sur de de la cuenca, cerca de donde nace el río Cahabón. Litológicamente se encuentra compuesta de Mudstone a Wackestone y algunas brechas. Se distingue, por contener fósiles visibles a nivel microscópico (Fotografía 7.2).

Se encuentra estratificada y varia de color gris claro a oscuro. El contacto cerca de Cobán con la formación Tactic subyacente está bien marcado, aunque al oeste es más gradacional.

**FOTOGRAFIA 7.2** Afloramiento de Unidad Caliza Fosilífera, dentro de la Finca Santa Rosa

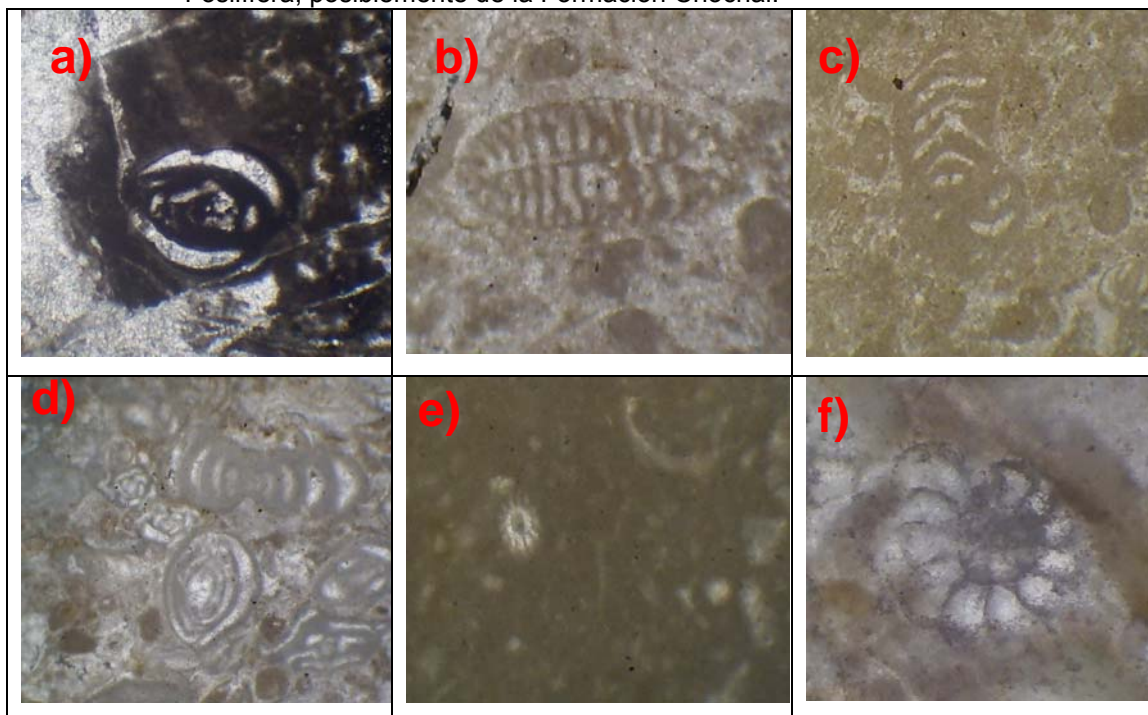


**FUENTE:** Cortesía de Pedro Chén, 2008

Estudios realizados a nivel microscópico sobre esta unidad litológica, se cita a Pedro Chen Bac<sup>49</sup>, en la cual, “La fauna observada, en sección delgada (*tabla 7.1*), de esta unidad esta conformada por *Nummoloculina heimi*, *Orbitolina texana*, *Pseudorhapydionina chiapanensis* y *Merlingina cretacea*. Con base a estos, se determina que esta unidad se relaciona con la formación Cobán.

<sup>49</sup> PEDRO CHEN BAC. *Mapeo de una porción al Sudeste de Purulhá*. Tesis de Pregrado. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario del Norte. s/f, Carrera de Geología., 2008., p. 27.

**TABLA 7.3** Microfotografía de fósiles en sección delgada de la Unidad de Caliza Fosilífera, posiblemente de la Formación Chochal.



**FUENTE:** Reproducida con permiso de: Pedro Chen Bac, 2008.

**Referencia**

- a) *Nummoloculina heimi* (4X)
- b) *Orbitolina texana* (4X)
- c) *Pseudorhapydionina chiapanensis* (4X)
- d) *Nummoloculina heimi* y *Nummoloculina regularis* (4X)
- e) Sección transversal, *Pseudorhapydionina chiapanensis* (4X)
- f) *Merlingina cretacea?* (10X)

### 7.4.3 FORMACIÓN TODOS SANTOS (JKTs)

Esta unidad se clasifica en el grupo de siliciclásticos (Fotografía 7.3) y consiste de conglomerados, areniscas de grano medio, con una coloración que va de beige a corinto, interestratificada con lutitas que van de color verde claro, corinto y blanco. Las areniscas poseen una textura granular, con granos angulares y sub-redondeados, mientras que la lutitas presentan laminación y están altamente compactadas.

**FOTOGRAFIA 7.3** Afloramiento de Unidad Siliciclasticos, a lo largo de la Carretera Nacional 5.



**FUENTE:** Cortesía de Pedro Chén, 2008

María Edna Azucena Vidaurre Lemus<sup>50</sup> señala que, Donelly et al.,(1990), *“que La Formación Todos Santos varia en espesor desde unos pocos metros hasta 1000 metros. Esta es una secuencia conglomerática cerca de la base, pero consiste predominantemente en capas rojas y especialmente hacia el tope, incluye lutitas grises y verdes, calizas y yeso. El contacto inferior, donde se expone, es invariablemente una discordancia bien marcada. Cuando las unidades superiores son carbonatos, el contacto es comúnmente gradual”*

#### 7.4.4 FORMACIÓN COBÁN (KCo)

Esta formación se sitúa al norte y centro de la cuenca. También esta unidad litológica fue dividida en Cobán Superior e Inferior, por el Servicio Geológico Alemán (Mapa 7.3). Esta compuesta de caliza recristalizada, color gris oscuro y de resistencia alta, al golpearla con martillo.

<sup>50</sup> MARIA EDNA AZUCENA, VIDAURRE LEMUS. *Estratigrafía del área de Panimaquito, Puruhá, Baja Verapaz*. Tesis de Grado. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario del Norte. Carrera de Geología., 2000., p. 16



Esta unidad litológica forma parte del ambiente cárstico (Fotografía 7.4) que se manifiesta dentro de la cuenca.

**FOTOGRAFIA 7.4** Afloramientos de caliza, al norte de Gualom, zona 11 de Cobán. Nótese la influencia de la erosión y moldeo de esta roca.



**FUENTE:** Bernie G. Castillo Moeschler, septiembre de 2007.

#### 7.4.5 FORMACIÓN CAMPUR (KCa)

Es una caliza de grano fino. Algunos autores reportan que la misma contiene rudistas. Otras litologías como dolomita, lutita, limolita, brecha de caliza y conglomerado, pueden estar presentes en esta unidad. En el campo es difícil reconocerla, ya que se confunde con la Formación Cobán. Dicha unidad se encuentra ubicada al Noroeste de la cuenca (Mapa 7.3) y fue mapeada por el Servicio Geológico Alemán en 1966.

## 7.4.6 DEPÓSITOS TERCIARIO-CUATERNARIOS

Por último se tienen unidades litológicas de reciente edad, caracterizadas por arcillas limosas, suelos café y rojizo, pómez y unidad de suelos derivados de ceniza volcánica, en parte redepositado, gravas de terrazas y depósitos fluviales con suelos aluviales. Algunas de estas unidades litológicas se describen a continuación.

### 7.4.6.1 ARCILLA LIMOSA

Esta es una arcilla con limo de grano fino, de color gris claro. Es muy plástica al contacto con los dedos y presenta un grado de humedad alto (Fotografía 7.5).

**FOTOGRAFÍA 7.5** Unidad de arcilla limosa, de color gris claro. Localizada al Noroeste de residenciales Sasay, zona 9 de Cobán



**FUENTE:** Bernnie G. Castillo Moeschler, marzo de 2008.

### 7.4.6.2 SUELOS CAFÉ Y ROJIZO

Estos se caracterizan por poseer en un perfil normal de dos a tres capas, en la primera se encuentra el horizonte de materia orgánica (M0), luego un horizonte A de color café a rojizo, con baja plasticidad y luego un horizonte B, de color naranja claro, más plástico y luego un horizonte C, con coloración mas clara y grado de humedad medio (Fotografía 7.6). Los espesores de los perfiles de estos suelos son variables dentro de la cuenca, ya que en algunos lugares el horizonte de materia orgánica esta bien desarrollada y en otros no.

**FOTOGRAFIA 7.6** Perfil de un suelo típico, localizado al Nordeste de la cuenca, a inmediaciones de la entrada a la Colonia, zona 9 de Cobán.

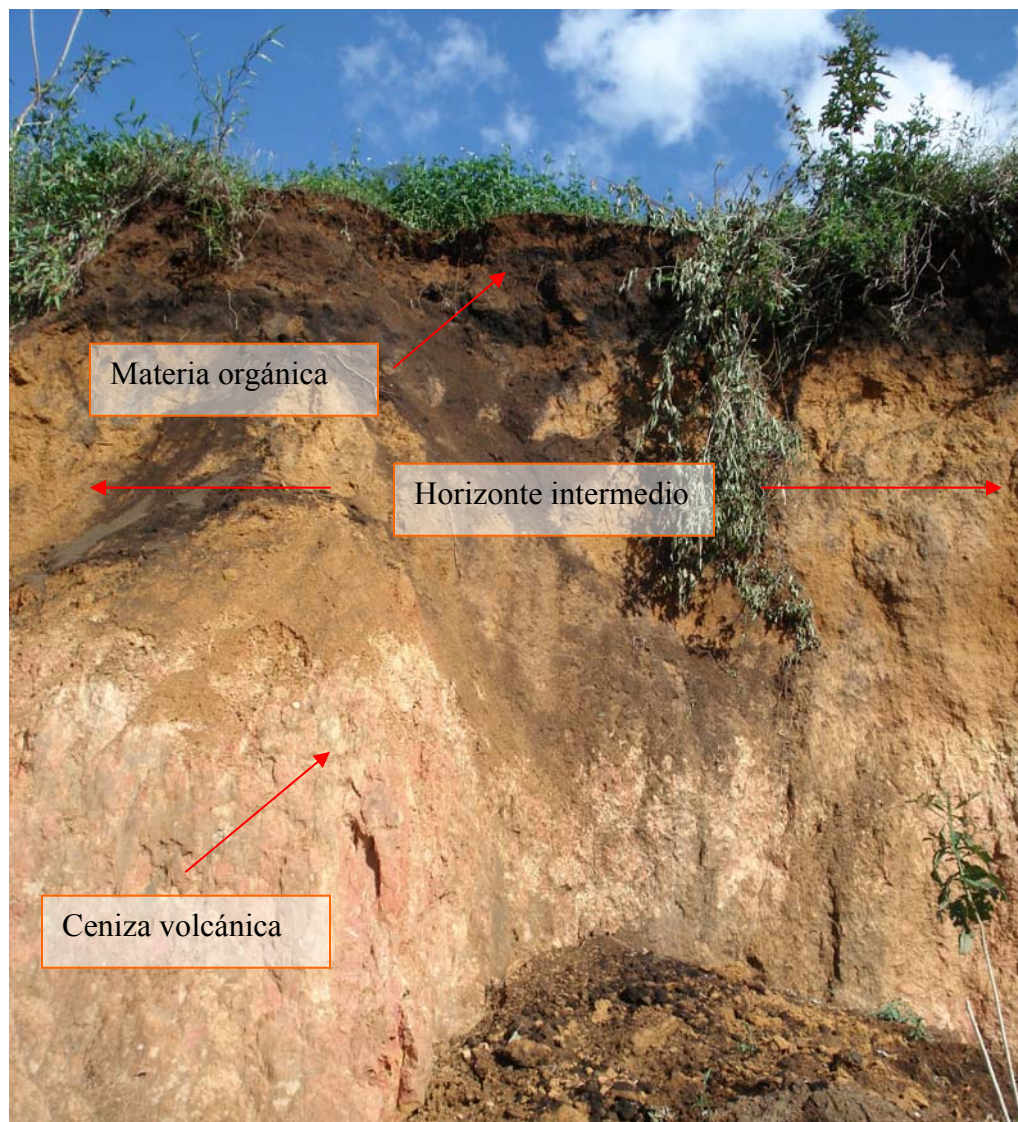


**FUENTE:** Bernnie G. Castillo Moeschler, septiembre de 2009

### 7.4.6.3 UNIDAD DE SUELOS DERIVADOS DE CENIZA VOLCÁNICA

Consiste de horizonte de suelo de color amarillo, de textura franco arenosa. Estos suelos son el producto de la meteorización de material volcánico, principalmente ceniza volcánica. Estos suelos son porosas y de alta permeabilidad. En el perfil (Fotografía 7.7) se puede observar horizontes de suelo orgánico (parte superior) y horizontes de ceniza volcánica muy alterada y de grano fino, en la parte baja del mismo.

**FOTOGRAFIA 7.7** Perfil de un suelo, mostrando un horizonte de ceniza volcánica, localizado entre el límite de la comunidad de Petet y CREOMPAZ, zona 12 de Cobán.



**FUENTE:** Bernie G. Castillo Moeschler, agosto de 2007

#### 7.4.6.4 TERRAZAS

Lo constituyen terrazas, que son estructuras antiguas dejadas por el río Cahabón, debido al desplazamiento del cauce del río, como parte de la dinámica fluvial del mismo (Fotografía 7.8). Están constituidas por suelos orgánicos, ceniza volcánica y suelo café y rojizo. Actualmente estas terrazas son objeto de estudio por parte de extranjeros (franceses), para estudios científicos de paleo-sismicidad, donde están presentes, fallas principales o secundarias.

**FOTOGRAFÍA 7.8** Muestra la parte superior de una terraza. Al fondo se observa un ramal de la Sierra de Chamá. Comunidad Petet, zona 12 de Cobán.



FUENTE: Bernie G. Castillo Moeschler, enero de 2008

#### 7.4.6.5 DEPÓSITO FLUVIAL

Consiste en una serie de intercalaciones de material conglomerático y capas de arena. Los niveles conglomeráticos, contienen en su mayor parte clastos redondeados de cuarzo y fragmentos líticos (metamórficos). Los niveles arenosos son de grano medio a fino. Estos depósitos se encuentran localizados en algunos sectores, a lo largo del río Cahabón, (Fotografía 7.9).

**FOTOGRAFÍA 7.9** Muestra depósitos fluviales en un extremo del río Cahabón a inmediaciones del puente de hamaca, residenciales Imperial zona 8 de Cobán.



FUENTE: Bernie G. Castillo Moeschler, agosto de 2007

#### 7.4.7 ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS

Regionalmente, la cuenca se encuentra afectada por el sistema de Falla Chixoy-Polochic (al Sur), perteneciente a la zona de sutura del Motagua, describe un movimiento siniestral con orientación E-W. Fallas secundarias se encuentran en la parte Norte y media de la cuenca (ver mapa 7.3), clasificadas como: observada, inferida y cubierta, así como estructuras de cabalgamiento.

## 7.5 MORFOMETRÍA DE LA CUENCA

El análisis morfométrico de una cuenca hidrográfica nos ayuda a entender la naturaleza del comportamiento del agua superficial. Para ello, se citan algunos aspectos lineales de las corrientes, los aspectos de superficie y los de relieve para determinar aproximadamente, la relación litológica y corrientes de agua y la influencia de la geología en la superficie que ocupa la cuenca.

### 7.5.1 ASPECTOS LINEALES

La cuenca del río Cahabón posee gran cantidad de corrientes de orden uno (Tabla 7.4 y Mapa 7.4), tal como fue establecido por Edwin Orlando Yash<sup>51</sup>. Dicho autor dividió actualmente la cuenca de estudio en dos zonas que son: Zona marginal y zona cárstica.

El cauce principal de la parte alta de la cuenca del río Cahabón, es una corriente permanente de orden seis, con abundancia de corrientes de orden uno, tanto en la zona marginal y cárstica. La explicación de la abundancia de las corrientes de primer orden, se deben a que dentro de la cuenca (parte central y Norte), se encuentran muchas dolinas (Mapa 7.4).

Boris Otoniel Coy<sup>52</sup>, cita a Strahler (1974), con relación a la bifurcación, *“plantea que los valores de esta relación oscilan entre 3 y 5. Una relación de bifurcación mayor a 4 indica un control estructural del sistema de drenaje”*.

---

<sup>51</sup> EDWIN ORLANDO YASH. *Evaluación de la amenaza por inundación en la parte Occidental de la Cuenca del Río Cahabón*. Tesis de Grado. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario del Norte. Carrera de Geología., 2000., p. 20

<sup>52</sup> BORIS OTONIEL COY. *Evaluación hidrogeomorfológica de la vertiente del Atlántico, en el departamento de Alta Verapaz*. Tesis de Grado. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario del Norte. Carrera de Geología., 2004., p. 23.



Los valores de radio de bifurcación se muestran en la tabla 7.4, como vemos el valor más alta se registra en la zona marginal con 4.76. Y esto es probable debido a la presencia de las dolinas y por las fallas geológicas localizadas tanto al Norte como Sur de la cuenca, según el mapa geológico.

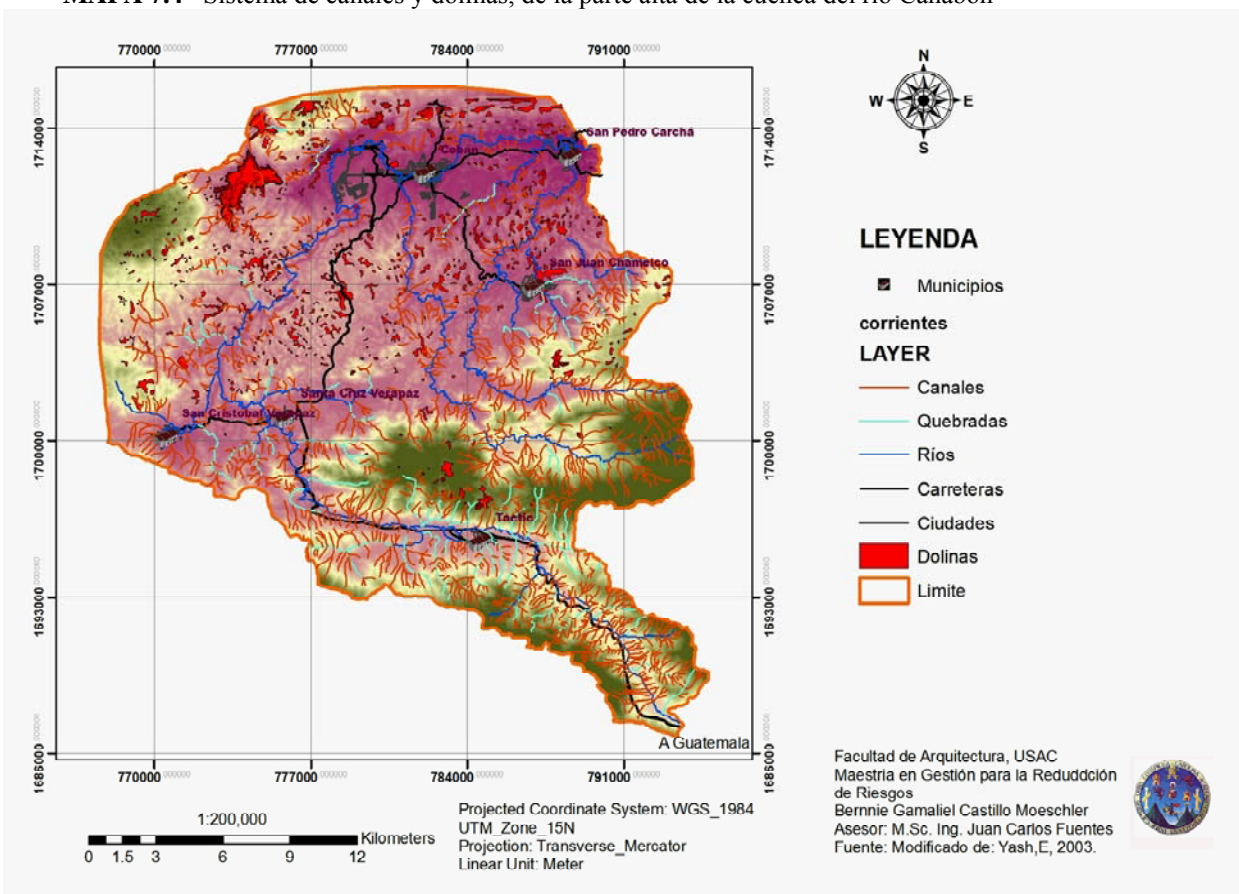
**TABLA 7.4** Aspectos lineales de la parte alta de la cuenca del río Cahabón.

PARAMETRO	CUANTIFICACION/DESCRIPCION							
Perímetro de la cuenca	119.1937 km							
Tipos de corrientes, clasificadas en la zona marginal y cárstica	<b>Zona</b>	<b>1er. orden</b>	<b>2do. Orden</b>	<b>3er. Orden</b>	<b>4to. Orden</b>	<b>5to. Orden</b>	<b>6to. Orden</b>	<b>Total</b>
	Marginal	794	164	35	5	2	0	1000
	Cárstica	630	140	17	6	2	1	796
	Totales	1424	304	52	11	4	1	1796
Longitud del río principal	$L_c = 78.96$ km							
Los valores de la relación de bifurcación para la zona cárstica son:	$794/164 = 4.84,$ $164/35 = 4.68,$ $35/5 = 7$ $5/2 = 2.5.$ <b>Esto da un valor promedio de 4.76.</b>							
Los valores de la relación de bifurcación para la zona marginal son:	$630/140 = 4.5,$ $140/17 = 8.32,$ $17/6 = 2.83,$ $6/2 = 3,$ $2/1 = 2.$ <b>Esto da un valor promedio de 4.11</b>							

**FUENTE:** Modificado de Yash, 2003.

Como puede comprobarse en el mapa 7.4, (al Norte de la cuenca), hay una gran cantidad de canales ubicados en sistemas de dolinas, lo que hace pensar que se cuenta con un gran aporte de agua subterránea y es posible que mucho de este caudal contribuya con el volumen de agua del río Cahabón, sobre todo en época de lluvias intensas. Sin embargo hay que realizar estudios hidrogeológicos a detalle que verifiquen la dirección del flujo del agua subterránea al sistema del río Cahabón.

**MAPA 7.4** Sistema de canales y dolinas, de la parte alta de la cuenca del río Cahabón



**FUENTE:** Modificado de Yash, 2003.

## 7.5.2 ASPECTOS DE SUPERFICIE

Los aspectos de superficie incluyen datos de área, forma de la cuenca, la relación de la forma, el radio de elongación, densidad de drenaje y de corrientes entre otras, las cuales nos permiten comprender más, el comportamiento hidrológico de la cuenca.

**TABLA 7.5** Aspectos de superficie de la parte alta de la cuenca del río Cahabón.

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD
Área de drenaje	507.754316	Km <sup>2</sup>
Factor de forma	1.7043 e-9	Adimensional
Relación circular	0.45	Adimensional
Relación de elongación	0.5133	Adimensional
Densidad de drenaje	2.018	Km de corriente/km <sup>2</sup>
Frecuencia de drenaje	3.5371	Número de corrientes/km <sup>2</sup>
Sinuosidad, en la zona marginal	3.43	Adimensional
Sinuosidad, en la zona cárstica	1.49	Adimensional

**FUENTE:** Modificado de Yash, 2003.

En cuanto al análisis del factor de forma inferior a la unidad, de los datos obtenidos en la tabla 7.5, corresponden a cuencas más bien extensas, según algunas tablas dadas por varios autores. Esto significa que cuencas con valores menores a uno, serán menos susceptibles a inundarse si se comparan con cuencas de relación circular igual a uno.

En cuanto a la densidad de drenaje, el valor mostrado en la tabla anterior, da 2.018 km de cauces/km<sup>2</sup>, que representa un valor alto dentro de la cuenca, que puede estar relacionado con las características físicas presentes de las unidades litológicas (permeabilidad, porosidad y litología).

Para la relación de sinuosidad los valores obtenidos, pueden clasificarse en la tabla 7.6.

**TABLA 7.6:** Escala de sinuosidad fluvial.

Tipo de río	Sinuosidad
Tortuoso	2.1
Irregular	1.7
Regular	1.5
Transicional	1.2
Recto	1.0

**FUENTE:** Schumm, 1963 en Boris. Coy, 2004.

Esa tabla dice, que una sinuosidad con índice de sinuosidad 1, corresponde a un río con forma rectilínea, por lo que a mayor sinuosidad, más meandros y sinuosidad tendrá el río, lo que influye en el tipo de cauce.

Por lo tanto el valor de sinuosidad en la zona marginal de 3.43, indica que el tipo de río es tortuoso, no así en la zona cárstica (al norte), que da un valor de 1.49, que clasificaría al río Cahabón como regular.

### 7.5.3 ASPECTOS DE RELIEVE

Los aspectos de relieve considerados abarcan la pendiente media de la cuenca, la pendiente del canal o cauce principal, la elevación media de la cuenca, el coeficiente de relieve y el de robustez. Algunos de los parámetros analizados, se muestran en la tabla 7.7.

**TABLA 7.7** Aspectos de relieve de la parte alta de la cuenca del río Cahabón

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Pendiente media de la cuenca	34.61	Porcentaje
Pendiente del cauce principal	9	Grados
Coeficiente de relieve	$7.39 \times 10^{-7}$	Adimensional
Orientación de la cuenca	Zona cárstica = N 59 Zona marginal = N 302	Grados

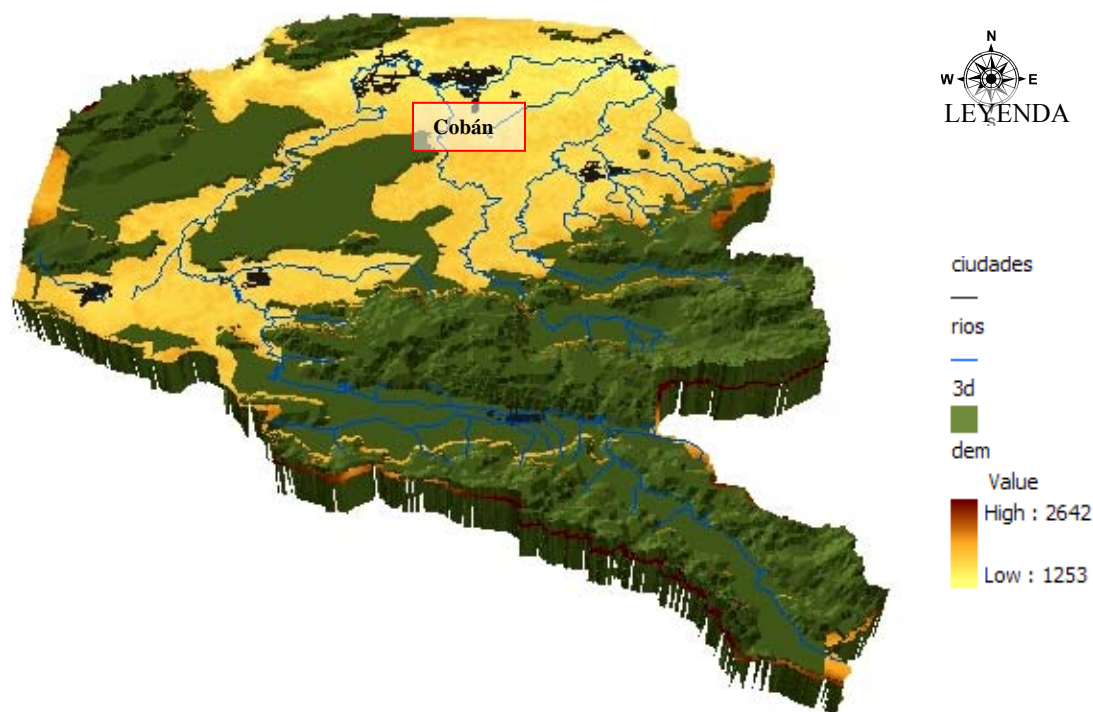
**FUENTE:** Modificado de Yash, 2003.

En cuanto a la pendiente media de la cuenca, un porcentaje bajo indica que la cuenca no es muy accidentada. La pendiente del cauce principal tiene aproximadamente un valor de 6° dentro de la cuenca (Tabla 7.4). Si se analiza el relieve general de la cuenca (Mapa 7.5), se ve claramente un aumento considerable de la topografía hacia el sudoeste de la misma, ya que representa la parte alta de la cuenca.

Y es en esta zonas donde los ríos principales, como el Cahabón, Mestelá y Chió aportan su caudal, hacia las partes bajas de la cuenca.

El aporte de caudales de los ríos principales y de corrientes efímeras, además de ríos subterráneos, producto de intensas lluvias, se cree que contribuyan a inundar las planicies de inundación, en áreas topográficamente mas bajas de la ciudad de Cobán, como es el caso de la zona 8 de Residenciales Imperial y otras zonas, sin embargo se deberá comprobar esto con estudios de campo sobre la hidrogeología e hidráulica del río Cahabón.

**MAPA 7.5** Relieve general de la parte alta de la cuenca de Cahabón



**FUENTE:** Modificado de base de datos, Yash, 2003.

## 7.6 ESTIMACIÓN DE TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

### 7.6.1 GENERALIDADES

Juan Carlos Fuentes Montepeque<sup>53</sup> cita a 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”.

Sigue citando el autor<sup>54</sup>, “que de acuerdo con el INSIVUMEH (2004), en nuestro medio se recomienda utilizar la ecuación de Kirpich, expresada como:

$$T_c = 3L^{1.15}/154 H^{0.38} \dots\dots\dots \text{Ecuación: 7.1 Donde:}$$

t = Tiempo de concentración (minutos)

L = Longitud del cauce (m)

H = Diferencia de nivel (m)

Utilizando la ecuación de Kirpich para diversos tramos en la cuenca del río Cahabón, se obtienen los siguientes resultados (Tabla 7.8):

**TABLA 7.8** Tiempos de concentración estimados en la cuenca del río Cahabón

Tramo	Longitud (m)	Diferencia de nivel (m)	Tiempo de concentración		Velocidad (m/s)
			(minutos)	(horas)	
Toda la cuenca	78,957.11	300	955.64	15.93	1.38
Nacimiento río Cahabón a puente Nuevo	64,015.40	280	770.74	12.85	1.38
Nacimiento río Mestelá a río que desaparece en dolina	12,168.13	600	85.49	1.42	2.38
Resurgimiento río Mestela a puente Talpetate	18935.09	300	184.99	3.08	1.71

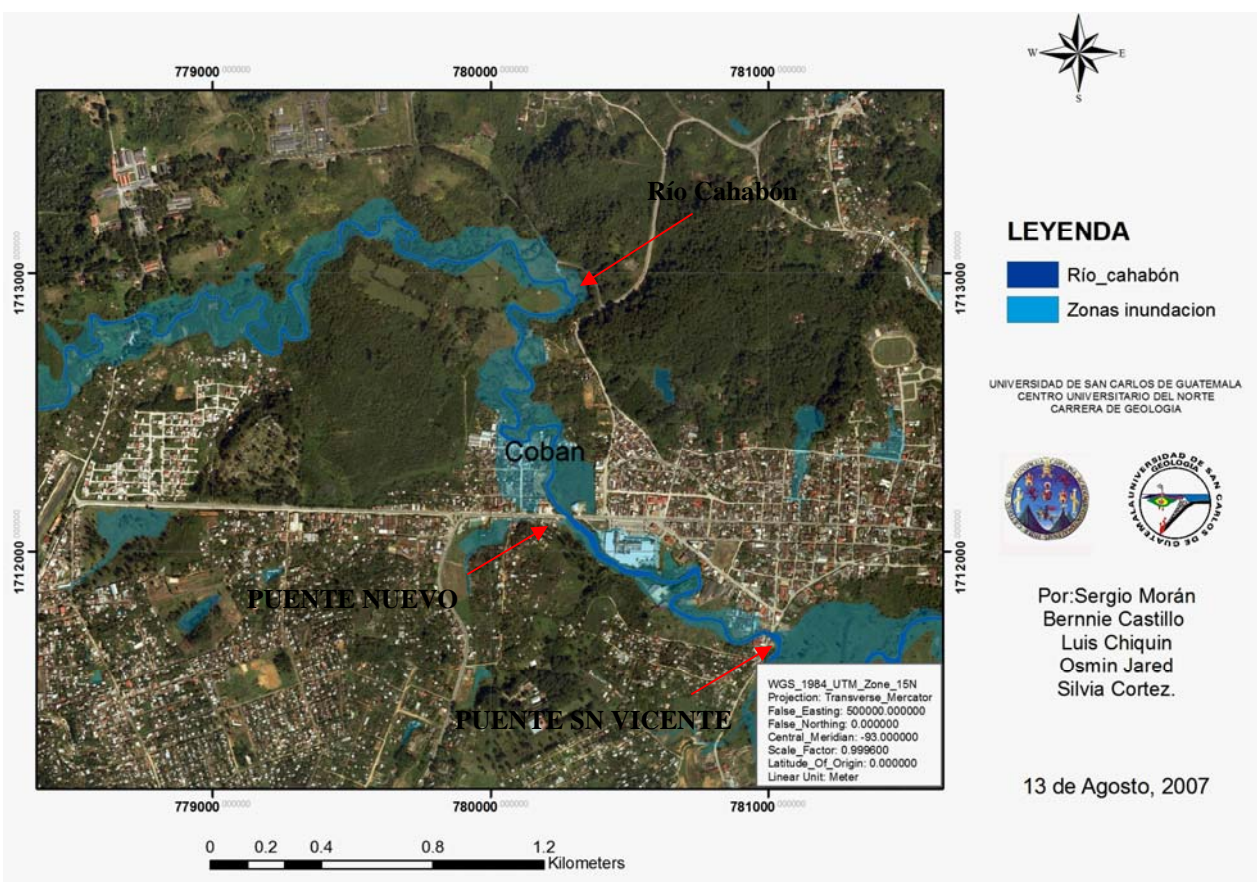
**FUENTE:** Elaboración propia (2007), con base a la ecuación de Kirpich

<sup>53</sup> JUAN CARLOS FUENTES. *Evaluación del sistema de alerta temprana para inundaciones, en la cuenca del río Coyolate*. Guatemala: Facultad de Ingeniería. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y recursos hidráulicos. ERIS. A nivel de postgrado. Tesis de postgrado. 2008., p34.

<sup>54</sup> Ibidem.

Como se puede apreciar en la tabla 7.8, el tiempo de concentración más alto es en toda la cuenca. El aporte del río Mestela se cree que contribuye a alimentar el caudal del río Cahabón y a causar mayor inundación en ciertas zonas del área urbana de Cobán, particularmente en sectores del puente San Vicente, zona 2 y el área de residenciales Imperial, zona 8 (Mapa 7.6).

**MAPA 7.6** Ubicación del río Cahabón, Puente Nuevo y Puente San Vicente de Cobán

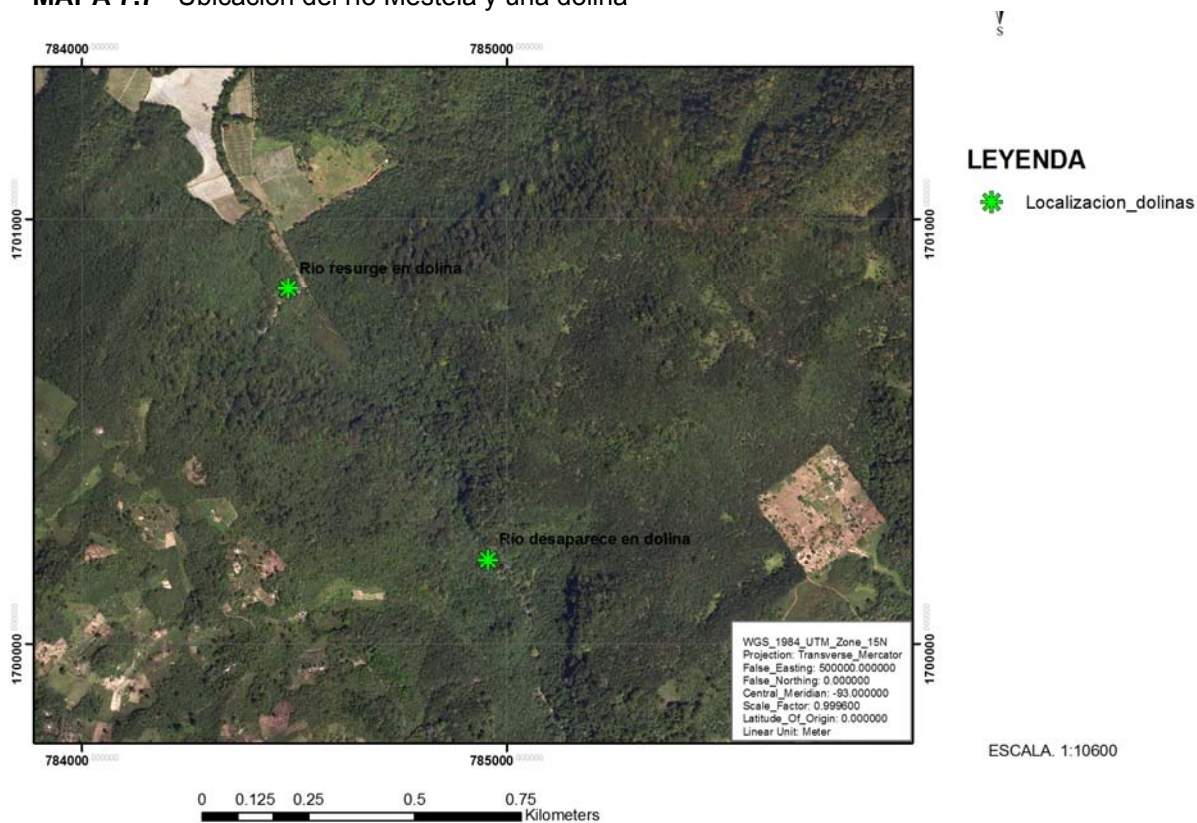


**FUENTE:** Bernie Castillo, et.al., 2007. En base a datos de campo y ortofotos, MAGA 2005.

Por otra parte, se escogió el tiempo de concentración en dos puntos cortados por una dolina (siguán, término autóctono), que pertenecen al río Mestelá, en dichos puntos el río desaparece alrededor de 0.8 km, por debajo del suelo (Mapa 7.7)

Este es un punto importante para analizar el agua subterránea dentro de la cuenca. El río Mestela y otros afluentes secundarios, se cree que son importantes, para contribuir con el flujo superficial del río Cahabón y por consiguiente en el aumento en el nivel del río, aguas abajo de la cuenca, en las zonas consideradas como planicies de inundación, como lo es el área de residencias Imperial, en la zona 8 de Cobán, tal como sucedió en la última inundación de agosto de 2007.

**MAPA 7.7** Ubicación del río Mestelá y una dolina



**FUENTE:** Modificado de ortofotos, MAGA, 2005.

El análisis del tiempo de concentración es muy importante en el caso de implementar un sistema de alerta temprana dentro de la cuenca. Ya que se puede tener una aproximación del tiempo de llegada del flujo o caudal, de los afluentes a zonas o puntos susceptibles de inundarse y por ende, se puede alertar o prevenir a una determinada población.



## CAPÍTULO 8

### RÉGIMEN DE LLUVIAS Y CRECIDAS

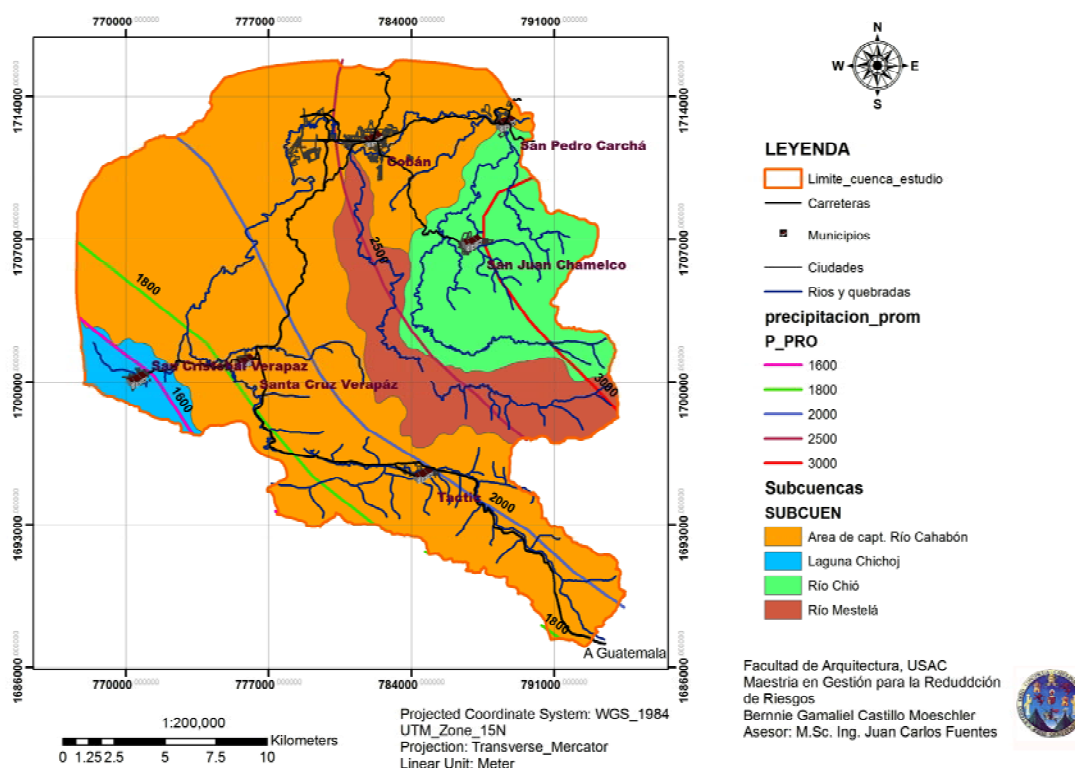
#### 8.1 RÉGIMEN DE LLUVIAS

##### 8.1.1 GENERALIDADES

De acuerdo con el INSIVUMEH<sup>55</sup>, la cuenca en general del Cahabón, pertenece a la vertiente del Caribe, que ocupa un área de 2459 km<sup>2</sup>. El régimen de lluvia en la cuenca es considerado como frontal y orográfico. La precipitación promedio dentro de la cuenca, esta alrededor de los 2500 mm anuales (Mapa 8.1).



**MAPA 8.1** Mapa de precipitación media, de la parte alta de la cuenca del río Cahabón



**FUENTE:** Modificado del sistema de información geográfico, MAGA 2001.

<sup>55</sup> INSIVUMEH. *Hidrología*. <http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/rios%20de%20guate.htm>. Visitado 22 de marzo de 2009.

Por otra parte, el mapa 8.1 nos muestra que los valores mas altos de precipitación se encuentran en el municipio de San Juan Chamelco (3000 mm), ubicado al este de la cuenca, mientras que los valores bajos están en el municipio de San Cristobal Verapaz (1600 mm).

En cuanto a las lluvias intensas se cuenta con información reciente de la estación del CUNOR y se reportan, para las últimas intensidades de lluvia valores de 276 mm en 24 horas (12 y 13 de agosto de 2007), siendo estos días, donde se produjo la mayor acumulación de agua e incluso sobrepasando lo que llueve normalmente en un mes.

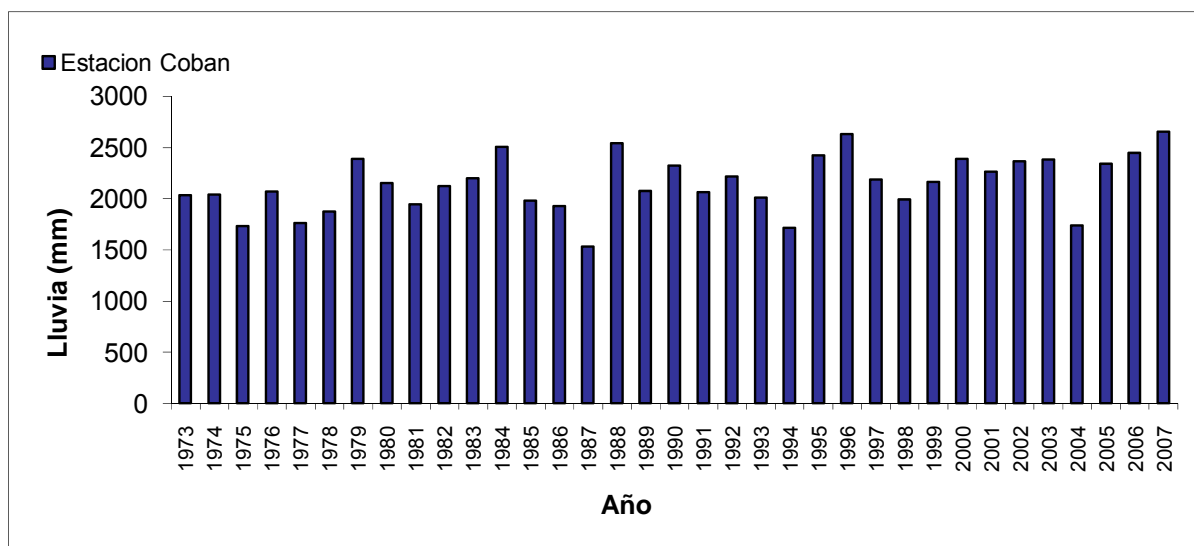
### 8.1.2 LLUVIA MULTIANUAL Y MENSUAL

Debido a la falta de estaciones climáticas dentro de la cuenca y por el número de registro de datos de lluvia, se decidió analizar la información de la estación de Cobán, perteneciente al INSIVUMEH. El número de registro de años para la lluvia esta en un lapso de tiempo de 35 años, hasta el 2007.

En la gráfica 8.1, se muestra el comportamiento anual de la lluvia, donde se observa claramente un aumento de lluvia en los últimos años, particularmente en el 2007, donde la lluvia sobrepasó los 2600 mm, incluso un valor mas alto que durante el Mitch de 1998, donde se tiene un valor de 1991 mm.

La lluvia media anual en los últimos años (1990 en adelante), según datos de la estación del INSIVUMEH de Cobán, oscila en 2229.9 mm.

En el caso de la lluvia promedio mensual ésta oscila en 186 mm, para los años indicados, sin embargo solo para el año 2007, en el mes de agosto se registro, una lámina de 549.2 mm, mas alta que en octubre de 1998, en el paso del huracán Mitch que fue de 529.6 mm, según las estadísticas del INSIVUMEH.

**GRÁFICA 8.1** Lluvia multianual de la estación Cobán, con influencia en la cuenca alta del río Cahabón.

FUENTE: Elaboración propia en base a datos del Insivumeh. Cobán 2009

### 8.1.3 LLUVIA MÁXIMA DIARIA ANUAL

Para propósitos de análisis estadístico, la lluvia máxima diaria y lluvia máxima en 24 horas, no son necesariamente lo mismo. La lluvia máxima diaria es la lluvia máxima registrada durante un día y la lluvia máxima en 24 horas, es la lluvia máxima registrada durante un período continuo de 24 horas (en un rango de 00:00 a 23:00).

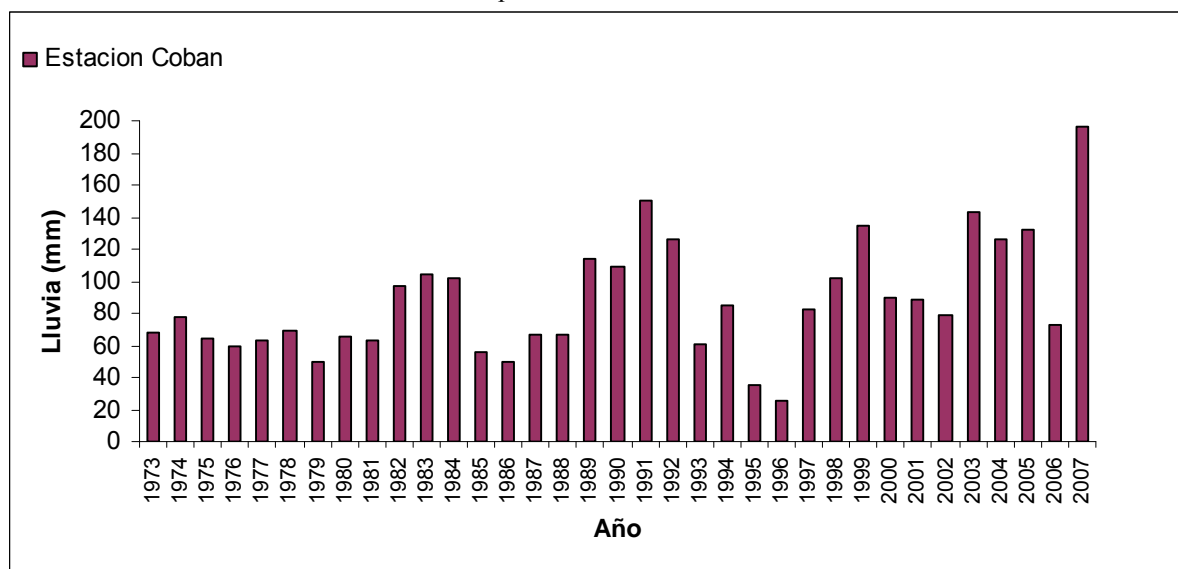
Según Fuentes Montepeque<sup>56</sup>, la lluvia máxima en 24 horas, “es la mas perjudicial, ya que no permite al suelo disminuir su contenido de agua por ende aumentar su capacidad de almacenamiento”

Para estimar la lluvia máxima en 24 horas se debe contar con un pluviógrafo, en donde se analiza una banda incorporada a éste y obtener el registro continuo.

<sup>56</sup> JUAN CARLOS FUENTES. *Evaluación del sistema de alerta temprana para inundaciones, en la cuenca del río Cuyolate*. Guatemala: Facultad de Ingeniería. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y recursos hidráulicos. ERIS. A nivel de postgrado. Tesis de postgrado. 2008., p42.

Para la lluvia máxima diaria anual en la cuenca, también se consideró el periodo de 35 años de lluvia de la estación de Cobán. Los valores más altos están en 100 mm, especialmente a partir de los años de 1990 en adelante, sin embargo, para el año 2007 se tuvo un valor de lluvia máxima diaria anual de 196.10 mm (Gráfica 8.2), valor que sobrepasa al doble del promedio estimado en 87.71 para los 35 años de registro.

**GRAFICA 8.2** Lluvia máxima diaria anual para la estación de Coban.



**FUENTE:** Elaboración propia con base a datos del Insivumeh, Cobán 2009

Por otra parte, Fuentes Montepeque<sup>57</sup> cita al INSIVUMEH (2004), “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 mas cortos”.

Por lo que se puede concluir al respecto que es preferente realizar análisis de lluvia máxima en 24 horas que de manera diaria, ya que en la realidad solo abarca un periodo de 12 horas y por lo tanto no se pueden hacer estimaciones de intensidades de lluvia con más precisión, para periodos de tiempo mas corto, como una hora.

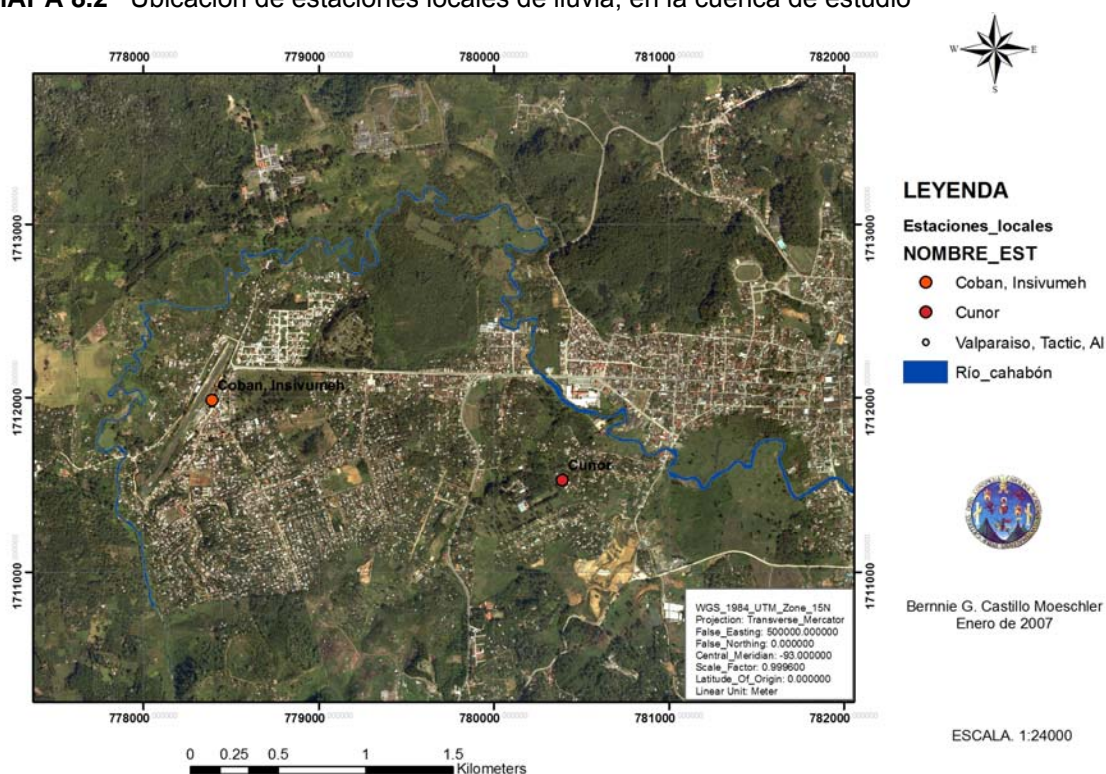
<sup>57</sup> *Ibidem.*, p 42.

### 8.1.4 HIETOGRAMA

Un hietograma es un histograma o gráfico de barras que representa la lluvia caída en una tormenta específica, con intervalos de tiempos más cortos como una hora o quince minutos por ejemplo.

Para analizar la precipitación caída en agosto de 2007, se tomó la estación del CUNOR (Mapa 8.2), ya que es la única que registra la lluvia diaria continua de 24 horas.

**MAPA 8.2** Ubicación de estaciones locales de lluvia, en la cuenca de estudio



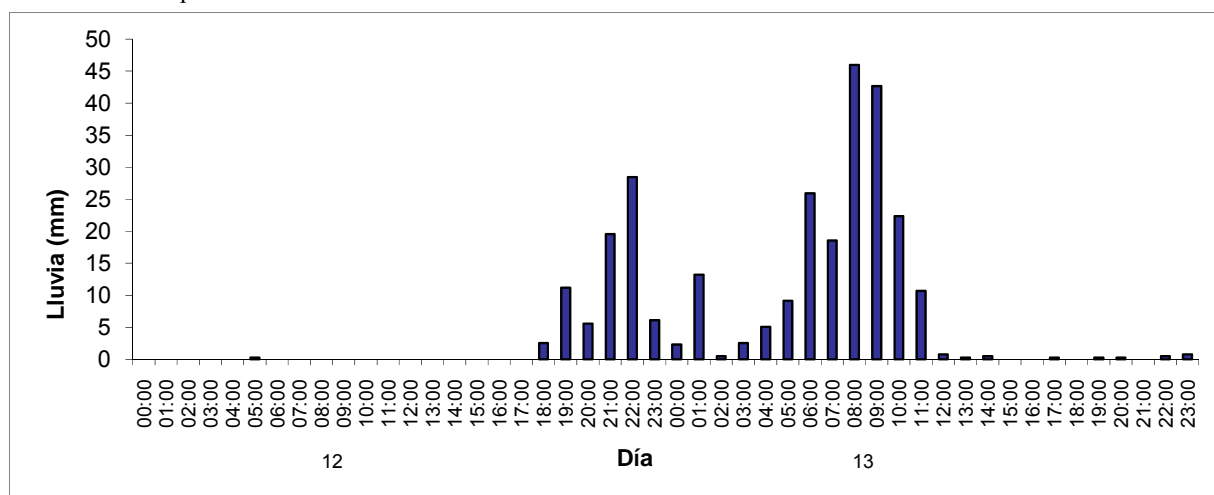
**FUENTE:** Modificado de ortofotos, MAGA 2005.

El histograma con intervalos de una hora, para los días 12 y 13 de agosto de 2007 (Gráfica 8.3), en la estación del CUNOR, se muestra en la gráfica 8.3 respectivamente. Como puede verse, el día 12 de agosto en las primeras horas no presentó precipitaciones significativas. A partir de las 18 horas comenzó a registrarse más lluvia, luego hubo un cese de la misma, así se observa a las 22 horas, con una lámina de 28 mm.

Para el día 13 de agosto a las 2:00 de la mañana nuevamente empieza la precipitación, alcanzando umbrales de las 8 y 9 de la mañana de 46 y 43 mm de lluvia, para luego cesar a las 11 de la mañana, con precipitaciones menores a 0.5 mm.

Ambos días acumulan un total de 276.10 mm. Los eventos de estos días son los que provocaron la crecida del río Cahabón y posteriormente las inundaciones en las planicies de la cuenca, e inundaciones locales en zonas céntricas del municipio de Cobán, por la activación de corrientes naturales o antiguos cauces, que estaban obstruidos.

**GRAFICA 8.3** Hietograma con intervalos de una hora de precipitación, en los días 12 y 13 de agosto de 2007 para la estación climática del Cunor.



**FUENTE:** Elaboración propia, con base a datos de precipitación de la estación climática del CUNOR, 2007

Se hace la observación también que parte de la tormenta suscitada el 12 y 13 de agosto, también provocó inundaciones en otros municipios dentro de la cuenca, afectando más al municipio de Carchá, así lo constan documentos de COREDUR II y de CODRED del área de Cobán, cuyos datos estadísticos y económicos, se estarán describiendo en el capítulo nueve de gestión de riesgos.

### 8.1.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LLUVIA DIARIA MÁXIMA ANUAL

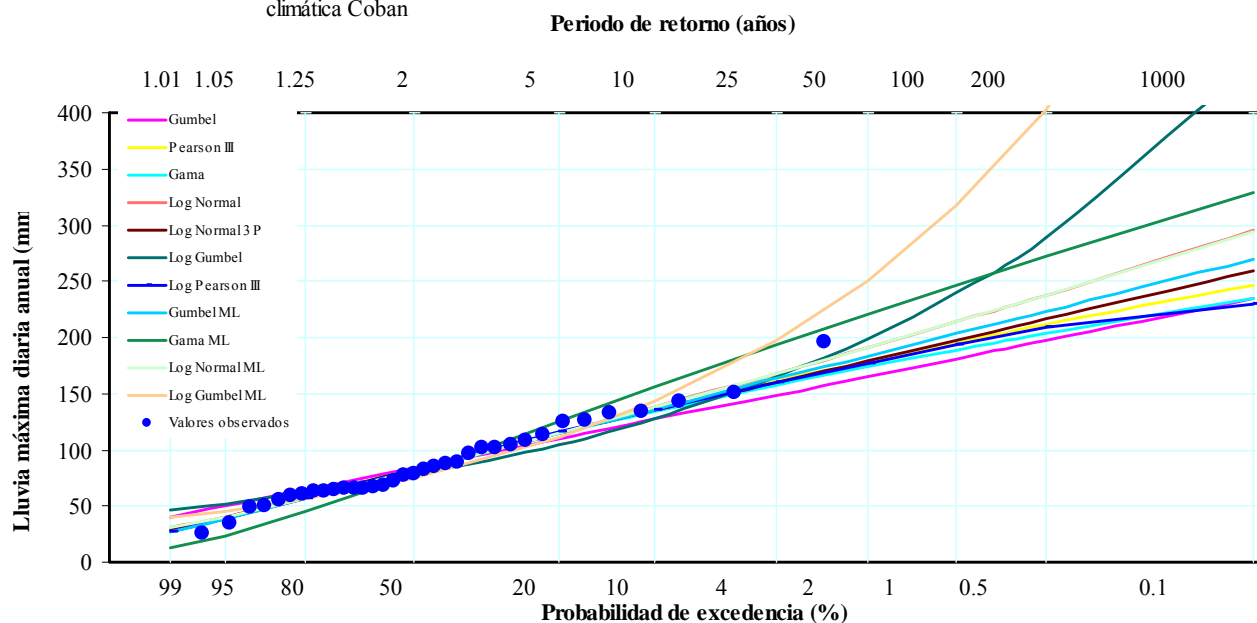
Con la finalidad de determinar una distribución teórica de frecuencia a la cual se ajusten los datos de la serie de lluvia diaria máxima anual correspondientes, a 35 años de registros de la estación climática Cobán del INSIVUMEH, se realizó el análisis estadístico de la misma. Las distribuciones teóricas de distribución de frecuencia utilizadas 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).

En este tipo de eventos extremos, el coeficiente de sesgo de los datos es positivo, siendo en este caso de 0.92. Los datos presentan una ligera dispersión, reflejándose en el coeficiente de variación que es de 0.41.

La construcción de las curvas teóricas de distribución de frecuencia se elaboró con base al programa de Excel y el software hidrológico HidroEsta, versión 2004. El ajuste de los datos considerados de lluvia diaria máxima a las curvas se muestra en la gráfica 8.4.

El objetivo de trazar estas curvas de distribución es visualizar que distribución se ajusta a los datos o valores observados de lluvia diaria máxima anual.

**Gráfica 8.4.** Ajuste de curvas teóricas de frecuencia a registros máximos de lluvia diaria anual de la estación climática Coban



**FUENTE:** Elaboración propia, enero de 2009.

Luego de obtener el ajuste de las distribuciones teóricas, se procedió a realizar una prueba de error cuadrático mínimo (que toma en cuenta ciertas medidas de tendencia central y la relación entre el valor estimado y observado de los datos de lluvia máxima anual), para establecer que distribuciones se ajustan mejor cuantitativamente, de acuerdo a su posición relativa (Tabla 8.1).

**TABLA 8.1** Posición relativa de 9 distribuciones teóricas de frecuencias utilizadas en el análisis de lluvia diaria máxima anual, de la estación climática de Cobán.

Distribuciones teóricas de frecuencia	Error cuadrático mínimo	Posición relativa
Log-Normal	22.42	1
Log-Normal ML	22.73	2
Gumbel	27.58	3
Gumbel ML	27.59	4
Log-Normal 3 P	30.70	5
Gama	34.29	6
Log-Gumbel	43.22	7
Gama ML	45.06	8
Log-Gumbel ML	48.50	9

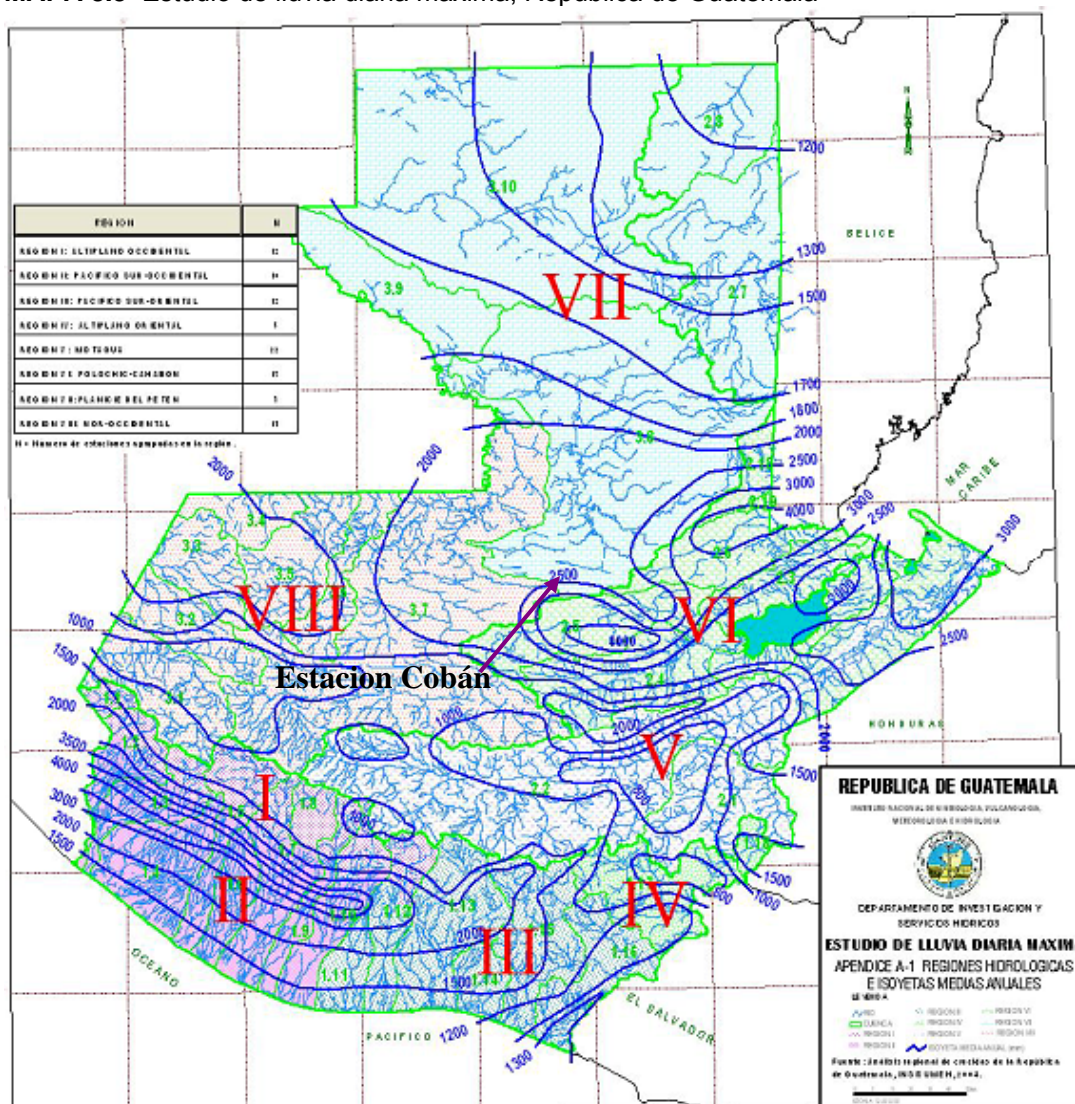
**FUENTE:** Elaboración propia (2009)



En orden de prioridad se deduce que los datos se ajustan mejor a las distribuciones Log-Normal, Log-Normal ML, Gumbel, Gumbel ML, Log-Normal de tres parámetros.

Coincidiendo en el caso de la distribución Log-Normal, con lo que recomienda el INSIVUMEH (2004), en el estudio de de lluvia máxima diaria en la República de Guatemala, para la región VI (Polochic-Cahabón y Bajo Motagua), donde se localiza la estación climática de Coban (Mapa 8.3).

**MAPA 8.3** Estudio de lluvia diaria máxima, República de Guatemala



FUENTE: INSIVUMEH (2004)

### 8.1.6 ESTIMACION DE DATOS DE LLUVIA DIARIA MÁXIMA ANUAL

Del análisis estadístico de lluvia diaria máxima anual, para la estación climática de Cobán, se tomó el valor máximo de lluvia (valor extremo), correspondiente al año 2007, para relacionarla a las distribuciones teóricas de frecuencia y así estimar el período de retorno correspondiente. Los resultados aparecen en la tabla 8.2:

**TABLA 8.2** Períodos de retorno para las distribuciones teóricas, para el valor máximo de lluvia diaria anual, de agosto de 2007 de la estación Cobán.

Distribución teórica de frecuencia	Probabilidad de excedencia (%)	Probabilidad de no excedencia (%)	Período de retorno (años)
Gumbel	1.18	98.82	85
Pearson III	0.94	99.06	106
Gama	0.72	99.28	139
Log Normal 3 P	1.07	98.93	94
Log Normal	1.72	98.28	58
Log Gumbel	3.65	96.35	27
Log Pearson III	0.94	99.06	107
Gumbel ML	1.30	98.70	77
Gama ML	3.77	96.23	27
Log Normal ML	1.69	98.31	59
Log Gumbel ML	4.07	95.93	25

**FUENTE:** Elaboración propia, enero de 2009.

Como se puede apreciar en la tabla 8.1, el valor más frecuente para el período de retorno corresponde, a la distribución Log Gumbel ML con 25 años. Por ejemplo, si en caso vuelve a repetirse una lluvia diaria máxima anual, como la de agosto de 2007, dentro de 25 años la lluvia será de 197.13 mm y probabilidad de excedencia de 4.07%, usando un ajuste de momentos lineales.

Luego observando las tablas, le siguen las distribuciones Log Gumbel y Gama ML, con 27 años y valores de probabilidad de excedencia y no excedencia muy similares. Mientras que valores más altos de período de retorno, lo presenta la distribución teórica, Gama con 139 años de recurrencia.

En fin se puede deducir estadísticamente que a mayor magnitud de una crecida, mayor es el periodo de retorno. Esto es aplicado normalmente a eventos de gran magnitud de una crecida por ejemplo.

## 8.2 REGIMEN DE CRECIDAS

### 8.2.1 GENERALIDADES

Los caudales máximos de crecida, están condicionados por el aporte de las lluvias y su distribución con el tiempo. A esto se debe considerar también que los caudales máximos están influidos por la topografía accidentada, de las partes altas de la cuenca y del transporte de sedimento en la parte baja de la cuenca.

Fuentes Montepeque<sup>58</sup>, recalca que, con relación a las lluvias y regimen de crecidas que *“cuando se trata de eventos extremos (lluvias intensas y crecidas), las distribuciones teóricas a la que mejor se ajustan los datos, es cuando se realiza la transformación logarítmica de los mismos. Técnica muy usual en hidrología que disminuye el coeficiente de sesgo mejorando sustancialmente su distribución”*.

Debido a que no se cuenta con una estación dentro de la cuenca, que contenga un registro estadístico considerable de años y que la única estación ubicada dentro de la parte media de la cuenca, es la estación Valparaiso, pero que no opera actualmente y que solo tiene 12 años de registro, no se realizó el análisis estadístico de caudales máximos anuales a nivel local, sino solamente a nivel regional.

---

<sup>58</sup> JUAN CARLOS FUENTES. *Evaluación del sistema de alerta temprana para inundaciones, en la cuenca del río Coyolate*. Guatemala: Facultad de Ingeniería. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y recursos hidráulicos. ERIS. A nivel de postgrado. Tesis de postgrado. 2008., p49.

## 8.2.2 ANÁLISIS REGIONAL DE CRECIDAS

El análisis regional de crecidas trata de manera general determinar estadísticamente valores de caudales máximos, en una cuenca o región hidrológica, tomando en cuenta el área. Al final en este análisis se pretende conocer los caudales de diseño para un área específica, mediante las distribuciones teóricas de frecuencia.

A continuación se definirá una crecida y los aspectos concernientes al análisis regional de crecidas, tomando en cuenta el procedimiento para dicho análisis.

Elfego Orozco<sup>59</sup>, cita a Monsalve (1,999), con relación a una crecida, *“se define como una elevación normal del nivel de agua dentro del lecho de la corriente de agua. 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”*.

Sigue citando el autor<sup>60</sup> que, *“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 es mejor. El objetivo de dicho análisis consiste en determinar factores de frecuencia para ciertos periodos de retorno (para distintas distribuciones de frecuencia) y aplicarlos para estimar el caudal en cualquier punto de la cuenca en función de dichos factores y 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 de que no se cuenta con suficiente información disponible, además hay que hacer notar que las estimaciones de caudales máximos son estimadas en base a ecuaciones calibradas para caudales mucho menores, por lo que en la mayoría de los casos dichos valores de crecidas poseen significativos márgenes de error”*.

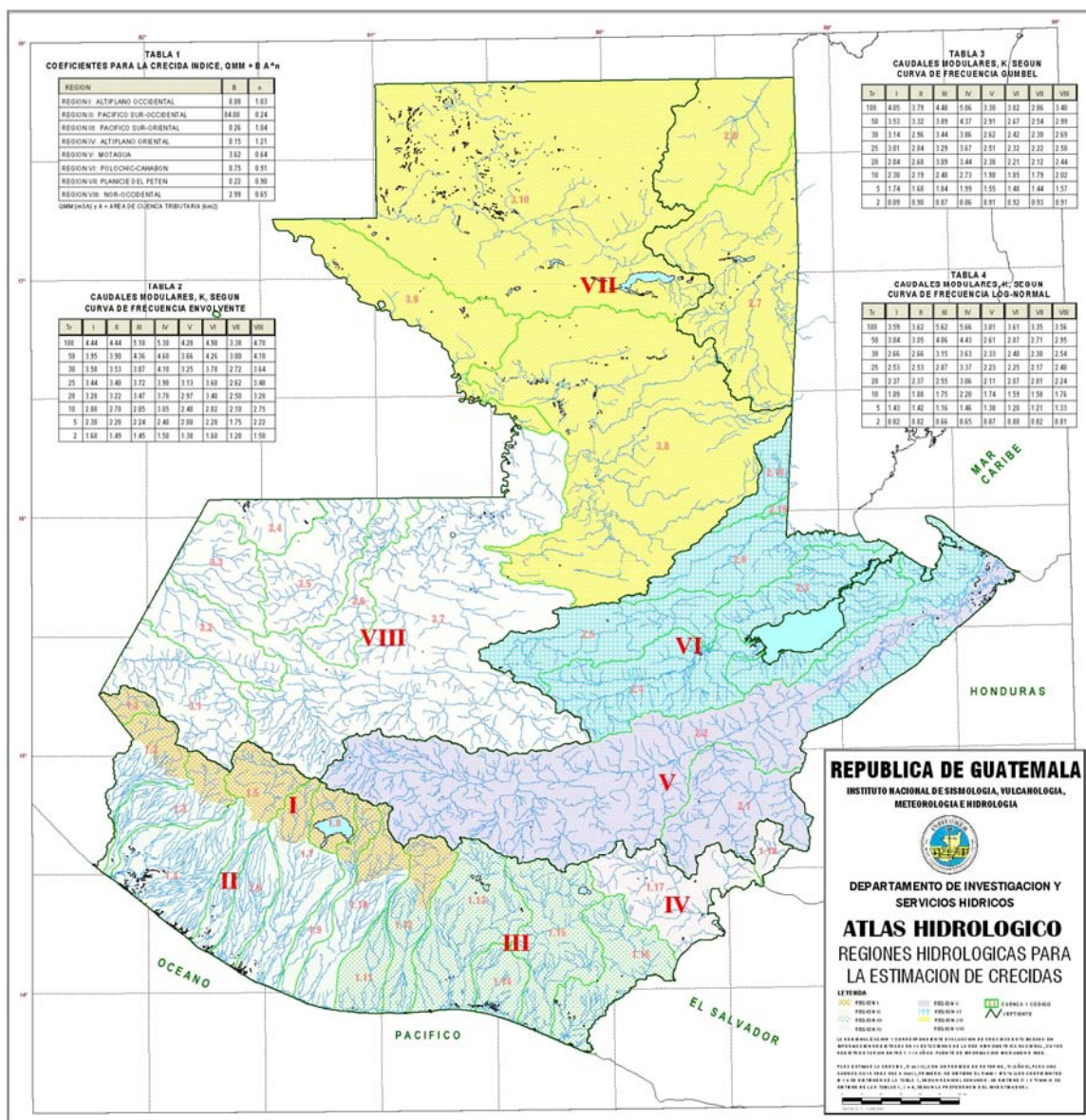
---

<sup>59</sup> ELFEGO OROZCO. Análisis Regional de Crecidas. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y recursos hidráulicos. ERIS. Documento de Word. Noviembre de 2007., p1.

<sup>60</sup> *Ibíd.*

Basado en lo anterior, el análisis regional de crecidas, se llevó a cabo en la región hidrológica VI, de las ocho que cita el INSIVUMEH (2004), tal como se muestra en el Mapa 8.4.

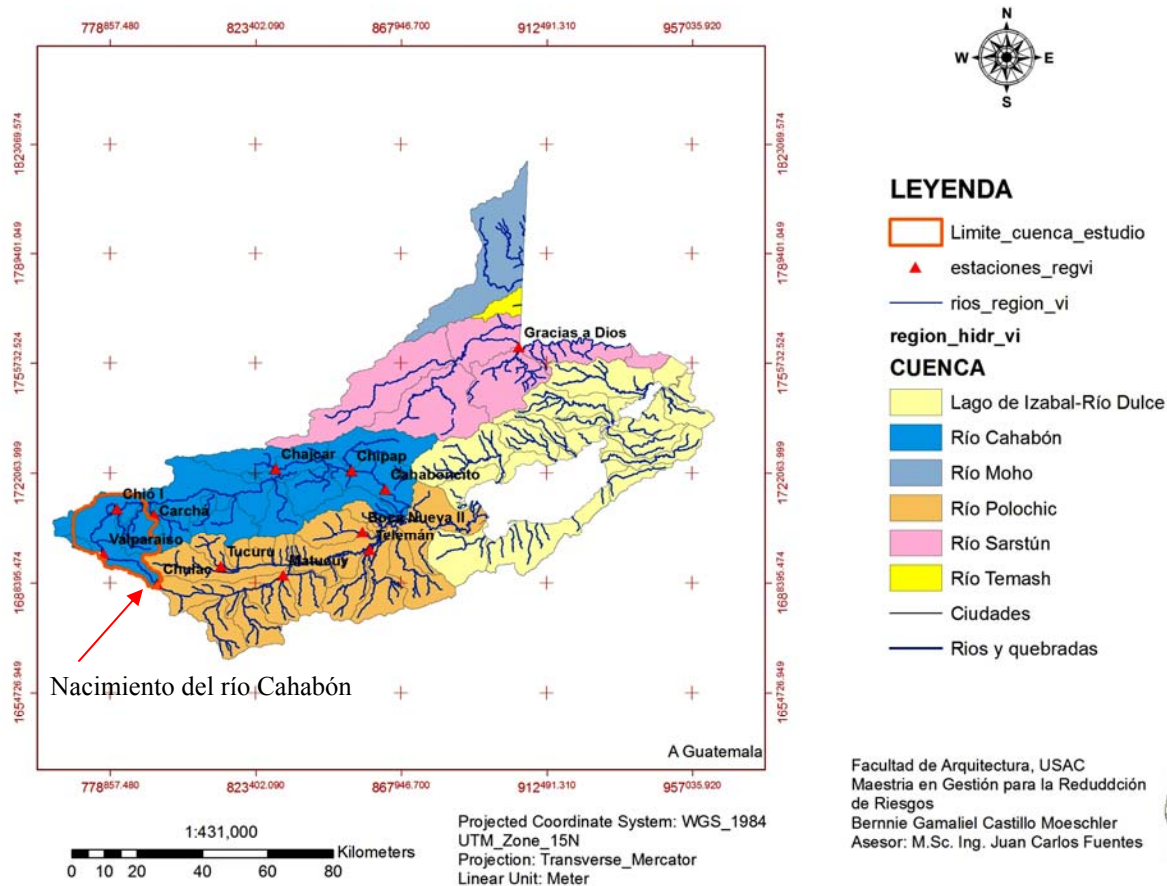
**MAPA 8.4** Atlas hidrológico de la República de Guatemala, mostrando la región hidrológica VI, del área de interés.



FUENTE: Atlas Hidrológico, INSIVUMEH 2004

Con mas detalle se puede observar en el Mapa 8.5, el área de estudio y la región hidrológica VI, así como las estaciones hidrométricas a nivel regional. Esta región abarca las cuencas del Lago de Izabal o río Dulce, el río Cahabón, el río Moho, río Polochic, río Sarstún y río Temash. Aunque para el análisis regional de crecidas se puede observar en el mapa, que la mayoría de estaciones están ubicadas, en la cuenca del río Cahabón y Polochic respectivamente.

**MAPA 8.5** Ubicación de estaciones de la región hidrológica VI



**FUENTE:** Modificado del SIG, MAGA 2001

La tabla 8.3 muestra un resumen de las características físicas de las estaciones mostradas en el mapa 8.3. Esas estaciones se usaron para el análisis regional de crecidas.

**TABLA 8.3.** Características físicas de las estaciones hidrométricas utilizadas en el análisis regional de crecidas

Estación	Río	Cuenca	Elevación msnm	Área Km <sup>2</sup>	Años de registros	Estado actual
Chajcar	Cahabon	Río Cahabón	1049	882	22	Si, opera por INDE
Chio I	Mestela	Río Cahabón	1275	63	12	No opera
Carcha	Tzunutz	Río Cahabón	1290	88	15	No opera
Chipap	Cahabon	Río Cahabón	184	1773	15	No opera
Cahaboncito	Cahabon	Río Cahabón	1070	2626	19	No opera
Tucurú	Cucanja	Río Polochic	443	69	6	No opera
Telemán	Polochic	Río Polochic	19	1542	22	Si opera por INSIVUMEH
Matucuy	Matanzas	Río Polochic	66	845	14	Si opera
Boca Nueva II	Boca Nueva	Río Polochic	12	164	8	No opera
Valparaiso	Cahabon	Río Cahabón	1450	100	12	No opera
Chulac	Cahabon	Río Polochic	43	2351	8	Si opera
Modesto Méndez	Gracias a Dios	Río Sarstún	1	1377	25	No opera

**FUENTE:** Departamento de Investigación y Servicios hídricos, INSIVUMEH, 2008.  
Departamento de Servicios Hídricos, INDE, 2008.

Como se puede observar en la tabla 8.2, son pocas las estaciones que operan por el INDE e INSIVUMEH, lo que incide en la disminución del monitoreo de estos ríos. Las alturas sobre el nivel del mar, nos muestra que la estación Valparaiso tiene una elevación de 1450 msnm, sin embargo el nacimiento del río Cahabón esta a una elevación de aproximadamente 1600 msnm. Por otra parte, los años de registro, para la estación Modesto Méndez se tiene en 25 años de registro máximo, mientras que la estación Tucurú, es la que presenta el menor registro, con 6 años, sin embargo se consideró dentro del estudio, ya que en el análisis regional de crecidas, se admite estadísticamente, un mínimo de 12 estaciones para dicho estudio.

### 8.2.2.1 RELACIÓN ÁREA Y CAUDAL ÍNDICE

El método de análisis regional de crecidas de acuerdo con Orozco, citado por el INSIVUMEH, et al (2003), consiste en una ecuación potencial, que relaciona el caudal índice y el área de la cuenca. La estimación del caudal índice para una serie de datos es la siguiente:

$$Q_I = \sum_{i=1}^n Q_a / n \dots\dots\dots \text{Ecuación 8.1}$$

Donde:

$Q_I$  = Caudal índice ( $m^3/s$ )

$Q_a$  = Caudal máximo anual ( $m^3/s$ )

$n$  = Número de datos en la serie.

Fuentes Montepeque<sup>61</sup>, cita al INSIVUMEH (2004), en el que, “*el caudal índice ( $Q_I$ ), es llamado también caudal máximo medio (QMM). De tal forma, que por cada serie de registros correspondientes a cada estación se obtiene un valor de caudal índice*”.

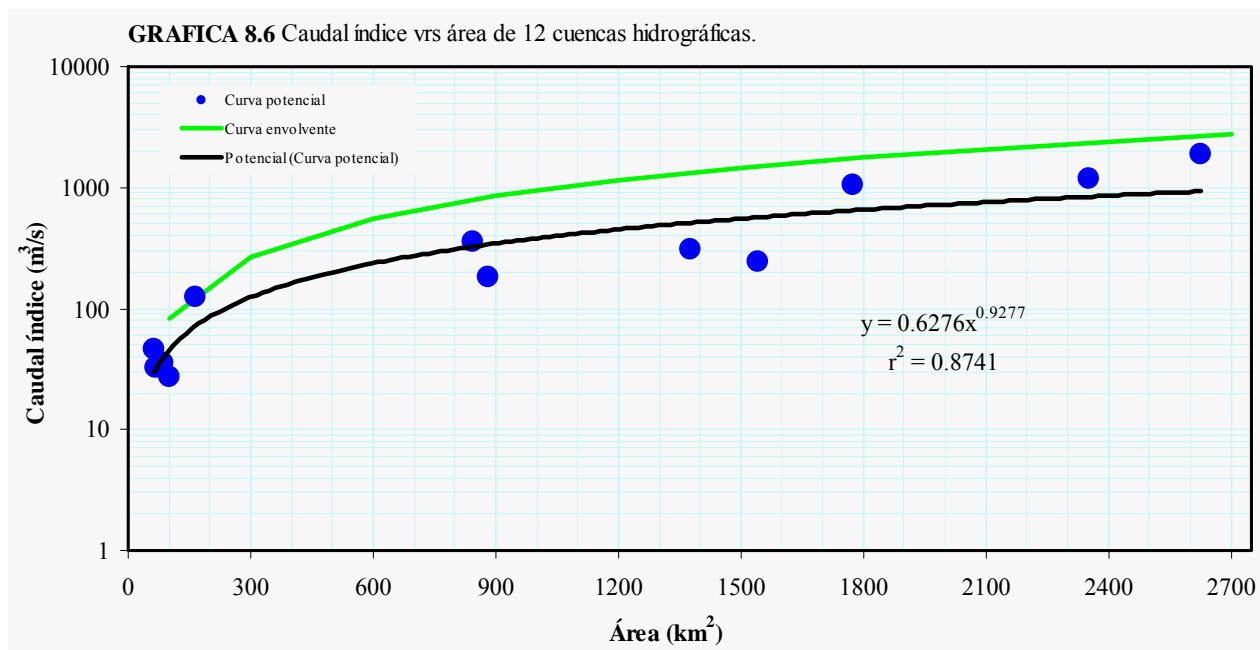
Por otra parte, la relación entre el caudal índice y el área de la cuenca, así como la curva envolvente y potencial, se muestran en el gráfica 8.6.

La ecuación potencial que se deduce es  $y = 0.6276 x^{0.9277}$ , con un coeficiente de determinación de 0.8741, al sustituir el caudal índice y el área se obtiene  $Q_I = 0.6276 A^{0.9277}$ . El coeficiente de determinación que se obtiene ( $r^2$ ), representa un valor alto, lo que significa un mejor ajuste de los datos. Lo que se busca al final es que el coeficiente de determinación se acerque a uno.

---

<sup>61</sup> JUAN CARLOS FUENTES. *Evaluación del sistema de alerta temprana para inundaciones, en la cuenca del río Coyolate*. Guatemala: Facultad de Ingeniería. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y recursos hidráulicos. ERIS. A nivel de postgrado. Tesis de postgrado. 2008., p51.





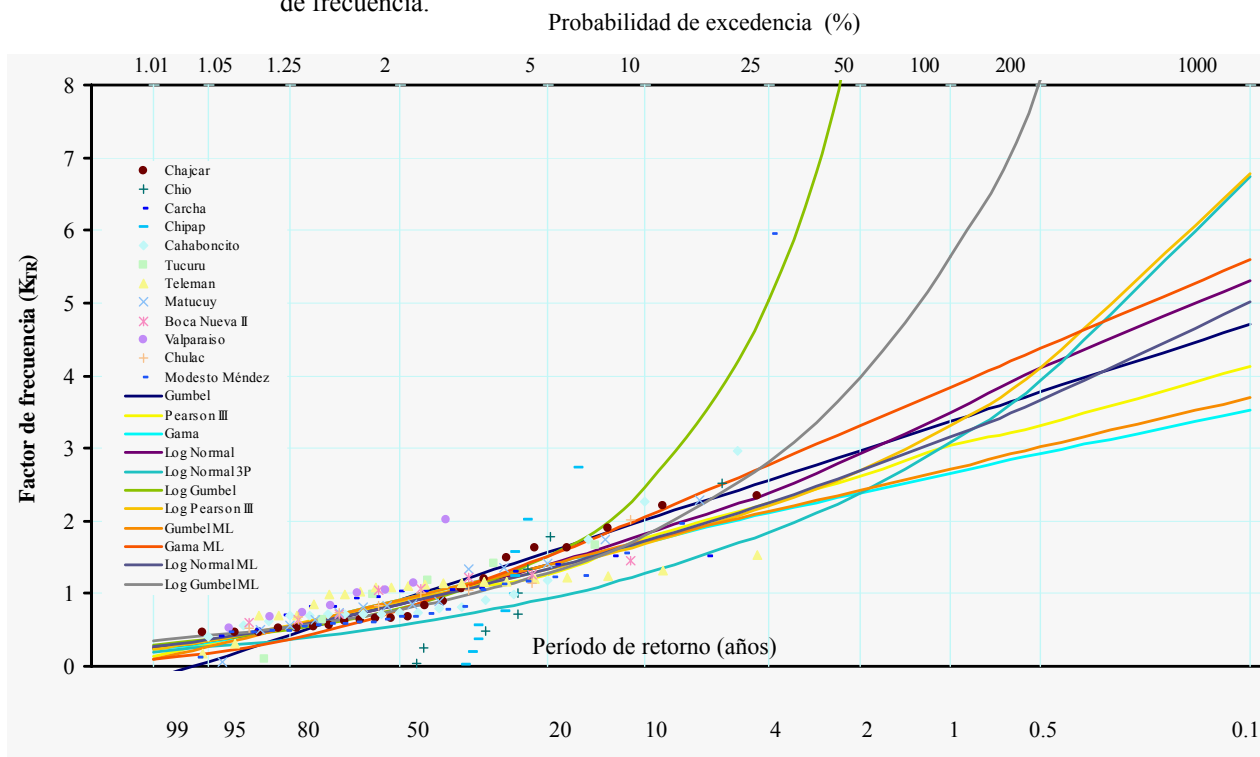
**FUENTE:** Elaboración propia, con base a series de caudales estandarizados, correspondientes a registros de las 12 estaciones hidrométricas, diciembre de 2008.

### 8.2.2.2 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, calculando los parámetros con momentos convencionales. Luego 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 conjuntamente el programa de Excel y el software hidrológico HidroEsta, versión 2004.

El ajuste de las series estandarizadas a las curvas teóricas de distribución de frecuencia se muestra en la gráfica 8.7.

**GRAFICA 8.7** Ajuste de series estandarizadas de caudales máximos anuales a curvas teóricas de distribución de frecuencia.



**FUENTE:** Elaboración propia, con base a datos de caudales máximos de las 12 estaciones estudiadas, diciembre, 2008

Como puede observarse, para períodos de retorno menores de 5 años, los datos estandarizados parecen presentar buen ajuste a la mayoría de distribuciones teóricas, para valores más altos de periodo de retorno, los datos se dispersan. Por otra parte algunos datos de la estación Chipap, tienden a ajustarse a distribuciones teóricas de frecuencia que estimarían valores demasiados altos y bajos al igual que la estación Telemán. Esto puede deberse a cierta inconsistencia en los registros históricos de estas estaciones hidrométricas.

Visualmente (método válido usado por algunos hidrólogos), las distribuciones teóricas que mejor se ajustan a los datos de caudales máximos están: Log Normal ML, Log Normal, Log Pearson III y Log Normal 3P

Uno de los objetivos del análisis regional de crecidas, es estimar un factor de frecuencia ( $K_{TR}$ ), de un sitio o lugar de la cuenca donde no se dispone de información, para sustituirlo en la siguiente ecuación:

$$Q_{TR} = K_{TR} * Q_I \dots \dots \dots \text{ Ecuación 8.2}$$

Los factores de frecuencia que se deducen del análisis regional de crecidas en la Región Hidrológica VI, se muestran en la tabla 8.4.

**TABLA 8.4** Factores de frecuencia ( $K_{TR}$ ) de distribuciones teóricas, donde los parámetros se estimaron con momentos convencionales.

Periodo 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	0.91	0.91	0.90	0.85	0.57	0.79	0.89
5	20	1.57	1.27	1.39	1.39	0.94	1.51	1.34
10	10	2.01	1.77	1.71	1.81	1.27	2.47	1.68
25	4	2.55	2.25	2.11	2.38	1.84	5.04	2.20
50	2	2.96	2.61	2.39	2.93	2.39	9.41	2.70
100	1	3.37	3.04	2.66	3.49	3.08	19.11	3.32
200	0.5	3.77	3.32	2.93	4.10	3.92	42.13	4.12
1000	0.1	4.70	4.12	3.52	5.30	6.73	55.26	6.79

**FUENTE:** Elaboración propia en base a datos de Excel e HidroEsta. Enero de 2009

La aplicación de los factores de frecuencia en la tabla 8.3, por ejemplo para los cuantiles modulares para diferentes periodos de retorno o factores de frecuencia ( $K_{TR}$ ), se puede estimar, el caudal para un determinado punto, en una de las cuencas pertenecientes a la región VI, sustituyendo en la ecuación:  $Q_{TR} = K_{TR} * Q_I$ . Así por ejemplo, para estimar el caudal para un periodo de retorno de 100 años mediante la distribución Log-Normal, la ecuación sería:  $Q_{TR} = 3.49 * Q_I$ .

Sustituyendo el caudal índice ( $Q_1$ ), obtenido mediante la ecuación potencial,  $Q_1 = KA^n$ , en donde  $Q_1$ , estaría en función del área de la cuenca tributaria. Para este caso el caudal índice se estimaría mediante la ecuación:  $Q_1 = 0.6276 A^{0.9277}$ .

Para el caso de de los factores de frecuencia estimados con momentos lineales, se muestran en la tabla 8.5.

**TABLA 8.5** Factores de frecuencia (KTR) de distribuciones teóricas, donde los parámetros se estimaron con momentos lineales.

Periodo de retorno (años)	Probabilidad de excedencia (%)	Distribución teórica de frecuencia				
		Gumbel	Gama	Log Normal	Log Gumbel	Log Pearson III
2	50	0.91	0.77	0.85	0.78	0.18
5	20	1.40	1.51	1.34	1.28	0.28
10	10	1.72	2.05	1.72	1.80	0.37
25	4	2.12	2.77	2.25	2.81	0.54
50	2	2.42	3.31	2.68	3.96	0.71
100	1	2.72	3.84	3.15	5.63	0.92
200	0.5	3.02	4.38	3.66	8.07	1.19
1000	0.1	3.71	5.59	5.02	19.42	2.15

**FUENTE:** Elaboración propia en base a datos de Excel e HidroEsta. Enero de 2009

Igualmente se observa que la distribución teórica de frecuencia, Log-Gumbel, presenta valores altos, con relación a valores de  $K_{TR}$  de las distribuciones de Gama y Log Normal.

De los análisis de factores de frecuencia, se puede afirmar que son técnicas estadísticas que ayudan a comprender mejor el comportamiento de las crecidas. La interpretación y manejo de la información generada, dependerá del criterio que se tenga acerca de la hidrología, de las condiciones del área y el tipo de proyecto que se este implementando.

Por último, hay que recordar que en nuestro país, la principal limitación de los registros continuos es la poca información obtenida estadísticamente, por lo que en la mayoría de casos, hay que recurrir a estas estimaciones.

Con la información generada de los caudales máximos de la región hidrológica VI y las tablas anteriores, además de otros aspectos, se estimaron algunos caudales de diseño para diversos períodos de retorno, tal como se muestra en las tablas 8.6 y 8.7.

**TABLA 8.6** Ubicación de tres puntos, dentro de la cuenca de estudio, para el diseño de caudales

<b>Sitio</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Caudal índice (m<sup>3</sup>/s)</b>
Nac rio Cahabon Tactic	55.55	44.37
Nac rio Cahabon a Puente nuevo	280.22	246.62
Nac rio Mestela a Puente talpetate	59.71	47.90

**FUENTE:** Elaboración propia, enero de 2009.

La elaboración de esas tablas, permiten tener información útil para llevar a cabo por ejemplo, el diseño de caudales para una determinada obra hidráulica de ingeniería, dentro de la cuenca. Por otra parte, debido a la falta de estaciones hidrométricas y de la poca información estadística de un registro continuo de años, estos datos, permiten comprender mejor el comportamiento de las crecidas, con diferentes períodos de retorno y distribuciones teóricas.

**TABLA 8.7** Caudales máximos anuales ( $m_3/s$ ) estimados en tres puntos de interés en la parte alta de la cuenca del río Cahabón

Sitio	Tr (años)	Gumbel	Pearson	Log	Log	Log	Log
			III	Normal	Pearson III	Normal ML	Pearson III ML
Nacimiento del río Cahabón a entrada a Tactic	2	41	40	38	39	38	8
	5	70	56	62	60	60	12
	10	89	78	80	74	76	17
	25	113	100	105	98	100	24
	50	131	116	130	120	119	31
	100	149	135	155	147	140	41
	200	167	147	182	183	162	53
	1000	209	183	235	301	223	95
Nacimiento del río Cahabón a Puente Nuevo	2	226	224	210	219	210	43
	5	387	312	343	331	332	68
	10	495	436	447	414	424	92
	25	630	555	586	543	555	133
	50	730	644	722	665	662	174
	100	830	749	860	819	778	227
	200	930	819	1012	1015	903	294
	1000	1160	1015	1307	1674	1238	530
Nacimiento del río Mestelá a puente Talpetate	2	44	43	41	43	41	8
	5	75	61	67	64	64	13
	10	96	85	87	80	82	18
	25	122	108	114	105	108	26
	50	142	125	140	129	129	34
	100	161	145	167	159	151	44
	200	181	159	197	197	175	57
	1000	225	197	254	325	240	103

**FUENTE:** Elaboración propia, enero 2009.

## CAPÍTULO 9

# GESTIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS, EN LA CABECERA MUNICIPAL DE COBÁN

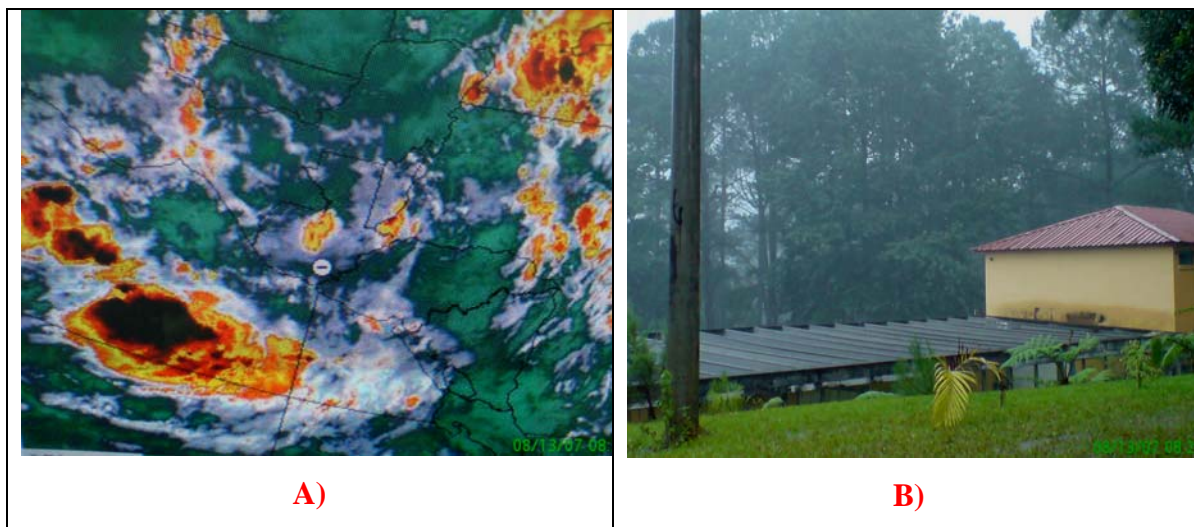
### 9.1 GENERALIDADES

La situación de los riesgos a inundación en la ciudad de Cobán, reveló a partir de la presencia del Huracán Mitch, en noviembre de 1998, que la ciudad de Cobán quedó susceptible a la amenaza por inundaciones, ya que el río Cahabón se desbordó, en las áreas topográficamente más bajas de las zonas 3, 7 y 8 (El Recreo y Residenciales Imperial), inundando varias viviendas y dañando infraestructura como carreteras y puentes.

Además de afectar otras zonas (1, 4,5, 10,11 y 12), donde la mayoría de gente construyó sus casas, en antiguos canales naturales y obstruyó sus cauces, lo que provocó mayor inundación de viviendas y de calles. Las lluvias duraron aproximadamente 3 días, pero fue suficiente para afectar la mayor parte de la ciudad de Cobán.

Luego del Huracán Mitch (con un intervalo de tiempo de aproximadamente 8 años), el fenómeno hidrometeorológico de las lluvias intensas vuelven a repetirse, a consecuencia de una depresión que tocó las tierras de Alta Verapaz (Fotografía 9.1 a, b), esta vez las lluvias se dieron los días 12 y 13 de agosto de 2007, con una duración aproximada de 2 días, pero las intensidades de lluvia, fueron notablemente altas, tal como se analizó en el hietograma elaborado con datos de la estación del CUNOR.

**TABLA 9.1** Fotografías de imagen infrarrojo y lluvias intensas en el área de Cobán, durante la depresión de los días 12 y 13 de agosto de 2007.



**Referencia**

**A)** Depresión, que toca el departamento de Alta Verapaz. Imagen infrarrojo. Modificado de: INSIVUMEH, <http://www.meteo.gc.ca/data/satellite>. Visitado: 13/08/2007. 8:29 a.m.

**B)** Muestra las intensas lluvias que se registraron en la estación del CUNOR. Nótese la saturación del suelo en la grama. Tomado por: Bernie G. Castillo M. Fecha: 13/08/2007. 8:22 a.m.

La importancia de contar con imágenes infrarrojo, es ir monitoreando cada hora el comportamiento o la trayectoria de la depresión o tormenta. Para el caso de Alta Verapaz y en especial para la ciudad de Cobán, nadie imaginaria que la depresión climática, tuviera efectos desastrosos en el transcurso de la noche, del día 12 de agosto. Para el día 13 ya los suelos se encontraban muy saturados. Mientras que en unas zonas de la ciudad de Cobán se inundaban, en otras se producían deslizamientos y grietas en el terreno. Quizás con las lecciones aprendidas de las últimas inundaciones, en el futuro, las poblaciones ubicadas en las zonas susceptibles a esta amenaza, puedan estar más en alerta y no poner en riesgo sus vidas, tal como sucedió en esta ocasión.



## 9.2 EVALUACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Basado en entrevistas y visitas de campo con personas de la tercera edad y mediante la generación de un mapa de multiamenazas para Cobán (con ayuda de la Carrera de Geología), elaborado durante la inundación de los días 12 y 13 de agosto de 2007, se conocieron algunas de las causas y los sectores más vulnerables a las inundaciones, principalmente en la ciudad de Cobán (Tabla 9.2).

**TABLA 9.2** Muestra las amenazas y lugares afectados por las inundaciones de agosto de 2007.

<b>AMENAZA NATURAL O ANTRÓPICA</b>	<b>LUGAR</b>	<b>CAUSAS/OBSERVACIONES</b>
A. Saturación del suelo y formación de nacimientos de agua y activación de corrientes naturales.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. INJUD, zona 11</li> <li>2. Hospital General, zona 11</li> <li>3. Barrio Chimax, zonas 4 y 11</li> <li>4. Instituto Emilio Rosales Ponce, zona 11.</li> <li>5. Barrio La Libertad, zona 11.</li> <li>6. Barrio Chiguarrón, zona 10</li> <li>7. Periférico Norte</li> </ol>	Debido a que infraestructura (viviendas, caminos y carreteras), se encuentran sobre estas fuentes hídricas. Las crecidas se incrementaron, debido a la obstrucción de estos manantiales y corrientes naturales, además de la saturación de los suelos. La geomorfología del área de Cobán, esta configurada por dolinas o sumideros (siguanes), debido a la actividad cárstica generada, por el tipo de roca caliza que se desarrolla en ese lugar.
B. Inundaciones de las partes planas del río Cahabón	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Comunidad Petet, Chicoj y la Esperanza, zona 12.</li> <li>2. Barrio Chichochoch y Finca Magdalena, zona 5.</li> <li>3. Residenciales Imperial, zona 8.</li> <li>4. El Recreo, zona 3.</li> <li>5. Sector el Arco, zona 4 y zona 10</li> </ol>	La mayor parte de estos lugares, son considerados como llanuras de inundación. Muchos de estos lugares quedaron incomunicados por más de dos días.
C. Deficiente diseño de tuberías de drenaje	La mayoría de las zonas de Cobán, presentan tuberías de desagüe, sin diámetro adecuado de diseño, para evacuar las aguas pluviales, como por ejemplo, el caso de la 5ª.calle de la zona 4, avenida principal del Instituto Emilio Rosales Ponce, La Terminal, zona 4 y otros lugares.	Con lluvias intensas en estos sectores, las personas y sus propiedades se ven afectados económicamente. También existen riesgos a la salud humana, por el colapso del drenaje pluvial y de aguas residuales.
D. Formación de lagunas naturales	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Quinta calle de la zona 4.</li> <li>2. Calle de Las Victorias, zona 1</li> </ol>	La acumulación constante de agua pluvial, provocó el desborde del nivel normal de

	3. Detrás del hospital general, zona 11.	estas lagunas e inundo rápidamente las viviendas
E. Altas pendientes	1. Colonia 30 de junio, zona 1. 2. Avenida principal de Correos, parte baja del Colegio Imperial y Deorsa, zona 3. 3. Colonias Esfuerzo I y II, zona 12. 4. Entre otras zonas.	Las partes topográficamente más altas de terrenos y calles pavimentadas, provocó que la escorrentía fluyera a terrenos mas bajos, acumulándose en calles y viviendas, provocando la migración de las personas a lugares mas seguros.
F. Impermeabilización del suelo por desarrollo urbano.	La mayoría de las 12 zonas del área urbana de Cobán.	Las calles en su mayoría pavimentadas provocan que el agua se escurra y no se infiltre al subsuelo de manera natural. Esas mismas calles y avenidas, han servido como barrera, impidiendo también la filtración de agua a los siguanes y corrientes subterráneas. Por razones de seguridad muchas personas sellan o tapan los siguanes o dolinas, provocando más obstrucción a los cauces naturales. También la construcción de edificios y viviendas, ha obstruido las corrientes efímeras.
G. Contaminación ambiental por desechos sólidos	La mayoría de las 12 zonas del área urbana de Cobán.	Demasiados desechos sólidos (basura en calles), lo que obstruye el paso natural de la escorrentía, hacia los tragantes y tuberías. Por otra parte, la deforestación por el cambio de uso de la tierra, ha provocado que el suelo se sature mas rápidamente, rebasando el límite líquido. A este respecto muchas viviendas del Esfuerzo II, colapsaron, ya que los suelos, pasaron del límite sólido a líquido de manera rápida, y si se suma el peso de las viviendas y mal diseño de los cimientos y drenaje, contribuyeron a tener un bajo factor de seguridad en las cimentaciones.

**FUENTE:** Elaboración propia, en base a datos de campo, 2007-2008.

La tabla 9.3, muestra fotografías de vuelo de las inundaciones y crecidas en diferentes sectores del área urbana de Cobán. Aunque no fue el paso de un huracán por la región, tal como sucedió durante el Mitch en noviembre de 1998, sino una depresión climática, esto fue suficiente para provocar el bloqueo en calles y avenidas principales de la ciudad. La intensidad registrada en la estación del CUNOR, para los dos días fue de 276.10 mm.

**TABLA 9.3** Fotografías de vuelo, después de la inundación de agosto de 2007.

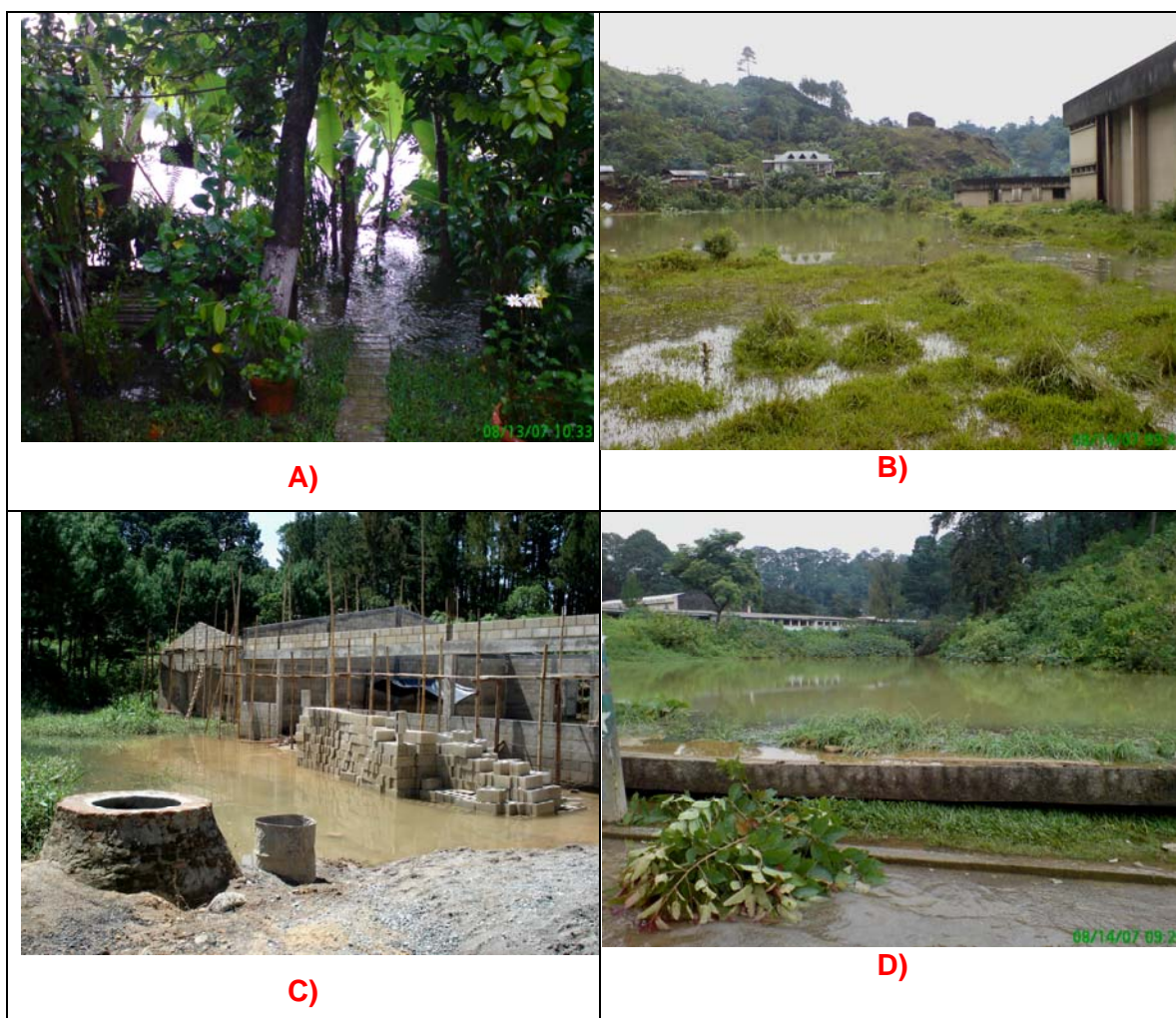


**Referencia**

- A)** Área del INJUD, zona 11. Nótese como la cancha de football se encuentra inundada. En esta área se encuentra nacimientos de agua y corrientes subterráneas naturales, que contribuyeron al volumen de agua. En la parte superior derecha de la fotografía se localiza el Hospital General, el cuál estuvo incomunicado por 2 días, debido al bloqueo de calles y avenidas. **Cortesía de CODRED, agosto de 2007.**
- B)** Residencias Imperial, zona 8, completamente inundado por el río Cahabón. Esta área es considerada como una llanura de inundación, pese a esto se sigue habitando en estas zonas. **Cortesía de CODRED, agosto de 2007**
- C)** Puente nuevos y plaza Magdalena, zona 5. En estos sectores el río Cahabón se desbordó y casi llega a nivel del puente. Las viviendas aledaños fueron inundadas. **Cortesía de CODRED, agosto de 2007.**
- D)** Puente el Arco, parcialmente inundado, por el río Cahabón. **Cortesía de CODRED, agosto de 2007.**

Otros sectores muestran que el agua se acumuló en lagunas naturales, las cuales se desbordaron, el agua fluyó hacia los lugares topográficos más bajos, pero en su curso, se encontró con barreras como muros, viviendas y calles, lo que repercutió que otras zonas se inundaran repentinamente, por la presión del agua acumulada, tal como se aprecia en las fotografías, de la tabla 9.4.

**TABLA 9.4** Muestra las fotografías de campo de lagunas y obras de infraestructura.



#### Referencia

**A)** Laguna ubicada en la 5ª calle, zona 4. Esta laguna se desbordó e inundó las viviendas cercanas, el día 13 de agosto. Por: Bernie G. Castillo, agosto de 2007.

**B)** Laguna ubicada detrás del Hospital General, zona 11. En esta zona, el agua se acumuló y fluyó a lugares topográficamente bajos y hacia antiguas quebradas. Por: Bernie G. Castillo, agosto de 2007.

**C)** Construcción de edificio, cerca de Supervisión de Educación, zona 6. Esta área se encuentra ubicada, sobre una antigua quebrada, a pesar de ello su construcción no se detuvo. Por: Bernie G. Castillo, agosto de 2007.

**D)** Ruptura de muro del Instituto Normal, Emilio Rosales Ponce, zona 11. El agua al acumularse en este sector, provocó la ruptura repentina del muro y por consiguiente, la inundación de viviendas aledañas. Por: Bernie G. Castillo, agosto de 2007.

A pesar de la amenaza latente por inundación, las personas e instituciones públicas siguen actualmente, construyendo edificios en antiguas quebradas, sin realizar estudios hidrológicos e hidráulicos respectivos.

En las visitas de campo se pudo observar los efectos climáticos, de la depresión climática en el área de Cobán, principalmente sobre el suelo, lo que provocó la inestabilidad de laderas de cerros, producto de la saturación del suelo por las constantes precipitaciones. Esto desencadenó que las viviendas en particular de las colonias la Esperanza y Esfuerzo II colapsaran, pero gracias a Dios, no hubo pérdidas de vidas humanas en este sector (Tabla 9.5).

Algunas laderas de los cerros de la colonia la Esperanza, zona 12, presentaron grietas extensas, que pudieron representar más riesgo a la población ya que pudieron colapsar. Como medida de prevención, la Carrera de Geología sugirió a los de CONRED, evacuar a la gente a los respectivos albergues.

La vulnerabilidad económica en los sectores rurales, como la colonia la Esperanza, Esfuerzo II y Petet, en la zona 12 de Cobán, se vio reflejada, en la pérdida de viviendas y cultivos principalmente (Tabla 9.5). Las multiamenazas localizadas en esos sectores, corresponden a inundaciones, deslizamientos y generación de grietas en el suelo.

**TABLA 9.5** Muestra fotografías de los sectores de amenaza por deslizamientos y pérdidas económicas en cultivos.



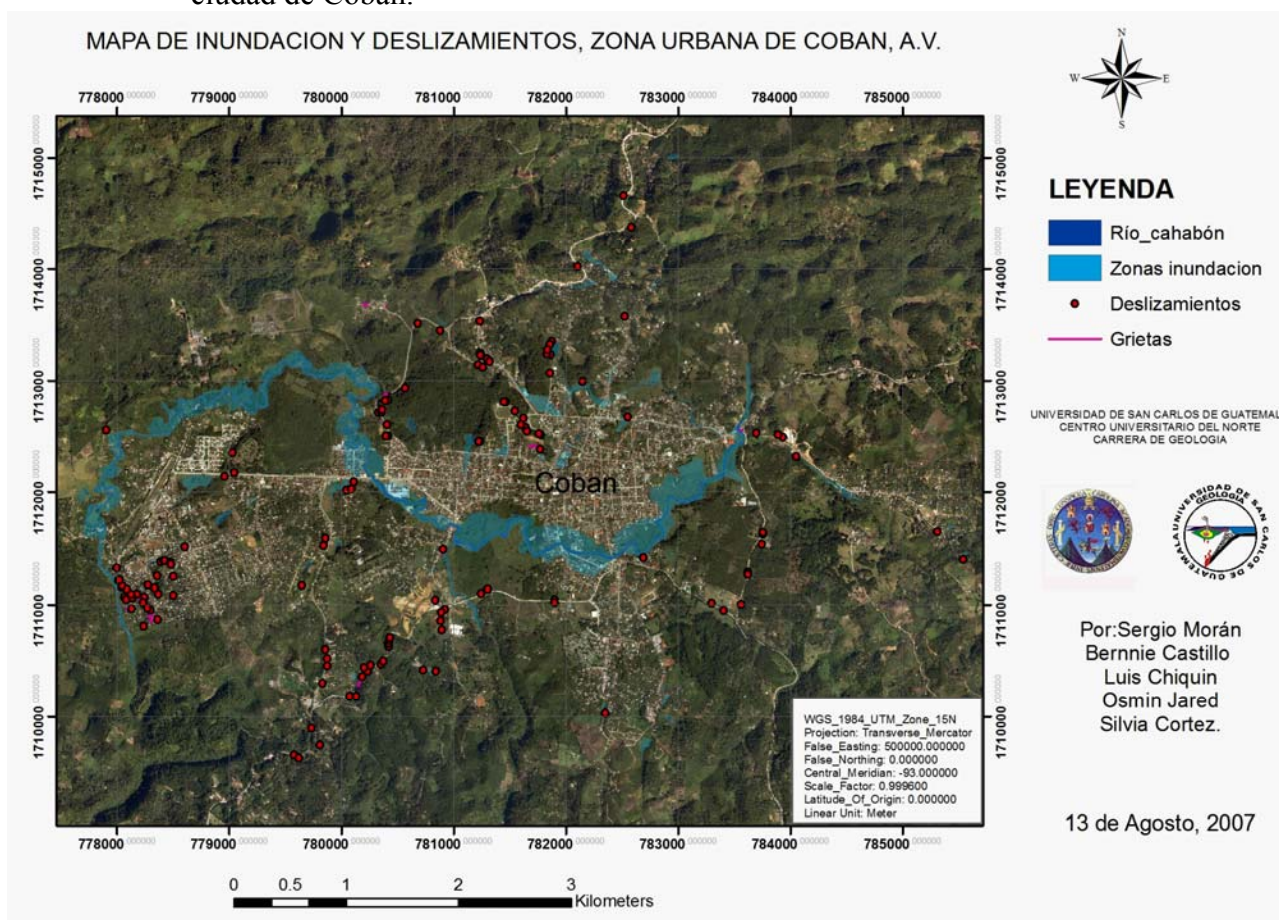
**Referencia**

- A)** Sector del Esfuerzo II, donde se dio un deslizamiento, como consecuencia de las intensas lluvias del 12 y 13 de agosto de 2007. Nótese el riesgo que corren otras viviendas aledañas. Por: Bernie G. Castillo, agosto de 2007.
- B)** Grieta localizada en una ladera de la colonia Nueva Esperanza, zona 11. Esta área se declaró como zona de riesgo para ser habitada. Por: Bernie G. Castillo, agosto de 2007.
- C)** Sector de la colonia la Esperanza, zona 12. Nótese la destrucción parcial de las viviendas, debido a un gran deslizamiento, como consecuencia de las intensas lluvias registradas. Por: Bernie G. Castillo, agosto de 2007.
- D)** Comunidad Petet, zona 12, esta zona fue afectada principalmente por la pérdida de cultivos (maíz y frijol), como consecuencia de los desbordes del río Cahabón. Nótese como la gente se expone a rescatar parte de los cultivos de maíz. Por: Bernie G. Castillo, agosto de 2007.

### 9.3 ELABORACIÓN DE UN MAPA DE MULTIAMENAZAS, PARA LA CIUDAD DE COBÁN

Por iniciativa propia la Carrera de Geología del Centro Universitario del Norte (CUNOR), elaboró un mapa de multiamenazas, en el que se muestran los sectores susceptibles de las doce zonas de la ciudad de Cobán (Mapa 9.1). Tuve el honor de participar en este mapeo los días 12 al 15 de agosto de 2007. Dicha información fue publicada en una revista local (La Brújula, 2007), del CUNOR. Por otra parte, se expuso a las autoridades locales el trabajo realizado.

**MAPA 9.1** Muestra las zonas susceptibles a las amenazas por inundación, deslizamientos y grietas de la ciudad de Cobán.



**FUENTE:** Carrera de geología, CUNOR, Cobán, agosto de 2007

El mapa fue elaborado en la plataforma de ArcGis 9.2, para su aplicación como sistema de información geográfico y como un inventario ilustrativo de las zonas afectadas por las amenazas como: inundaciones, deslizamientos y grietas. Toda la información obtenida se hizo con ayuda de visitas de campo, mapa topográfico, fotografías digitales (ortorectificadas, escala 1:5000, del MAGA, del año 2005), fotografías de vuelo y con información de entrevistas con la gente afectada, para verificar los niveles de agua alcanzados en las viviendas y terrenos y la localización geográfica de las otras amenazas.

Finalmente, los sectores o zonas más vulnerables a dichas amenazas son mostrados en la tabla 9.6:

**TABLA 9.6** Muestra los sectores más susceptibles de amenaza por inundación, deslizamientos y grietas.

<b>AMENAZA</b>	<b>SECTORES O ZONAS VULNERABLES</b>
1. Inundación	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Residenciales Imperial, zona 8</li> <li>2. Chichococ, zona 5</li> <li>3. El Recreo, zona 3</li> <li>4. Chicoj-Petet, zona 12</li> <li>5. Sector Chajxicub, zona 11</li> <li>6. INJUD, Insituto Emilio Rosales Ponce, Barrio La Libertad y Pila de Chiguaron, zonas 10 y 11</li> <li>7. Sector Laguna de los Culteros, zona 1</li> <li>8. Mercado la Terminal, zona 4</li> <li>9. Barrio Sto. Tomas, zona 3</li> <li>10. ASOGAV, zona 1</li> <li>11. Sector Esfuerzo II, frente taller Ulises, zona 12</li> <li>12. Gualom, zona 11</li> <li>13. Barrio San Vicente, zona 2</li> <li>14. Colonia Sachamach, sector 3, zona 6</li> <li>15. Y otros sectores pequeños, visualizados en el mapa</li> </ol>
2. Deslizamientos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Colonia la Nueva Esperanza, zona 12</li> <li>2. Colonia del Esfuerzo II, zona 12</li> <li>3. Otros sectores urbanos, que se observan en el mapa</li> </ol>
3. Grietas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Colonia Nueva Esperanza</li> <li>2. Cerro Sapens, zona 1, detrás del mercado la terminal.</li> </ol>

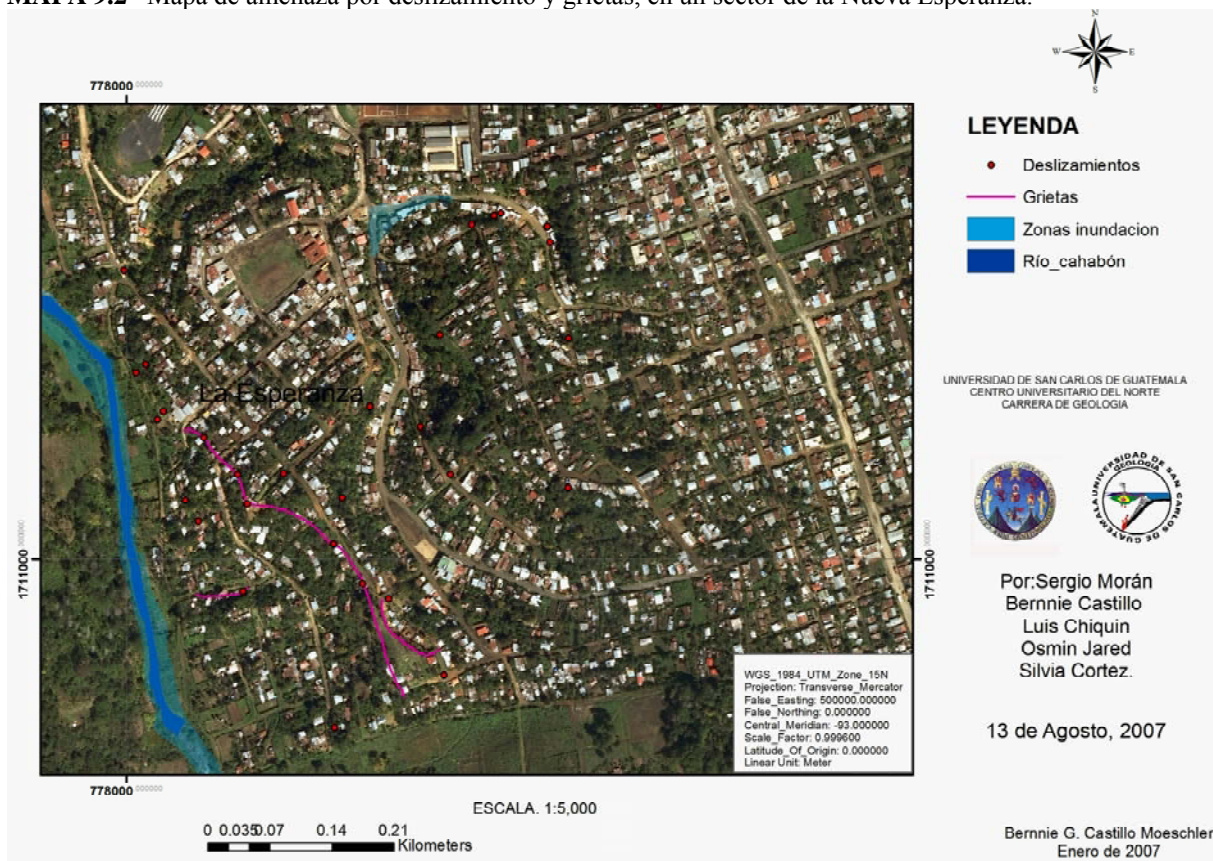
**FUENTE:** Modificado de Carrera de Geología, CUNOR, agosto de 2007.

El sector de la Nueva Esperanza se declaró zona de alto riesgo, debido a que en esta zona se generarán las grietas y deslizamientos en mayor número, tal como se mostró en las fotografías anteriores.



El mapa 9.2 muestra las áreas en donde se localizan los deslizamientos y las grietas a lo largo de la cresta de los cerros. Solo en este sector se localizaron más de 30 deslizamientos y es una de las zonas con mayor índice de población, de la ciudad de Cobán.

**MAPA 9.2** Mapa de amenaza por deslizamiento y grietas, en un sector de la Nueva Esperanza.



**FUENTE:** Carrera de geología, CUNOR, Cobán, agosto de 2007

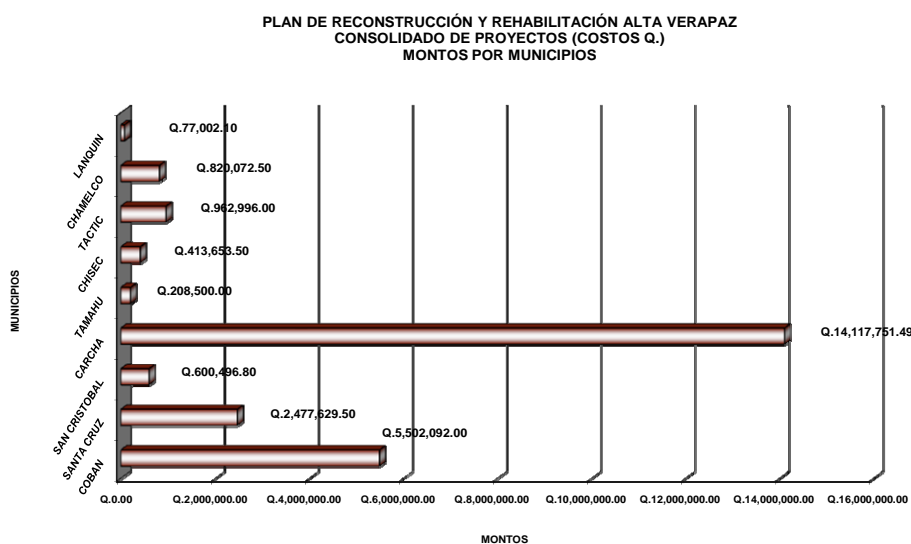
La planificación urbana en este sector no se ha aplicado y la presión sobre el suelo fue evidente en los deslizamientos y grietas generadas por las intensas lluvias. Esta zona también presenta un mal diseño de evacuación de las aguas pluviales. Lo que sumado a la parte ambiental de lugar (deforestación), provocó mayor riesgo a las familias que fueron afectadas, en este sector.

## 9.4 ESTADÍSTICA DE DAÑOS ECONÓMICOS

Según los datos oficiales de la Secretaria Ejecutiva de la coordinadora departamental para la reducción de desastres (CODRED, Cobán), fueron un total de 9 municipios de Alta Verapaz, los afectados por la depresión climática de los días 12 y 13 de agosto de 2007, e incluyen el municipio de Cobán, San Pedro Carchá, San Juan Chamelco, Santa Cruz y San Cristobal Verapaz, Tactic, Tamahú, Chisec y Lanquín. El plan de reconstrucción y rehabilitación para esos municipios, según datos del Consejo Regional de Desarrollo Urbano y Rural, Alta y Baja Verapaz, se muestran en la gráfica 9.1.

Como puede notarse, el municipio de Carchá presentó más daños económicos, principalmente en el sector de vivienda y agricultura, con un costo arriba de 14 millones de quetzales.

**GRAFICA 9.1** Muestra el plan de reconstrucción y rehabilitación de 9 municipios afectados por la depresión de agosto de 2007.



**FUENTE:** CORETUR II, septiembre de 2007

Los datos estadísticos oficiales de daños, proporcionados por la secretaria de CODRED, para la ciudad de Cobán se muestran en la tabla 9.7.



**TABLA 9.7** Plan de rehabilitación y costos de proyectos para el municipio de Cobán

No .	NOMBRE DEL PROYECTO	MUNICIPIO	COMUNIDAD	TIPO DE PROYECTO	APORTE INSTITUCIONAL	COSTO DEL PROYECTO	APORTE A SOLICITAR	OBSERVACIONES
	<b>Vivienda</b>							
	Techo mínimo	Cobán	18 comunidades	Rehabilitación	184,800.00	184,800.00		231 viviendas
	Construcción de vivienda	Cobán	7 comunidades	Reconstrucción	1,353,000.00	1,353,000.00		82 viviendas
					<b>1,537,800.00</b>	<b>1,537,800.00</b>	<b>-</b>	
	<b>Agricultura</b>							
	Dotación de maíz comestible	Cobán	12 comunidades	Rehabilitación		195,390.00	195,390.00	2,171 quintales de maíz perdidos
	Dotación de frijol comestible	Cobán	5 comunidades	Rehabilitación		56,865.00	56,865.00	334.50 quintales de frijol perdidos
	Dotación de fertilizantes para café	Cobán	1 comunidad	Rehabilitación		167.20	167.20	3.04 qq
	Dotación de fertilizantes para cardamomo	Cobán	2 comunidades	Rehabilitación		272.80	272.80	4.96 qq
	Dotación de semillas mejoradas de maíz	Cobán	varias	Rehabilitación		3,451.00	3,451.00	Se dará 0.25 qq de semilla/Mz, a un costo de Q.200.00/qq.
	Apoyo al agricultor (granos básicos)	Cobán	varias	Rehabilitación		22,000.00	22,000.00	Se otorgarán 44 créditos
	Dotación de raciones de alimentos	Cobán	varias	Rehabilitación		600.00	600.00	
					<b>-</b>	<b>278,746.00</b>	<b>278,746.00</b>	
	<b>Agua y Saneamiento</b>						<b>-</b>	

SISTEMA DE AGUA XUCANEB	COBAN	CHILAX	RECONSTRUCCIÓN	-	30,000.00	30,000.00	El Proyecto, consiste en Reconstrucción; lo que significa cambio de la línea de conducción con tubería de 10", puesto que el INFOM, en coordinación con DGC y Municipalidades de Cobán y Chamelco, está realizando el engavionado. La Reconstrucción, quedará bajo responsabilidad de la Municipalidad de Cobán.
SISTEMA DE BOMBEO Area Urbana	COBAN	AREA URBANA	Rehabilitación	-	75,216.00	75,216.00	Bomba 70 HP
				-	<b>105,216.00</b>	<b>105,216.00</b>	
<b>Educación</b>						-	
E.O.R.M.	Cobán	Barrio La Libertad, Zona 11	Construcción	-	380,000.00	380,000.00	
E.O.R.M.	Cobán	Barrio La Libertad, Zona 11	Captación y entubamiento	-	18,000.00	18,000.00	
Escuela de Párvulos	Cobán	Santo Tomas	Construcción	-	450,000.00	450,000.00	
Escuela de aplicación Arturo De La Cruz	Cobán	Cobán	Rehabilitación	-	217,118.50	217,118.50	
Escuela Santo Tomás Purahub	Cobán	Santo Tomas Purahub	Rehabilitación	-	22,500.00	22,500.00	
E.O.U.M. Salvador De Oliva	Cobán	Cobán	Rehabilitación	-	60,000.00	60,000.00	
E.O.R.M.	Cobán	El Corozal	Rehabilitación	-	16,590.00	16,590.00	
E.O.R.M.	Cobán	Sonté	Rehabilitación	-	22,680.00	22,680.00	
E.O.R.M.	Cobán	Saxoc	Rehabilitación	-	45,150.00	45,150.00	
Escuela de Autogestión	Cobán	Purahub	Rehabilitación	-	21,546.00	21,546.00	
				-	<b>1,253,584.50</b>	<b>1,253,584.50</b>	

	<b>Salud</b>							-
	Muro de contención	Cobán	Hospital regional	reconstrucción		30,000.00	30,000.00	50 ml
					-	<b>30,000.00</b>	<b>30,000.00</b>	
	<b>Dragado de Río</b>							-
	DRAGADO, 15 KM RIO CAHABON	Cobán	PETET CHIXIC-PTE-ARCO	rehabilitación	-	1,350,000.00	1,350,000.00	MEDIDA DE MITIGACION
					-	<b>1,350,000.00</b>	<b>1,350,000.00</b>	
	<b>Otros</b>							-
	ADQUISICION TERRENO PARA TRASLADO DAMNIFICADOS	Cobán	Área urbana	rehabilitación	1,056,000.00	3,520,000.00	2,464,000.00	Q20,000.00 / LOTE
	Programa de prevención y erradicación de la violencia intrafamiliar	Cobán	La Esperanza	rehabilitación	1,109.00	6,654.00	5,545.00	parte de un programa
	Hogares comunitarios	Cobán	La Esperanza / EL INJUD	rehabilitación	28,080.00	28,080.00	-	Duración 3 meses
	Creciendo bien	Cobán	5 comunidades	rehabilitación	194,280.00	194,280.00	-	
	Corrección de altura de cables de alta tensión	Cobán	Chajxucub	rehabilitación		15,000.00	15,000.00	
					<b>1,279,469.00</b>	<b>3,764,014.00</b>	<b>2,484,545.00</b>	
<b>TOTALES =</b>					<b>2,817,269.00</b>	<b>8,319,360.50</b>	<b>5,502,091.50</b>	

FUENTE: Modificado de CODRED, Alta Verapaz, septiembre de 2007.



Según se puede analizar en la tabla 9.7, los sectores con costos elevados, lo constituyen las viviendas, que requirieron un costo arriba de 1.5 millones de quetzales, dragado de un sector del río Cahabón, 1.35 millones, adquisición de terreno para traslado de damnificados arriba de 3.5 millones.

Las cifras totales que incluyen los sectores de vivienda, agricultura, agua y saneamiento, educación, salud, dragado de un sector del río Cahabón y otros suman un costo de proyectos de **8,319,360.50 quetzales** y de aporte a solicitar de **5,150,091.50 quetzales**. Estas cifras se aplican solo a la ciudad de Cobán, en tanto que los otros municipios afectados como Carchá se duplican, debido a que la depresión afectó más a este lugar y se solicitaron, obras de ingeniería, para mitigar por ejemplo los desbordes del río Cahabón, con la construcción de muros de contención y de gaviones. Los otros municipios no fueron muy afectados en cuanto a la infraestructura, sino en la agricultura, en el caso de Chisec y Lanquín.

Si bien se ha invertido una buena parte para el dragado del río Cahabón, a veces estas medidas de ingeniería resuelven temporalmente el problema y luego el río vuelve a sedimentarse, los esfuerzos deben hacerse más en estudios técnicos y científicos adecuados sobre la hidráulica del río, a largo plazo.

Considero que a raíz de lo que ha acontecido en los últimos años, con relación a las inundaciones en la ciudad de Cobán y los municipios afectados, se ha de invertir más en proyectos educativos y de investigación sobre el manejo integral de la cuenca del río Cahabón, con enfoque de Gestión para la Reducción de Riesgos. Si en caso se implementan esos proyectos, éstos deben ser sostenibles, respetando el ambiente y los recursos naturales, así como incluir el cambio climático. La propuesta planteada para estos aspectos, se verá a continuación como un aporte del tema de investigación, en especial para la cuenca de estudio.



## 9.5 ACCIONES ESTRATÉGICAS

Las acciones estratégicas a implementar en el área de estudio se resumen en la matriz, como un proyecto (Tabla 9.8). Se pretende que al principio, estas acciones se empleen para la ciudad de Cobán, como modelo, luego debe proyectarse a los otros municipios dentro de la cuenca de estudio. En el caso de la amenaza por inundación en el área estudiada, es necesario realizar una estrategia de preparación, que consiste en tres componentes:

- a) Una organización comunitaria
- b) Estudios técnicos y científicos
- c) Coordinación institucional.

En el caso de la organización comunitaria, ésta debe estar integrada por un coordinador, cuyo rol es dirigir todas las actividades de prevención, mitigación y respuesta.

Para los estudios técnicos y científicos se contemplan evaluaciones de campo e investigaciones científicas, monitoreando las lluvias y los caudales a largo plazo, por ejemplo.

En cuanto a la coordinación Institucional se pretende fortalecer a los actores involucrados en el tema de gestión de riesgos por inundaciones, haciendo eficiente la capacitación a los líderes comunitarios, sobre temas de amenaza por inundaciones, además de gestionar equipo de apoyo para el monitoreo de lluvias y caudales, entre otras actividades. Se pretende que dentro de este grupo se involucre a la Municipalidad de Cobán y a un departamento encargado de la evaluación y seguimiento al proyecto, para que sea sostenible en el futuro.

Los productos principales en el corto plazo, para cada componente principal, se detalla a continuación.

### **A. Organización local comunitaria**

Los productos principales, para esta parte son los siguientes:

1. Plan de emergencia, que incluya aspectos como; situación geográfica del área, objetivos, políticas y metas, diagnóstico de los riesgos, diagnóstico de recursos (estatales y privados), la activación del plan, normas y procedimientos de prevención y protección.
2. Equipo de primeros auxilios. Se pretende gestionar a nivel institucional, conseguir medicamentos básicos como aspirinas, gasas, antibióticos, etc., los que a su vez el Vocal V, designado para este caso, distribuirá estos medicamentos.
3. Un sistema de alerta temprana y alarma, que se convierta en un programa municipal. Se pretende dar aviso a las poblaciones cercanas, sobre eventuales inundaciones, se declarará las siguientes alertas (verde, anaranjada o roja), por medio de micrófono, amplificador de batería y entre los vecinos para avisar rápidamente unos a otros.

### **B. Estudios técnicos científicos**

Mediante la generación de estudios técnicos y científicos, se pretende obtener mapas de amenaza por inundaciones y registros físicos y estadísticos de monitoreo de lluvia y caudales y cuyos datos generados sirvan para el análisis de cambio climático local. Se pretende generar también, un modelo 3D de la topografía del área y de rutas de evacuación, que puedan servir para evacuar a la población en caso de emergencias, ya que para la última inundación de agosto de 2007, las principales rutas de salida y evacuación quedaron bloqueadas por las inundaciones.

### **C. Coordinación institucional**

Los productos que pueden obtenerse de la coordinación institucional, son los siguientes:

1. Planes sectoriales, que pueden ser usados por las instituciones, para la preparación ante amenaza por inundaciones.
2. Varias estaciones hidroclimáticas, cuyo fin será la recopilación de la base de datos para el monitoreo de lluvias y caudales.

**TABLA 9.8** Matriz de un proyecto de gestión de riesgos, de amenazas por inundaciones, en la parte alta de la cuenca del río Cahabón.

OBJETIVO GENERAL	Implementar el presente proyecto de gestión de riesgos a nivel local, dentro de la cuenca de estudio		
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	RESULTADOS	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
<p>A. Proponer la gestión y el monitoreo meteorológico de lluvias y de caudal en la zona de estudio para un mejor entendimiento de la dinámica hidrológica de la parte alta de la cuenca del río Cahabón en relación al clima, para los años venideros.</p>	<p>1. Generación de un mapa de multiamenazas, incluyendo las inundaciones y localización espacial de estaciones pluviométricas, para determinar la intensidad de lluvia (mm/año), de las zonas de Cobán y otros municipios.</p> <p>2. Entendimiento de la dinámica hidrológica de la cuenca y que sirva como instrumento en la toma de decisiones en la gestión tanto de gestión de riesgos como ambiental, importante para la planeación urbana.</p>	<p>1.1 Monitoreo de precipitación, por lo que se han considerado ubicar estaciones pluviométricas en sitios claves, que incluyan la parte alta, media y baja de la cuenca (estaciones fijas), obteniendo así una gama de datos para elaborar mapas del cambio en la precipitación y temperatura local (microclima) y proponer modelos, que sirvan para el manejo sostenible de la cuenca, desde el punto de vista de las aguas superficiales como subterráneas.</p> <p>1.2 Definir las zonas de inundación del río Cahabón en el área de Cobán a escala 1:500, para establecer áreas susceptibles a inundación.</p> <p>2.1 Analizar la morfometría de la cuenca en el área de la ciudad de Cobán, con mayor detalle, así mismo determinar las tasas de erosión y análisis de los sedimentos en suspensión del río Cahabón, etc.</p> <p>2.2 Analizar datos meteorológicos de lluvia máxima diaria de 24 horas, para determinar el umbral máximo de inundaciones en el área de Cobán y su posible tasa de recurrencia en los años venideros. También deben hacerse relaciones entre suelo-agua.</p>	<p>Luego que se implementen estos estudios, se pretende que se puedan aplicar en los otros municipios, generándose así más información a nivel regional.</p> <p>En algunos sectores del río Cahabón, dependiendo de la topografía y geología, se pueden considerar micropresas, para el control del flujo de agua, en la parte media del agua.</p> <p>Con los parámetros que se empiecen a obtener, los estudios de la hidrología e hidráulica del río, servirán de base para los estudios o proyectos, que contemplen obras de ingeniería sobre mitigación de amenazas como las inundaciones.</p>

	<p>3. Organización local comunitaria, con perspectiva de género.</p>	<p>3.1 Capacitación de parte de CONRED o Carrera de Geología, del Cunor, en las consideraciones básicas para el registro y medición de la precipitación y temperatura, dirigidos a los responsables de cada estación meteorológica, que para este caso puede ser trabajadores municipales (cuyo trabajo de monitoreo, sea por turnos), o grupos locales como comudes o cocodes y que deban darle seguimiento y evaluación a largo plazo. En este sentido se pretende la elaboración de dinámicas de distribución de responsabilidades con perspectiva de género, a nivel local, en el caso de darse un desastre.</p> <p>3.2 Educación y entrenamiento sobre amenaza por inundaciones, a niños, hombres y en especial a las mujeres que, ya que se visualiza a las mujeres como actoras sociales a considerar, en la toma de decisiones.</p>	<p>Se debe destacar la necesidad de un enfoque de género organizado para el estudio de los desastres naturales y sus consecuencias</p>
<p>B. Generar información técnica y diagnósticos comunitarios, aplicables en la prevención y/o mitigación de fenómenos naturales, principalmente inundaciones; y difundir esta información para que entidades de socorro, comunidades locales y municipales, así como asociaciones y organizaciones locales de desarrollo, ONG's, entre otras promuevan programas relacionados, a la gestión de riesgos con perspectiva de género.</p>	<p>1. Incremento de la participación de las organizaciones sociales urbanas y rurales con enfoque de género, en las acciones de prevención, mitigación, respuesta y recuperación de amenaza por inundaciones.</p> <p>2. Fortalecer la COLRED. En este sentido se pretende cambiar las creencias relacionadas con el género, dándole mayor participación a las mujeres, para dirigir la coordinadora local. Los resultados serían, contar con una asistencia técnica</p>	<p>1.1 Establecer un sistema de comunicación e información en casos de emergencia (que para este caso pueden ser radios con energía solar, alarmas, etc.)</p> <p>1.2 Diseño de un plan de evacuación a nivel local y comunitario. En este sentido se pretende que el plan incluya las vulnerabilidades físicas, psicológicas, sociales y económicas de las mujeres, cuyo objeto sea reducir la vulnerabilidad.</p> <p>2.1 Organizar y delegar funciones de coordinación en caso de emergencias de amenaza por inundaciones.</p> <p>2.2 Participación en simulacros de amenaza por inundaciones a las poblaciones más susceptibles y promover el involucramiento de las mujeres, ya que disponen de más tiempo en el hogar y están más concientes sobre la(s) amenaza(s), que les pueden afectar a su comunidad.</p>	<p>Un enfoque de género en el estudio y análisis de los desastres naturales es esencial para alcanzar los resultados.</p>

	especializada en género.		
	3. Generar un modelo de preparación comunitaria con énfasis a amenaza por inundaciones	3.1 Realizar talleres y conferencias a las comunidades en riesgo, con la participación de la Municipalidad de Cobán, CONRED, Gobernación, ONG's, etc. Se prevé la participación de las mujeres en proyectos pilotos durante la fase de reconstrucción. Además se pretende usar en el modelo, dibujos, diagramas y demás ilustraciones, tanto de figuras masculinas como femeninas.	Se pretende que las comunidades se involucren y participen, creando conciencia y educación sobre la amenaza por inundaciones y deslizamientos.

**FUENTE:** Elaboración propia, marzo de 2009

### 9.5.1 MITIGACIÓN DE VULNERABILIDADES

Las vulnerabilidades a mitigar relacionadas con el proyecto, en función de la amenaza por inundaciones, sería en su orden las siguientes:

- A. Vulnerabilidad física.** Para este caso se estaría reubicando viviendas o implementando medidas estructurales como construcción de diques, bordas en sectores donde el río Cahabón se desborda, previniendo que muchas viviendas se inunden.
  
- B. Vulnerabilidad socioeconómica.** Contando con apoyo económico, de parte de las Instituciones locales, nacionales o extranjeras, se pueden llevar a cabo proyectos científicos y sociales que pueden servir de beneficio y desarrollo integral para toda la población dentro de la subcuenca, a mediano y largo plazo.
  
- C. Vulnerabilidad ambiental.** Con la ejecución de proyectos de gestión ambiental y de riesgos, se persigue la conservación de la flora y fauna dentro de la cuenca y así evitar la erosión de los suelos y la pérdida de bosques, tal como está sucediendo en la actualidad. En este componente se requerirá apoyo educacional a las poblaciones de las partes altas de la cuenca, para que eviten deforestar y contaminar los manantiales y nacimientos de agua.
  
- D. Vulnerabilidad política.** Mediante la participación de las autoridades locales y la aceptación del presente proyecto de gestión de riesgos, se pretende reducir los daños ocasionados a las viviendas susceptibles a inundarse e infraestructura vial.

- E. Vulnerabilidad educacional.** Con la participación de instituciones educativas públicas y privadas, en temas relacionados a los componentes del riesgo, como lo son las amenazas y vulnerabilidades, con dibujos sencillos e ilustrativos desde los niveles primarios y secundarios, habrá mayor conciencia y entendimiento de cómo las personas pueden preservar los recursos naturales.
- F. Vulnerabilidad institucional.** Esta se pretende reducir, mediante la participación y relaciones estrechas entre las instituciones mencionadas, además de conocer el rol y la actividad que se le delegará, para no duplicar esfuerzos.
- G. Vulnerabilidad organizativa.** Mediante el involucramiento de la sociedad civil (integrada por las 12 zonas de la ciudad de Cobán) y la organización de coordinadoras locales, para atender las emergencias, debida a la amenaza por inundaciones, se pretende coordinar de manera adecuada y organizada las actividades y que la ayuda económica y de suministro de víveres sea distribuida de manera equitativa y que se tenga la colaboración de las personas para monitorear datos de lluvia y caudales.

### 9.5.2 ADAPTACIÓN DEL PROYECTO AL CAMBIO CLIMÁTICO

Con relación a la adaptación del proyecto, habría que analizar que tan susceptible sea el municipio dentro de la cuenca, sobre el cambio climático, para ello hay que tomar en cuenta los aumentos o disminuciones, por ejemplo de las lluvias intensas o repentinas, y los aumentos o disminuciones de la temperatura, los caudales mínimos, máximos o extremos, también hay que tomar en cuenta amenazas como sequías, heladas entre otras , para ello se planteó dentro de los resultados (Tabla 9.9), el entendimiento hidrológico de la cuenca, en relación al clima.



Para ello se hace necesario implementar varias estaciones pluviométricas y estaciones de aforo para la medición de caudales, para generar bases de datos de lluvias, caudales, temperaturas y estudios de suelos a largo plazo (año 2009-2030), para que los análisis estadísticos, como lo son las tasas de recurrencia y probabilidades de que se repitan las amenazas sean mas confiables y exactas. Mediante el análisis de los datos hidrometeorológicos, para la cuenca de estudio, elaborar un modelo de cambio climático. Pero para que estas medidas y actividades se lleven a cabo con éxito es necesario tener en cuenta las acciones, decisiones y relaciones entre las comunidades, instituciones y los estudios técnicos científicos, además del apoyo financiero, de personal, de equipo y tecnología de las instituciones involucradas.

Todas las actividades y objetivos del proyecto, con relación al cambio climático, se plasman en el Tabla 9.9, las vulnerabilidades planteadas, se hicieron en función de la evaluación de campo hecha, durante la última crecida de agosto de 2007.

**TABLA 9.9** Matriz de un proyecto de gestión de riesgos, de amenazas por inundaciones, con adaptación al cambio climático, en la cuenca del río Cahabon, en Cobán, Alta Verapaz

OBJETIVO GENERAL	Implementar el presente proyecto de gestión de riesgos a nivel local, para proteger los medios de vida, de la población de de la cuenca, desarrollando actividades que contribuyan a reducir el riesgo a desastres, para mejorar su adaptación al cambio climático.		
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	AMENAZAS CLIMÁTICAS	VULNERABILIDADES	ACTIVIDADES/MEDIDAS DE PREVENCIÓN
<p>A. Fortalecer las capacidades locales de las comunidades de la subcuenca del río Cahabón, para adaptar sus medios de vida a eventos climáticos extremos en la zona.</p>	<p>1. Cambio climático, eventos extremos de alta pluviosidad (precipitación) y sequías.</p>	<p>1. <b>Física.</b> Viviendas, infraestructura y personas.</p> <p>2. <b>Socioeconómica.</b> La poca aplicación de políticas sobre la tenencia de la tierra y sobre las condiciones socioeconómicas para determinar la ubicación y reubicación de viviendas en zonas de amenaza alta, hacen que algunas zonas, no tengan un desarrollo y calidad de vida adecuados, como lo manda la Constitución de la República de Guatemala.</p>	<p>1. Evaluar la posible reubicación, protección con muros de concreto armado, o muros de protección con llantas (<b>Ver anexos 2 y 3</b>) o reforzamiento de viviendas; en los asentamientos humanos ubicados en cercanías de zanjones o cárcavas (para este caso se priorizaran las viviendas de la zona 12 del área rural de la Ciudad de Cobán, que han sido afectadas en la pasada inundación de agosto de 2007).</p> <p>2. Capacitación de familias ubicadas en zonas rurales en técnicas de crianza y cultivo en condiciones de alto riesgo climático, y en el manejo adecuado de suelos.</p> <p>3. Acceso y uso de información climática por parte de los líderes de los comités municipales de desarrollo y productores rurales.</p>

<p>B. Desarrollar las capacidades técnicas y organizativas de los pequeños agricultores para reducir la pobreza y el impacto de la agricultura migratoria.</p>	<p>2. Erosión de suelos y degradación ambiental de los bosques de las partes altas de la cuenca, producida por la agricultura migratoria.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Ambiental.</b> Deforestación de los bosques, para uso industrial, combustible y para la agricultura.</li> <li>2. <b>Educacional.</b> La falta de educación y sensibilidad sobre el cuidado y preservación de los bosques, repercute en la disminución de los recursos hídricos, dentro de la cuenca.</li> <li>3. <b>Demográfica.</b> Crecimiento urbano y rural desorganizado, que causa presión sobre los recursos naturales.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Implementación de sistemas de Información geográfica, para la gestión local de reducción de los riesgos.</li> <li>5. Educación y entrenamiento sobre amenaza por inundaciones, a niños, hombres y en especial a las mujeres que, ya que se visualiza a las mujeres como actrices sociales a considerar, en la toma de decisiones.</li> <li>6. Realizar análisis de caudales y lluvias extremas, con relación a crecidas y sequías.</li> </ol> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Implementar el uso de tecnologías adecuadas para la adaptación de los sistemas productivos rurales al cambio climático.</li> <li>2. Manejar convenientemente las plantaciones forestales orientándolas al rendimiento sostenido, con la finalidad de que las mismas se constituyan en fuentes permanentes de madera y leña para las comunidades, reduciendo de alguna forma la presión sobre los escasos bosques naturales.</li> </ol>
--	---	--	--

<p>C. Mejoramiento de las capacidades locales de las comunidades rurales para reducir su vulnerabilidad y adaptar sus medios de vida al cambio climático.</p>	<p>1. Reducción de recursos hídricos (nacimientos de agua) y cambio climático.</p>	<p>1. <b>Ambiental.</b> Contaminación de los recursos hídricos por los desechos sólidos y heces fecales.</p>	<p>3. Implementar un programa de reforestación masiva con terrazas individuales en las partes altas, para lo cual se recomiendan las especies pino (<i>P. <u>maximinoii</u></i>), ciprés común (<i>C. <u>lusitánica</u></i>), taxiscobo (<i>P. <u>grande</u></i>), liquidambar (<i>L. <u>styraciflua</u></i>) y encino (<i>Quercus sp.</i>)</p> <p>4. Propiciar cultivos limpios en callejones, sistemas agroforestales con las especies mencionadas con anterioridad, o asociar cultivos de temporada con frutales para lo cual se recomienda aguacate (<i>P. <u>americana</u></i> var. Hass), cítricos (<i>Citrus sp.</i>) e injerto (<i>C. <u>viride</u></i> Pittier).</p> <p>5. Aplicación de políticas y planes de ordenamiento territorial, a proyectos de gestión ambiental y de reducción de riesgos.</p> <p>1. Implementación de metodologías e instrumentos para el manejo de conflictos por el agua y la gestión integral de los recursos hídricos.</p>
---	--	--	--

		<p>2. <b>Socioeconómica.</b> La falta de distribución equitativa sobre los recursos hídricos, la lejanía y aspectos económicos, hace que ciertas comunidades ubicadas dentro de la cuenca, sobreexploten los recursos hídricos o hagan mal uso de los mismos.</p>	<p>2. Puesta en marcha de estrategias locales y regionales de gestión local de riesgos y de adaptación al cambio climático.</p>
--	--	---	---

**FUENTE:** Elaboración propia, marzo de 2009.

### 9.5.3 SOSTENIBILIDAD DEL PROYECTO

La sostenibilidad la concibo como el paso de un proyecto concreto a un proceso continuo, impulsado por los actores locales (comunidades que conforman las 12 zonas dentro de la subcuenca de estudio), a través de estructuras organizacionales e institucionales propias, representadas por la Municipalidad de Cobán, como ente principal. El involucramiento de la sociedad civil, es muy importante, a través de las relaciones: comunidad local, instituciones y universidades, se concreticen en un mayor éxito, tomando en cuenta también el seguimiento y evaluación continua al proyecto de gestión de riesgos, a largo plazo.

Una lección clara y según se ha visto en la ciudad de Cobán, es que sin presencia y compromiso de las municipalidades y comunidades, las oportunidades de éxito y sostenibilidad se reducen enormemente. La municipalidad se constituye en el nivel de cohesión más adecuado para movilizar a los actores locales, y sus atributos en el desarrollo local y en la planificación del uso del territorio y en el emprendimiento del proyecto de Gestión de Riesgos, que se quiere implementar.

## CAPÍTULO 10

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los resultados obtenidos se presentan las siguientes conclusiones y recomendaciones.

#### 10.1 CONCLUSIONES

A continuación se describen las conclusiones generales y específicas referentes al estudio realizado.

1. En cuanto al análisis del marco legal, se concluye que los Artículos relacionados al tema de los desastres e inundaciones, no se llevan a la práctica por parte de los entes encargados.
2. Con relación al análisis multianual de la estación Cobán, se destacan valores altos de lluvia, que están en el rango de 2530-2652 mm, para los años de 1988, 1996 y 2007. Estos datos constituyen eventos extremos, directamente relacionados con las crecidas en el área de estudio.
3. Al realizar el error cuadrático mínimo y la posición relativa de la mayoría de curvas teóricas de frecuencia, de los datos de lluvia máxima de 24 horas, se concluye que la distribución que mejor se ajusta a los valores observados, fue la distribución Log Normal, coincidiendo con la que recomienda el INSIVUMEH (2004), para el estudio de lluvia máxima diaria de las 8 regiones hidrológicas de Guatemala.

4. El valor máximo de lluvia más frecuente para el periodo de retorno corresponde a la distribución Log Gumbel ML con 25 años. El valor correspondiente para ese período fue de 197.13 milímetros y probabilidad de excedencia de 4.07%, usando un ajuste de momentos lineales.
5. Se obtuvo la ecuación del caudal índice para la cuenca. El coeficiente de determinación para dicha ecuación representa un valor alto, lo que significó un mejor ajuste de los datos, desde el punto de vista estadístico.
6. En cuanto a la generación de la tabla de caudales máximos anuales, estimados en diversos sitios de interés en la parte alta de la cuenca del río Cahabón, se concluye que pueden ser usados como una guía, para el diseño de obras hidráulicas de ingeniería.
7. La deforestación excesiva y la urbanización no controlada en las partes altas y bajas de la cuenca, ha provocado la pérdida de suelo, lo que se ha reflejado en una excesiva saturación de los suelos y por consiguiente se han generado remociones de masa; tales como deslizamientos y derrumbes, que para este caso de investigación se tienen los sectores de la colonia Nueva Esperanza y el Esfuerzo II (ubicadas al SW del mapa de amenaza) y carreteras principales.
8. Del análisis morfométrico se concluye que la parte Norte de la cuenca se encuentra ubicada sobre dolinas (en rocas calizas), esto se vio reflejado en la cantidad de canales de orden uno generados en esta zona, lo que hace más complejo el estudio hidrológico en la zona.



9. La implementación de medidas estructurales o de ingeniería sobre el río Cahabón, como es el caso de dragados, desvío de canales naturales, construcción de bordas, etc., pueden implementarse dentro de la cuenca de estudio, siempre y cuando se incluyan estudios hidrológicos e hidráulicos, en función de estudios socioeconómicos de beneficio-costos, para tratar de mitigar las inundaciones en áreas de riesgo.
  
10. Con base al estudio y consultas de campo se estableció que las zonas urbanas más susceptibles a las inundaciones, se deben a cambios en el trazo original del río Cahabón y obstrucción de nacimientos y dolinas, por lo que el agua se desborda a zonas donde la pendiente lo permita, lo que causa inundaciones rápidas en las viviendas.

## 10.2 RECOMENDACIONES

1. Para realizar un análisis regional de crecidas, obtener en la medida de lo posible series con mayor cantidad de datos y verificar que sean de cierta confiabilidad.
2. Que los proyectos ingenieriles (infraestructura, edificaciones, puentes, etc), dentro de la cuenca, adopten estudios de gestión para la reducción de riesgos, a raíz de la última inundación de agosto de 2007.
3. Continuar con el monitoreo de la lluvia, tanto en la estación del CUNOR como en la estación del INSIVUMEH de Cobán.
4. Actualizar la geología dentro de la cuenca de estudio, a escala 1:25,000.
5. En el área de estudio, previo a la construcción de infraestructura se deben realizar estudios de mecánica de suelos.
6. Gestionar estaciones locales para el monitorio de caudales, en secciones de los puentes nombradas como “puente nuevo” y “el arco” de la ciudad de Cobán.
7. Estudiar más la cuenca del Río Cahabón, en su parte superior y media, para definir sistemas de alerta temprana.
8. En caso de pavimentar redes viales (calles y avenidas), en las 12 zonas de Cobán, se debe diseñar el sistema de drenajes, con diámetros de tubería adecuados, conforme al volumen promedio de precipitación caída.

9. Mediante el mapa de multiamenazas realizado por la Carrera de Geología, en agosto de 2007, se recomienda que las autoridades municipales y estatales, apliquen las políticas de planeamiento urbano y rural, así como la realización de un ordenamiento territorial.

---

---

**PARTE IV. BIBLIOGRAFÍA Y  
ANEXOS**

## BIBLIOGRAFÍA

- Chiquín Marroquin, Luis Gustavo. *Caracterización geológica del karst en la porción sur de Alta Verapaz.*. Tesis Ing. Geo. Alta Verapaz Gt Usac/Cunor, 2004.
- Chiquín Yoj, Mauricio. *Los Bloques Maya y Chortí, Centro América Norte.* Traducción Libre. Carrera de Geología. Cobán, A.V, Gt. Usac/ Cunor, 2002. (Documento digital, en Formato Word)
- \_\_\_\_\_. *Geología de Centro América Norte.* Traducción Libre, Carrera de Geología, Cobán, A.V. Gt Usac/Cunor: CUNOR, 2001 (Documento en Formato Word).
- \_\_\_\_\_. *Margen Neógeno entre las placas Norte América-Caribe, a través de Centro América Norte: Desplazamiento a lo largo de la Falla Polochic.* Traducción Libre. Carrera de Geología, Usac/Cunor, Cobán, A.V, Gt. 2002. (Documento digital en Formato Word).
- Congreso de la Republica de Guatemala. *Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente., Decreto No. 68-86.* Guatemala: (Documento digital de Word).
- CONRED. (Coordinadora Departamental de Reducción de Desastres., Gt.). *Cuadro de situación de consolidado final. Secretaria Ejecutiva de la CONRED, Región II, Las Verapaces. 2004-2008.* Cobán, A.V., Gt. CONRED. (Documento digital en Excel. Septiembre de 2007).
- COREDUR. (Consejo Regional de Desarrollo Urbano y Rural, Alta y Baja Verapaz, región II). *Plan de rehabilitación y reconstrucción de Alta Verapaz.* Cobán, A.V., Gt. COREDUR, 2007 (Documento digital en Excel)
- Coy Choc, Boris Otoniel. *Evaluación hidrogeomorfológica de la vertiente del Atlántico, en el departamento de Alta Verapaz.,* Tesis Ing. Geo. Alta Verapaz, GT. USAC/CUNOR, 2004.
- Donelly, Thomas. et al., *Northern Central America; The Maya and Chortis blocks.* New York, US: The Geological Society Of America: 1990. (Documento en formato Pdf).
- Gonzáles Vallejo, Luis I.,et.al. *Prevención de riesgos geológicos.* Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Prentice Hall. 2004..

- Hernández, Francisco. *Estudio morfométrico de la cuenca del Río Cahabón hasta la estación Cahaboncito*. Guatemala: Instituto Geográfico Nacional. 1971.
- Herrera Ibañez, Isaac R. *Manual de hidrología*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 1995.
- INDE (Instituto Nacional de Electrificación, Gt.). *Boletines hidrológicos anuales: 1963-2002*. Guatemala: INDE, Sección de Hidrología y Servicios Hídricos. s.f.
- INE (Instituto Nacional de Estadística, GT.). *Anexo estadístico, XI de Población y VI de habitación 2002*. Cobán, A.V. Gt. INE, Región II. (Archivos digitales en formato Word)
- INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Gt.). *Boletines hidrológicos anuales: 1963-2002*. Guatemala: INSIVUMEH, Sección de Hidrología del Departamento de Investigación y Servicios Hídricos. s.f.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT.) *Mapa topográfico de Guatemala, hoja Cobán, (216261-III)*. Guatemala: IGN. Esc. 1:50,000 Color, 1996.
- Congreso de la República de Guatemala. *Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente, Decreto No. 68-86*. (Documento digital de Word)
- MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Gt.) *Base de datos del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica*, Guatemala: SIG-MAGA, 2001. (Formato CD 8mm).
- Orozco, Elfego. *Análisis regional de crecidas*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, 2007. (Documento Digital de Word).
- Pérez Bol, Edgar Rolando. *Léxico estratigráfico del Bloque Chortí en Guatemala*. Tesis Ing. Geo. *Alta Verapaz*. Gt. USAC/CUNOR, 2000.
- Yash Asencio, Edwin Orlando. 2003. *Evaluación de la amenaza por inundación en la parte Occidental de la Cuenca del Río Cahabón*. Tesis Ing. Geo. *Alta Verapaz, Gt*, USAC/CUNOR, 2003.

## BIBLIOWEB

- Asamblea General de las Naciones Unidas. *Declaración Universal de los Derechos Humanos*. Adoptada y proclamada por la Resolución de la Asamblea General 217 A (iii) del 10 de diciembre de 1948. <http://www.un.org/spanish/aboutun/hrights.htm>. (13 abril de 2006).
- Aporrea.org. *Los Desastres*. <http://www.aporrea.org/actualidad/a13255.html>. (31 de enero de 2009)
- Conceptos de Amenaza, peligro o peligrosidad. [http://www.tdcat.cesca.es/TESIS\\_UPC/AVAILABLE/TDX-0416102-075520/04Capitulo2.PDF](http://www.tdcat.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0416102-075520/04Capitulo2.PDF). (31 enero de 2009).
- Ciclo hidrológico. [http://www.meted.ucar.edu/hydro/Basic/FlashFloodCases/es/print version/FoundationTopics.htm](http://www.meted.ucar.edu/hydro/Basic/FlashFloodCases/es/print%20version/FoundationTopics.htm). (12 de junio de 2008).
- Congreso de la República de Guatemala. *Ley forestal decreto número 101-96*. <http://www.iufro.org/download/file/810/3026/ley-forestal-guatemala.pdf>. (13 de abril de 2006)
- \_\_\_\_\_ *Ley de vivienda y asentamientos humanos*. Decreto No. 120-96. [http://www.lahora.com.gt/02/06/18/paginas/nac\\_3.htm](http://www.lahora.com.gt/02/06/18/paginas/nac_3.htm). (13 de abril de 2006).
- \_\_\_\_\_ *Código Municipal*. Decreto número 12-2002. <http://www.google.com.gt/search?hl=es&q=Nuevo+c%C3%B3digo+municipal+%28decreto+No.+12-2002%29%2C%2C+en+Guatemala&btnG=B%C3%BAqueda&lr=> (13 de abril de 2006).
- *Ley de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres de origen natural o provocado, decreto número 109-96*. <http://www.disaster-info.net/saludca/desastresCR/Guatemala/Ley%20de%20CONRED.htm>. (13 de abril de 2006).
- El País.com. *Karst*. <http://www.elpais.com/diccionarios/castellano/karst>. (7 de febrero de 2008)
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, NI). *Configuración tectónica de Centro América y el Caribe*. <http://www.ineter.gob.ni> (2004). (20 de febrero de 2009).
- MAGA (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, GT). *Generalidades sobre las cuencas hidrográficas*. [http://200.12.49.237/SIG\\_MAGA/paginas/atlas\\_tematico/cuencas.htm](http://200.12.49.237/SIG_MAGA/paginas/atlas_tematico/cuencas.htm). (08 de febrero de 2009).

Organización de los Estados Americanos. Washington, D.C. 1993. *Definición de llanura de inundación y evaluación del peligro de inundaciones*. <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch13.htm>. (31 de enero de 2009).

Página oficial del Gobierno de Puerto Rico. *Apoyo Técnico, taller para aprendizaje del programado ArcView versión 9.1*. <Http://www.gobierno.pr/G2GPortal/Inicio/ComunidadIT/SIG/ApoyoTecnico.htm>. (19 de junio de 2008).

Wikipedia La Enciclopedia Libre. *Cambioclimático*. [http://es.wikipedia.org/wiki/Cambio\\_climatico](http://es.wikipedia.org/wiki/Cambio_climatico). (16 de enero de 2008).



ANEXOS

## ANEXO 1. Caudales máximos anuales de las 12 estaciones de la región hidrológica VI

CODIGO	1.03.01 H	1.01.01 H	1.03.02.01	1.06.02 H	1.07.01. H	01.14.1H	2.04.01.01	2.04.02.01	01.07.4H Boca Nueva	1.08.06H	1.07.02H	2.06.02.01H Gracias a Dios
RÍO	Cahabon	Mestela	Tzunutz	Cahabon	Cahabon	Cucanja	Polochic	Matanzas	Boca Nueva	Cahabon	Cahabon	Modesto Dios
ESTACIÓN	Chajcar	Chio I	Carcha	Chipap	Cahaboncito	Tucuru	Telemán	Matucuy	Boca Nueva II	Valparaiso	Chulac	Modesto Méndez
Área (km <sup>2</sup> )	882	63	88	1773	2626	69	1542	845	164	100	2350.5	1377
Elev. msnm	1049	1275	1290	184	1070	443	19	66	12	1450	42.5	1
Cuenca	Rio Dulce	Rio Dulce	Rio Dulce	Rio Dulce	Rio dulce	Rio Dulce	Polochic	Polochic	Dulce	Rio Dulce	Dulce	Sarstun
Año												
1960												
1961												
1962												
1963	94.000											
1964												
1965	100.000											
1966	103.1											
1967												
1968	85.600				1702.000							
1969	85.600				1397.480		238.205		152.868			
1970	85.600				1343.200		248.880		80.107			
1971	161.248			286.742	1317.466		238.098	180.320	134.363			1808.832
1972	113.298		33.445	930.157	1366.223		264.821					
1973	152.208		45.273	988.511	1157.482	45.947	319.368	263.279	182.587			235.672

1974	399.889		24.25	1311.924	3296.207	53.800	272.860	313.300	129.980			352.740
1975	195.230	62.470	28.43	1030.41	1529.360	3.390	274.110	298.600	88.740	13.000		341.390
1976	297.300	59.02	35.88	1034.26	4273.450	38.000	262.000	224.000		11.270		472.000
1977	121.270	22.7	28.43	702.3	762.360	20.800	170.000	287.000	157.000	15.750		
1978	270.157	18.888	48.878	1247.992	2220.545	32.200	170.000	806.100		56.362	1365.773	
1979	425.991	131.105	52.841	1840.417	5562.978		170.000	481.000	75.500	92.869	2419.114	
1980	346.412	70.195	36.433	1427.835	1871.012					58.019	1195.319	372.974
1981	123.290	25.342	14.176	657.74	1402.010					10.288	809.720	377.684
1982	115.230	23.050	52.841	880.438	1338.789					13.709		
1983	295.612	47.173	37.06	1332.54	1480.220			498.058		13.764	1261.428	592.561
1984	217.117	58.991	32.146		1048.405			620.066		15.721	992.490	206.738
1985	93.963	11.53	17.702	1332.54	1366.611			471.890		9.516	633.046	146.413
1986	119.066	21.677	36.054	860.788	1320.372		278.400			14.252	885.234	174.400
1987							300.800					219.300
1988							294.300					139.000
1989							272.200					176.700
1990							368.900					173.800
1991							263.100					180.700
1992							287.900					166.500
1993							278.400					148.200
1994							42.800					181.800
1995												141.100
1996												195.700
1997								196.786				

1998												
1999												33.892
2000												320.196
2001							74.700	20.290				245.900
2002							207.460	296.050				203.866
2003												
2004												
2005												
Cuenta =	22	12	15	15	19	6	22	14	8	12	8	25
Q índice =	181.87	46.01	34.92	1057.64	1881.90	32.36	240.79	354.05	125.14	27.04	1195.27	304.32
A (km <sup>2</sup> ) =	882	63	88	1773	2626	69	1542	845	164	100	2351	1377

**FUENTE:** Elaboración propia en base a boletines anuales del INDE e INSIVUMEH. 2008

## ANEXO 2. Muro de protección con llantas usadas y piedra (Espigón direccional)



# Aprender haciendo

Técnicas y Medidas Estructurales útiles  
de la Gestión del Riesgo



Ficha Técnica Promudel-GTZ- FT007

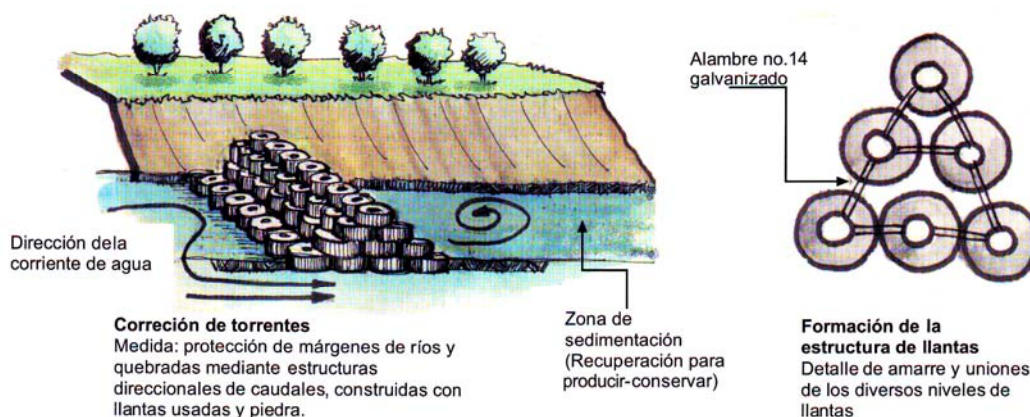
## Muro de protección con llantas usadas y piedra (Espigón direccional)

### ¿Para qué es útil? y ¿Cómo se construye?

Sirve para proteger infraestructura productiva, zonas pobladas, suelo de uso agrícola ubicado en las orillas de arroyos, quebradas y ríos con riesgo de presentar desbordes en la temporada de lluvias. Es ideal para recuperar áreas en las riberas o vegas afectadas por desbordes e inundaciones. Funciona como estructura facilitadora para la separación de sedimentos.



Su construcción se realiza utilizando diversos materiales como llantas usadas, alambre galvanizado, arena, cemento y piedra como relleno. Un espigón requiere una adecuada cimentación de acuerdo a la capacidad de socavación de la corriente. En este caso, al menos 0.30 metros se considera aceptable como cimiento. Los diversos niveles del espigón conformado con llantas son unidos entre sí con alambre galvanizado; y el interior de cada llanta debe ser llenado con piedras para su estabilidad.



Detalles. Vista de espigón y detalle de amarre

FUENTE: Promudel, abril de 2009.

Continuación parte 1.....

### ¿Cómo funciona?

Es una estructura que direcciona el agua, alejándola de la orilla pero facilitando la separación de los sedimentos y material de arrastre que trae la corriente. Para una mejor funcionalidad y eficiencia, este tipo de estructuras requieren ser ubicadas en series de al menos tres unidades, las cuales deben estar debidamente "empotradas" o ancladas en las márgenes del río. Complementar con estacas enraizables, facilita e induce el proceso de revegetalización y recuperación natural de la ribera.

### Ventajas y beneficios

- ✓ Alta duración dada las condiciones de resistencia que tienen las llantas al impacto de rocas y al desgaste de los materiales de arrastre.
- ✓ Su construcción es sencilla.
- ✓ Facilidad de adquisición de los materiales y bajo costo económico.
- ✓ Ahorro en su implementación dado el tipo de material utilizado.
- ✓ Tiene un beneficio ambiental importante por la reutilización de un elemento altamente contaminante como son las llantas usadas.
- ✓ Es práctico y eficiente en su función de separación de sedimentos los cuales son usados posteriormente como zonas cultivables

### Materiales y herramientas a utilizar:

Tipo de material/herramientas	Observaciones
Llantas usadas	Las dimensiones de las llantas deben ser en lo posible, iguales. Rin 14 -15 son las más abundantes.
Alambre galvanizado calibre 14	Utilizado para el amarre entre llantas
Palas, picas, piochas, barras, alicate, barretón	Para la conformación y nivelación del terreno.
Piedra	Para el relleno de llantas y espacios vacíos. Preferiblemente no utilizar la piedra que se encuentra al interior del cauce
Estacas de madera enraizable	Especies como el sauce, son ideales.
Cemento y tierra	Para aumentar la resistencia de la estructura

La construcción de este tipo de estructuras requiere un análisis, que permita visualizar el comportamiento del agua.

Contacto:  
Programa Municipios para el Desarrollo Local - PROMUDEL -  
13 calle 2-60, zona 10, Edificio Topacio Azul, Oficina 502  
Ciudad de Guatemala, C. A.  
PBX (502) 2429-9600  
Correo electrónico: promudel@promudel-gtz.net



Foto 1. Limpieza y nivelación del terreno



Foto 2. Colocación de llantas sobre terreno nivelado para conformar el cimiento.



Foto 3. Llantas amarradas con alambre galvanizado calibre 14 y rellenas con piedras.



Foto 4. Llantas amarradas y llenas de piedras. Incluso se han colocado piedras en los espacios entre llantas. Sobre toda la estructura se colocará una mezcla de tierra con cemento, en la siguiente proporción: por cada 20 cubetas de arena x un saco de cemento.



Foto 5. Sobre las llantas "cimiento" se colocan las otras hileras de llantas

### ANEXO 3. Barreras para reducir la velocidad del agua usando madera, llantas y piedra



## Aprender haciendo

Técnicas y Medidas Estructurales útiles  
de la Gestión del Riesgo



Ficha Técnica Promudel-GTZ- FT006

### Barreras para reducir velocidad del agua usando madera, llantas y piedra

#### ¿Para qué es útil? y ¿Cómo se construye?

Es útil en aquellos sitios donde se acumula el agua de lluvia de forma temporal o semipermanente. Como por ejemplo, las salidas de alcantarillas o transversales en caminos y carreteras. Tiene la función de debilitar el impacto del agua en un punto dado, logrando reducir la velocidad significativamente.

Su construcción puede realizarse con materiales tales como madera, llantas y piedras.

La fabricación inicia con la limpieza y nivelación del terreno para la conformación de la barrera, la cual deberá ser cóncava. La estructura se construye con madera que se coloca atravesada para conformar una barrera, la cual se protege con llantas amarradas entre sí y rellenas de piedra, tal como lo ilustra las imágenes. El uso de madera en la orilla, resulta opcional como medida de reforzamiento natural de la barrera y de revegetalización alrededor de la misma.



Foto 1. La línea punteada roja muestra la forma cóncava de la barrera



Foto 2. Colocación de las llantas y madera en la orilla para reforzar la estructura.

#### ¿Cómo funciona?

Actúa como un freno o reductor de la fuerza que trae el agua de lluvia en drenajes temporales o semipermanentes. El agua al caer a su interior reduce su velocidad inicial hasta llegar a "cero", disminuyendo de esta manera su capacidad de arrastre y de profundización del cauce.

**FUENTE:** Promudel, abril de 2009.

### Ventajas y beneficios

- ✓ Reduce la aparición y formación de los procesos de erosión que amenaza la estabilidad de caminos y vías de acceso.
- ✓ Se utiliza llantas y piedras como material altamente eficiente para absorber el impacto del agua sobre la estructura.
- ✓ Los costos de implementación se limita a la mano de obra no especializada, recolección y transporte de llantas como costo mayor.
- ✓ Alta duración dada las características del material utilizado, bajo costo de mantenimiento (mano de obra y limpieza de la barrera).

### Materiales y herramientas a utilizar:

<b>Tipo de material/herramientas</b>	<b>Observaciones</b>
Llantas usadas	Las dimensiones de las llantas deben ser en lo posible, iguales. Rin 14 -15 son las más abundantes.
Piedra	Colectada cerca del sitio de obra. Su transporte es el de mayor costo
Palas, picos, piochas, azadones, alicate, barreta, machete	Para la conformación y nivelación del terreno, además para la construcción de la barrera.
Madera dimensionada muerta y enraizable	Para la construcción de la barrera y su colocación es vertical (madera enraizable) y horizontal como barrera (madera muerta).
Alambre galvanizado calibre 14	Utilizada para el amarre de llantas y maderos muertos. Se puede sustituir por lianas o bejucos.



Este tipo de barrera, para bajar la de velocidad del agua, pueden mejorarse en su eficiencia y seguridad si las llantas utilizadas a manera de "cajón", son debidamente aseguradas en su contorno mediante estacas enraizables, amarradas con alambre y organizadas tal como se muestra en las imágenes.

Se requiere un mantenimiento de rutina y revisiones periódicas en su estabilidad.

Contacto:  
Programa Municipios para el Desarrollo Local - PROMUDEL -  
13 calle 2-60, zona 10, Edificio Topacio Azul, Oficina 502  
Ciudad de Guatemala, C. A.  
PBX (502) 2429-9600  
Correo electrónico: promudel@promudel-gtz.net